



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

FACULTAD DE CIENCIAS

**CONTROL BIOLÓGICO DE *Glycaspis brimblecombei* EN LAS ÁREAS VERDES
DEL DISTRITO FEDERAL**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGÍA

PRESENTA:

MARÍA TERESA CANTORAL HERRERA

**TUTOR: DR. DAVID CIBRIÁN TOVAR.
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CO-TUTOR: DR. ZENÓN CANO SANTANA.
FACULTAD DE CIENCIAS**

MÉXICO, D.F.

AGOSTO, 2015



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

**CONTROL BIOLÓGICO DE *Glycaspis brimblecombei* EN LAS ÁREAS VERDES
DEL DISTRITO FEDERAL**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGÍA

PRESENTA:

MARÍA TERESA CANTORAL HERRERA

**TUTOR: DR. DAVID CIBRIÁN TOVAR.
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
CO-TUTOR: DR. ZENÓN CANO SANTANA.
FACULTAD DE CIENCIAS**

MÉXICO, D.F.

AGOSTO, 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

OFICIO FCIE/DEP/157/15

ASUNTO: Autorización de prórroga para obtener el grado.

CP. AGUSTÍN MERCADO
DIRECTOR DE CERTIFICACIÓN Y CONTROL DOCUMENTAL
DIRECCIÓN GENERAL DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
Presente.

Me permito comunicarle que después de analizar la situación académica del(a) alumno(a) **MARÍA TERESA CANTORAL HERRERA**, con número de cuenta **75065382** y número de expediente **51342** del(a) **MAESTRÍA EN CIENCIAS (BIOLOGÍA) (3-461)**, el Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, en su sesión celebrada el 23 de febrero del año en curso, **autoriza prórroga por seis meses** a partir de esta fecha para obtener el grado correspondiente.

Comunico a usted lo anterior, para los fines a que haya lugar.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 02 de marzo del 2015
JEFE DE LA DIVISIÓN




DR. MANUEL JESÚS FALCONI MAGAÑA

MJFM/ASR/ipp

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

A los miembros del Comité Tutorial:

Dr. David Cibrián Tovar por brindarme su apoyo, conocimientos, experiencia y amistad.

Dr. Zenón Cano Santana por brindarme su amistad y su invaluable apoyo y dedicación para llevar a buen término este documento, además de compartir conmigo sus conocimientos con su infinita paciencia ante mi ignorancia y por enseñarme a trabajar con calidad y dedicación tal como él lo hace desinteresadamente con todo aquél que solicita su ayuda, siendo para mí, un ejemplo a seguir.

A la Dra. Rosa Gabriela Castaño Meneses y los doctores Alejandro Córdova Aguilar y Atilano Contreras Ramos. Todos ellos hicieron aportaciones muy valiosas que mejoraron sustancialmente el manuscrito. Los errores que quedaron son, evidentemente, míos.

AGRADECIMIENTOS A TÍTULO PERSONAL

A la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y a los directivos interesados en que se llevara a cabo este trabajo, especialmente al Ing. Isidro Recillas Silva, por las facilidades otorgadas.

A mi amiga, la Biól. María Teresa Patiño Pineda, por la ayuda, interés y motivación recibida en el procesamiento de los datos y la realización de esta tesis.

Al M. en C. Iván Castellanos Vargas por el apoyo técnico, las asesorías brindadas, la ayuda otorgada para el desarrollo de esta tesis y la revisión del resumen en inglés. También agradezco al Biól. Marco Romero-Romero su asistencia técnica para la edición del manuscrito final.

Al Dr. Gustavo Mora Aguilera y al técnico Gerardo Acevedo Sánchez por su valiosa ayuda al inicio de este trabajo.

A la Biól. Daniela Fernández y Fernández por su invaluable ayuda en la búsqueda de citas bibliográficas.

A la Lic. Julieta Cassales Cantoral por el gran apoyo en la traducción del resumen.

Al personal del Centro de Manejo Fitosanitario para las Áreas Verdes Urbanas que colaboraron de 2003-2007 (CEMFAV), el Ing. Teodoro Franco Noriega, Octavio Mora, Eduardo Navidad González, Lic. Pedro Pérez y a la Biól. Wendy García Pérez Gallardo por el trabajo realizado durante cinco años.

A los encargados de manejar las áreas verdes de las 16 delegaciones políticas del Distrito Federal, por su ayuda en la colecta de trampas y su activa participación.

A todos aquellos que de alguna manera me brindaron su apoyo.

A mis amigos, gracias.

DEDICATORIA

A mis padres con todo mi amor y agradecimiento a sus esfuerzos por darme lo mejor de ellos.

A mi tía Gloria por todo el amor, cuidados y consejos brindados.

A mis cinco hermanos: María Antonieta, Roberto Claudio, Claudio, Amelia y Verónica, así como a mis cuñadas María del Carmen y Roxana, y mis cuñados José Antonio y José Luis, por todas sus muestras de afecto y el apoyo brindado a lo largo de mi vida.

A mis sobrinos, con amor.

A José Antonio Chávez Calderas, mi esposo y compañero de vida.

A Paulina, mi hija, mi amor, mi orgullo y mi logro más grande. Para que recuerde que en la vida hay que realizar todo aquello que deseamos sin detenernos a pensar si aún es tiempo.

A las áreas verdes, por la felicidad que me proporcionan.

ÍNDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. El control biológico y la cría de insectos	11
1.2. Los eucaliptos	15
1.3. <i>Glycaspis brimblecombei</i> en México	19
1.4. Control biológico con <i>Psyllaephagus bliteus</i>	21
II. OBJETIVOS	25
III. MATERIAL Y MÉTODOS	26
3.1. El Distrito Federal	22
3.2. Selección de sitios de liberación de <i>P. bliteus</i>	27
3.3. Sistema de estudio	28
3.4. Cultivo y cría de hospederos y parasitoides	32
3.4.1. Cultivo de eucaliptos	32
3.4.2. Producción de Insectos	33
3.4.3. Procesos de infestación de la planta	34
3.4.4. Inoculación y producción de parasitoides	34
3.4.5. Liberación de parasitoides para el control biológico.	35
3.4.6. Monitoreo de poblaciones de insectos: Densidad poblacional y razón sexual.	38
3.4.7. Monitoreo de los niveles de parasitoidismo	40
IV. RESULTADOS	41
4.1. Variación temporal de la densidad	41
4.2. Niveles de parasitoidismo	44
4.3. Razón sexual	44
V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	47
5.1. Cambios en los tamaños poblacionales y porcentaje de parasitoidismo	47
5.2. Evaluación del programa de control biológico	50
5.3. Razón sexual	52
5.4. Recomendaciones	54
5.5. Las bondades de los estudios a largo plazo	57
5.6. Conclusiones	58
LITERATURA CITADA	59
APÉNDICE 1. Relación detallada de fechas de liberación	68
APÉNDICE 2. Manejo de sitios adicionales de liberación de parasitoides	73

Cantoral-Herrera, M. T. 2015. Control biológico de *Glycaspis brimblecombei* en las áreas verdes del Distrito Federal. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 73 pp.

RESUMEN

En este trabajo se registran los resultados de un programa de control biológico clásico emprendido contra la plaga del eucalipto, el insecto *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hemiptera: Psylloidea: Psyllidae), que se introdujo a México en 2001. El control se realizó con el parasitoide especialista *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae), mediante un programa desarrollado por el Gobierno del Distrito Federal, con el objetivo de evitar la muerte masiva de cientos de miles de árboles de esta especie en la entidad. *P. bliteus* se importó de Estados Unidos, país que, a su vez, lo trajo de Australia. Las colonias iniciales se cultivaron en invernadero durante cinco años, de 2003 a 2007. En total, se logró obtener 44,726 adultos. Aunque el programa se aplicó en 33 localidades en el período de estudio, para fines de este trabajo, se seleccionaron 16 sitios de monitoreo distribuidos en sendas delegaciones. La variación poblacional de *G. brimblecombei* fue estimado mediante el conteo de adultos capturados en 10 trampas amarillas por sitio, las cuales fueron revisadas quincenalmente del 6 de abril de 2003 al 21 de diciembre de 2006. Se estimó la variación poblacional (No. individuos/trampa) y la razón sexual de *G. brimblecombei* y *P. bliteus*. Se aplicaron pruebas de χ^2 para determinar si la razón sexual de ambas especies difería de 1:1. Adicionalmente, se colectaron ramillas (cinco por sitio por mes) desde julio de 2003 a junio de 2007, con el fin de determinar la variación temporal del porcentaje de ninfas parasitadas. Se encontró que el parasitoide fue incrementando su

población paulatinamente a partir de 2004. Durante el estudio se colectaron en total 195,263 machos y 88,618 hembras de *G. brimblecombei*, así como 8,130 machos y 18,779 hembras de *P. bliteus*. La razón sexual de *P. bliteus* no difirió significativamente de 1:1, en tanto que la razón sexual de *G. brimblecombei* difirió significativamente de esa razón en 2003 y 2004, registrándose 3:1 y 2:1, respectivamente; pero en 2005 y 2006 la razón se mantuvo en 1:1. El porcentaje de parasitoidismo se incrementó en el período de estudio desde 2.7% en julio de 2003 hasta 39.4% en octubre de 2004 fecha en la que se registró el valor más elevado. Se concluye que el programa de control biológico ha sido un éxito para controlar a *G. brimblecombei*, pero no para erradicarlo.

Cantoral-Herrera, M. T. 2015. Biological control of *Glycaspis brimblecombei* in the green areas of Mexico City. Ms.Sc. thesis dissertation. Faculty of Sciences, Universidad Nacional Autónoma de México, México City. 73 pp.

ABSTRACT

Glycaspis brimblecombei Moore (Hemiptera: Psylloidea, Psyllidae) is an important eucalyptus plague and it was introduced in Mexico in 2001. In this work we show the principal results from a classical biological control program undertaken against the plague performed with the specialist parasitoid, *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae), the program control was developed by the Government of Mexico City, in order to prevent massive deaths of hundreds of thousands eucalyptus trees in this city. *Psyllaephagus bliteus* was imported from United States, which, in turn, brought him from Australia. The first colonies were grown in a greenhouse for five years from 2003 to 2007. In total, it was possible to obtain 44,726 adults. Although the program was implemented in 33 localities in the study period, for purposes of this study, 16 monitoring sites spread over two delegations were selected. The program was implemented in 33 localities and we only selected 16 monitoring sites spread over two delegations. *Glycaspis brimblecombei* population variation was estimated by counting adult caught in 10 yellow traps by site. The traps were reviewed fortnightly from April 6, 2003 to December 21, 2006. We estimate population change (as individuals per trap) and sex ratio for both species. Chi-square tests was applied to determine if sex ratio differed on *G. brimblecombei* and *P. bliteus*. Additionally, from July 2003 to June 2007 we collected five twigs per site per month, in order to determine the temporal variation in percentage of parasitized nymphs. We found that the parasitoid gradually increased its population from 2004. During the study we collected 195,263 males and 88,618 females of *G. brimblecombei* and 8,130 males and 18,779 females of *P. bliteus*. Sex ratio of *P. bliteus* do not differ significantly from 1:1, whereas in 2003 and 2004 *G. brimblecombei* differ significantly from that reason

registering 3:1 and 2:1 respectively, but in 2005 and 2006 the ratio stood at 1:1. The parasitism percentage increased from 2.7% in July 2003 to 39.4% in October 2004, on this month we recorder the highest value. We conclude that the biological control program has been successful to control *G. brimblecombei*, but not to eradicate it.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. El control biológico y la cría de insectos

El control biológico consiste en la acción de parásitos, depredadores o patógenos que mantienen poblaciones de otros organismos a un nivel más bajo de lo que pudiera ocurrir en su ausencia (DeBach, 1977). Como tal, el control biológico se distingue de otras formas de control de plagas por actuar de una manera densodependiente, esto es, los enemigos naturales se incrementan y destruyen una gran porción de la población cuando la densidad de esta población se incrementa (DeBach y Rosen, 1991). La Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB), por su parte, define el control biológico como la utilización de organismos o de sus productos para evitar o reducir las pérdidas o daños causados por otros organismos nocivos. Desde este punto de vista, se incluyen en este tipo de manejo el uso no sólo de los parasitoides, depredadores y patógenos de artrópodos, sino también el de fitófagos y patógenos de malezas así como feromonas, hormonas juveniles, técnicas autocidas (*i.e.*, usando insectos estériles) y manipulaciones genéticas. Esta actividad es un intento por reducir la densidad promedio de la población de la plaga mediante la acción de enfermedades, parásitos o depredadores (Barrera, 2007). Tal hecho se basa en la observación de que las poblaciones en sistemas naturales son controladas por la actividad de enemigos naturales (González-Hernández y Pacheco-Sánchez, 2007).

En el control de poblaciones mediante el uso de insectos parasitoides o depredadores, muchas veces de naturaleza exótica, se utilizan ambientes confinados (cámaras, cajas de cría o incubadoras) para su reproducción, y su

posterior liberación para que ejerzan su acción sobre las plagas (Bernal, 2007). Los grandes retos que enfrentan los responsables de la cría son lograr los ajustes para un desarrollo exitoso de los insectos. El cultivo de un organismo exótico, adicionalmente, requiere de permisos especiales de los gobiernos, los cuales se logran al comprobar que la introducción de enemigos naturales es inocua al país que lo recibe (Barrera, 2007).

En los más de 100 años de historia del control biológico, muchos enemigos naturales exóticos han sido criados y liberados en el campo, dando como resultado el éxito del control de plagas de muchas especies alrededor del mundo (Greathead, 1995; Wratten y Gurr, 2000). Los principales logros del control biológico en América Latina han sido contra la mosca prieta de los cítricos *Aleurocanthus woglumi* Ashb. (Hemiptera: Aleyrodidae) en Mesoamérica; el barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* F. (Lepidoptera: Pyralidae) en Cuba, Perú, Brasil y el Caribe; la cochinilla acanalada de los cítricos *Icerya purchasi* Mask. (Hemiptera: Monophlebidae) en casi todos los países del continente; el pulgón lanígero de la manzana *Eriosoma lanigerum* Hausmann (Hemiptera: Aphidae) en Uruguay, Chile y Argentina; la escama negra *Saissetia oleae* (Oliver) (Hemiptera: Coccidae) en Chile y Perú (Altieri *et al.*, 1989; Zapater, 1996). Aunque el control biológico de insectos en México despertó el interés de los especialistas desde el siglo pasado, fue hasta 1942 cuando se realizaron los trabajos más decididos con la introducción de *Aphelinus mali* Haldeman (Hymenoptera: Aphelinidae) para el control del pulgón lanígero del manzano *E. lanigerum* Hausmann (Hemiptera: Aphidae) en Coahuila. En 1938 se hizo el primer intento para el control biológico de la mosca prieta de los cítricos *A. woglumi*, pero

fue entre 1949 y 1950 cuando el Departamento de Agricultura de EE.UU., y la entonces Dirección de Defensa Agrícola de México, llevaron a cabo un programa para la introducción de enemigos naturales desde la India y Pakistán con resultados espectaculares en el control de esta plaga (Jiménez, 1958; Smith *et al.*, 1964; Carrillo-Sánchez, 1985).

