



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

FENOLOGÍA DE LAS ABEJAS DE LA RESERVA
ECOLÓGICA DEL PEDREGAL DE SAN ÁNGEL Y SU
RELACIÓN CON LA FENOLOGÍA FLORAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

LUISA ALEJANDRA DOMÍNGUEZ ÁLVAREZ

TUTOR

DR. ZENÓN CANO SANTANA

2009





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

MULTITUD de la abeja!

Entra y sale
del carmín, del azul,
del amarillo,
de la más suave
suavidad del mundo:
entra en
una corola
precipitadamente,
por negocios,
sale
con traje de oro
y cantidad de botas
amarillas.

Perfecta
desde la cintura,
el abdomen rayado
por barrotes oscuros,
la cabecita
siempre
preocupada
y las
alas
recién hechas de agua:
entra
por todas las ventanas olorosas,
abre
las puertas de la seda,
penetra por los tálamos
del amor más fragante,
tropieza
con
una
gota
de rocío
como con un diamante
y de todas las casas
que visita
saca
miel
misteriosa,
rica y pesada
miel, espeso aroma,
líquida luz que cae en goterones
hasta que a su
palacio
colectivo
regresa
y en las góticas almenas
deposita
el producto
de la flor y del vuelo,
el sol nupcial seráfico y secreto!

Pablo Neruda (Fragmento, Oda a la abeja)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muy especialmente a los sinodales que revisaron este trabajo y que lograron que este proyecto que tardo en materializarse, llegase por FIN a su culminación. Gracias al Dr. Ricardo Ayala por su invaluable ayuda en la identificación de los especímenes de abejas, por sus comentarios y sugerencias al presente manuscrito y por ser la persona que abriera la puerta para enseñarme lo maravillosas que son las abejas. A la Dra. Olivia Yáñez, quién puso particular interés en la revisión de mi tesis, por sus observaciones y atinados comentarios, por los prestamos de material y libros. A la Dra. Karina Boege, por animarme a que este trabajo concluyera de la mejor manera posible. A la Dra. Adriana Otero, que leyó con mucho interés mi tesis y quien se ha convertido en una entrañable amiga. Al Dr. Zenón Cano-Santana, por haberme adoptado como hija académica, por haberme tenido paciencia en mis períodos de ausencia, porque siempre escuchó con mucho interés todas mis dudas, inquietudes e ideas y por haber logrado contener y detener mi mente dispersa para que este proyecto estuviese plasmado en papel. Le agradezco además su calidad como ser humano, su congruencia con la vida, y sus historias con las que siempre se aprenden muchas cosas. Gracias por demostrarme, con el ejemplo, que la sabiduría sin enseñanza no es nada.

A la Bióloga Yuriana Martínez Orea, por la identificación de los ejemplares de herbario, y por hacerme reír tanto con la revisión de sus notas.

A mis compañeras, amigas y cómplices en esta aventura pedregalera Fikita y Lety. A Rebeca Velázquez López (Fika), quien realizó su servicio social en este proyecto y ejecutó una labor equivalente a un servicio comunitario, al lado de un par de chifladas (Lety y yo), gracias por haberte convertido en mi amiga y gracias por poner un poco de orden a esos días de muestreo. A Lety Moyers (mi tocaya) quien de ser mi rival académica se convirtió en una de mis mejores amigas, gracias por alegrar tanto esos días en el Pedregal.

A Irisabel Flores Valencia, querida amiga, por la primera revisión para que este *in-forme* tuviera forma. A Paola García Meneses, por ser la mejor amiga que alguien pueda tener, por la revisión al manuscrito por tu ayuda con los comentarios que sin duda mejoraron

este trabajo porque la distancia nos ha separado, por estar a mi lado cuando más te he necesitado, por las analogías tan extrañas que haces de la vida y por todas las aventuras, viajes, prácticas de campo, alegrías y tristezas que hemos compartido.

Al Pedregal de San Ángel, por sorprenderme, por hechizarme y por revelarme un poco la manera en la cual funciona. Por poseer tantos encantos que sólo le son revelados a los que miran con atención.

A Saul por padecerme en mis locuras, por ayudarme tanto, por quererme tanto, por desvelarse conmigo, por ser el mago-cyber-informático que resuelve mis conflictos personales con las computadoras, por rescatarme de mi misma y liberarme de los obstáculos auto-impuestos, por compartir un proyecto de vida y por tener la seguridad de que la preocupación del uno por el otro no nos hará zigzaguear de manera indefinida en este mundo, por saber que cruzaremos nuestras miradas entre la lluvia, y que tendremos un lugar donde enterrar juntos nuestros huesos y combatir unidos desde alguna frontera los pigs on the wind.

DEDICATORIA

Dedico con especial cariño esta tesis a mis padres; los cuatro, los de herencia Mendeliana (Leticia y Ricardo) y los de herencia Lamarkiana, (Olga y Memo), que me han apoyado de diferente manera a lo largo de toda mi vida y a lo largo de mi carrera. Especialmente a mi madre por ser la mujer más valiente, trabajadora y amorosa que conozco, por creer en mí, por darme la libertad que le pedí, y que tal vez, como resultado me llevo a estudiar biología, gracias por tu confianza, tu apoyo, y tu amor; por ser una maravillosa contadora de historias y por el cuento de los frijolitos.

A mi padre, con quien puedo platicar de todas las cosas de la vida, las superficiales y las profundas y con quien comparto mucho de la admiración a la naturaleza. A mamá Olga, que me ha brindado desde siempre su cariño y apoyo incondicional. A Memo, por enseñarme a querer tanto a esta Máxima casa de estudios, por los paseos dominicales en Ciudad Universitaria. A mis hermanas, porque sabemos que nosotras mismas nos forjamos nuestro destino y que no importa lo que pase siempre nos tendremos. A Rosy, por los recuerdos de infancia y por esos hermosos sobrinos que quiero tanto y que me llenan tanto de alegría. A mi hermana Laura porque mi palabra de que estaría en los agradecimientos estaba empeñada con ella desde que yo estudiaba en la prepa, por sacarme de tantos apuros, por ser muchas veces la hermana mayor y por compartir tantas cosas conmigo.

A mis sobrinos Chuchín, Sofi, Blanca-María, Davisín, Cocole-Migue-Alonso, Matei y Gabriel, porque ahora sé que no importa cuántos nuevos individuos se incorporen al ecosistema, el recurso del amor es inagotable.

A Sofía por enseñarme tanto de la vida con esos siete años, por ser tan divertida, sabia y compleja al mismo tiempo.

A mis amigas de la carrera con las que planeábamos en los pasillos transformar el mundo, Paola, Coatlicue, Isadora, Betysh, Irisabel. A mi comadre Coa, con quien he compartido en más de una ocasión la sensación de deambular por este mundo. A Germán, porque ser un hermano grandote, que siempre está dispuesto a escuchar y regañar (si la ocasión lo amerita) y porque le gustan los artrópodos tanto como a mí.

Gracias a la Fundación Margarita Contreras (Pupi), por todo el apoyo durante este tiempo en el que Saule y yo decidimos compartir nuestra vida, por el cariño, por las enseñanzas de vida, por la nobleza de su corazón, por lo estoico de su alma.

Gracias a TODA la familia de Saule, por adoptarme como parte de su familia, por compartir conmigo tantas cosas, de verdad los quiero mucho.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser la mejor Universidad del mundo porque he pertenecido a ella durante más de la mitad de mi vida.

A Saule con todo el amor que sabes que te tengo.

INDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Las abejas.....	3
1.2. Mutualismo entre abejas y flores.....	6
1.3. Constancia floral.....	7
1.4. El papel de la forma y el color en el reconocimiento floral.....	9
1.5. Fenología y estacionalidad.....	12
1.6. Antecedentes y justificación.....	14
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	16
3. ZONA DE ESTUDIO.....	18
4. MATERIALES Y MÉTODOS	
4.1 Sitios y tipos de muestreo.....	23
4.2 Muestreo con redes.....	23
4.3 Muestreo con trampas jabonosas de colores.....	24
4.4 Fenología floral reproductiva.....	26
4.5 Fenología de abejas y relación con factores ambientales.....	27
5. RESULTADOS	
5.1 Riqueza de abejas.....	28
5.2 Fenología de las abejas.....	31
5.3 Fenología floral.....	36
5.4 Fenología de las abejas y su relación con otros factores ambientales.....	38
5.5 Efecto del color en las trampas jabonosas.....	40
5.6 Recursos florales utilizados.....	45

6. DISCUSION	
6.1. Composición.....	47
6.2. Fenología de las abejas y su relación con los factores ambientales.....	48
6.3. Color de las trampas jabonosas y eficiencia de captura.....	51
6.4. Recursos florales utilizados por las abejas.....	53
6.5. El papel de <i>Apis mellifera</i> en el ecosistema del Pedregal.....	54
6.6. Recomendaciones para estudios futuros.....	55
7. CONCLUSIONES.....	57
8. LITERATURA CITADA.....	59
9. ANEXO 1.....	74
10. ANEXO 2.....	81
11. ANEXO 3.....	84

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Las abejas

Las abejas son insectos del orden Hymenoptera al que también pertenecen avispa, hormigas, icneumónidos y calcidoideos, entre otros (Devillers, 2002), y al suborden Apocrita, que se caracteriza por presentar el primer segmento abdominal fusionado con el tórax y una constricción entre el primer y el segundo segmento, un par de alas transparentes con escasa venación y un ovipositor modificado en aguijón (Borror *et al.*, 1976; Michener, 1986, 2000; Gilliott, 2005). Las abejas están incluidas dentro de los Athophila que es una parte de la superfamilia Apoidea (Culliney, 1983, Michener, 2000) que se caracteriza por presentar sedas plumosas o ramificadas con diminutos ganchos continuos, así como las patas con un basitarso más engrosado que el resto de los artejos que en algunas abejas forma una estructura denominada escopa (Winston, 1987), que está destinada a la recolección y acarreo de polen (Michener, 2000). (Fig. 1). En parte la diversidad morfológica de las abejas está asociada con la recolección de polen (Michener, 1974; Michener y Brooks, 1984; Neff y Simpson, 1981; Roberts y Vallespir, 1978; Thorp, 1979) y a la construcción de nidos en el caso de las hembras, y en los machos la variación está determinada por las estructuras relacionadas con la cópula (Ayala *et al.*, 1998).

Existen alrededor de 20,000 especies de abejas descritas, y considerando los análisis filogenéticos (Hurd, 1979; Roig-Alsina y Michener 1993; Alexander y Michener, 1995) se reconocen siete familias de abejas de las cuales las presentes en México son: Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Melittidae, Megachilidae y Apidae (Michener 2000; R. Ayala, com. pers.).

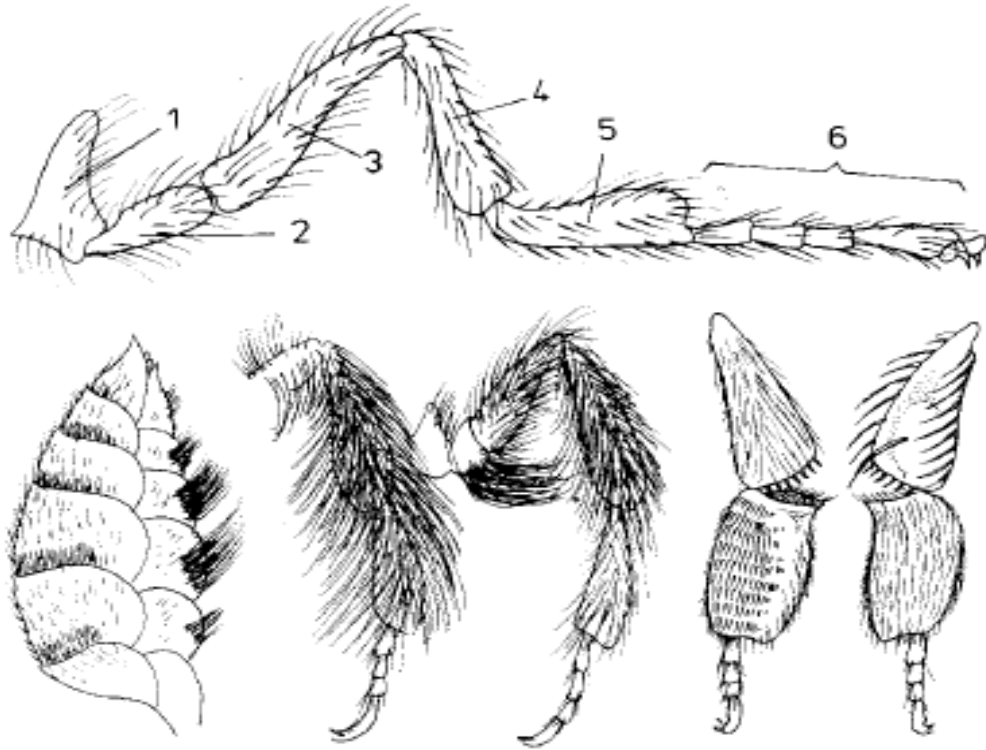


Figura. 1. Superior. Prototipo de la pata media de *Apis mellifera*; 1 coxa, 2 trocánter, 3 fémur, 4 tibia, 5 basitarsos, 6 mediobasitarsus y distitarsus. **Inferior.** Estructuras de recolección de polen. De izquierda a derecha: escopa gastral o metasomal de *Apis mellifera*; escopa de la tibia de *Megachile versicolor*; escopa del trocánter de *Dasypoda plumipes*; escopas del fémur y de la tibia de *Andrena clarcella*. Tomado de Weiss (2002).

Ayala *et al.* (1998) establecen que la mayoría de las especies de abejas son solitarias; las hembras construyen sus nidos y aprovisionan las celdas individuales con alimento para cada una de las crías sin la cooperación de otras hembras, en estos casos no hay separación por castas (obreras y reinas), y sólo rara vez hay traslape de generaciones en un mismo nido. Durante su vida –que puede ser de varias semanas hasta dos años– cada hembra se encarga de manera solitaria de todas las actividades de nidificación y forrajeo (Linsley, 1958; Ayala *et al.*, 1998).

Las formas sociales están restringidas a tres subfamilias: Halictinae, Anthophorinae y Apinae (Gillott, 2005). El comportamiento eusocial avanzado se

encuentra sólo entre los miembros de la familia Apidae y en la mayoría de las familias restantes se presenta comportamiento comunal, cuasisocial o eusocial primitivo (Michener, 1974, 2000). La mayoría de las especies se alimentan de néctar, polen (una fuente indispensable de proteínas) y, en algunas ocasiones, aceites florales (Winston, 1987; Roubik, 1989; Alam, 1990; Michener, 2000); la excepción a este comportamiento lo constituye un pequeño grupo de abejas del género *Trigona*, que colecta alimento de cadáveres de insectos para abastecer a sus larvas (Michener, 2000). Salvo este caso, la gran mayoría de las abejas depende completamente de las plantas angiospermas para su suministro de alimentos. De acuerdo con el número de especies de plantas utilizadas para la obtención de recursos (Free, 1970) las abejas se clasifican de la siguiente manera: (a) monoléticas (cuando visitan una sola especie de planta), (b) oligoléticas (cuando explotan sólo unas cuantas especies de plantas que están relacionadas taxonómicamente), y (c) poliléticas (cuando el recurso se obtiene de diversos tipos de plantas relacionadas o no taxonómicamente).

Lo anterior sostiene que las plantas y las abejas mantienen una dependencia muy estrecha.

1.2 Mutualismo entre abejas y flores

La evidencia fósil sugiere que las abejas y las angiospermas surgen de forma simultánea durante el Cretácico medio y ambos sufren un proceso paralelo de radiación adaptativa durante el Terciario (Michener, 1993). Esta coevolución ha estado estrechamente ligada en las plantas, al desarrollo de colores en el perianto, los olores y la producción de polen y néctar como recompensa (Proctor *et al.*,

1996; Glover, 2007); y en el caso de las abejas en adaptaciones morfológicas para la recolección de polen, el cuerpo densamente cubierto de sedas plumbosas o las estructuras como las corbículas y escopas, además de las adaptaciones morfológicas en el aparato bucal, para la recolección de néctar (Michener 2000). Por lo anterior, las abejas son consideradas los mayores polinizadores tanto de la vegetación nativa como de diversos cultivos (Kozin, 1976; Heithaus, 1979; Crane y Walker, 1984; Michener, 1993, 2000; Méndez-Ramírez *et al.*, 2004; Schoonhoven *et al.*, 2006).

Muchas especies de plantas que tienen colores conspicuos, esencias florales y estructuras características, requieren insectos para su polinización y con ello logran optimizar la producción de semillas, por ejemplo, *Saxifraga hirculus* produce 30 semillas por flor, después de cerca de 200 visitas de polinizadores (Olesen y Warnke, 1989). Además, ciertas especies vegetales prácticamente no producen semillas en ausencia de polinizadores como es el caso de las plantas de las familias Fabaceae y Cucurbitaceae (Frankie, 1976; Méndez-Ramírez *et al.*, 2004). Por otro lado, la polinización mediante vectores animales evita la autopolinización, lo que favorece el intercambio genético y reduce la endogamia en las plantas (Schoonhoven *et al.*, 2006; Glover, 2007).

1.3. Constancia floral

El espectro de los visitantes de las plantas con flor en un área en particular está determinado por varios factores, el más obvio de ellos es que coincidan los periodos de floración con los periodos de actividad de los antófilos en el área. (Boch *et al.*, 1997). Tradicionalmente se hablaba de los “síndromes de

polinización” basados en sistemas de color, forma y olor, supuestamente adaptados a un tipo de polinizador (Faegri y van der Pijl, 1966); sin embargo, actualmente la tendencia a especializarse es referida en la literatura como “constancia floral” (Free, 1970; Heinrich *et al.*, 1977; Wells y Wells, 1986; Gross, 1992; Hill *et al.*, 1997; Chittka *et al.*, 1999). Este fenómeno es de crucial importancia en la ecología de la polinización y en la evolución de ambos grupos (Gegear y Laverty, 2001).

La fidelidad en la polinización no sólo provee eficiencia, sino también ayuda a la reproducción de plantas de una misma especie (Dressler, 1968; Heinrich y Raven, 1972). Este tipo de especialización implica procesos de aprendizaje basados en el reconocimiento floral a distancia de la forma y longitud de la flor (Leppik, 1956; Kevan, 1983) así como del olor y el color (Menzel *et al.*, 1974). Además, por parte de los insectos requiere de la adquisición de habilidades para la recolección de polen y néctar de flores con diferente morfología (Menzel *et al.*, 1974). Las adaptaciones morfológicas en el aparato bucal de las abejas son también un importante factor a considerar ya que una abeja con probóscide corta (abejas de lengua corta de pequeño tamaño) toman néctar de las flores someras, como las flores de la familia Apiaceae. En cambio, para las abejas de lengua larga es necesario remover el néctar de flores profundas. (Michener, 2000). Unas pocas especies, tienen adaptaciones morfológicas, tal como es el palpi, que forma, junto con la lengua un tubo de succión, que está asociado con un tipo particular de flores (Michener, 2000).

La ventaja de la constancia floral ha sido atribuida a una habilidad limitada de aprender o recordar la manera en la cual se distribuyen varios tipos de flores de forma simultánea (Waser, 1986).

Las abejas frecuentemente restringen sus visitas a las flores de una sola especie e ignoran muchas otras que pueden ser convenientes o que ofrecen recompensa. Por consiguiente, el viaje de exploración de una abeja es más eficiente si su sistema sensorial y su comportamiento se fijan temporalmente en una sola ruta. Para realizar esto, las abejas parecen usar un mecanismo de percepción relacionado con la “imagen de búsqueda” para encontrar flores (Levin, 1978; Waser, 1986; Dukas y Real, 1993; Wilson y Stine, 1996; Goulson, 2000). La constancia floral puede ser estudiada examinando las cargas de polen de individuos de abejas recolectados. Los análisis de cargas de polen revelan que muchas especies de abejas muestran altos grados de constancia floral, incluso hasta del 99% (Grant, 1950). A pesar de ello, la “constancia floral absoluta” podría ser contra-productiva al evitar que los insectos puedan descubrir mejores recompensas. Así, las abejas solitarias visitan de manera más frecuente diferentes especies florales para verificar las recompensas en caso de que alguna pudiera proveer mejores recompensas; consecuentemente, las abejas silvestres muestran menor grado de constancia que, por ejemplo, *Apis mellifera* (Chittka, 1996).