Posteriormente, se establecieron diferentes programas de introducción de enemigos naturales previamente utilizados en EE.UU. (Carrillo-Sánchez, 1985; Tabla 1.1). En México, desde 1963 se cría al parasitoide *Trichogramma* spp. en centros localizados en muchos estados, y desde 2006 se cuenta con 60 laboratorios que producen y distribuyen 35 especies de control biológico, de los cuales el 20.0% son depredadores, el 48.5% son parasitoides y el 31.5% patógenos (Arredondo-Bernal, 2006).

Algunas plagas recientemente sometidas a control biológico en México son la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) (Barrera *et al.*, 2000), las moscas de la fruta *Anastrepha* spp. (Liedo y Cancino, 2000), la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) (Meyerdirk *et al.*, 2000, Arredondo-Bernal, 2006; García-Valente *et al.*, 2007), el lirio acuático *Eichhornia crassipes* (Coleoptera: Curculionidae), el pulgón café de los cítricos *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae) y la langosta *Schistocerca piceifrons* Walker (Orthoptera: Acrididae) (Arredondo-Bernal y Hernández, 2002).

Tabla 1.1. Plagas tratadas con enemigos naturales (Carrillo-Sánchez, 1985).

Nombre científico de la plaga	Nombre común de la plaga	Enemigo natural
<i>Icerya purchasi</i> Mask. (Hemiptera: Monophlebidae)	Escama algodonosa de los cítricos	La mariquita <i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae)
<i>Lepidosaphes beckii</i> (Newman) (Hemiptera: Diaspididae)	Escama purpúrea	<i>Aphytis lepidosaphes</i> (Hymenoptera: Chalcidoidea)
<i>Cryosphalpus aonidum</i> L. (Hymenoptera: Diaspididae)	Escama roja de Florida	<i>Aphytis holoxanthus</i> DeBach (Hymenoptera: Aphelinidae)
<i>Antonina graminis</i> Mask. (Hemiptera: Pseudococcidae)	Escama algodonosa de los pastos	Los himenópteros <i>Anagyrus antoninae</i> Timberlake (Encyrtidae) y <i>Neodusmetia sangwani</i> (Rao) (Encyrtidae)
<i>Anastrepha ludens</i> (Loew) y <i>A. striata</i> Schiner (Diptera: Tephritidae)	Moscas de la fruta	Los himenópteros <i>Diachasmimorpha longicaudata</i> (Ashmead) (Braconidae), <i>Syntomosphyrum indicum</i> Silv. (Eulophidae) y <i>Pachycrepoides vindemmiae</i> (Rondani) (Pteromalidae);
<i>Theriaphis maculata</i> (Buckton) (Hemiptera: Aphididae)	Pulgón manchado de la alfalfa	Los himenópteros <i>Praon palitans</i> Muesebeck (Braconidae), <i>Aphelinus semiflavus</i> Howard (Aphelinidae) y <i>Trioxys utilis</i> Muesebeck (Braconidae) (Carrillo-Sánchez, 1985).

1.2. Los eucaliptos

Los eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) son árboles de origen austromalayo con una dispersión natural en latitudes que se extienden desde 7°00' N a 43°39' S (Martínez *et al.*, 2006). El género incluye aproximadamente 600 especies y la gran mayoría de éstas son endémicas del continente australiano y de las islas cercanas, aunque estrictamente son nativos de Australia, Nueva Guinea, Indonesia y las Filipinas, pero sólo en Australia son abundantes (Martínez *et al.*, 2006). Martínez *et al.* (2006) sostienen que éstos se sembraron fuera del continente australiano desde hace más de 200 años, siendo Inglaterra el primer país importador y, posteriormente, se utilizó intensivamente en el resto de Europa a mediados del siglo XIX. Su introducción en México se dio cuando agricultores europeos trajeron las primeras semillas a Córdoba, Ver., extendiéndose rápidamente en todo el país, debido a su gran adaptabilidad y rápido crecimiento. A principios del siglo pasado (1907) el naturalista e ingeniero Miguel Ángel de Quevedo realizó las primeras reforestaciones en los bordes del Gran Canal y Río Churubusco, utilizando *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.; luego continuó con la reforestación de zonas degradadas en climas semiáridos del Valle de México y otras partes del país (Martínez y Chacalo, 1994). En el Distrito Federal se encuentran tres especies de eucaliptos, dos azules: *E. cinerea* F. Muell. ex. Benth. y *E. globulus* Labill., y una de eucalipto rojo, *E. camaldulensis* (Fig. 1.1), que es la más abundante (Martínez y Chacalo, 1994).



Figura 1.1. *Eucalyptus camaldulensis* en el Bosque de Aragón, D.F. Foto: M.T. Cantoral-Herrera.

Entre los enemigos naturales de *E. camaldulensis* se encuentran la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* Smith & Townsend (Proteobacteria: Rhizobiales) y los hongos *Cercospora eucalypti* Cooke & Masee (Capnodiales: Mycosphaerellaceae), *Corticium salmonicolor* Berk. & Br. (Poliporales: Phanerochaetaceae), *Phellinus setulosus* (Lloyd) Imazeki (Agaricomycetes: Polyporaceae), *Gymnopilus junonius* (Fr.) P.D. Orton (Agaricales: Cortinariaceae), *Hypholoma fasciculare* (Huds.: Fr.) P. Kumm. (Agaricales: Strophariaceae), *Pseudoinonotus chondromyelus* (Pegler) T. Wagner & M. Fisch (Agaricomycetes: Hymenochaetaceae), *Laetiporus portentosus* (Berk.) Rajchenb. (Polyporales: Fomitopsidaceae) y *Botryotinia fuckelina* (de Bary) Whetzel (Helotiales: Sclerotiniaceae) (FAO, 1979).

Por otra parte, se registran como enemigos naturales de los eucaliptos de México a *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae), *Acromyrmex*

octospinosus (Reich) (Hymenoptera: Formicidae), *Sarcina violascens* (Herrich-Schaeffer) (Lepidoptera: Arctiidae), *Notodonta* sp. (Lepidoptera: Notodontidae), *Metachroma inconstans* Blake (Coleoptera: Chrysomelidae), *Pantomorus* sp. Schonherr (Coleoptera: Curculionidae), *Schistocerca piceifrons* (Walker) (Orthoptera: Acrididae), *Glycaspis brimblecombei* (Moore) (Hemiptera: Psyllidae), *Ctenarytaina eucalypti* Maskell (Hemiptera: Psyllidae), *Coptotermes crassus* Snyder, *C. vastator* Light (Isoptera: Rhinotermitidae), *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Isoptera: Termitidae), *Neoclytus cacicus* (Chevrolat) (Coleoptera: Cerambycidae), *Phyllophaga* sp. Harris (Coleoptera: Scarabaeidae) y *Xyleborus affinis* Eichhoff (Coleoptera: Curculionidae) (Cibrián *et al.*, 2013).

Otro enemigo natural de los eucaliptos es el koala *Phascolarctos cinereus* (Goldfuss) (Diprotodontia: Phascolarctidae), pequeño marsupial arborícola que resulta ser el que se encuentra adaptado al régimen fitófago hasta el extremo de que su alimento lo componen exclusivamente las hojas y yemas de eucalipto (Granados-Sánchez *et al.*, 1989; López-Ríos, 2007).

Los eucaliptos están adaptados a una gran diversidad de hábitats, que va desde 0 a 2,300 msnm, y se encuentran en casi todos los tipos de suelos, desde ácidos hasta alcalinos (Granados-Sánchez y López-Ríos, 2007). Generalmente se consideran no aptos para ser plantados en zonas urbanas debido a que extraen agua del suelo, mantienen un efecto alelopático sobre otras plantas, interfieren con las líneas de energía, levantan banquetas y pavimento, y se llegan a desplomar sobre personas y bienes (Stephan-Otto *et al.*, 1999). En el Distrito Federal se estima que existen alrededor de tres millones de eucaliptos distribuidos en aproximadamente 4,900 ha de áreas verdes y bosques urbanos (García, 2003),

la mayoría de éstos (el 80%) pertenecen a la especie *E. camaldulensis* (García, 2003). Derivado de este problema, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal recomendó dejar de producir y plantar eucaliptos para reforestación urbana a partir de 2003, por lo que estas acciones han venido disminuyendo considerablemente, quedando solamente activa la producción de eucaliptos para fines comerciales (SMA, 2001). Esta recomendación también la hizo la SMARNAP (2001) para los viveros nacionales.

Los eucaliptos son un componente importante del paisaje urbano del Distrito Federal, a pesar que desde 1984 han estado sujetos al ataque de *Ctenarytaina eucalypti* (Maskell) sobre *E. globulus* (Paine *et al.*, 2000) y, de desde 2001, de la conchuela del eucalipto, *Glycaspis brimblecombei* Moore, sobre *E. camaldulensis* Cibrián (2001), ambos causando daños significativos en los árboles (obs. pers.). En particular, *E. camaldulensis* es una de las especies de eucalipto más susceptibles a la infestación por la conchuela del eucalipto (García, 2003; Fig. 1.2). En 2001 la autora de esta tesis, a través de la Dirección de Reforestación Urbana del Distrito Federal registró que 83.8% de un total de 101,642 árboles de eucaliptos de esta especie estaban infestados por *G. brimblecombei* (ver Romo *et al.*, 2007).

Glycaspis brimblecombei (Hemiptera: Psylloidea, Spondylaspididae) es un insecto fitófago de 2 a 3 mm de longitud, conocido como conchuela del eucalipto (Fig. 1.3), originario del sur de Australia, donde infesta a más de 15 especies de árboles del género *Eucalyptus*, aunque en esa región no ha llegado a causar daños de importancia económica (Cibrián, 2001).



Figura 1.2. Árboles de *E. camaldulensis* defoliados por la acción de *Glycaspis brimblecombei* en la Alameda Oriente, Distrito Federal, México. Aspecto en 2004. Foto: M.T. Cantoral-Herrera.

1.3. *Glycaspis brimblecombei* en México

Glycaspis brimblecombei fue introducido en el norte de California, EE.UU en 1998, y en septiembre de 2000 se reportó por primera vez en Baja California, México; pero no es, sino hasta junio del mismo año, que se tuvieron infestaciones visibles en la ciudad de Tijuana (Cibrián, 2001). Posteriormente, en enero de 2001, fue registrada en Jalisco y poco después en el estado de Zacatecas (Cibrián, 2001). Cibrián (2001) registró que esta especie se encontró en Guanajuato en febrero de 2001, y en marzo de ese año en parques urbanos adyacentes al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Asimismo, este autor reportó que, para fines de marzo, las infestaciones se habían generalizado en toda la Ciudad. En 2002, esta plaga ya se registraba en 24 estados de la República Mexicana: Aguascalientes, Baja California, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis

Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Cibrián, 2002). En el mismo año, se registraba también en Brasil, Chile y Argentina (Cibrián, 2002).



Figura 1.3. Hoja de eucalipto infestada por ninfas de la conchuela *Glycaspis brimblecombei*. Foto: D. Cibrián.

Las especies de eucalipto que son atacados en México por *G. brimblecombei* son *E. camaldulensis*, *E. citriodora* Hook, *E. cladocalyx* F. Muell., *E. globulus* Labill., *E. diversicolor* F. Muell., *E. lehmannii* (Schauer) Benth., *E. nichollii* Maiden et Blakely, *E. rudis* Endl, *E. sideroxylon* A. Cunn. ex Woolls y *E. viminalis* Labill., entre otros (Moore, 1970; Morgan, 1984; Carver, 1987; Hoddle *et al.*, 2003); en particular, en el Distrito Federal infestan a *E. camaldulensis*, *E. rudis* Endl. y *E. tereticornis* Smith., aunque también se han registrado ligeras infestaciones en *E. globulus* (obs. pers.).

1.4. Control biológico con *Psyllaephagus bliteus*

Los parasitoides son insectos holometábolos que en estado larvario son parásitos de otros artrópodos, a los cuales finalmente matan, mientras que en estado adulto viven libres; asimismo, sólo parasitan y consumen a un solo huésped durante su ciclo de vida (Bernal, 2007). *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae) es una avispa parasitoide de 1.6 a 2.4 mm de longitud que ataca exclusivamente a *G. brimblecombei*. Zuparko (1996) y Plascencia (2003) revisan en detalle la biología de la especie. Las hembras de estas avispas depositan sus huevos en la cavidad abdominal de las ninfas del segundo, tercer o cuarto estadio de las conchuelas del eucalipto. De allí eclosionan sus larvas, las cuales consumen todos los órganos internos de los hospederos. Las hembras generalmente sólo ponen un huevo, pero pueden llegar a poner hasta cuatro por ninfa hospedera. Las ninfas hospederas en un principio son activas en cierta medida, pero se puede detectar su estado de infección por la dilatación de su cuerpo. Cuando el parasitoide pupa la ninfa hospedera muere dejando un exoesqueleto dilatado e inmóvil, al cual se le denomina “momia”. Estos parasitoides se desarrollan dentro de las ninfas con la cabeza orientada hacia la porción posterior del abdomen de su huésped. Bajo una luz intensa es posible observar a las larvas maduras de las avispas a través del integumento de la ninfa huésped. Sus pupas son exaratas de color negro y permanecen en el interior del huésped cuando éste alcanza el quinto estadio ninfal o cuando llega a la etapa de adulto. La pupa deja un orificio de salida que se ubica en la parte lateral de la conchuela. Puede tener varias generaciones por año y se requiere de 3 a 5 semanas para la conclusión de los ciclos. Presentan partenogénesis arrenotoca,

es decir, las hembras sin copular pueden ovipositar en ninfas y dar origen a machos.