1.4. El papel de la forma y el color en el reconocimiento floral

En sus trabajos Menzel *et al.* (1974) discuten que un nivel alto de constancia floral por parte de las abejas requiere de la habilidad de aprender con rapidez cuáles son las especies florales que ofrecen mejores recompensas, así como sus

características básicas para minimizar el grado de error (Fig.2). Las formas y los patrones florales parecen ser más difíciles de aprender y de acuerdo con Schoonhoven *et al.* (2006) son necesarias de 10 a 30 ensayos para llegar al nivel de precisión, en el reconocimiento de la flor, equivalente al que se da con el color. Sin embargo las formas complejas son más fáciles de aprender para las abejas que las formas simples; un aspecto particular de la forma de las flores es la perfección de su simetría, como las formas perfectamente simétricas parecen producir mayor cantidad de néctar que las flores asimétricas, los polinizadores ejercen presión de selección en flores con forma regular (Gegear y Laverly, 2001; Menzel, 2001; Waddington, 2001).

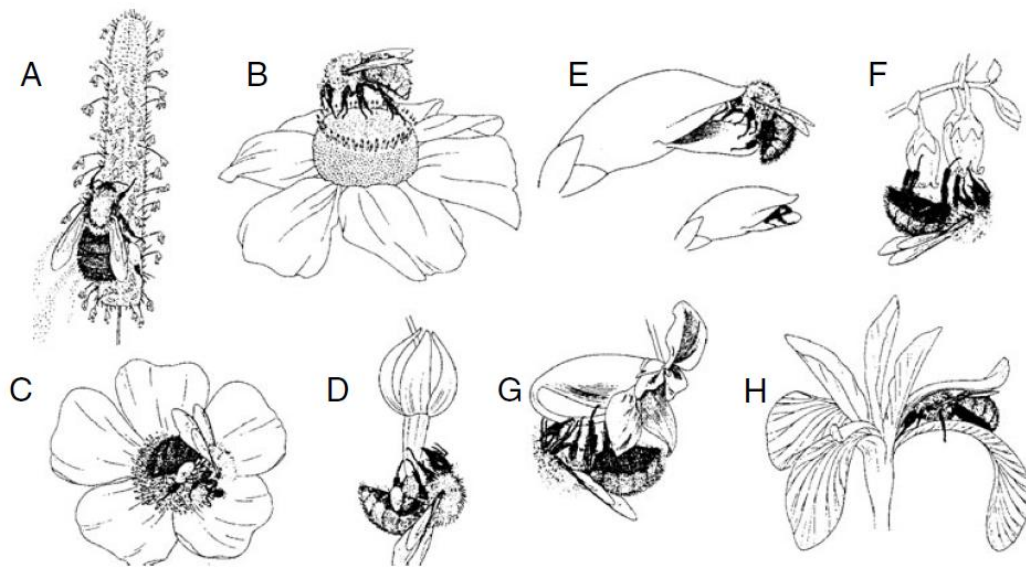


Figura 2. Manipulación de diferentes tipos de flores, por abejorros, para la recolección de néctar o polen. (A) Recolección de polen en inflorescencia de *Phleum* sp. (B) Recolección de néctar y polen en una compuesta. (C) Reconocimiento y vibración de anteras en *Rosa* sp. para la recolección de polen. (D) Sujeción con las mandíbulas y las patas de un botón floral de *Solanum dulcamara* para agitar el polen de las anteras tubulares por vibración de la flor. (E) Introducción en flores de *Chelonia*. (F) Recolección de néctar en flores de *Vaccinium*. (G) Robo de néctar por una mordida en el espolón de una flor de *Impatiens* sp. (H) Visita para la recolección de néctar en una flor de *Iris*. Tomado de Heinrich (1976).

De los factores de reconocimiento floral, el color es uno de los más importantes (Faheem *et al.*, 2004), gracias a éste la abeja puede localizar, reconocer y discriminar entre flores. Menzel *et al.* (1974) registraron que las obreras de *Apis mellifera* son capaces de reconocer un color confiablemente (de cerca del 90%) después de seis visitas aproximadamente.

Para las abejas, los patrones y las formas de las flores son más difíciles de aprender que el color (Gegear y Laverty, 2001). Experimentos como los realizados en campo por Wilson y Stine (1996) demostraron que los abejorros prefieren flores del mismo color (aunque pertenezcan a diferentes especies) a flores con la misma forma (que requieren las mismas habilidades), pero con diferente color. Los autores argumentan que las abejas fueron constantes porque su imagen de búsqueda estuvo basada en el color de la flor y, posteriormente, tienden a visitar flores del mismo color aunque sean de especies diferentes.

Algunas flores tienen la capacidad de reflejar los rayos ultravioleta del sol, ya sea por su color o por la presencia de detallados patrones de absorción o reflexión de rayos ultravioleta (UV) (Kevan y Backer, 1983; Richards, 1986), lo cual puede funcionar para los insectos como una clave que indica el volumen, la calidad y cantidad de la recompensa ofrecida por la flor. El reflejo de rayos UV cambia conforme la flor envejece, de la misma manera disminuye la presencia de polen, el néctar producido y la receptividad del estigma (Faegri y van der Pijl, 1971; Kevan y Backer, 1983; Richards 1986; Bertin, 1989; Barth, 1991; Willmer *et al.*, 1994).

Frecuentemente, las flores reflejan más intensamente los rayos UV que el entorno, aunque puede ocurrir lo contrario (Froholic, 1976). De hecho, existe una pequeña correlación entre los colores visibles y el reflejo de la luz UV (Daumer, 1958; Kevan, 1979; Muhligen y Kevan, 1973; Proctor y Yeo, 1973). Las flores que reflejan rayos UV son comúnmente flores violetas y amarillas (Guldberg y Atsatt, 1975) y raramente las flores con color visible como el verde, azul o rojo (Silberglied, 1979). A menudo se registran líneas o puntos localizados en los nectarios o cerca de ellos o bien en la abertura del tubo de la flor donde se encuentra el néctar, estas líneas que absorben o reflejan los rayos UV se denominan guías de néctar o guías de abejas (Menzel, 1985; Giurfa *et al.*, 1995; Menzel, 2001; Rodriguez *et al.*, 2004; Schoonhoven *et al.*, 2006).

1.5. Fenología y estacionalidad

Un tema central en ecología es la interacción de los organismos con el medio biótico y abiótico; y cómo estas interacciones pueden explicar la composición y la dinámica de las comunidades (Stoner, 1992; Wyss, 1995). Es de esta manera, que los ciclos anuales de presencia de recursos y condiciones desfavorables, que caracterizan virtualmente a todos los ambientes biológicos están determinados por los cambios meteorológicos estacionales (Tauber *et al.*, 1986). Por este motivo, los ciclos de vida de las plantas y animales tienden a estar organizados temporalmente (Wolda, 1978, 1980, 1987). La *estacionalidad* es la ocurrencia de un fenómeno biológico o de su máxima expresión, en la misma época del año, cada vez que este ocurre, de tal forma que puede ser predecible (Wolda, 1988). A diferencia de la estacionalidad, la *fenología* es la sincronización o tiempo de

ocurrencia de los eventos biológicos y su relación con los cambios climáticos estacionales (Lieth, 1974). De acuerdo con Wolda (1988) también puede ser definida como la distribución temporal de un fenómeno. La fenología, es pues, una propiedad de las poblaciones, pero sobre todo de las comunidades, que describe la dinámica estacional de éstas.

La estacionalidad en las regiones templadas, a diferencia de las tropicales, se caracteriza por ser muy marcada; ya que anualmente sólo existe un periodo limitado con las condiciones óptimas para el desarrollo de los organismos. Sin embargo la ocurrencia de fluctuaciones estacionales en las especies tropicales es un hecho establecido (Wolda 1978, 1980). En las regiones tropicales la estacionalidad está marcada más comúnmente por estaciones secas y lluviosas. En el caso de algunas regiones tropicales como Las Cumbres en Panamá el 84% de la lluvia cae de mayo a noviembre, mientras que la temperatura se mensualmente sin una aparente fluctuación (Wolda, 1980). En ambos casos los organismos se enfrentan a condiciones adversas, si alguna fase del ciclo de vida que requiere condiciones especiales se expresa fuera de este periodo, puede tener consecuencias negativas en términos de adecuación, reduciendo la sobrevivencia o la fecundidad (Van Asch y Visser, 2007).

Para muchos herbívoros y otros organismos que dependen de productos florales (polen y néctar) o de semillas, la fenología de las especies hospederas determina el periodo con las condiciones óptimas para su desarrollo (Wolda, 1987; Van Asch y Visser, 2007). En este caso, la fenología de ambas especies debe coincidir en cierto periodo anual, de modo que la concordancia entre las especies hospederas y huéspedes se le denomina *sincronía*.

En general, los organismos utilizan los factores ambientales como indicadores de cambio en las estaciones. Por ello, se ha sugerido que los factores que afectan la fenología son: la luz, la temperatura, la humedad ambiental, la precipitación y la disponibilidad de alimento (Lieth, 1974, Tauber y Tauber, 1981, Wolda, 1988). De ellos, el fotoperiodo es quizás el factor ambiental más confiable de que se aproxima un cambio estacional, excepto en el ecuador, en donde longitud de los días es constante a lo largo del año; así, conforme se incrementa la latitud, es más marcado el fotoperiodo (Tauber *et al.*, 1986).

Por otro lado, para un gran número de insectos la temperatura constituye el factor ambiental principal utilizado para la inducción de la diapausa; este fenómeno es de gran importancia para algunas especies que necesitan recurrir en algunas fenofases o etapas de su ciclo de vida a periodos en los cuales el crecimiento, el desarrollo o la reproducción son suprimidos con la finalidad de conservarse hasta el próximo periodo que presente los recursos óptimos (Tauber y Tauber, 1981).

1.6. Antecedentes y justificación

Para la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (en lo sucesivo REPSA o Reserva del Pedregal), sitio en el que se asienta vegetación de tipo matorral xerófilo se cuentan con pocos estudios de la fauna de abejas nativas.

Hinojosa-Díaz (1996) presenta una lista faunística de las abejas de este sitio, a partir de los ejemplares presentes en la colección de abejas del Museo de Zoología de la Facultad de Ciencias, UNAM “Alfonso L. Herrera”, en la cual reporta 97 especies. Sin embargo, en sus datos no presenta información sobre la

variación estacional de la riqueza de esta fauna y su relación con el clima y la floración de plantas. En el análisis de los factores bióticos y abióticos que afectan la fenología reproductiva de la comunidad vegetal de la Reserva César-García (2002), encontró que el mayor número de especies de plantas en floración (61.1%) se presentó en el mes de septiembre, poco después del pico de precipitación.