Existen tres experiencias de control biológico mediante la liberación de *P. bliteus*. La primera se dio en California, donde *G. brimblecombei* fue detectado el 17 de junio de 1998 en El Monte, condado de Los Ángeles (Dahlsten *et al.*, 2002). En este caso, desde la primavera de 2000 y hasta el otoño de 2001 fueron liberados alrededor de 30,000 parasitoides de *P. bliteus* en nueve localidades. En general, la población de hembras se mantuvo baja, pero se registró que en el verano de 2002 ya se veían resultados positivos de control y que los parasitoides se habían desplazado 150 km del punto de liberación (Dahlsten *et al.*, 2002). Según las estimaciones realizadas en las áreas, esta plaga pudo ocasionar la muerte del 15% de los eucaliptos atacados en el primer año y del orden del 30 al 40% en el segundo año de los árboles infestados; sin embargo, por la acción del control biológico sólo se detectó un 10% de mortalidad en los cinco años de infestación (Brennan, 2000). Los pronósticos hechos para esperar un establecimiento exitoso de la avispa parasitoide, basados en los hallazgos obtenidos en California estimaban un tiempo aproximado de tres años.

La segunda experiencia se realizó en la Ciudad de Guadalajara, México, cuando el Dr. Dahlsten donó un pie de cría consistente en 175 parejas de *P. bliteus* y su comportamiento poblacional fue estudiado por la M. en C. Gloria Íñiguez [Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal (del Estado de Jalisco), FIPRODEFO, com. pers.; ver también Villa e Íñiguez, 2002], tal como se describe a continuación. El 22 de mayo de 2001, 75 avispas fueron liberadas en campo y 100 de ellas mantenidas en laboratorio como pie de

cría. A partir de los últimos días de mayo y hasta el mes de agosto de 2001, se trabajó intensamente en laboratorio para reproducir en forma masiva a la avispa parasitoide, y el monitoreo en campo registró el establecimiento de la misma. En octubre de ese año, comenzó la liberación de crías ya nacidas en Guadalajara con un número inicial de 45 parejas. A partir de esa fecha comenzó a registrarse la avispa en forma abundante de la siguiente manera: en marzo de 2002 se registra en toda la zona metropolitana de Guadalajara; en abril de 2002 en los municipios conurbados y hasta una distancia de ca. 100 km alrededor de esta ciudad. En mayo de 2002 se registra en los municipios de la zona norte de Jalisco a una distancia de cerca de 200 km alrededor del punto de liberación. En esta fecha también se tuvieron registros de este insecto en los estados vecinos de Guanajuato, Zacatecas, San Luis Potosí y Aguascalientes. En junio de ese año se registró la presencia de parasitoides en Morelia y Celaya, y en septiembre se reportó en Durango y Saltillo. En total, de mayo de 2001 a octubre de 2002 se liberaron un total de 3,494 parejas producidas en el laboratorio. En los sitios donde se estableció exitosamente, la avispa parasitoide redujo las poblaciones del psílido en un 80%. A pesar del establecimiento exitoso del parasitoide, la defoliación acelerada, junto con la combinación de factores, como la contaminación ambiental, la infestación por hongos parásitos, el estrés hídrico, la compactación del suelo y la reducida área radicular, probablemente aceleraron la muerte de una gran cantidad de árboles de eucalipto. De hecho, en las localidades que fueron atendidas de manera tardía, y que registraban factores múltiples de debilitamiento del arbolado, la mortalidad alcanzó un 50%. Se puede concluir que, a pesar de

todos los contratiempos para ejecutar este proyecto, el programa de control resultó ser un éxito (D. Cibrián, com. pers.).

La tercera experiencia ocurrió cuando en el vivero de Yecapixtla, Morelos el 6 de septiembre de 2002 se liberaron 513 parasitoides, 313 hembras y 200 machos como parte del proyecto “Obras para la Restauración Fitosanitaria de las Áreas Verdes Urbanas en Valle de México CORENABID/AVSER/002/02” (Cibrián, 2001). Lamentablemente no se realizó un monitoreo posterior a dicha liberación, por lo que no se cuenta con información sobre el comportamiento poblacional de los parasitoides en esta localidad.

G. brimblecombei infestó en 2001 a 95% a los eucaliptos rojos del Distrito Federal ocasionando la mortandad de miles de árboles (Cibrián, 2001). Por ello, se puso en práctica un programa de control biológico mediante la liberación del parasitoide *P. bliteus*, a cargo del Dr. Cibrián Tovar durante los años 2001 y 2002 (Cibrián *et al.*, 2002), del cual se desprende esta tesis. Dentro de este programa se logró liberar 51,911 ejemplares en 55 localidades de 15 delegaciones políticas. Aunado a ello se realizaron cuatro análisis de follaje en los cuales se determinaron las cantidades poblacionales de estados inmaduros del psílido para cada sitio de monitoreo. De esta manera, se lograron contabilizar en 2001 31,571 huevos, 202 ninfas parasitadas y 370 momias de *G. brimblecombei*. El parasitoide se detectó en 14 de las 15 delegaciones, lo cual indicó un éxito en su establecimiento.

La experiencia anterior justifica que se realice un trabajo de largo plazo para determinar el éxito del programa de control en esta entidad federativa.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo fue conocer el éxito del programa de control biológico de *Glycaspis brimblecombei* mediante el uso del parasitoide *Psyllaephagus bliteus* en el Distrito Federal, programa realizado entre el año 2003 y 2007.

Por otro lado, se buscó cumplir con los siguientes objetivos particulares:

- (1) Evaluar el éxito del establecimiento de *P. bliteus* en la entidad mediante el registro de su densidad poblacional.
- (2) Conocer la variación poblacional de *G. brimblecombei*.
- (3) Conocer el cambio temporal en los niveles de parasitoidismo que sufre *G. brimblecombei* por *P. bliteus*.
- (4) Conocer los cambios temporales en las razones sexuales del insecto plaga y del parasitoide.

Si el programa es un éxito, se espera que se reduzca la abundancia del insecto plaga y que se incremente la abundancia del parasitoide, así como los niveles de parasitoidismo. Asimismo, se espera una proporción sexual sesgada hacia las hembras del parasitoide y una proporción sexual sesgada hacia los machos de insecto plaga, lo que lograría equilibrar las poblaciones, es decir cuando la población del insecto plaga aumente, la población del parasitoide seguirá la misma tendencia.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. El Distrito Federal

El Distrito Federal (D.F. o Ciudad de México) se localiza en el suroeste de la Cuenca de México. Está conformado por 16 delegaciones, tiene una población de 8.6 millones de habitantes y su jurisdicción territorial tiene una extensión de 60,203 ha de superficie urbana, y una zona “rural” que abarca 88,442 ha, casi en su totalidad ubicadas en la zona sur poniente del D.F. (Centro Geo, 2005). El Distrito Federal no constituye una forma urbana delimitada, sino que es sólo una parte de la ciudad real, es decir, de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Centro Geo, 2005). La mayor superficie del D.F. presenta clima templado, pero el 33% registra clima semifrío y el 10% clima semiseco (INEGI, 2010). La temperatura media anual es de 16°C, las temperaturas más altas son mayores a 25°C y se presenta en los meses de marzo a mayo, en tanto que las más bajas se registran en alrededor de 5°C en el mes de enero; durante el invierno se encuentra bajo la influencia de masas de aire polar y vientos del oeste (INEGI, 2010). El uso de suelo se reparte de la siguiente manera: 51.8% es para uso de vivienda, 21% corresponde a uso mixto, 10% a recreación y espacios abiertos, 8.8% a equipamiento, 4.8% a industria y comercio, y el 3.4% a vialidad primaria (Centro Geo, 2005). Las áreas verdes en la ZMCM alcanzan una superficie de 128.28 km², de los cuales la mayor superficie la tiene la delegación Álvaro Obregón con 24.59 km², el segundo lugar lo ocupa Coyoacán, con 20.13km² e Iztapalapa el tercero con 18.32 km² (Centro Geo, 2005).

3.2. Selección de sitios de liberación de *P. bliteus*

Se seleccionaron 16 sitios sujetos a liberación de *P. bliteus*., cada uno ubicado en cada una de las 16 delegaciones de la entidad (Fig. 3.1; Tabla 3.1). La ubicación de cada sitio se muestra en el Apéndice 1. Los sitios se seleccionaron con ayuda de personal de cada delegación política en función de las zonas que tuviesen un alto número de árboles infestados.

Tabla 3.1. Lista y geoposición de los sitios seleccionados para hacer el monitoreo del programa de control de la conchuela de los eucaliptos, *Glycaspis brimblecombei* mediante la introducción de las avispas *Psyllaephagus bliteus* por delegación política durante 2003-2007 en el Distrito Federal. Sitios ordenados alfabéticamente por el nombre conocido de cada delegación.

SITIO DE MONITOREO	GEOPOSICIÓN		DELEGACIÓN
	LATITUD	LONGITUD	
Parque Las Águilas	19°19'40.53"N	99°14'32.05"O	Álvaro Obregón
Parque Tezozómoc	19°29'43.34"N	99°12'30.57"O	Azcapotzalco
Parque Hundido	19°22'29.94"N	99°10'39.84"O	Benito Juárez
Bosque de Tetlameya	19°17'53.81"N	99°9'6.09"O	Coyoacán
Parque San Francisco	19°21'56.45"N	99°17'35.89"O	Cuajimalpa
Conjunto Habitacional Tlatelolco	19°26'55.36"N	99°8'4.65"O	Cuauhtémoc
Bosque San Juan de Aragón	19°27'43.14"N	99°4'40.99"O	Gustavo A. Madero
Magdalena Mixhuca	19°23'40.86"N	99°5'43.99"O	Iztacalco
Campo Militar No.1 "El Vergel"	19°18'37.70"N	99°4'52.45"O	Iztapalapa
Foro Cultural	19°18'11.75"N	99°14'1.94"O	Magdalena Contreras
Bosque de Chapultepec	19°24'36.79"N	99°12'9.98"O	Miguel Hidalgo
Avenida Nuevo León	19°11'42.42"N	99°1'1.81"O	Milpa Alta
Bosque de Tlalpan	19°18'7.34"N	99°9'6.09"O	Tlalpan
Bosque de Tláhuac	19°17'6.77"N	99°2'59.13"O	Tláhuac
Alameda Oriente	19°26'5.18"N	99°2'56.34"O	Venustiano Carranza
Bosque de Nativitas	19°16'47.94"N	99°7'27.56"O	Xochimilco



Figura 3.1. Ubicación de los sitios seleccionados para hacer el monitoreo del programa de control de la conchuela de los eucaliptos, *Glycaspis brimblecombei* mediante la introducción de las avispas *Psyllaephagus bliteus* por delegación política durante 2003-2007 en el Distrito Federal. El nombre de cada localidad se presenta en la Tabla. 3.1.

3.3. Sistema de estudio

La biología de la conchuela del eucalipto, *Glycaspis brimblecombei*, ha sido descrita en detalle por Taylor (1960), Dolling (1991), Cibrián (2002) y Sánchez (2003). Los adultos presentan conos genales que miden dos tercios o más el largo del vértex y sus antenas filiformes son más largas que el ancho de la cabeza. Las alas posteriores son anguladas a redondeadas apicalmente. Las metatibias de las patas son más cortas o iguales en longitud al fémur, y portan un número variable de espinas oscuras apicales. Los segmentos proximales del metatarso son acolchonados, redondeados, con una espina ventral distal fuerte.

Las alas son transparentes y generalmente en posición de tejado de dos aguas sobre el abdomen. Los adultos de este género difieren de otras especies de psílidos que se han reportado para México en que presentan dos proyecciones largas, llamadas conos genales, que se encuentran en la cabeza debajo de cada ojo.

Los adultos presentan dimorfismo sexual, ya que las hembras son un 20% más grandes que los machos en longitud (Fig. 3.2). La hembra presenta coloraciones variadas que van desde verde turquesa a rojo; alas membranosas, hialinas y con terminación en punta; la parte terminal del abdomen es redondeada con una pequeña protuberancia que es por donde salen los huevecillos. El macho también presenta coloración variada: verde, café, rojo; antenas con una uña en el último artejo de éstas. Las hembras depositan sus huevos en los brotes y hojas jóvenes de eucalipto, tanto en haz como en el envés, pero en infestaciones severas oviposita incluso en las maduras.

En el momento de la cópula es común que otros machos se acerquen y cortejen a la hembra, por lo que en ocasiones da la impresión de que la hembra está unida a dos machos (Sánchez, 2003), y a veces, la hembra se aparea con varios machos y llega a ovipositar entre una cópula y otra (Sánchez, 2003).

Los huevos son piriformes, de color blanco perla si están recién depositados, y amarillo claro a naranja cuando están a punto de eclosionar. En promedio, las hembras depositan 119 huevos durante toda su vida, de los cuales eclosionan las ninfas de primer estadio que son activas y buscan un sitio para asentarse. Esta especie presenta cinco estadios ninfales. La ninfa del primer estadio, después de establecerse, empieza a formar su concha protectora (la conchuela), la cual es

formada por la secreción de hilos de ceras y azúcares que salen por la parte distal del abdomen. La conchuela es de color blanco, tiene forma de escama y tiene una textura cristalina con algunas proyecciones a manera de hilos de azúcar. En las ninfas viejas la conchuela es de color oscuro, debido a que se cubre de fumagina. Las ninfas en sus primeras etapas de desarrollo son de color amarillo y con rudimentos alares pequeños, en tanto que las ninfas de los últimos estadios presentan alas rudimentarias de color negro y un abdomen de color amarillo con tonalidades verde-azulosas y moradas. Para alimentarse introducen su estilete en el tejido de las hojas para succionar la savia. Generalmente no se mueven, pero son capaces de hacerlo si se les molesta. Cuando las ninfas han completado su desarrollo, los adultos alados dejan la conchuela protectora y vuelan a nuevas hojas para copular, alimentarse y comenzar a depositar huevecillos. En Australia se presentan de dos a cuatro generaciones por año. En México el número de generaciones puede ser de hasta seis (D. Tovar, com. pers.), especialmente durante los años secos y cálidos. El ciclo biológico varía con las condiciones ambientales de 37 a 55 días. Los adultos viven de 9 a 25 días según las condiciones ambientales.



Figura 3.2. *Glycaspis brimblecombei* macho (superior) hembra (inferior). Foto: D. Cibrián.

La biología de *Psyllaephagus bliteus*, por su parte, ha sido descrita en detalle por Zuparko (1996) y Plascencia (2003), según se expone a continuación. Los huevos son ovals de corion blando e incoloro y tienen una longitud de $162.0 \pm$ d.e. $43.9 \mu\text{m}$ y una anchura de $100.8 \pm 24.2 \mu\text{m}$. Las larvas se caracterizan por poseer un tubo respiratorio largo, casi del 60% de su longitud, que se conecta con el exterior a través del integumento del huésped. Son vermiformes con una cabeza diferenciada, cuerpo blando, ligeramente segmentado de color blanquecino, y mandíbulas esclerosadas y pequeñas con forma de gancho y sin dientes marginales. A las pupas se les puede reconocer el sexo porque las que dan origen a la hembra tienen la base de la cubierta de la antena en ángulo recto, a diferencia del macho que lo tiene menos angulado; además, la punta del abdomen de la pupa hembra es aguda y la del macho redondeada (Fig. 3.3a). Los adultos tienen un cuerpo de color verde metálico y patas de color crema (Figs. 3.3b, c). Hay dimorfismo sexual: las hembras miden 1.88-2.36 mm de longitud y los machos 1.63-1.97 mm. Además, en las hembras las antenas geniculadas tienen 12 artejos y en los machos 10; las hembras presentan antenas oscuras y con alta pubescencia, en tanto que en los machos éstas son de color claro y menos pubescentes. Asimismo, en la hembra el segundo artejo antenal (*i.e.*, el pedicelo) es largo y ahusado, mientras que en los machos los primeros siete artejos son similares en forma y los últimos tres artejos forman una clava pequeña y oval, mientras el pedicelo es corto y dilatado. Las hembras, además, tienen un ovipositor evidente. Su tiempo de desarrollo varía entre temporadas del año debido a que está influenciado por la temperatura. La longevidad de los adultos es de 9 a 13 días.

a)



b)



c)



Figura 3.3. Morfología de la avispa *Psyllaephagus bliteus* parasitoide de la conchuela de los eucaliptos. (a) Pupa. (b) Aspecto ventral de un macho adulto. (c) Aspecto lateral de una hembra adulta. Fotos: Plascencia (2003).

3.4. Cultivo y cría de hospederos y parasitoides

3.4.1. *Cultivo de eucaliptos.* Con el fin de obtener parasitoides destinados al control biológico de *G. brimblecombei* se cultivaron ca. 3,500 plantas de *E. camaldulensis* en macetas de plástico de 25 cm de diámetro por 30 cm de largo. Las macetas, que contenían un planta cada una, fueron acomodadas sobre tierra en el Vivero Nezahualcóyotl (Del. Xochimilco). Las plantas fueron sometidas al siguiente manejo: (1) fertilización dos veces al año, con urea y/o triple 17 en proporción de un 1 g del fertilizante por 1 L de agua, hasta que la planta alcanzara una altura de 80 cm; (2) poda dos veces al año con el propósito de propiciar el desarrollo de follaje; (3) deshierbe cuatro veces al año, para mantener el vigor de la planta. Se utilizaron tres tipos de mezclas (por volumen) como sustrato: (1) corteza de pino (100%); (2) tierra negra (50%), cascarilla de arroz (25%) y bagazo de caña (25%); y (3) tierra negra (50%), caña de arroz (20%), bagazo de caña (20%) y tezontle (10%).

3.4.2. *Producción de insectos*. Con el fin de llevar a cabo la reproducción de *P. bliteus* se utilizaron 100 cajas de 100 cm de alto × 40 cm de ancho × 40 cm de profundidad con marcos y base de madera, paredes laterales y techo de vidrio y cara frontal y posterior de malla de tela de organza (Fig. 3.4). Las cajas tenían en su puerta un orificio en el que se coloca una manga de manta que permite la introducción del brazo. La puerta tiene un sello de hule espuma que garantiza su hermeticidad. Las cajas fueron colocadas dentro de un invernadero de 15 m × 8 m × 10 m de alto, con malla sombra del 70% en todo el contorno y plástico en el techo (Fig. 3.4), el cual se mantuvo a una temperatura de entre 4 y 28°C. Para bajar las temperaturas altas (> 25°C) se utilizaba un ventilador industrial de 51 cm de diámetro, 127 V y 1/3 de caballos de fuerza, sobre todo cuando se iniciaba la cría de parasitoides (ver abajo), que era cuando éstos eran más sensibles a dicho factor. La temperatura se monitoreaba dos veces al día entre las 9:00 y las 14:00 h. La humedad no fue controlada ni monitoreada en ninguna fase de la crianza.



Figura 3.4. Aspecto del interior del invernadero y de las cajas de cría. Foto: M.T. Cantoral-Herrera.

3.4.3. *Proceso de infestación de la planta.* En cada una de las 100 cajas de cría se introdujeron tres plantas de *E. camaldulensis* de 80 cm de altura obtenidas de las macetas, las cuales posteriormente fueron infestadas *in situ* con 10 a 25 adultos de psílicos obtenidos en cinco áreas verdes de la Ciudad de México localizados en las delegaciones Xochimilco, Coyoacán, Tláhuac y Tlalpan. Para infestar las cajas se introdujo una hoja de eucalipto dentro de un tubo de ensayo que contenía adultos de *G. brimblecombei* (ver Fig. 1.5). Se esperaba un lapso de tiempo de ca. 8 semanas que es el tiempo que tarda el desarrollo de *G. brimblecombei* (32 a 55 días; Sánchez, 2003). En ese lapso de tiempo se podía lograr una producción de ca. 500 ninfas por caja. Para acelerar el proceso de infestación se introducían a las cajas ramillas de eucalipto infestadas con psílicos.



Figura 1.5. Método de infestación de eucaliptos por psílicos (*Glycopsis brimblecombei*). Foto: M.T. Cantoral-Herrera.

3.4.4. *Inoculación y producción de parasitoides.* Entre la tercera y cuarta semana posterior a la infestación de eucaliptos con adultos de *G. brimblecombei* (ver subcapítulo 3.3.3) se introdujeron de 15 a 20 parasitoides por caja, en igualdad de

sexos. Los primeros parasitoides fueron obtenidos del Center for Biological Control de la Universidad de California (Berkeley) a cargo del Dr. Donald L. Dahlsten. A estos parasitoides se les proporcionaba como alimento una mezcla de miel diluida al 80% que se colocaba en forma de gotas de 1 mm de diámetro sobre una mica de plástico. Con este método se pudo obtener una cantidad suficiente de parasitoides en el lapso de 5 semanas (ca. 100 por caja), ya que el ciclo de vida del insecto parasitoide dura de 15 a 47 días, dependiendo de la temperatura (Sánchez, 2003).

Los nuevos adultos parasitoides que emergían se extraían con un aspirador entomológico y se almacenaban en tubos de ensayo donde eran alimentadas con miel diluida al 80% y depositada en forma de gotas en tiras de papel encerado o papel de fotografía. Los tubos se almacenaban a un rango de temperaturas de 2 a 28°C en un laboratorio.

3.4.5. Liberación de parasitoides para control biológico. Los insectos se transportaron a los sitios de liberación en tubos de ensayo de fondo plano con tapón de gasa con algodón, en cantidades máximas de 35 individuos (20 hembras y 15 machos de 1 o 2 días de emergidos). Los tubos se transportaban en hieleras con el propósito de mantenerlos a una temperatura constante. En el sitio de liberación se seleccionaron diez árboles que estuvieran altamente infestados por conchuelas, donde se procedieron a destapar los tubos de ensayo.

En cada uno de los 16 sitios, entre el 24 de junio de 2003 y el 9 de noviembre de 2005 se liberaron parasitoides al menos una vez, aunque siguieron liberándose ejemplares hasta el 12 de septiembre de 2007 (ver Apéndice 1), que fue la fecha en la que terminó el programa. En total, cada sitio fue sometido, en el

período 2003-2007, a entre uno y nueve eventos de liberación (Tabla 3.2), en cada uno de los cuales se liberaron entre 175 y 911 ejemplares. El sitio de monitoreo donde se liberó el mayor número de parasitoides fue el Parque Las Águilas (Delegación Álvaro Obregón) con 3,952 parasitoides en nueve ocasiones, en tanto que, el sitio donde se liberó la menor cantidad fue en Campo Militar No.1 "El Vergel" (Delegación Iztapalapa) con 480 en dos ocasiones (Tablas 3.2 y 3.3).

Tabla 3.2. Número de eventos de liberación al que fue sometido cada uno de los 16 sitios seleccionados entre 2003 y 2007.

SITIO DE MONITOREO	No. de liberaciones					No. total
	2003	2004	2005	2006	2007	
Parque Las Águilas	4	1	2	1	1	9
Parque Tezozómoc	1			2	1	4
Parque Hundido		1		1	1	3
Bosque de Tetlameya		1	1	5		7
Parque San Francisco	1	2	1			4
Conjunto Habitacional Tlatelolco		1	1	1	1	4
Bosque San Juan de Aragón	1	1	1			3
Magdalena Mixhuca			1	1		2
Campo Militar No.1 "El Vergel"	1	1		1		3
Foro Cultural		1		1		2
Bosque de Chapultepec	1	2	1	1		5
Av. Nuevo León		1				1
Bosque de Tlalpan		1	3	1	1	6
Bosque de Tláhuac	7				1	8
Alameda Oriente	2	1		2	1	6
Bosque de Nativitas	2			1	1	4
No. Total	20	14	11	18	8	71

Tabla 3.3. Número acumulado de ejemplares de *Psyllaephagus bliteus* liberados cada año en 16 sitios de monitoreo localizado en la delegación señalada en el periodo 2003 a 2007.

SITIO DE MONITOREO	2003	2004	2005	2006	2007	TOTAL
Parque Las Águilas	1700	368	1029	382	473	3952
Parque Tezozómoc	303	0	0	1222	380	1905
Parque Hundido	0	300	0	250	475	1025
Bosque de Tetlameya	0	883	857	2973	0	4713
Parque San Francisco	631	1476	450	0	0	2557
Conjunto Habitacional Tlatelolco	0	646	431	615	365	2057
Bosque San Juan de Aragón	467	572	353	0	0	1392
Magdalena Mixhuca	0	505	656	734	0	1895
Campo Militar No.1 "El Vergel"	305	0	0	175	0	480
Foro Cultural	0	268	0	566	0	834
Bosque de Chapultepec	313	1507	233	648	0	2701
Av. Nuevo León	0	532	0	0	0	532
Bosque de Tlalpan	0	432	1795	517	250	2994
Bosque de Tláhuac	2958	0	0	0	360	3318
Alameda Oriente	852	866	0	814	397	2929
Bosque de Nativitas	569	0	0	235	240	1044
Total	8,098	8,355	5,804	9,131	2,940	34,328

En total se hicieron 71 liberaciones en los 16 sitios seleccionados entre 2003 y 2007, sumando un total de 34,328 ejemplares (Tabla 3.3). El número de liberaciones y de ejemplares liberados varió entre sitios en función de la disponibilidad de parasitoides y del número de áreas verdes con eucaliptos que tuviese cada delegación política.

Este sistema de liberación en los sitios seleccionados estuvo acompañado de un programa general de control biológico que incluyó, en el período de estudio, un total de 38 sitios adicionales que estuvieron sujetos a liberación de parasitoides, al menos un evento. Las fechas y sitios de liberación de estos

ejemplares, así como la cantidad de parasitoides liberados se muestran en el Apéndice 2. La producción total de parasitoides del programa general de control biológico realizado entre junio de 2003 y septiembre de 2007 fue de 44,726 insectos y fue programada con base en las peticiones de liberación solicitadas por cada delegación política, quienes, a su vez, se basaban en la gravedad de las infestaciones en cada una de sus áreas verdes. El número de parasitoides producido en cada año se presenta en la Tabla 3.4. Durante los cinco años de desarrollo del proyecto se tuvo una mortalidad de 2,131 parasitoides adultos debido a contaminación por hongos o temperaturas extremas.

Tabla 3.4. Número de individuos de *Psyllaephagus bliteus* producidos en cajas de cría para la ejecución de este proyecto.

Año	No.
2003	8,503
2004	12,277
2005	8,482
2006	11,290
2007	4,174
Total	44,726

3.4.6. Monitoreo de poblaciones de insectos: densidad poblacional y razón sexual.

Con el fin de determinar las variaciones temporales en la densidad poblacional y razón sexual de *G. brimblecombei* y de su parasitoide *P. bliteus* se llevó a cabo un programa de monitoreo de ambas poblaciones.

En cada sitio de monitoreo se seleccionaron 10 árboles de eucalipto con altos niveles de infestación por el psílido. En cada árbol se colocó una trampa entomológica adherente. Dichas trampas consistían en dos tapas de plástico transparente de 10 cm de diámetro para vasos de unisel (REYMA®, León,

Guanajuato). Una tapa era pintada con pintura en aerosol de color amarillo seguridad (Comex®, México, D.F.) por la cara en la que se ensambla el segundo disco cubriendo la cara pintada de amarillo del primer disco. Cada trampa, antes de ser colocada, fue cubierta con una capa fina de aceite de motor (MOBIL OIL®, México, D.F.) que funciona como adherente. Cada trampa se colgó verticalmente sujeta en su parte superior con un alambre flexible de 1 mm de diámetro al follaje de la copa de los árboles infestados, a una altura de entre 2 y 5 m, procurando que la trampa quedara expuesta a las ramas infestadas por el psílido.

Las trampas se cambiaban cada 15 días entre abril de 2003 y diciembre de 2006, excepto en la localidad de Parque San Francisco (Delegación Cuajimalpa) cuyo monitoreo terminó en diciembre de 2005, debido a ausencia de personal responsable en esta demarcación. Las que eran removidas se revisaban en laboratorio para contar el número de psílicos machos y hembra adultos y parasitoides machos y hembras adultos adheridos a cada trampa, durante 2003 con ayuda de una lente de aumento y, posteriormente, con un microscopio estereoscópico. Los conteos de psílicos se realizaron con ayuda de una plantilla circular dividida en doce secciones iguales, que se colocó en la parte inferior de la trampa adhesiva con el fin de facilitar el conteo.

Desafortunadamente, el conteo de adultos de *G. brimblecombei* no fue eficiente bajo las lentes de aumento, pues se tuvo una subestimación, ya que sólo con el microscopio se pudo diferenciar a los adultos de esta especie con los de *Calophya rubra* (Blanchard) y de *Blastopsylla occidentalis* Taylor (Hemiptera: Psyllidae), que también eran capturados por las trampas. Por esta razón, los datos

de densidad poblacional de *G. brimblecombei* en 2003 no fueron tomados en cuenta; sin embargo, sí se consideraron para calcular la razón sexual.

Para determinar si la razón sexual de cada insecto difiere de 1:1 se aplicaron pruebas de χ^2 a los datos agrupados de cada año.