En este trabajo se hace un análisis de la estructura de la comunidad y la fenología de las abejas de la REPSA a lo largo de un año, así como de la fenología floral de las especies vegetales, y las preferencias de color de las abejas. En el presente estudio se analizaron de forma sistemática la temperatura, la precipitación, la humedad y la fenología floral de especies no anemófilas en el periodo que va de septiembre del 2005 a agosto del 2006. Asimismo, se usa el método de muestreo de trampas jabonosas coloridas, el cual permite coleccionar algunas especies raras, es decir, aquellas poco abundantes y con corto periodo de actividad.

En este estudio se hace un diagnóstico a poco más de diez años del realizado por Hinojosa-Díaz (1996), para conocer el factor ambiental de mayor influencia para la fenología de las diversas especies de abejas de este sitio. Además es importante monitorear los cambios posibles que se puedan suscitar en la comunidad de abejas de este ecosistema debido a la constante amenaza de la reducción de sus áreas de forrajeo y anidación por el incesante avance de diversos proyectos de urbanización.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo es conocer la relación existente entre la variación estacional de la riqueza de abejas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA) con la fenología floral de la comunidad de plantas angiospermas no anemófilas.

Los objetivos particulares, derivados del anterior, son los siguientes:

1. Conocer la composición de la comunidad de abejas presentes en la REPSA.
2. Dilucidar los patrones del comportamiento fenológico de los Apoidea de la zona.
3. Conocer la relación entre la temperatura, la humedad, la precipitación y la fenología floral con los periodos de actividad de las abejas.
4. Evaluar el efecto del color de las trampas jabonosas sobre el número de abejas capturadas.
5. Conocer las especies de plantas que son visitadas por abejas en la REPSA.

La hipótesis central formulada para este trabajo es que, dado que la mayoría de las especies de abejas, a diferencia de otros insectos holometábolos, requieren en todas las etapas de su ciclo de vida de polen y néctar para sobrevivir (Winston, 1987; Roubik, 1989), se espera encontrar un pico de abundancia y riqueza de abejas en coincidencia con el pico de floración, la comunidad de la REPSA.

Hipótesis secundarias:

1. Dado que la mayoría de las especies vegetales no anemófilas, surgen en un periodo corto posterior a la época de lluvias (César-García, 2002), se espera que la mayor diversidad de especies de abejas esté presente en ese momento.
2. Dado que en la literatura los colores violeta y amarillo son los más atractivos para las abejas, a diferencia de rojo, se espera que la mayoría de individuos de abejas caigan en las trampas jabonosas de esos colores.

3. ZONA DE ESTUDIO

La Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel está situada al suroeste de la Ciudad de México, dentro de las instalaciones principales de la Universidad Nacional Autónoma de México (19 17' norte, 99 11' oeste, 2270 m s.n.m.) (Cano Santana *et al.*, 2008), y tiene una extensión de 237.3 ha (UNAM, 2005) (Fig. 3).



Figura 3. Localización de las dos zonas de estudio de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, D. F. México.

El sustrato es roca ígnea basáltico producto de la efusión de las lavas del volcán Xitle ocurrida hace 1650 años (Siebe, 2000). Presenta un tipo de

solidificación “pahoehoe” con una amplia gama de formas superficiales (Cañón-Tapia *et al.*, 1995). La mayor parte de esta superficie está desprovista de suelo por lo que la vegetación tiende a desarrollarse en zonas de fractura (Enciso 1979; Álvarez *et al.*, 1982). El espesor de las lavas varía entre los 50 cm hasta un poco más de 10 m (Rzedowski, 1954).

Los suelos son principalmente de origen eólico y orgánico, se acumulan fundamentalmente en las oquedades y accidentes del terreno, son arenosos-limosos, moderadamente ácidos, poseen gran cantidad de materia orgánica, potasio y calcio, son pobres en nitrógeno y fósforo aprovechables (Rzedowzki, 1954; Carbajal, 1975) y su espesor varía de los 2 a los 10 cm (Cano-Santana y Meave, 1996).

El clima es templado subhúmedo con régimen de lluvias en verano con una temperatura media anual de 15.5°C, con variaciones extremas que van desde los -6° hasta los 34.6°C (Valiente-Baunet y De Luna, 1990). La reserva esta situada entre las isotermas de 15.3°C y 15.6°C y entre las isoyetas de 814.7 mm y 952.7 mm, con un promedio de 870.2 mm de lluvia al año (Soberón *et al.*, 1991). La precipitación es variable, a lo largo de un año, presentándose una temporada lluviosa, de junio a octubre y una temporada de secas de noviembre a mayo (Rzedowski, 1954; Fig. 4).

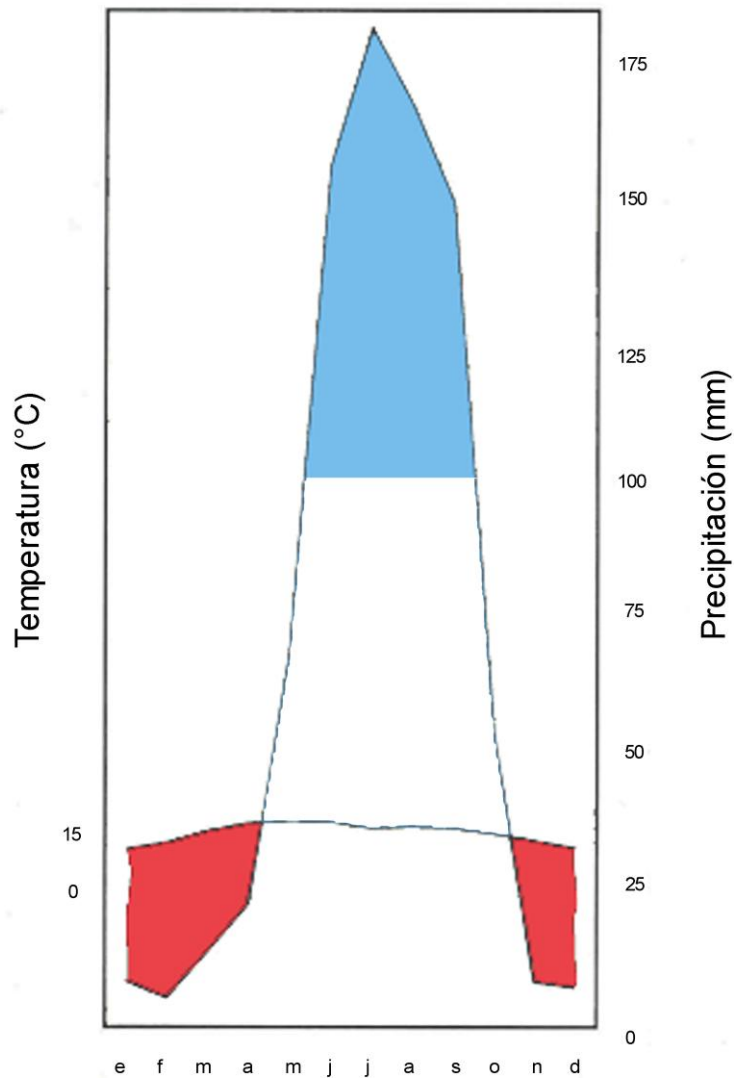


Figura 4. Diagrama ombrotérmico con los datos de aproximadamente 25 años de las estaciones climatológicas cercanas al Pedregal de San Ángel. Modificado de PREPSA (2008).

La vegetación de la REPSA se clasifica como matorral xerófilo (Rzedowski, 1978), y sus características se deben a la escasez de suelo (Rzedowski, 1954). Constituye un remanente de la comunidad vegetal *Senecionetum praecocis*, denominada así por Rzedowski (1954), debido a la presencia de una especie arbustiva dominante *Senecio praecox* (= *Pittocaulon praecox*) conocida localmente

con el nombre común de “palo loco”. originalmente esta comunidad cubría una superficie aproximada de 40.45 km² el 50% de su extensión original (Rzedowski, 1954; CarrilloTrueba, 1995); en la actualidad sólo quedan pequeños parches en el que subsisten menos del 15% de la vegetación original, debido al incesante avance del urbanismo (Cano-Santana *et al.*, 2006). Esta zona cuenta con una importante riqueza de especies vegetales (Álvarez-Sánchez *et al.*, 1982; Valiente-Baunet y de Luna, 1990; Castillo-Argüero *et al.*, 2004; Cano-Santana *et al.*, 2008), animales (Arizmendi *et al.*, 1994; Negrete y Soberón, 1994) y de hongos (Hernández- Cuevas *et al.*, 2003).

La vegetación dominante en la comunidad incluye a *Verbesina virgata*, *Mulenbergia robusta*, *Buddleia cordata*, *Dahlia coccinea*, *Echeveria gibbiflora*, *Manfreda scabra*, *Dodonaea viscosa*, *Stevia salicifolia*, *Dioscoria galeottiana*, *Opuntia tomentosa*, *Montanoa tomentosa*, *Baccharis sordecens*, *Brickellia veronicifolia*, *Wigandia urens* y *Bouvardia ternifolia*, de acuerdo a lo que reporta Cano-Santana (1994).

Debido a la situación biogeográfica en la que se encuentra el Pedregal de San Ángel, entre las zonas Neártica y Neotropical, es posible encontrar un gran número de especies con diferentes requerimientos ambientales. Esta zona representa también una de las últimas muestras de vegetación natural, dentro de la Cuenca del Valle México, lo que la convierte en un refugio de muchas especies características del Valle (Rzedowski, 1954; Rojo, 1994).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitios y tipos de muestreo

Con el objeto de realizar de manera sistemática los registros de la fenología de las abejas y las especies florales, se seleccionaron dos sitios de estudio permanentes (SEP), de aproximadamente 2500 m² cada uno, el primero de ellos ubicado en la Zona Núcleo Oriente (ZNO, en las inmediaciones del Espacio Escultórico) y el segundo en la Zona Núcleo Poniente (ZNP, en las inmediaciones del Jardín Botánico). En cada sitio se trazaron dos senderos de 120 m de longitud; con una separación de 15 metros entre ellos, y se colocaron las TJC. De manera complementaria y para robustecer el muestreo se recorrieron diversos senderos adyacentes a los SEP, en los cuales se realizaron muestreos de abejas sobre las flores con redes aéreas y registros de la fenología floral. En cada uno de estos SEP se utilizaron dos métodos de muestreo para la recolección de abejas: redes entomológicas aéreas y trampas jabonosas de colores (TJC).

4.2 Muestreo con redes

Las recolectas se realizaron semanalmente y de forma intercalada, es decir, una semana en la ZNO y la siguiente en la ZNP. Con el método de captura de ejemplares de abejas sobre las flores con la red aérea, a lo largo de los transectos marcados en los SEP y en las sendas adyacentes. Los organismos fueron sacrificados en cámaras letales con acetato de etilo y colocados en bolsas de papel glassine, registrando para cada ejemplar la localidad, la fecha, la hora y la especie vegetal sobre la que fueron colectados, si era el caso (Fig. 5).

Posteriormente, los ejemplares colectados se montaron en alfileres de acuerdo con las técnicas curatoriales convencionales y se procedió a su identificación a nivel de género utilizando las claves taxonómicas. La identificación taxonómica a nivel de especie o morfo especie estuvo a cargo del Dr. Ricardo Ayala Barajas de la Estación de Biología Chamela, de la UNAM. Los ejemplares que resultaron de este estudio están depositados en las colecciones: la Colección de Himenópteros del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias de la UNAM y la Colección de Himenópteros de la Estación de Biología Chamela del Instituto de Biología de la UNAM.



Figura 5. Recolección de organismos utilizando redes entomológicas.

4.3 Muestreo con trampas jabonosas de colores

A lo largo de cada sendero de los SEP se usaron ocho trampas jabonosas de diferente color: rojo, anaranjado, amarillo, y violeta (dos de cada color); colocadas al azar y con una separación aproximada de 15 m entre ellas. Las trampas jabonosas coloridas (TJC), conocidas en la literatura específica como “bee bowl”, consisten en recipientes con colores atractivos de 20 cm de diámetro y 7 cm de profundidad. En el interior se colocó una solución al 5% de shampoo de manzanilla y miel Mennen®. Esto permite que las saponinas rompan la tensión superficial del agua, de este modo cuando los insectos se acercan a explorar el interior del recipiente, se ahogan. Las TJC se mantuvieron colocadas de 9:00 a 17:00 es decir durante siete horas (Fig. 6). Los organismos sacrificados por este método, fueron extraídos de los platos y colocados en frascos de alcohol 70% debidamente etiquetados con los datos antes mencionados, incluyendo el color de la trampa donde fueron encontrados. Finalmente los insectos fueron montados en alfileres entomológicos y etiquetados.

Los colores amarillo y el violeta se seleccionaron por ser éstos los que exhiben las flores que presentan síndromes de polinización por abejas (Bertin, 1989), mientras que el anaranjado y el rojo, se seleccionaron para descartar o confirmar la presencia de síndromes de polinización en la REPSA, debido a que son los colores que menos se han reportado en las especies florales polinizadas por abejas.

El número de trampas no fue siempre constante, debido a que en varias ocasiones las trampas fueron afectadas por la fauna silvestre y perros ferales, y en una ocasión fueron robadas.



Figura 6. Colores seleccionados para las trampas jabonosas coloridas.

Para conocer si existía un efecto del color de las trampas y el mes de muestreo sobre la atracción de las abejas, se hizo un análisis de varianza de dos vías, corrigiendo los datos como $\sqrt{(x+0.5)}$ por tratarse de valores discretos (Zar, 1999) utilizando el programa Statistica versión 7.0.

Con el fin comparar la composición de especies colectadas con trampas de distinto color se calculó el coeficiente de similitud de Sørensen (CS; Magurran, 1988; Krebs 1989), y cuya fórmula se describe a continuación:

$$CS = \frac{2S}{N_1 + N_2}$$

donde: S = Número de especies compartidas, N_1 = Especies totales de la primera comunidad, y N_2 = Especies totales de la segunda comunidad. Posteriormente, para representar gráficamente el coeficiente de similitud de las especies atraídas hacia cada color se generó un fenograma con el programa (MVSP) Multi-Variate Statistical Package v.3.1, utilizando el método de ligamiento UPGMA.

4.4 Fenología floral reproductiva

Entre septiembre del 2005 y agosto del 2006 se registró quincenalmente para cada sitio, la fenología floral de todas las especies de angiospermas herbáceas, arbustivas y arbóreas, exceptuando las plantas de la familia Poaceae y Cyperaceae debido a que presentan una polinización anemófila. Se registraron las especies que presentaban individuos con flores maduras, siendo éstas las que se encontraban en antesis, es decir, que presentaban liberación evidente del polen en las anteras. Se registró la fenología floral de especies presentes en los senderos escogidos en cada sitio de estudio permanente así como en las veredas adyacentes por las que se buscó a las abejas. Las especies no reconocidas fueron herborizadas para su posterior identificación. La identificación de las especies de plantas en floración, se realizó con base en el trabajo de Castillo-Argüero *et al.* (2007) y bajo la supervisión de la Biól. Yuriana Martínez de la Facultad de Ciencias, UNAM.

4.5 Fenología de abejas y relación con factores ambientales

Se obtuvieron los datos de las variables meteorológicas de temperatura, humedad relativa y precipitación de todo el periodo de estudio registrados en la Estación

Meteorológica de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Información que se analizó y se relacionó con la que se obtuvo con la recolecta de abejas, y el registro de fenología florar. Para esto se utilizó un análisis de regresión múltiple por el método hacia atrás, utilizando el programa Statistica 7.0, ya que, de acuerdo con Zar (1999), este es el más indicado para variables correlacionadas entre sí, que es el caso de las que aquí se manejan.

5. RESULTADOS

5.1 Riqueza de abejas

Utilizando ambos métodos de muestreo (redes y TJC) se recolectaron 372 ejemplares de abejas agrupados en cinco familias, 18 géneros y 29 especies. Más de la mitad de los ejemplares pertenecen a dos especies: *Apis mellifera* y *Ceratina mexicana*. La familia mejor representada a nivel de género y especie es Apidae que contribuye con el 69.4% de los individuos, el 44.8% de las especies y el 55.6% de los géneros, seguida de Halictidae y Megachilidae (Cuadro 1). El resto de las familias están representadas por un sólo género y en el caso de Colletidae por una sola especie (Fig. 7).

Cuadro 1. Número de ejemplares, géneros y especies de abejas por familia, recolectados en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel

Familia	Abundancia	%	Géneros	%	Especies	%
Colletidae	1	0.2	1	5.6	1	3.4
Andrenidae	3	0.8	1	5.6	3	10.3
Halictidae	80	21.5	3	16.7	9	31
Megachilidae	30	8.1	3	16.7	3	10.3
Apidae	258	69.4	10	55.6	13	44.8
TOTAL	372	100	18	100	29	100

La familia con mayor número de especies fue Apidae con 13 especies, el 44.8% del total, seguida de Halictidae con nueve especies equivalentes a 31% (Cuadro1). Las familias Megachilidae y Andrenidae aportaron individualmente el 10.3% de

especies, al contar con tres especies cada una. Sólo cuatro de las 29 especies registradas en la REPSA: *Apis mellifera*, *Ceratina mexicana*, *Lasioglossum (Dialictus) sp. 1* y *Lasioglossum (Dialictus) sp. 2*; aportan el 72% de la abundancia, el resto de las especies (25) aportaron el 28 % de la abundancia total. En este último grupo destacan *Bombus pennsylvanicus sonorus*, *Xylocopa tabaniformis azteca* y *Anthidium maculosum* que contribuyen con más del 3% de los ejemplares recolectados (Fig. 8).

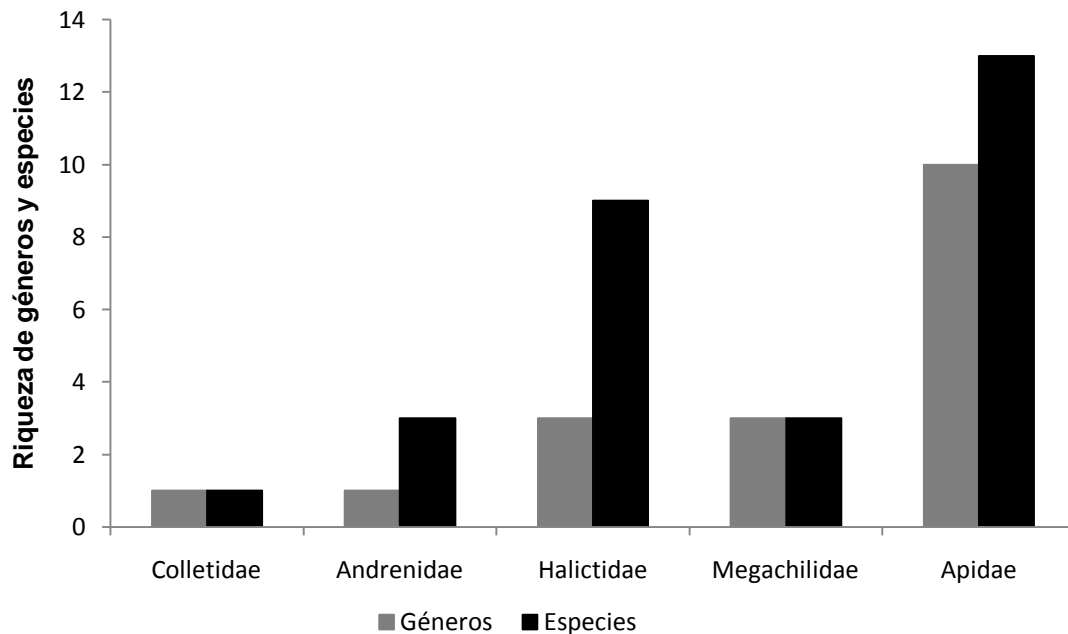


Figura 7. Riqueza de los géneros y especies de abejas de la REPSA, las familias con mayor número de especies registradas fueron Halictidae y Apidae.