3.4.7. Monitoreo de los niveles de parasitoidismo. Con el fin de determinar la variación temporal de los porcentajes de parasitoidismo que sufre *G. brimblecombei* por parte de *P. bliteus*, se colectaron ramillas infestadas por las conchuelas. En cada sitio se colectaron cinco ramillas de 30 cm de longitud localizadas a una altura de entre 2 y 5 m provenientes de distintos individuos. Las ramillas seleccionadas debían presentar brotes, hojas de edad intermedia y hojas maduras. Las ramillas se llevaban al laboratorio, y de cada una se seleccionaron tres hojas maduras, tres de mediana edad y la hoja más joven para ser revisadas para contabilizar el número de momias (*M*, i.e., cadáveres de ninfas del último estadio muertas por parasitoides), el número total de ninfas sanas (*S*) y el de ninfas infestadas por parasitoides (*I*), durante 2003 con ayuda de una lente de aumento y, posteriormente, con un microscopio estereoscópico. Tales cuantificaciones se realizaron mensualmente, desde julio de 2003 hasta mayo de 2007.

Se calculó el porcentaje de parasitoidismo (**%P**) en cada mes mediante **%P = (M + I)/(M + I + S)**, donde: **M** es el número de cadáveres de ninfas muertas por parasitoides, **I** es el número de ninfas infestadas por parasitoides, y **S** es el número total de ninfas sanas.

IV. RESULTADOS

4.1. Variación temporal de la densidad

En las trampas adhesivas de los 16 sitios de monitoreo se capturó, entre 2003 y 2006, un total de 283,881 ejemplares de *G. brimblecombei* (88,618 hembras y 195,263 machos). Asimismo, se pudo contabilizar 26,909 ejemplares de *P. bliteus* (18,779 hembras y 8,130 machos). Estos datos se obtuvieron con la lectura de un total de 19,973 trampas entomológicas adhesivas recuperadas a lo largo del proyecto. En las 16 localidades estudiadas se estableció de manera exitosa el parasitoide *P. bliteus*, lo cual se corroboró por su presencia sostenida en éstas en todos los muestreos quincenales.

La densidad poblacional de *G. brimblecombei* durante 2004 presentó valores que variaron entre 8.7 ind/trampa en octubre y 25.8 ind/trampa en abril (promedio anual: $13.5 \pm \text{d.e. } 3.2$ ind/trampa, $n = 52$), los cuales fueron, en general, descendiendo hasta alcanzar, en el último semestre de 2006, valores que variaron de 6.8 (en julio) a 0.2 ind/trampa (en diciembre) (promedio: 3.2 ± 1.9 ind/trampa, $n = 25$), lo cual significa una reducción del 76.3% en el tamaño poblacional (Fig. 4.1). Sin embargo, se detectaron muestreos en los cuales se registran elevaciones en los tamaños poblacionales que se salen del patrón de reducción general, pues se registran altas densidades en mayo de 2005 (11.5 ind/trampa), septiembre de 2005 (10.7 a 11.0 ind/trampa) y enero y febrero de 2006 (10.6 y 18.4 ind/trampa).

Tal como se observa en la Fig. 4.1, el decremento poblacional de *G. brimblecombei* está relacionado con el aumento que experimenta la población de su parasitoide *P. bliteus*. Asimismo, se registran las oscilaciones asincrónicas

entre ambas poblaciones que son típicas de los sistemas depredador-presa (MacLulich, 1937; Huffaker, 1958; Begon *et al.*, 1995; Bjørnstad y Grenfell, 2001; Ellner *et al.*, 2001; Yoshida *et al.*, 2003). Se debe recordar que el conteo de adultos de *G. brimblecombei* durante 2003 no fue tomado en cuenta debido a que con el equipo utilizado (lentes de aumento), no se podía diferenciar a los adultos de esta especie con los de *C. rubra* y de *B. occidentalis*, los cuales constituían alrededor del 30% de los ejemplares en las muestras.

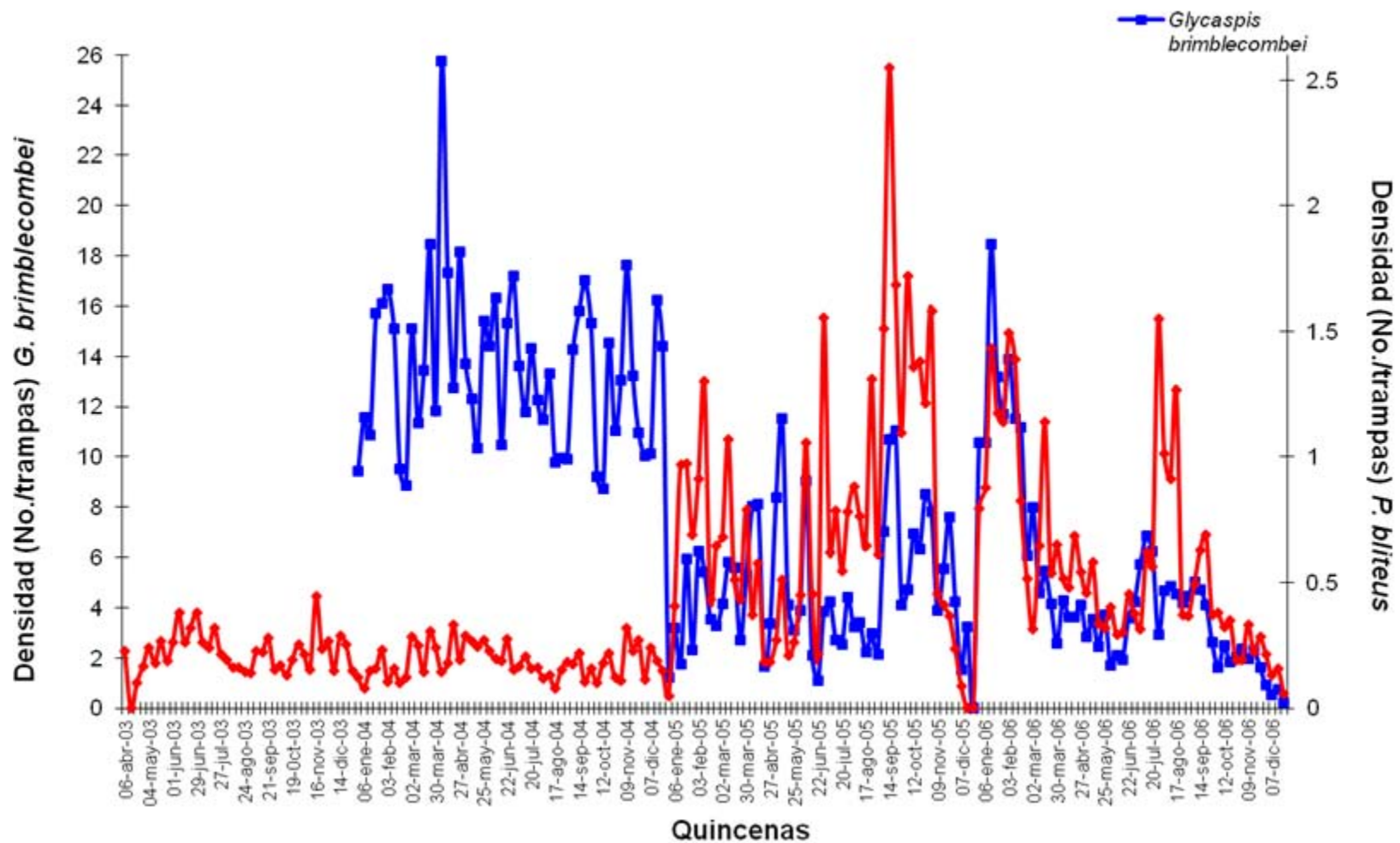


Figura 4.1. Cambio quincenal de las densidades de insectos adultos tanto de la plaga de los eucaliptos, el hemíptero *Glycaspis brimblecombei* (líneas azules) como de su parasitoide, el himenóptero *Psyllaephagus bliteus* (líneas rojas) en el periodo 2003-2006. Datos promedio de 16 sitios localizados en distintas delegaciones del Distrito Federal

4.2. Niveles de parasitoidismo

En el follaje colectado entre julio de 2003 y junio de 2007 en los 16 sitios de monitoreo se contabilizaron 63,984 ninfas aparentemente sanas (ya que la oviposición se hace en ninfas de tercero y cuarto estadio), 8,426 ninfas parasitadas y 31,177 momias. Durante el periodo de estudio se detectó un incremento continuo en los niveles de parasitoidismo de las ninfas de *G. brimblecombei* (Fig. 4.2). La ecuación que describe el patrón de cambio de la fracción de individuos parasitados (y) en función del tiempo (x) fue $y = 0.0058x + 0.087$ ($F_{1,46} = 117.280$, $P < 0.001$; $r^2 = 0.718$), considerando a julio de 2003 como el mes 1. Los porcentajes de parasitoidismo iniciales, en 2003, variaron entre 2.7 y 7.3% (promedio: $4.7 \pm \text{d.e. } 1.7\%$, $n = 6$) y, alcanzaron en los últimos 12 meses de monitoreo, valores que variaron entre 25.6%, registrado en junio de 2007, y 39.4%, registrado en septiembre de 2006 (promedio: $31.3 \pm 5.0\%$, $n = 12$).

4.3. Razón sexual

En la mayoría de los años de estudio, el parasitoide *P. bliteus* presentó valores de razón sexual en los cuales dominan las hembras, los cuales variaron entre 1 macho:1.32 hembras en 2003 hasta 1:1.97 en 2005; sin embargo, en 2004 se registró un valor que no difiere significativamente de la razón 1:1 (Tabla 4.1). Por otro lado, en dos de los años de estudio, el psílido *G. brimblecombei* presentó valores de razón sexual en los cuales dominan los machos (3.040:1 y 2.992:1, en 2003 y 2004, respectivamente); no obstante, en 2005 su razón sexual se inclinó

significativamente hacia una mayor frecuencia de hembras (1:1.049) y en 2006 la razón sexual no difirió significativamente de 1:1 (Tabla 4.2).

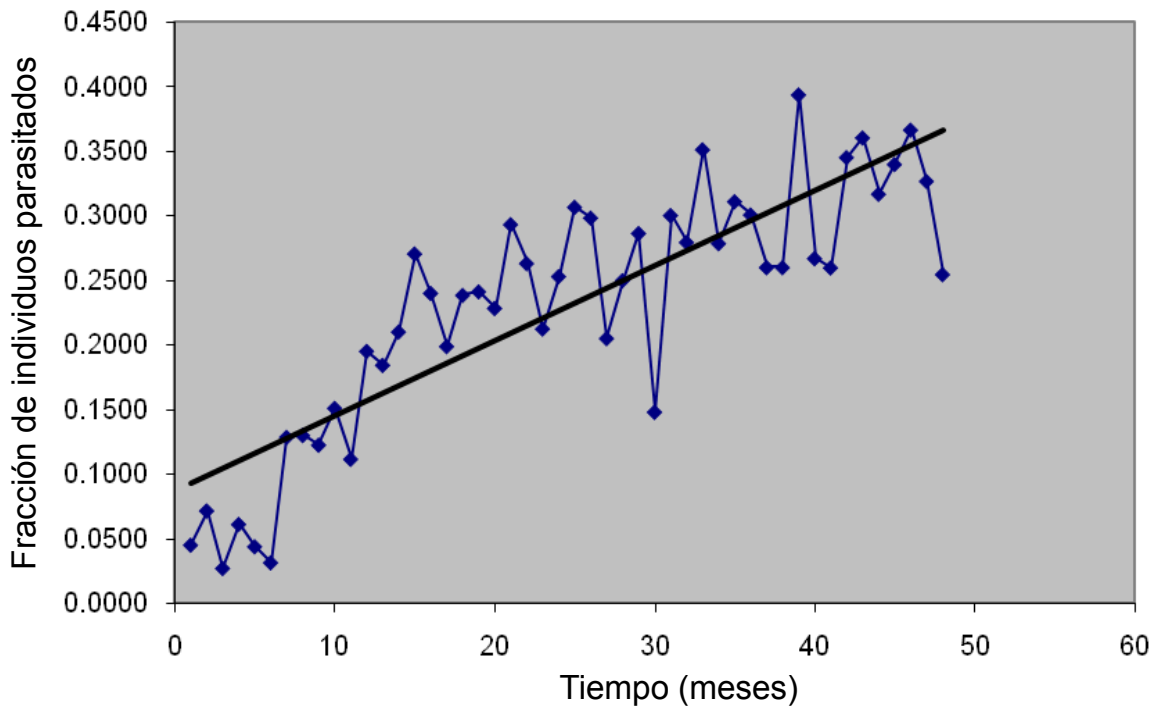


Figura 4.2. Cambio temporal de los niveles de parasitoidismo sufridos por *Glycaspis brimblecombei*, parásito de eucaliptos, a causa de *Psyllaephagus bliteus*. Datos promedio de 16 localidades del Distrito Federal. La ecuación que describe la recta de ajuste es $y = 0.0058x + 0.087$ ($F_{1,46} = 117.280$, $P < 0.001$; $r^2 = 0.718$).

Tabla 4.1. Razón sexual de *Psyllaephagus bliteus*, parasitoide de *Glycaspis brimblecombei*, en cuatro años estudio (datos anuales agrupados de 16 sitios de monitoreo del Distrito Federal. Los resultados de χ^2 evalúan la hipótesis de una razón sexual 1:1; g.l.=1. *N* = número de individuos colectados; N.S. = no significativo.

AÑO	Razón sexual	<i>N</i>	χ^2	<i>P</i>
Machos:hembras				
2003	1:1.316	1276	87.73	<0.001
2004	1:1.018	1241	0.07	N.S.
2005	1:1.970	5239	558.79	<0.001
2006	1:1.710	4358	299.26	<0.001

Tabla 4.2. Razón sexual de la conchuela del eucalipto, *Glycaspis brimblecombei*, en cuatro años de estudio. Datos anuales agrupados de 16 sitios de monitoreo del Distrito Federal. Los resultados de χ^2 evalúan la hipótesis de una razón sexual 1:1; g.l.=1. *N* = número de individuos colectados; N.S. = no significativo.