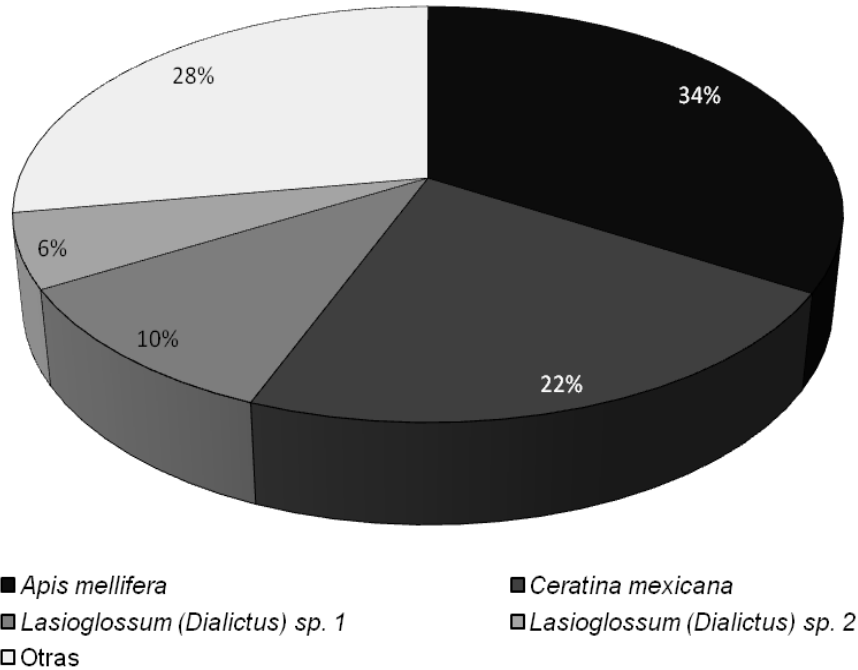


Figura 8. Abundancia relativa de cada especie de abejas en la REPSA entre septiembre de 2005 y agosto de 2006.

La mayor parte de los ejemplares (197) fueron recolectados utilizando trampas jabonosas de colores (TJC) y el resto (175) con redes entomológicas. Dieciocho especies están representadas por menos de cinco individuos y siete de ellas por sólo uno. El mayor número de especies (25) fue colectado por el método de intercepción de vuelo y 11 especies exclusivamente con este método; en tanto, sólo cuatro de las 29 especies fueron colectadas exclusivamente mediante el uso de trampas jabonosas: *Hylaeus* sp. 1, *Andrena* sp. 2, *Lasioglossum (Dialictus)* sp. 3. y *Ceratina capitosa*; 14 especies pudieron ser colectadas con ambos métodos (Cuadro 2).

5.2 Fenología de las abejas

El número de especies de abejas activas a lo largo del año es variable. Se registra un mayor número de especies en la temporada lluviosa que abarca de junio a octubre. En la temporada de secas que abarca de noviembre a mayo el número de especies es menor (Fig. 9). El mes en el que se registra la menor riqueza específica (cinco especies) es diciembre; mientras que se registraron dos picos de actividad en lluvias (con 15 y 13 especies) en julio y en octubre respectivamente (Fig. 9).

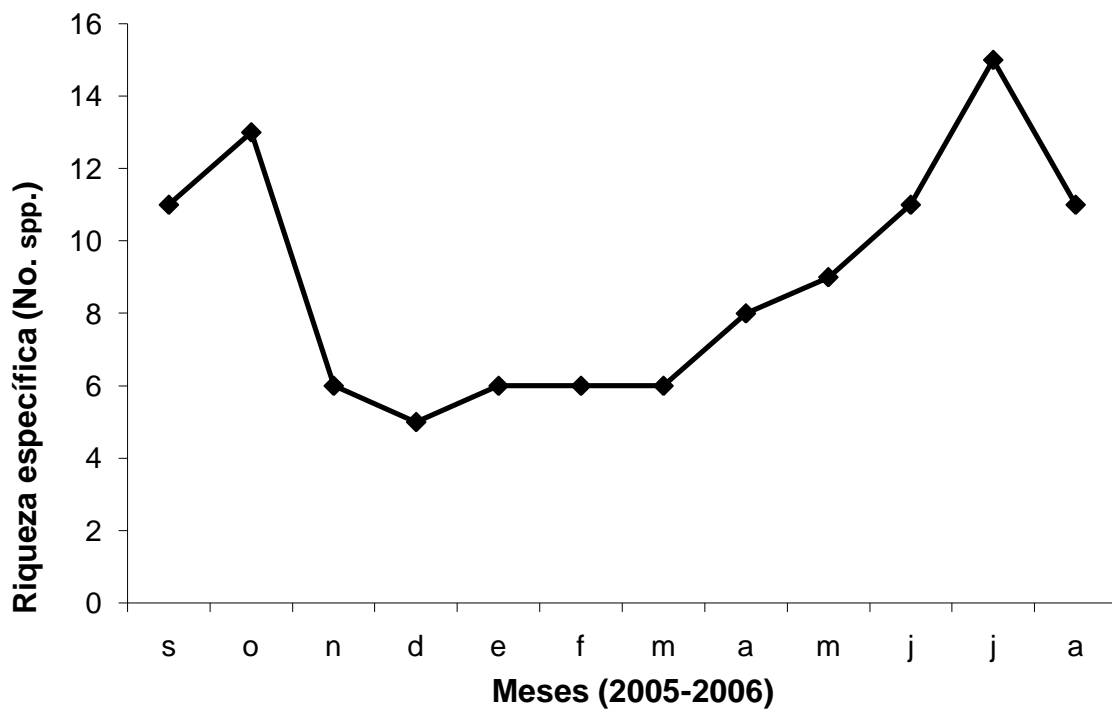


Figura 9. Variación mensual del número de especies de abejas presentes en la REPSA. Datos de septiembre de 2005 a agosto de 2006.

Cuadro 2. Lista de especies y número de individuos por especies de las abejas colectadas en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel separadas por familia. Se presenta además la información del método por el que fueron colectadas.

Familia	Género	Especie	Red	TJC	Total
COLLETIDAE	<i>Hylaeus</i>	sp. 1	0	1	1
ANDRENIDAE	<i>Andrena</i>	sp. 1	0	1	1
	<i>Andrena</i>	sp. 2	1	0	1
	<i>Andrena</i>	sp. 3	1	0	1
HALICTIDAE	<i>Augochlora</i>	<i>smaragdina</i> (Friese)	1	1	2
	<i>Augochlorella</i>	<i>pomoniella</i> (Cockerel)	1	1	2
	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i>	sp. 1	8	30	38
	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i>	sp. 2	5	16	21
	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i>	sp. 3	0	1	1
	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i>	sp. 4	2	1	3
	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i>	sp. nov. 1	4	0	4
	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i>	sp. nov. 2	1	3	4
	<i>Lasioglossum (Lasioglossum)</i>	sp. 1	4	1	5
MEGACHILIDAE	<i>Anthidium</i>	<i>maculosum</i> (Cresson)	17	0	17
	<i>Megachile</i>	sp. 1	8	0	8
	<i>Osmia</i>	<i>azteca</i> (Cresson)	5	0	5
APIDAE	<i>Apis</i>	<i>mellifera</i> (Linneo)	54	68	122
	<i>Bombus</i>	<i>ephippiatus</i> (Say)	1	0	1
	<i>Bombus</i>	<i>pennsylvanicus sonorus</i> (Say)	16	0	16
	<i>Centris</i>	<i>mexicana</i> (Smith)	3	0	3
	<i>Ceratina</i>	<i>capitosa</i> (Smith)	0	3	3
	<i>Ceratina</i>	<i>mexicana</i> (Cresson)	15	62	77
	<i>Deltoptila</i>	<i>elefas</i> (Friese)	1	1	2
	<i>Diadasia</i>	<i>olivacea</i> (Cresson)	1	0	1
	<i>Diadasia</i>	<i>rinconis</i> (Cockerell)	1	1	2
	<i>Exomalopsis</i>	<i>mellipes</i> (Cresson)	1	1	2
	<i>Melissodes</i>	<i>tapaneca</i> (Cresson)	1	1	2
	<i>Thygater</i>	<i>analís</i> (Lepelletier)	10	0	10
	<i>Xylocopa</i>	<i>tabaniformis azteca</i> (Cresson)	13	4	17

Se reconocieron cuatro patrones fenológicos en las especies de abejas de la REPSA (Cuadro 3): (1) secas, (2) intermedio (secas y lluvias), (3) lluvias, y (4) todo el año. El más frecuente fue el de actividad restringida a la temporada de lluvias, en el cual se registran 16 especies, entre las que destacan por su abundancia *Thygater analis*, *Anthidium maculosum* y *Diadasia olivacea*. En el de actividad intermedia, las abejas presentaron actividad en ambas épocas tanto en lluvias como secas, y a estas pertenecen seis especies, por ejemplo *Ceratina capitosa*, *Exomalopsis mellipes* y *Lasioglossum (Dialictus) sp. 2*. En el caso de las abejas que presentaron actividad durante todo el año, se registraron seis especies, *Apis mellifera*, *Lasioglossum (Dialictus) sp. 1* y *Bombus pennsylvanicus sonorus*. Se registró una sola especie de abejas, *Lasioglossum (Dialictus) sp. 4*, que tiene actividad exclusiva durante los meses secos. La fenología de las cuatro especies más abundantes en la REPSA; *Apis mellifera*, *Ceratina mexicana*, *Lasioglossum (Dialictus) sp. 1* y *Lasioglossum (Dialictus) sp. 2*, se muestra en la Fig. 10, en donde se observa que las tres primeras especies se presentan a lo largo del año, a diferencia de *Lasioglossum (Dialictus) sp. 2*, cuya actividad se encuentra restringida a la época de lluvias.

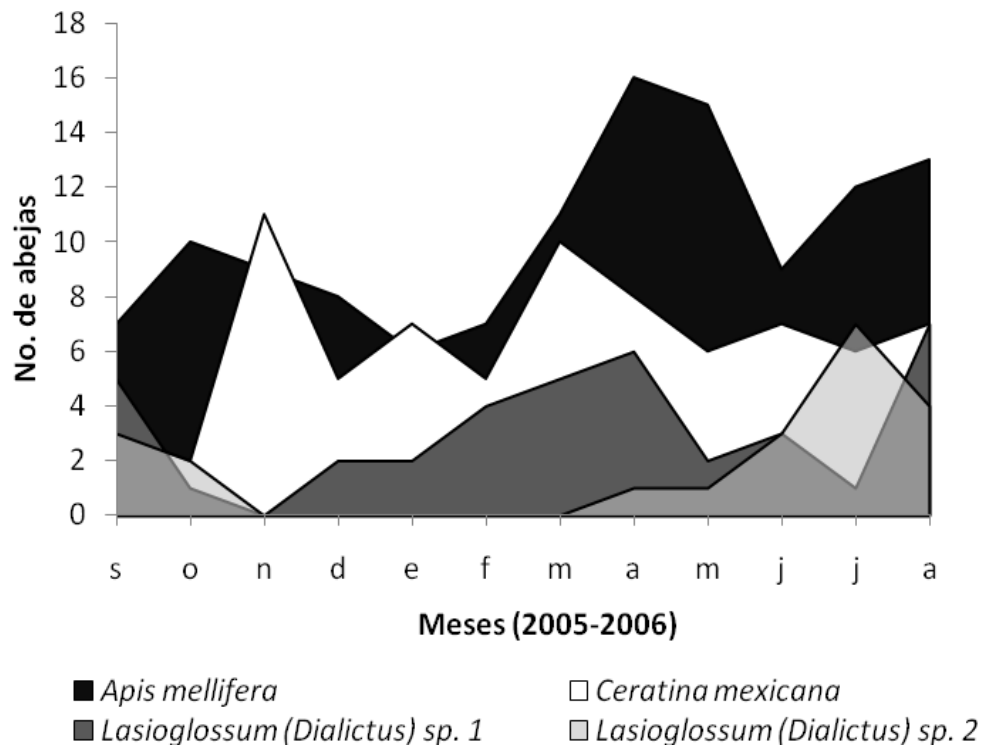


Figura 10. Fenología de las cinco especies de abejas más abundantes en la REPSA.