AÑO	Razón sexual	<i>N</i>	χ^2	<i>P</i>
Machos:hembras				
2003	3.040:1	118,819	30,291.12	<0.001
2004	2.992:1	95,827	23,877.33	<0.001
2005	1:1.049	40,400	23.29	<0.001
2006	1:1.017	28,797	1.98	N.S.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

5.1. Cambios en los tamaños poblacionales y porcentaje de parasitoidismo

En este estudio se encontró que (Figs. 4.1 y 4.2): (1) hay fluctuaciones acopladas entre el parasitoide (*P. bliteus*) y la plaga (*G. brimblecombei*), (2) las densidades poblacionales de la plaga se redujeron entre enero de 2004 y diciembre de 2006, (3) las densidades del parasitoide se incrementaron entre abril de 2003 hasta mediados de septiembre de 2005, fecha a partir de la cual en general se redujeron hasta alcanzar otra vez bajas densidades en diciembre de 2006; y (4) los niveles de parasitoidismo (esto es, % de conchuelas parasitadas) se incrementaron casi de manera lineal entre julio de 2003 y junio de 2007. Las fluctuaciones que presentan las densidades poblacionales se deben al comportamiento del parasitoide (*P. bliteus*) y del hospedero (*G. brimblecombei*). Ambas aumentan y disminuyen en ciclos desfasados pero acoplados, ya que la disminución en la densidad poblacional del hospedero (*G. brimblecombei*) ocasiona una disminución en el tamaño de la población de *P. bliteus*; y esta disminución del parasitoide conlleva a un incremento en la abundancia de su hospedero, tal como registran las dinámicas de muchos sistemas depredador-presa (ver Begon *et al.*, 2006). Estas oscilaciones acopladas se han presentado en el sistema *G. brimblecombei*-*P. bliteus* a lo largo de los cuatro años de estudio, las cuales continuarán posiblemente de manera indefinida; sin embargo, una vez que los parasitoides se establezcan, se podría esperar que *P. bliteus* mantenga los tamaños poblacionales de *G. brimblecombei* dentro de ciertos límites, registrando ciclos de

muy pequeña amplitud, tal como sugiere Huffaker (1985) al discutir que la premisa del control biológico descansa en que bajo ciertas circunstancias muchas poblaciones son llevadas a bajas densidades por sus enemigos naturales. Este efecto implica una supresión de tipo densodependiente que se traduce como el mantenimiento de ambas poblaciones en equilibrio (Huffaker, 1985). Bajo este concepto, la población del enemigo natural depende de la población de la plaga, lo que significa que la interacción de poblaciones refleja una regulación y no un control total (Summy y French, 1988; Rodríguez del Bosque, 1991). Ello se sostiene también con los datos de los tamaños poblaciones promedio anuales de la plaga de la conchuela del eucalipto (*G. brimblecombei*), que fueron disminuyendo a lo largo del período de estudio, lo cual refleja un éxito del programa ejecutado. El parasitoide, por su parte, se estableció exitosamente manteniendo un crecimiento poblacional sostenido hasta alcanzar un pico de valores máximo en septiembre de 2005, fecha a partir de la cual se mantuvo una reducción en su tamaño poblacional debido al decremento paulatino de la densidad poblacional de su hospedero.

Otro indicador del éxito del programa de control biológico ejecutado, es el hecho en que se ha incrementado de manera casi lineal el porcentaje de parasitoidismo (Fig. 4.2). Se espera, sin embargo, que este parámetro a largo plazo llegue a un techo a partir del cual éste se mantenga en valores más o menos constantes. Este techo se sugiere porque la forma de la gráfica señalada en la Fig. 4.2 no es completamente lineal sino que se esboza una asíntota. No obstante, sería deseable seguir haciendo monitoreos esporádicos para evaluar si esta predicción es correcta.

Al comparar la relación entre el cambio temporal de los tamaños poblacionales de *G. brimblecombei* y *P. bliteus* (Fig. 4.1) con el que registran los porcentajes de parasitoidismo (%*P*) se encuentra lo siguiente. Mientras se incrementa %*P* hay en general una reducción en el tamaño poblacional del hospedero. No obstante, se observa que el patrón de incremento del porcentaje de parasitoidismo también tiene un componente oscilatorio, lo que sugiere que la dinámica poblacional del hospedero tiene un efecto, aunque limitado, sobre el patrón de cambio del %*P*. Por otro lado, el %*P* no tiene relación alguna con la forma de campana en que cambia, en lo general, la densidad del parasitoide. En resumen, el %*P* tiende a aumentar debido a la disponibilidad de hospederos con el que se encontró en los hábitats de arbolado urbano del D.F., y éste, además, es parcialmente afectado por la variación temporal en la densidad de los hospederos, pero no por la densidad de parasitoides.

Van Driesche (1983) señala que, aunque el porcentaje de parasitoidismo ha sido un parámetro utilizado comúnmente para determinar la importancia de un parasitoide en la dinámica poblacional de su hospedero, existen muchas situaciones en que este indicador puede ser afectado por procesos fenológicos (Rodríguez del Bosque, 1991). Por ejemplo, observaciones sobre la baja incidencia del parasitoide *P. bliteus* y la plaga de conchuela del eucalipto en programas de control biológico aplicados en Aguascalientes, Ags., Gómez Palacio, Dgo., Torreón, Coah. y Chihuahua, Chih. se atribuye a que la desecación del follaje por heladas deja sin alimento al psílido en forma súbita y por un tiempo prolongado (Arcos, 2003), lo cual necesariamente afecta también al parasitoide. Con ello, es probable que en la interacción *G. brimblecombei*-*P. bliteus* exista un

efecto de los factores físicos. Se sabe, por ejemplo, que la fecundidad de los insectos está modulada por diversos factores, entre los que se encuentran la temperatura, la duración del día y la estación del año (Mehrnejad y Copland, 2005). Hodkinson (2008), por ejemplo, encontró, que las poblaciones de *P. bliteus* son afectadas por la temperatura, pues a una temperatura media de 20.9°C la población se incrementa, pero cuando ésta baja a 16.1°C, éstas disminuyen.

Las densidades registradas de *Psyllaephagus bliteus* en el programa de control biológico ejecutado en Los Ángeles fueron más altas (15-200 hembras/trampa; Dahlsten *et al.*, 2002) que las que se registraron en este estudio (15-33 hembras/trampa). Factores particulares de cada sitio puede que estén afectando la densidad de las poblaciones de este insecto. Coulson y Writter (1990) discuten estos factores, entre los que se hallan el clima y el tiempo meteorológico, la susceptibilidad del hospedero, la calidad de los hábitats, el parasitismo, las enfermedades y la competencia, en tanto que Badii *et al.* (2000) sostienen que la depredación es otro factor importante que afecta su densidad.

5.2. Evaluación del programa de control biológico

El caso de control biológico presentado en este trabajo debe ser calificado como exitoso, puesto que: (1) se ha reducido el tamaño poblacional del insecto plaga (*G. brimblecombei*), (2) el parasitoide está bien establecido en las 16 delegaciones del D.F., y (3) los niveles de parasitoidismo alcanzados al final del estudio fueron de 31%. El método de control biológico utilizado en este trabajo se centra en la regulación de la supervivencia de los estados inmaduros de la conchuela del eucalipto, la que, junto con la aplicación del control cultural (riego durante los

periodos prolongados de sequía); (obs. pers.), favorece la multiplicación y la acción de los parasitoides y evita la proliferación de la plaga. De no haberse realizado el control de la conchuela del eucalipto liberando a *P. bliteus* hubiera ocurrido una gran mortandad de eucaliptos poniendo en peligro la calidad del paisaje urbano y la seguridad en muchas áreas de la entidad. Se calcula que podrían haber muerto hasta un 35% de eucaliptos en el segundo año de establecida la conchuela en la Ciudad de México, lo cual habría ocasionado un costo económico muy alto, debido a los trabajos de retiro y sustitución de ejemplares (ver SMA, 2001). En California, según las estimaciones realizadas en las áreas con presencia de psílicos, la conchuela del eucalipto pudo ocasionar la muerte del 15% de los eucaliptos atacados en el primer año y del orden del 30 al 40% en el segundo año; sin embargo, por la acción del control biológico sólo se detectó un 10% de mortalidad en los cinco años de infestación (Brennan, 2000).

El control biológico cuando funciona posee muchas ventajas (Tejada, 1982; Summy y French, 1988), entre las que se pueden destacar: (1) el poco o nulo efecto nocivo colateral de los enemigos naturales hacia otros organismos incluido el ser humano; (2) rara resistencia de las plagas al control biológico; (3) por lo regular es permanente, (4) el tratamiento con insecticidas es reducido de forma sustancial, (5) la relación costo/beneficio es favorable, (6) evita plagas secundarias, y (7) no existen problemas con intoxicaciones. En términos económicos, los beneficios, cuando los hay, son tan buenos como los ecológicos, pues se ha calculado un retorno aproximado por cada dólar invertido en control biológico clásico de una plaga en relación 30:1, mientras que para el control químico la relación es de 5:1 (DeBach, 1977; Hokkanen, 1985). Según datos de

Greathead y Waage (1983), en California entre 1923 y 1959, se ahorraron 115.3 millones de dólares en cinco proyectos para el control de varias plagas, mientras que el gasto para lograrlo fue de 4.3 millones de dólares, es decir, por cada dólar invertido se ganaron 26.8. Ejemplos de éxito económico en el control de plagas también se ha registrado tanto en Australia (Greathead y Waage, 1983), como en Inglaterra, Sri Lanka y otras partes del mundo (Jetter *et al.*, 1997; Gutiérrez *et al.*, 1999; Guédez *et al.*, 2008). En las últimas décadas se aprecia que el número de éxitos completos se está incrementando, lo cual es un reflejo del conocimiento que se ha generado en relación a los procesos ecológicos y a una sólida experiencia empírica, por lo cual puede decirse que la disciplina está madurando (Hokkanen, 1985).

5.3. Razón sexual

En este estudio se encontró que las poblaciones del parasitoide *P. bliteus* registraron predominantemente una razón sexual inclinada a las hembras, y que hay una variación anual en este patrón, pues en el segundo año de estudio (2004) no hubo una razón sexual desviada significativamente de 1:1 (Tabla 4.1). Por otro lado, la conchuela del eucalipto, *G. brimblecombei*, registró en los primeros dos años de estudio una razón sexual sesgada a los machos, en el tercer año una razón sesgada a las hembras, y en el cuarto una que no difiere de 1:1 (Tabla 4.2). Esto sugiere que no hay un acoplamiento en las razones sexuales entre machos y hembras, tal como era de esperarse, pues ambas especies tienen una historia de vida distinta (ver sección 3.3 y Schowalter, 2006). Por otro lado, la variación anual en las razones sexuales podría indicar que hay condiciones ambientales distintas

entre años que favorecen la inclinación a un sexo u otro, así como la ausencia de sesgo, tal como ha sido sugerido por varios autores (García, 2004). Nylin y Gotthard (1998), por ejemplo, sugieren, que la razón sexual puede ser afectada por el fotoperiodo, la temperatura, la dieta y el riesgo de mortalidad.

Adicionalmente, los sesgos de la razón sexual de *P. bliteus* hacia las hembras están acordes con lo registrado para la mayoría de las avispas parasitoides (ver, p. ej., Hardy, 1994; González *et al.*, 2004), aunque las poblaciones de este parasitoide que se desarrollaron en Los Ángeles (Dahlsten *et al.*, 2000) y en Guadalajara (Villa e Iñiguez, 2002) se comportaron con un sesgo hacia los machos. Estas diferencias en la razón sexual que existen entre poblaciones de la misma especie puede también estar relacionada con las diferencias ambientales entre localidades (ver atrás); no obstante se requieren estudios que diluciden a qué factores particulares responde la razón sexual.

Por otro lado, al parecer, la razón sexual de *P. bliteus* no es afectada por los cambios en las densidades de su hospedero pues, aunque ésta se haya ido reduciendo con el tiempo de aplicación del programa de control biológico (ver Fig. 4.1), la razón sexual del parasitoide se mantuvo, en general, sesgado a las hembras (Tabla 4.1).

Badii *et al.* (2000) sugieren que es posible que existan factores genéticos de cada especie que regulan la proporción de sexos. Para analizar esto, ellos sugieren que se deberían considerar tres principales rasgos de historia de vida de los insectos que se estudian: el tamaño corporal de los adultos, el tiempo desarrollo y la tasa de crecimiento, así como las conexiones con la regulación del

ciclo de vida, la elección de la planta hospedera y la selección sexual en ambientes estacionales.

Este sesgo de *P. bliteus* hacia las hembras resulta benéfico a los programas de control biológico, ya que la mayor frecuencia de hembras en el medio asegura una mayor producción de huevos, lo que permite el establecimiento del parasitoide (ver, p. ej., Dahlsten *et al.*, 2000).

5.4. Recomendaciones

La ejecución de un trabajo como éste se realizó por presión de la ciudadanía, ya que en el Distrito Federal no se había visto a una especie forestal tan afectada por una plaga. Los ejemplares de eucalipto urbano afectados se veían defoliados, débiles y dañados por otras plagas aunadas a las del psílido, como es el caso de la chinche negra *Stenomacra marginella* Herrich-Schaeffer (Hemiptera: Largidae) y el insecto barrenador *Placosternus erythropus* (Chevrolat) (Coleoptera: Cerambycidae) (Martínez *et al.*, 2006). La población de la conchuela creció rápidamente y en forma desmedida (ver Fig.1.2). Debido a esto y a la alta cantidad de ejemplares de eucalipto existentes en todas las delegaciones del Distrito Federal es que algunas instituciones académicas y entidades gubernamentales, como la Secretaría del Medio Ambiente del D.F., la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Universidad Autónoma Chapingo, entre otras, decidieron poner en práctica el control biológico para salvar a los eucaliptos; no por los beneficios ambientales que proporciona al medio, sino porque la mortandad masiva de éste representaría un gasto considerable por la remoción de arbolado de alto riesgo y el desplome de los que se encontraran secos, basados en la experiencia de

control biológico realizado en California (ver Brennan, 2000). Lo primero que se hizo fue comunicar a los responsables de las áreas verdes de cada delegación política la problemática fitosanitaria que se presentaba en las áreas verdes del D.F., seguido de una evaluación al arbolado para determinar en lo más exactamente posible los sitios que tuviesen la mayor afectación. Así mismo, se realizó una difusión del problema fitosanitario utilizando los medios de comunicación (radio, prensa y televisión) con el objeto de concientizar a la ciudadanía respecto al problema existente. En conjunto con los responsables de áreas verdes por delegación, se determinaron los sitios más infestados, y posteriormente se ejecutaron las liberaciones del parasitoide *P. bliteus*. Para ello, se realizaron las gestiones necesarias para realizar la introducción del parasitoide a la Ciudad de México proveniente de Berkeley, California.

Al mismo tiempo que se seleccionaron las áreas más infestadas, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) prohibía la producción y movilización de plantas de eucalipto en viveros forestales del país (D. Cibrián, com. pers.). La reproducción del insecto parasitoide en invernadero se realizó siguiendo las consideraciones que marcó el paquete tecnológico realizado en la Universidad de Berkeley, California y solicitando a SEMARNAT y CONABIO la liberación del parasitoide. Para evaluar la efectividad del paquete tecnológico se utilizaron dos mecanismos de cuantificación: uno mediante trampas fijas (amarillas) para registrar la presencia de individuos adultos, y otro del follaje directamente para evaluar la población de *G. brimblecombei* y *P. bliteus* en estados inmaduros con el objetivo de determinar su establecimiento en el medio.