Cuadro 3. Registro de presencia ausencia y la riqueza especies de abejas de abejas en cada mes a lo largo de un año en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

	s	o	n	d	e	f	m	a	m	j	j	a
<i>Hylaeus</i> sp. 1											x	
<i>Andrena</i> sp. 1										x		
<i>Andrena</i> sp. 2										x		
<i>Andrena</i> sp. 3	x											
<i>Augochlora smaragdina</i>											x	x
<i>Augochlorella pomoniella</i>											x	x
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 2	x	x						x	x	x	x	x
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 3		x										
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 4								x	x			
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. nov. 1	x						x				x	
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. nov.2		x			x	x						
<i>Lasioglossum (Lasioglossum)</i> sp.1											x	
<i>Anthidium maculosum</i>	x	x	x									x
<i>Megachile</i> sp. 1								x	x	x	x	
<i>Osmia azteca</i>		x										
<i>Apis mellifera</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Bombus ephippiatus</i>		x										
<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Centris mexicana</i>		x										
<i>Ceratina capitosa</i>									x	x		
<i>Ceratina mexicana</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Deltoptila elefas</i>	x	x										
<i>Diadasia olivacea</i>											x	
<i>Diadasia rinconis</i>											x	x
<i>Exomalopsis mellipes</i>	x		x									
<i>Melissodes tepaneca</i>									x	x		
<i>Thygater analis</i>											x	x
<i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Especies de abejas	11	13	6	5	6	6	6	8	9	11	15	11

5.3. Fenología floral

Se registraron un total de 151 especies de plantas en floración pertenecientes a 46 familias (Anexo 1). Las familias con mayor número de especies fueron: Asteraceae (41), Fabaceae (14), Solanaceae (ocho) y Commelinaceae y Orchidaceae ambas con siete especies cada una (Fig. 11).

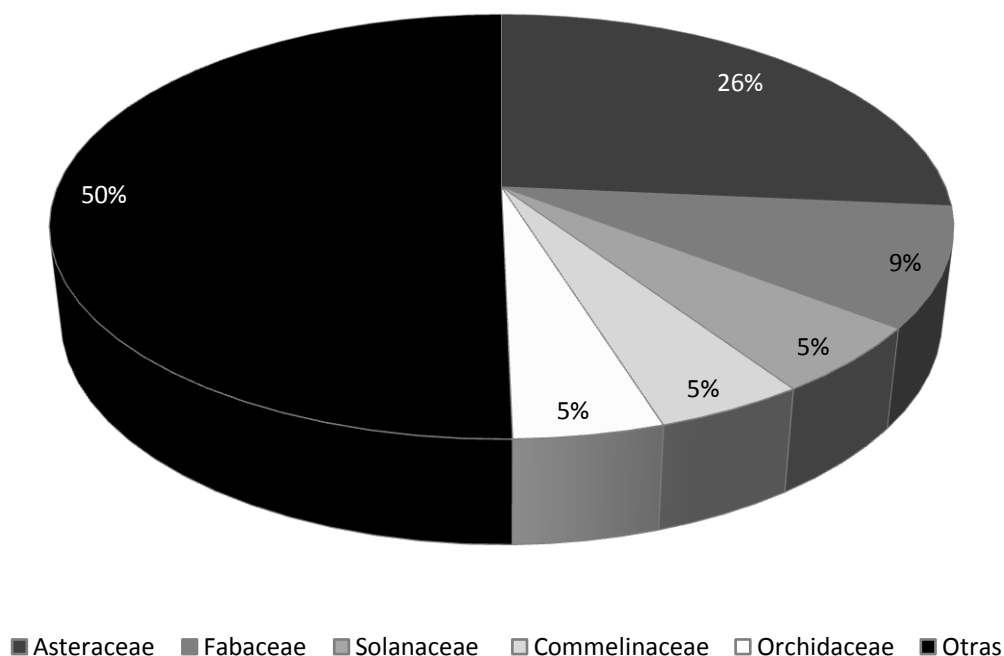


Figura 11. Distribución de especies de plantas por familia, según las observaciones realizadas en la REPSA entre septiembre de 2005 y agosto de 2006.

Algunas especies muestran una marcada estacionalidad, ya que 89 de estas presentaron flores durante la temporada de lluvias y sólo 11 son exclusivas de la época seca. En el caso de las especies que presentan flores en ambas épocas del año, se registraron dos patrones de actividad; 37 especies cuya floración inicia en la época de lluvia y se extiende hasta el inicio de la época seca (noviembre y diciembre) y nueve especies que florecen en la última etapa de la

época seca (marzo y abril) y continúan su floración en el primer mes lluvioso (junio). Por último, identificamos el patrón de especies que florecen a lo largo del año representado por sólo cinco especies (Anexo 1). Algunas especies con el patrón de floración en lluvias fueron: *Dahlia coccinea*, *D. pinnata*, *Commelina coelestis*, *Montanoa tomentosa* y *Bidens odorata*; algunas que tienen un patrón lluvias-secas son *Tithonia tubiformis*, *Verbesina virgata*, *Buddleia cordata*, *Tagetes lunulata* y *Lagascea rigida*; ejemplos de las que tienen un patrón de secas son: *Eupatorium petiolare*, *Wigandia urens*, *Senecio (= Pittocaulon) precox*, *Schinus molle* y *Opuntia tomentosa*; en tanto que, ejemplos de plantas que tuvieron un patrón de floración de todo el año son *Reseda luteola*, *Phytolaca icosandra*, *Passiflora subpeltata*, *Plumbago pulchella* y *Solanum nigrescens*.

El mes en el que se registró un mayor número de especies de plantas en floración fue septiembre, seguido de octubre, julio y agosto (Fig. 12), que son los meses en donde es mayor la precipitación total en la REPSA.

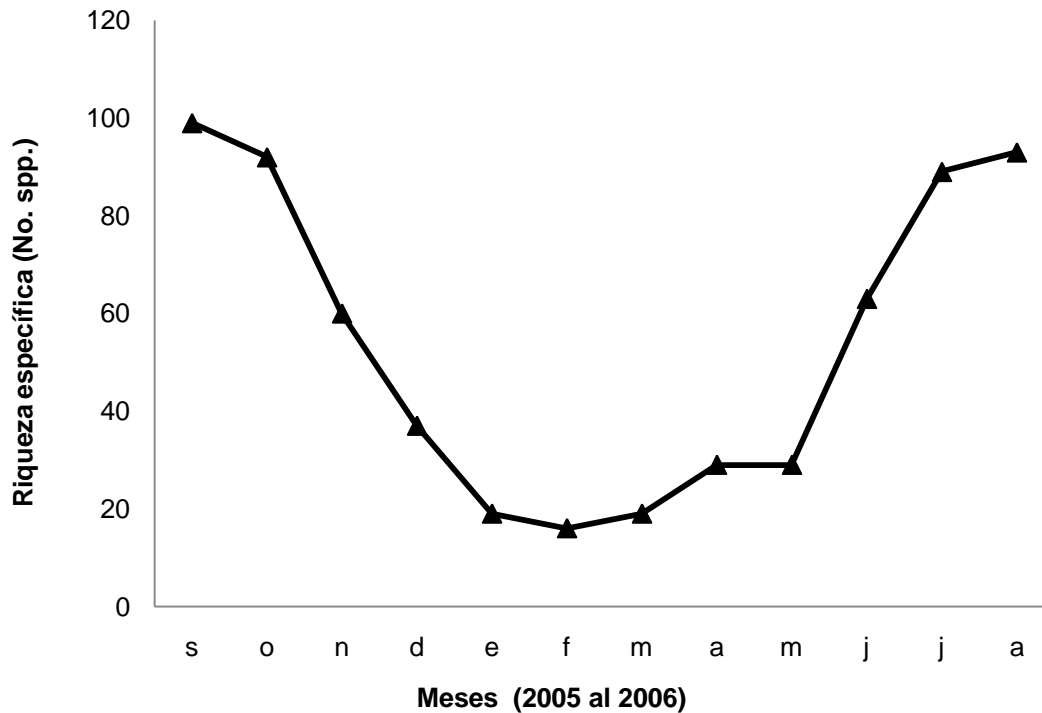


Figura 12. Variación mensual del número de especies de plantas en floración en la REPSA. Datos de septiembre del 2005 a agosto del 2006.

5.4. Fenología de las abejas y su relación con otros factores ambientales

Los resultados de la regresión múltiple que explica a la riqueza mensual de abejas (S_a) en la Reserva del Pedregal es $(S_a) = 0.475 \pm 0.158 (T) + 0.643 \pm 0.158 (HR)$ ($R^2 = 0.788$, $F_{2,9} = 16.753$, $P = 0.0009$), donde T es la temperatura promedio mensual y HR es la humedad relativa promedio. Lo cual concuerda con que la temperatura y la humedad relativa y explican mejor la variación mensual de la riqueza de abejas, que la riqueza de especies de plantas en floración y la precipitación (Figs. 13, 14 y 15).