Para mejorar el monitoreo se sugiere que se añada al registro de los datos poblacionales, la recolección de datos de cada localidad (temperatura y humedad, altitud y número de personas destinadas al cambio de trampas). El cambio de trampas se realizaba cada 15 días y la lectura del follaje una vez al mes. Por lo anterior, es recomendable homogeneizar las fechas de lectura tanto de trampas como de follaje.

En resumen, para tener éxito en el desarrollo de un método de control biológico es necesario lo siguiente:

1. Realizar una adecuada campaña de difusión del problema que se tiene y de las acciones que se van a realizar.
2. Llevar a cabo una coordinación lo más cercana posible con las autoridades competentes.
3. Establecer con datos del comportamiento poblacional que puede seguir el insecto plaga y el insecto parasitoide, la cantidad y ubicación de los sitios de monitoreo.
4. Evaluar los resultados anualmente para conocer el comportamiento de ambos insectos para poder determinar con qué periodicidad se deben realizar nuevas liberaciones de parasitoides.
5. Liberar al insecto parasitoide en aquellos sitios que promuevan una mejor dispersión de éstos, ya sea por su ubicación o por su grado de afectación, independientemente de los sitios fijos de monitoreo.
6. Continuar con las liberaciones de insectos en sitios donde no se observe la presencia de parasitoides para asegurar su establecimiento.

5.5. Las bondades de los estudios a largo plazo

Este estudio se llevó a cabo en el período comprendido entre julio de 2003 a junio de 2007, lo cual permitió analizar con eficiencia el desarrollo de este programa de control; sin embargo, no resultan ser proyectos de investigación adecuados para obtener un posgrado. Esto se subsanaría permitiendo que varios estudiantes se incorporen continuamente en la toma de datos y vayan analizando, periodo a periodo, los resultados del control, del mismo modo que van documentando las nuevas acciones ejecutadas en el programa. En este sentido este trabajo es excepcional por el periodo de tiempo que abarca.

El desarrollo de proyectos de control biológico con monitoreo a largo plazo permite evaluar el programa continuamente y ajustarlo en función de los resultados obtenidos, en particular, para decidir si se incrementa la introducción de enemigos naturales y dónde se harán las nuevas liberaciones. Es claro que un estudio del efecto poblacional de parasitoides sobre sus presas será limitado si éste contempla sólo un año de datos. De hecho, para demostrar la efectividad de un programa de control biológico deben tomarse datos por tres años o más (DeBach, 1977). Sólo un estudio a largo plazo puede ayudarnos a declarar el éxito de un programa de control cuando se observa que la especie introducida se establece por sí misma en el medio en una escala ascendente (DeBach, 1977). No obstante, los proyectos de control biológico pueden tener distinta velocidad en lograr sus objetivos, pero aunque sean exitosos, una vez que termina el proyecto el control debe continuar indefinidamente (Van Driesche *et al.*, 2007).

5.6. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos se concluye que el programa de control biológico para controlar a la conchuela del eucalipto, *G. brimblecombei*, con liberaciones del parasitoide *P. bliteus* en el Distrito Federal a partir de 2003 fue exitoso, pues las densidades poblacionales de la plaga se redujeron entre 2003 y 2006 de $13.5 \pm \text{d.e. } 3.2$ ind/trampa a 3.2 ± 1.9 ind/trampa y se logró que el porcentaje de conchuelas parasitadas llegara a 39.4% en septiembre de 2006, lo cual está relacionado con el hecho de que las poblaciones de *P. bliteus* se incrementaron entre 2003 y 2005 alcanzando hasta una densidad de 2.6 ind/trampa en septiembre de 2005 y se detecta que su población está bien establecida en la entidad.

Tanto *P. bliteus* como la conchuela del eucalipto registraron una razón sexual que varió entre años debido probablemente a variaciones ambientales interanuales. No obstante, en *P. bliteus* esta razón sexual se inclinó generalmente a las hembras, en tanto que la de *G. brimblecombei* se inclinó con mayor frecuencia hacia los machos. No se encontró un acoplamiento entre especies en sus razones sexuales ya que tienen una historia de vida distinta. Asimismo, la razón sexual de *P. bliteus* no fue afectada por los cambios en las densidades de su hospedero.

Los estudios a largo plazo en los programas de control biológico de plagas es necesario para ajustar las acciones que se emprenden y lo viable es que puedan monitorearse con la participación de distintos estudiantes que den continuidad a este tipo de estudios.

LITERATURA CITADA

- Altieri, M.A., J. Trujillo, L. Campos, C. Klein-Koch, C.S. Gold y J.R. Quezada. 1989. El control biológico en América Latina en su contexto histórico. *Manejo Integrado de Plagas 12*: 82-107.
- Arcos, R.J. 2003. Fluctuación de poblaciones de los psílidos del eucalipto, *Glycaspis brimblecombei* Moore y *Blastopsilla occidentalis* Taylor en el Valle de México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo México.
- Arredondo-Bernal, H.C. 2006. Aportaciones del control biológico en México. Pp. 218-232, en: C.A. Ángel-Sahagún (ed.). *XVII Curso Nacional de Control Biológico*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria-Sociedad Mexicana de Control Biológico. Manzanillo, Colima.
- Arredondo-Bernal, H.C. y V.M. Hernández. 2002. Sinopsis: Situación actual del control biológico de plagas en México. Pp. 175-186, en: *XIII Memoria del Curso Nacional de Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Hermosillo, Sonora.
- Badii, M., L. Tejada., A. Flores, C. López y H. Quiroz. 2000. Historia, fundamentos e importancia. Pp. 3-17, en: M.H. Badii, A.E. Flores y L.J. Galán W. (eds.). *Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), San Nicolás de los Garza, N.L.
- Barrera, J.F. 2007. Introducción, filosofía y alcance del control biológico. Pp. 1-18, en: L.A. Rodríguez-del-Bosque y H.C. Arredondo-Bernal (eds.). *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México.
- Barrera, J.F., F. Infante, W. De la Rosa, A. Castillo y J. Gómez. 2000. Control biológico de la broca del café. Pp. 211-229, en: M.H. Badii, A.E. Flores y L.J. Galán W. (eds.). *Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), San Nicolás de los Garza, N.L.

- Begon, M. y R.G. Bowers. 1995. Beyond host–pathogen dynamics. Pp. 478–509, en: B.T. Grenfell y A.P. Dobson (eds.). *Ecology of Infectious Diseases in Natural Populations*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Begon, M., C.L. Townsend y J.L. Harper. 2006. *Ecology. From individuals to Ecosystems*. Blackwell Publishing Ltd., Malden.
- Bernal, J.S. 2007. Biología, ecología y etología de parasitoides. Pp. 61-74, en: L.A. Rodríguez-del Bosque y H.C. Arredondo-Bernal (eds.). *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 pp.
- Bjørnstad, O.N. y B.T. Grenfell. 2001. Noisy clockwork: time series analysis of population fluctuations in animals. *Science* 93: 638–643.
- Brennan, E.B. 2000. The effects of heteroblasty in *Eucalyptus globules* on herbivory by three species of psyllids. Tesis doctoral. University of California, Davis.
- Centro Geo. 2005. *Geo. Una visión del Sistema Urbano Ambiental*. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 70 pp.
- Carrillo-Sánchez, J.L. 1985. Evolución del control biológico de insectos en México. *Folia Entomológica Mexicana* 65: 139-146.
- Carver, M. 1987. Distinctive motory behavior in some adult psyllids (Homoptera: Psylloidea). *J. Aust. Ent. Soc.* 26: 369-372.
- Cibrián T., D. 2001. *Proyecto Ejecutivo para la Restauración Fitosanitaria de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal*. Comisión de Recursos Naturales, Banco Interamericano de Desarrollo, Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental, Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal CORENABID/AVSER/007/01.DGBUEASMA GDF, México. Depositado en la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales.
- Cibrián T., D. 2002. Conchuela del eucalipto *Glycaspis brimblecombei* Moore (Homoptera: Psylloidea; Spondyliaspidae) una nueva plaga del eucalipto introducida a México. Pp.

179-181, en: *Memoria del XXVIII Simposio Nacional de Parasitología Agrícola*. Acapulco, Guerrero, sep. 25-27.

Cibrián T., D., L. Arango, V. Arriola, J. Arcos, A. Plascencia, I. López, S. Sánchez, A. Curiel, C. Carrillo, B.D.J. Macías y W. Sánchez. 2002. Obras para la restauración fitosanitaria de las áreas verdes en el Valle de México. Convenio de colaboración CORENABID/AVSER/002/02. Reporte de Convenio entre el Gobierno de la Ciudad de México y la Universidad Autónoma Chapingo. Depositado en la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales, México.

Cibrián T., D., O.A. Pérez Vera, V.D. Cibrián y S.E. García. 2013. Diagnóstico y alternativas para la prevención, control y manejo de plagas y enfermedades que afectan las plantaciones forestales comerciales. Resultados del proyecto a agosto de 2013. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México.

Coulson, R.N. y J.A. Writter. 1990. *Entomología Forestal: Ecología y Control*. Limusa, México. 751 pp.

Dahlsten, D.L., D.L. Rowney, A.B. Lawson, W.E. Chaney, K.L. Robb, L.R. Costello y J.N. Kabashima. 2000. The red gum lerp psyllid, a new pest of *Eucalyptus* species in California. Pp. 45-50, en: S.M. Jones, D.M. Adams y J.E. Ríos (eds.). *Proceedings of the 48th Annual Meeting of the California Forest Pest Council*. Sacramento, California, nov. 16-17.

Dahlsten, D.L., D.L. Rowney, K.L. Robb, J.A. Downer, D.A. Shaw y J.N. Kabashima. 2002. Biological control of introduced psyllids on eucalyptus. Pp. 356-361, en: *Proceedings of the 1st. International Symposium on Biological Control of Artropods*. USDA Forest Service, Honolulu y Washington, D.C., ene. 14-18.

DeBach, P. 1977. *Lucha Biológica Contra los Enemigos de las Plantas*. Mundi-Prensa, Madrid.

DeBach, P. y D. Rosen. 1991. *Biological Control by Natural Enemies*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Dolling, W.R. 1991. *The Hemiptera*. Natural History Museum Publications. Oxford University Press, Nueva York.
- Ellner, S.P., E. McCauley, B.E. Kendall, C.J. Briggs, P.R. Hosseinik, S.N. Wood, A. Janssen, M.W. Sabelis, P. Turchin, R. M. Nisbetk y W.W. Murdochk. 2001. Habitat structure and population persistence in an experimental community. *Nature* 412: 538–543.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1979. *Eucalyptus for Planting*. FAO Forestry Series, Roma, Italia.
- García, A. 2004. Dimorfismo sexual en imagos del coleóptero cerambícido *Xylotrechus arvicola* Olivier. *Boletín de Sanidad Vegetal-Plagas* 30: 19-24.
- García J., J. 2003. Análisis económico del control biológico del psílido del eucalipto en la Ciudad de México. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, Montecillo, Edo. de México. 84 pp.
- García-Valente, F., L.D. Ortega-Arenas, H. González-Hernández, J.A. Villanueva-Jiménez, J. López-Collado, A. González-Hernández y H.C. Arredondo-Bernal. 2007. Control biológico de la cochinilla rosada del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* (Green) (Hemiptera: Pseudococcidae) en frutales de Bahía de Banderas, Nayarit. *Entomología Mexicana* 6: 488-492.
- González, J.M., J.B. Terán y R.W. Matthews. 2004. Review of the biology of *Melittobia acasta* (Walker) (Hymenoptera: Eulophidae) and additions on development and sex ratio of the species. *Caribbean Journal of Science* 40(1): 52-61.
- González-Hernández, H. y C. Pacheco-Sánchez. 2007. Métodos de evaluación de enemigos naturales. Pp.48-60, en: L.A. Rodríguez-del Bosque y H.C. Arredondo-Bernal (eds.). *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México.
- Granados-Sánchez, D. y G.F. López-Ríos. 2007. Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13(2):143-156

- Granados-Sánchez, D., M.A. Altieri, J. Trujillo, L. Campos, C. Klein-Koch, C.S. Gold y J.R. Quezada. 1989. El control biológico clásico en América Latina en su contexto histórico. *Manejo Integrado de Plagas* 12: 82-107.
- Greathead, D.J. 1995. Benefits and risks of classical biological control. Pp. 53–63, en: H.M.T. Hokkanen y J.M. Lynch (eds.). *Biological Control: Benefits and Risks*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Greathead, D.J. y J.K. Waage. 1983. *Opportunities for Biological Control of Agricultural Pests in Developing Countries*. Technical Paper Number 11. The World Bank, Washington, D.C. 44 pp.
- Guédez, C., C. Castillo, L. Cañizales y R. Olivar. 2008. Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Academia Trujillo Venezuela* 13: 50-74.
- Gutiérrez, A.P., L.E. Caltagirone y W. Meikle. 1999. Evaluation of results: economics of biological control. Pp. 243- 252, en: T.S. Bellows y T.W. Fisher (eds.). *Handbook of Biological Control*. Academic Press, San Diego, California.
- Hardy, I.C.W. 1994. Sex ratio and mating structure in the parasitoid Hymenoptera. *Oikos* 69: 3-20.
- Hoddle, M., D. Dahlsten, J. Kabashima, T. Paine, C. Wilen, J. Hartin, K. Robb, D. Shaw, H. Costa y W. Chaney. 2003. Biology and management of the redgum lerp psyllid, *Glycaspis brimblecombei*. Disponible en: <<http://commserv.ucdavis.edu/CESanDiego/redgumlp.pdf>>. Último acceso: 8 de junio de 2009.
- Huffaker, C.B. 1958. Experimental studies on predation: dispersion factors and predator–prey oscillations. *Hilgardia* 27: 343–383.
- Huffaker, C.B. 1985. Biological control in integrated pest management: an entomological perspective. Pp. 13-23, en: M.A. Hoy y D.C. Herzog (eds.). *Biological Control in Agriculture*. Academic Press, Nueva York.

- Hokkanen, H.M.T. 1985. Success in classical biological control. *CRC Crit. Rev. Plant. Sci.* 3: 35-72.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. 2010. *Mapas de Climas*. Disponible en: <http://mapserver.inegi.org.mx/geografia/espanol/estados/df/climas_map.cfm?c=444&e=25>.
- Jetter, K., K. Klonsky y C.H. Pickett. 1997. A cost/benefit analysis of the ash whitefly biological control program in California. *Journal of Arboriculture* 23: 65-72.
- Jiménez, E.J. 1958. El empleo de enemigos naturales para el control de insectos que constituyen plagas agrícolas en la República Mexicana. *Fitófilo* 21: 5-24.
- Liedo, P. y J. Cancino. 2000. Control biológico de moscas de la fruta. Pp. 231-242, en: M.H. Badii, A.E. Flores y L.J. Galán (eds.). *Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico*. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), San Nicolás de los Garza, N.L.
- López-Ríos, G.F. 2007. Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13: 143-156.
- MacLulich, D.A. 1937. Fluctuations in numbers of the varying hare (*Lepus americanus*). *University of Toronto Studies Biology Series* 43: 1-136.
- Martínez, G.L. y A. Chacalo. 1994. *Los Árboles de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Martínez, R.H., S. Azpiroz, J.L. Rodríguez, V. Cetina y M.A. Gutiérrez. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *Ra Ximhai* 2: 815-846.
- Meyerdirk, D.E., R. Warkentin, B. Attavian, E. Gersabeck, A. Francis y M. Adams y G. Francis. 2000. *Taller de Transferencia de Tecnología en Control Biológico de la Cochinilla Rosada del Hibiscus, Maconellicoccus hirsutus (Green)*. Dirección General de Sanidad Vegetal, Organización Norteamericana de Protección a las Plantas, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura y Sociedad Mexicana de Control Biológico, Colima, Col., feb. 8-10.

- Moore, K.M. 1970. Observations on some Australian forest insects. 23. A revision of the genus *Glycaspis* (Homoptera: Psyllidae) with descriptions of seventy-three new species. *Australian Zool.* 15(3): 248-297.
- Morgan, F.D. 1984. *Psylloidea of South Australia. Handbook of the Flora and Fauna of South Australia*. Government Printer, South Australia.
- Nylin, S. y K. Gothard. 1998. Plasticity in life-history traits. *Annual Review of Entomology* 43: 63-83.
- Paine, T.D., D.L. Dahlsten, J.G. Millar, M.S. Hoddle y L.M. Hanks. 2000. UC scientists apply IPM techniques to new eucalyptus pests. *California Agriculture* 54(6): 8-13.
- Plascencia, G.A. 2003. Aspectos bionómicos del parasitoide *Psyllaephagus bliteus* (Hymenoptera: Encyrtidae) y su interacción con su hospedante *Glycaspis brimblecombei* Moore (Psylloidea: Spondylaspididae). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Edo. de México.
- Rodríguez del Bosque, L.A. 1991. Teoría y bases ecológicas del control biológico. Pp. 6-19, en: L.A. Rodríguez del Bosque y R. Alatorre (eds.). *Memorias del II Curso de Control Biológico*. SMCB-UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Rodríguez-del-Bosque, L.A. y H.C. Arredondo-Bernal (eds.). 2007. *Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México.
- Romo L., J. L., J. García J., D. Cibrián T. y E. Serrano G. 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.
- Sánchez, B.S. 2003. Aspectos bionómicos del psílido del eucalipto, *Glycaspis brimblecombei* Moore (Homoptera: Psylloidea: Spondylaspididae). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 64 pp.
- Schowalter, D.S. 2006. *Insect Ecology. An Ecosystem Approach*. 2ª. edición. Elsevier, Amsterdam. 572 pp.

- SMA, Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. 2001. *Contra el Control del Eucalipto en el Distrito Federal*. Inédito. SMA, México.
- Smith, H.D., H.L. Maltby y E. Jiménez-Jiménez. 1964. Biological control of the citrus blackfly in Mexico. *USDA Technical Bulletin 1311*: 1-30.
- Stephan-Otto, E., A. Zlotnik y J. Ensástigue. 1999. *La Utilización del Eucalipto en la Reforestación Urbana y sus Desventajas*. Seminario Internacional "El Eucalipto, Impacto Ambiental, Tecnologías y Beneficios". Vivero San Luis Tlaxiátemalco, Xochimilco, D.F., oct. 14-15.
- Summy, K.R. y J.V. French. 1988. Biological control of agricultural pests: concepts every producer should understand. *J. Rio Grande Valley Hort. Soc.* 41: 119-113.
- Taylor, K.L. 1960. Additional information on the Australian genera of the family Psyllidae (Hemiptera: Homoptera). *Australian Journal of Zoology* 8: 383-391.
- Tejada, L.O. 1982. *Apuntes de Control Biológico*. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores, Monterrey.
- Van Driesche, R.G. 1983. Meaning of "percent parasitism" in studies of insect parasitoids. *Environ. Entomol.* 12: 1611-1622.
- Van Driesche, R.G., M.S. Hoddle y T.D. Center. 2007. *Control de Plagas y Malezas por Enemigos Naturales*. USDA Forest Service, Washington, D.C. 751 pp.
- Villa, C.J. y G. Íñiguez. 2002. *Análisis de la Problemática de la Plaga (Glycaspis brimblecombei Moore) que ataca al Eucalipto en México*. Memoria del Seminario Michoacano sobre la Problemática Ambiental de las Especies Introducidas. Caso *Eucalyptus*. Morelia, Mich., nov. 25.
- Wratten, S. y G. Gurr. 2000. *Measures of Success in Biological Control*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Yoshida, T., L.E. Jones, S.P. Ellner, G.F. Fussmann y N.G. Hairston. 2003. Rapid evolution drives ecological dynamics in a predator-prey system. *Nature* 424: 303-306.

Zapater, M.C. 1996. *El Control Biológico en América Latina*. Actas de la III Mesa Redonda de Control Biológico en el Neotrópico. SRNT/IOBC, Buenos Aires, Argentina.

Zuparko, B. 1996. Inventory of parasitic Hymenoptera. Disponible en:
<<http://www.mip.berkeley.edu/essig/holdings/parainv/hympage.htm>>.

Apéndice 1. Relación detallada de las fechas de liberación de parasitoides en cada una de los 16 sitios de monitoreo del Distrito Federal seleccionados entre 2003 y 2007. Se muestra el número de machos y hembras del parasitoide *Psyllaephagus bliteus* liberados en cada ocasión.

FECHA	DELEGACION	SITIO	No. de ejemplares liberados en 2003		
			Hembras	Machos	Total
2 de junio	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	117	63	180
24 de junio	Miguel Hidalgo	Bosque de Chapultepec	199	114	313
1 de julio	Venustiano Carranza	Jardín Chiapas	273	106	379
22 de julio	Azcapotzalco	Parque Tezozómoc	223	80	303
11 de agosto	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	236	38	274
22 de septiembre	Álvaro Obregón	Parque Ecológico Las Águilas	180	68	248
30 de septiembre	Álvaro Obregón	Parque Ecológico Las Águilas	156	144	300
3 de octubre	Venustiano Carranza	Jardín Chiapas	277	196	473
8 de octubre	Xochimilco	Bosque de Nativitas	170	161	331
10 de octubre	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	292	224	516
15 de octubre	Gustavo A. Madero	Zoológico de Aragón	284	183	467
22 de octubre	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	243	94	337
27 de octubre	Iztapalapa	El Vergel	183	122	305
4 de noviembre	Álvaro Obregón	Parque Ecológico Las Águilas	347	164	511
7 de noviembre	Cuajimalpa	Parque San Francisco	520	111	631
12 de noviembre	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	522	76	598
14 de noviembre	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	670	83	753
18 de noviembre	Xochimilco	Bosque de Nativitas	234	4	238
9 de diciembre	Álvaro Obregón	Parque Ecológico Las Águilas	445	196	641
19 de diciembre	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	208	92	300
		TOTAL	5,779	2319	8098

Apéndice 1. (Continúa).

FECHA	DELEGACION	SITIO	No. de ejemplares liberados en 2004		
			Hembras	Machos	Total
Enero 6	Álvaro Obregón	Parque Ecológico Las Águilas	329	39	368
Febrero 18	Cuajimalpa	Parque San Francisco	485	181	666
Febrero 20	Magdalena Contreras	Foro Cultural	193	75	268
Febrero 27	Iztapalapa	Campo militar No 1, El Vergel	434	71	505
Marzo 11	Cuauhtémoc	Tlatelolco	508	138	646
Abril 1	Tlalpan	Bosque de Tlalpan	310	122	432
Abril 30	Benito Juárez	Parque Hundido	185	115	300
Mayo04	Gustavo A. Madero	Bosque de San Juan de Aragón	382	190	572
Mayo 27,	Coyoacán	Bosque de Tetlameya	617	266	883
Junio 3	Cuajimalpa	Carr. Mex. Toluca Km. 17 y parque San Francisco	641	169	810
Junio 9	Miguel Hidalgo	Bosque de Chapultepec	681	230	911
Junio 24	Venustiano Carranza	Alameda Oriente	615	251	866
Julio 8	Milpa Alta	Av. Nuevo León	424	108	532
Septiembre 15	Miguel Hidalgo	El Sope, Bosque de Chapultepec	437	159	596
		TOTAL	6,241	2,114	8,355

Apéndice 1. (Continúa).

FECHA	DELEGACION	SITIO	No. de ejemplares liberados en 2005		
			Hembras	Machos	Total
7 de enero	Álvaro Obregón	Parque las Águilas	433	207	640
17 de enero	Tlalpan	Bosque de Tlalpan	199	78	277
19 de enero	Álvaro Obregón	Col. Lomas de Águilas	294	95	389
23 de febrero	Iztacalco	Deportivo Magdalena Mixhuca	498	158	656
29 de marzo	Cuauhtémoc	Tlatelolco	324	107	431
27 de julio de	Gustavo A. Madero	Bosque San J de Aragón	241	112	353
10 de agosto de	Tlalpan	Bosque de Tlalpan	206	92	298
29 de septiembre	Miguel Hidalgo	Bosque de Chapultepec	152	81	233
11 de octubre	Tlalpan	Bosque de Tlalpan	408	202	610
7 de noviembre	Coyoacán	Bosque de Tetlameya	536	321	857
9 de noviembre	Cuajimalpa	Parque San francisco	252	198	450
TOTAL			3543	1651	5194

Apéndice 1. (Continúa).

FECHA	DELEGACION	SITIO	No. de ejemplares liberados en 2006		
			Hembras		
13 de enero	Coyoacán	Bosque de Tetlameya	325	176	501
17 de enero	Magdalena Contreras	Foro Cultural y Unidad Independencia	354	212	566
28 de febrero	Cuauhtémoc	Tlatelolco	424	191	615
4 de mayo	Iztapalapa	El Vergel	126	49	175
9 de mayo	Xochimilco	Bosque de Nativitas	150	85	235
19 de mayo	Álvaro Obregón	Parque las Águilas	248	134	382
1 de junio	Coyoacán	Bosque de Tetlameya	622	223	845
19 de julio	Coyoacán	Bosque de Tetlameya	357	258	615
26 de julio	Coyoacán	Zoológico de los Coyotes	138	62	200
14 de agosto	Coyoacán	Bosque de Tetlameya	530	282	812
5 de septiembre	Venustiano Carranza	Jardín Chiapas	275	150	425
12 de septiembre	Miguel Hidalgo	Bosque de Chapultepec	413	235	648
22 de septiembre	Venustiano Carranza	Jardín Chiapas	294	95	389
10 de octubre	Azcapotzalco	Parque Tezozómoc	215	135	350
17 de octubre	Benito Juárez	Parque Hundido	183	67	250
15 de noviembre	Iztacalco	Magdalena Mixhuca	474	260	734
28 de noviembre	Azcapotzalco	Parque Tezozómoc	552	320	872
8 de diciembre	Tlalpan	Bosque de Tlalpan	378	139	517
		TOTAL	6058	3073	9131

Apéndice 1. (Continúa).

FECHA	DELEGACION	SITIO	No. de ejemplares liberados en 2007		
			HEMBRA	MACHO	TOTAL
17 de enero	Venustiano Carranza	Jardín Chiapas	285	112	397
15 de febrero	Cauhtémoc	Tlatelolco	250	115	365
16 de marzo	Álvaro Obregón	Parque Las Águilas	277	196	473
4 de abril	Benito Juárez	Parque Hundido	305	170	475
18 de abril	Azcapotzalco	Tezozómoc	245	135	380
8 de mayo	Tláhuac	Bosque de Tláhuac	220	140	360
24 de mayo	Tlalpan	Bosque de Tlalpan	160	90	250
12 de septiembre	Xochimilco	Bosque de Nativitas	150	90	240
		TOTAL	1892	1048	2940

Apéndice 2. Manejo de sitios adicionales de liberación de parasitoides (que fueron utilizados en el Programa General de Control Biológico de *G. brimblecombei*).

FECHA	DELEGACION	SITIO	Número de ejemplares		
			HEMBRA	MACHO	TOTAL
2004					
7 de mayo de 2004	Tlalpan	Fracc. Las Tórtolas	245	138	383
11 de junio 2004	Álvaro Obregón	Olivar	422	195	617
20 de julio 2004	Álvaro Obregón	Conafrut	180	533	713
5 de agosto 2004	Cuauhtémoc	La Raza	507	149	656
24 de agosto 2004	Coyoacán	Parque Villa Quietud	270	73	343
17 de noviembre 2004	Iztapalapa	Cerro de la Estrella	476	149	625
		TOTAL	8,341	3351	11,692
2005					
4 de octubre de 2005	Tlalpan	Tec de Monterrey y Periférico	406	229	635
7 de octubre de 2005	Gustavo A. Madero	Carmen Serdán e Insurgentes	452	211	663
4 de noviembre de 2005	Tlalpan		717	367	1084
15 de noviembre de 2005	Álvaro Obregón	Fraccionamiento Villa Verdún	171	72	243
18 de noviembre de 2005	Coyoacán	Camellón Calzada del Hueso; Galerías Coapa	169	90	259
TOTAL			5458	2620	8078
2006					
24 de mayo de 2006	Magdalena Contreras	Colonia El Tanque	197	64	261
7 de junio de 2006	Iztapalapa	Molino San Lorenzo Tezonco	471	167	638
9 de agosto de 2006	Coyoacán	Avenida Churubusco	473	249	722
TOTAL			7199	3553	10752
2007					
3 de julio de 2007	Tláhuac	Canal de Chalco	180	120	300
26 de julio de 2007	Tlalpan	Periférico	175	80	255
8 de agosto de 2007	Azcapotzalco	Hacienda el Dorado	155	70	225
28 de agosto de 2007	Benito Juárez	Av. Churubusco	170	85	255
			2572	1403	3975