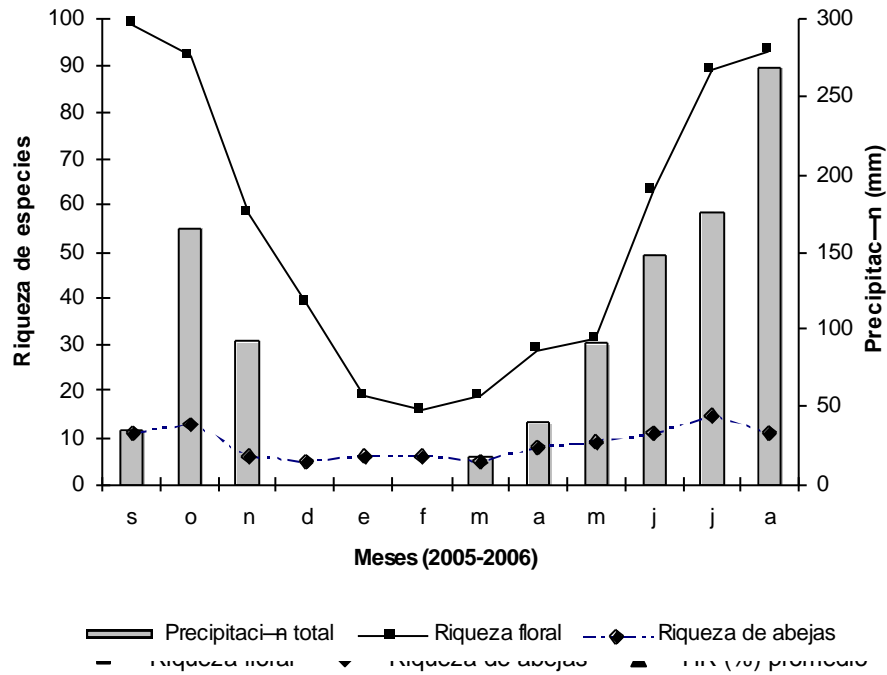


Figura 13. Variación mensual del número de especies de abejas y su relación con el número de especies vegetales en floración, y la precipitación acumulada mensual.

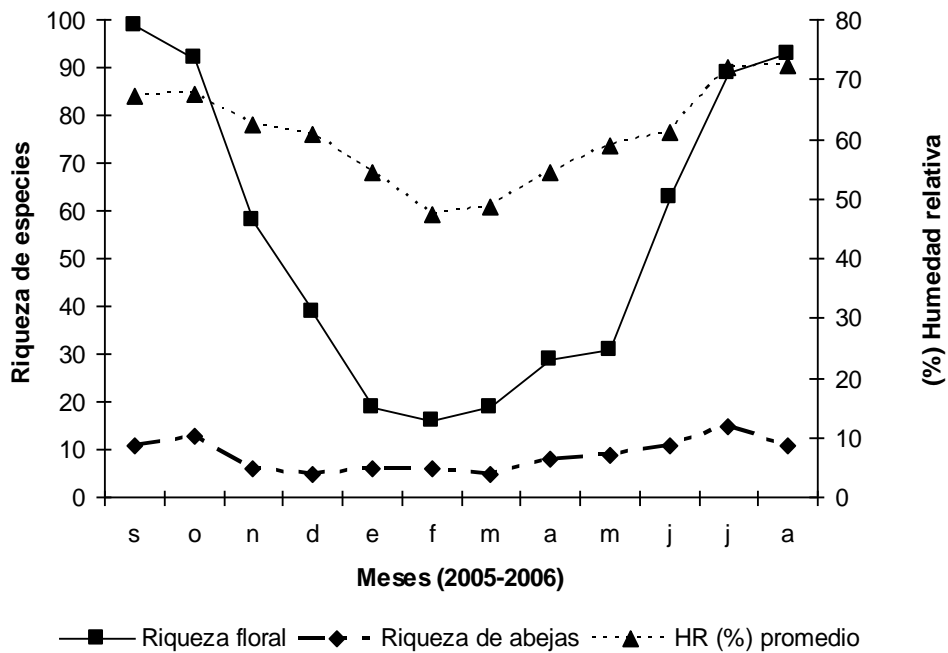


Figura 14. Variación mensual del número de especies de abejas y su relación con el número de especies vegetales en floración, y la humedad relativa mensual.

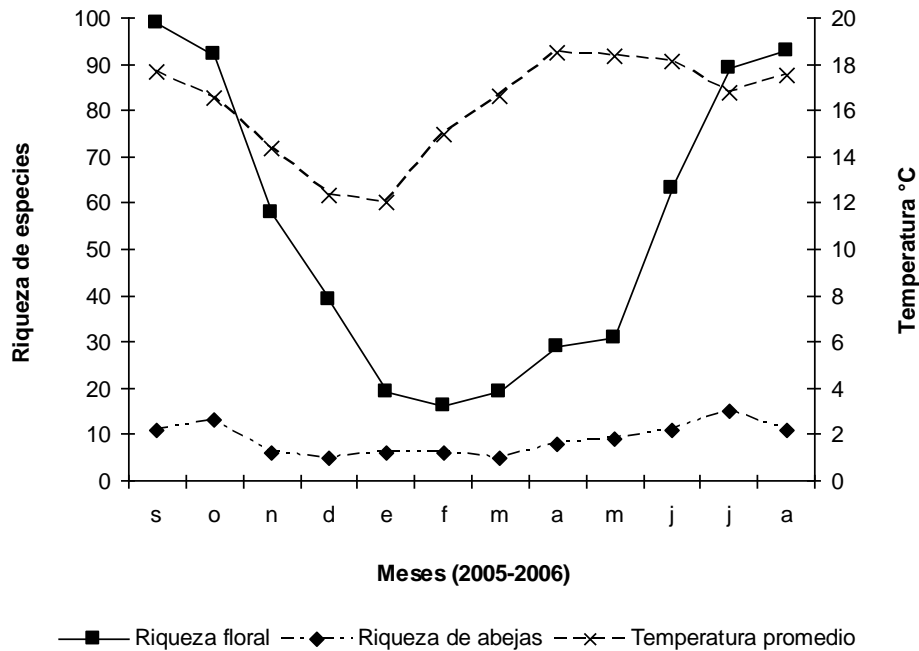


Figura 15. Variación mensual del número de especies de abejas y su relación con el número de especies vegetales en floración y la temperatura.

5.5. Efecto del color de las trampas jabonosas

El uso de las TJC mostró una alta efectividad para la captura de especies de abejas poco abundantes o raras, incluso algunas especies sólo pudieron ser capturadas por este método (Cuadros 2 y 4), como *Hylaeus* sp. 1, *Andrena* sp. 1, *Lasioglossum (Dialictus)* sp. 3 y *Ceratina capitosa*. La cantidad de abejas recolectadas fue afectada significativamente por el color de las trampas ($F_{3,60} = 106.6, P < 0.0001$), la fecha de recolecta ($F_{3,60} = 5.175, P < 0.0001$) y la interacción mes \times fecha ($F_{3,60} = 1.840, P < 0.0001$). Las trampas de color violeta y amarillo registraron significativamente mayor densidad de abejas que las de color anaranjado y rojo (Fig. 16).

Cuadro 4. Detalle de especies y número de ejemplares capturados mediante el sistema de trampas jabonosas coloridas en la REPSA, entre septiembre del 2005 a agosto del 2006.

	Roja	Anaranjada	Amarilla	Violeta	Total
<i>Hylaeus</i> sp. 1	0	0	0	1	1
<i>Andrena</i> sp. 2	0	0	0	1	1
<i>Augochlora smaragdina</i>	0	0	1	0	1
<i>Augochlorella pomoniella</i>	0	0	1	0	1
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1	0	2	9	19	30
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 2	0	2	6	8	16
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 3	0	1	0	0	1
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 4	0	0	1	0	1
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. nov. 2	0	0	1	2	3
<i>Lasioglossum (Lasioglossum)</i> sp. 1	0	0	0	1	1
<i>Apis mellifera</i>	1	4	27	36	68
<i>Ceratina capitosa</i>	0	0	2	1	3
<i>Ceratina mexicana</i>	0	4	31	27	62
<i>Deltoptila elefas</i>	0	0	0	1	1
<i>Diadasia rinconis</i>	0	0	0	1	1
<i>Exomalopsis mellipes</i>	0	1	0	0	1
<i>Melissodes tepaneca</i>	0	0	0	1	1
<i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>	0	0	0	4	4
TOTAL	1	14	79	103	197

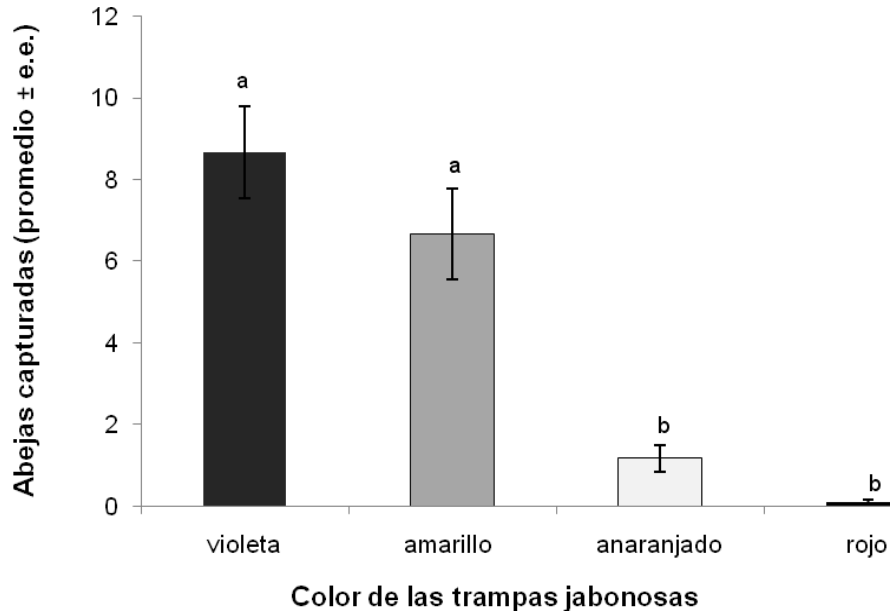


Figura 16. Abundancia de las abejas que resultaron del monitoreo con trampas jabonosas de diferente color en la Reserva del Pedregal.

Los meses en los que se recolectó el mayor número de abejas fueron noviembre, abril y febrero, con 33, 28 y 18 abejas, respectivamente; mientras que en septiembre y agosto que se colectaron muy pocos individuos (11) para cada mes, enero con nueve y diciembre con ocho. El color violeta atrajo más abejas en los meses de febrero, abril, y noviembre, mientras que el amarillo lo hizo en los meses de abril, junio y noviembre (Fig. 17).

Las trampas de color violeta, amarillo y anaranjado registraron siete, tres y dos especies exclusivas, respectivamente (Cuadro 5).

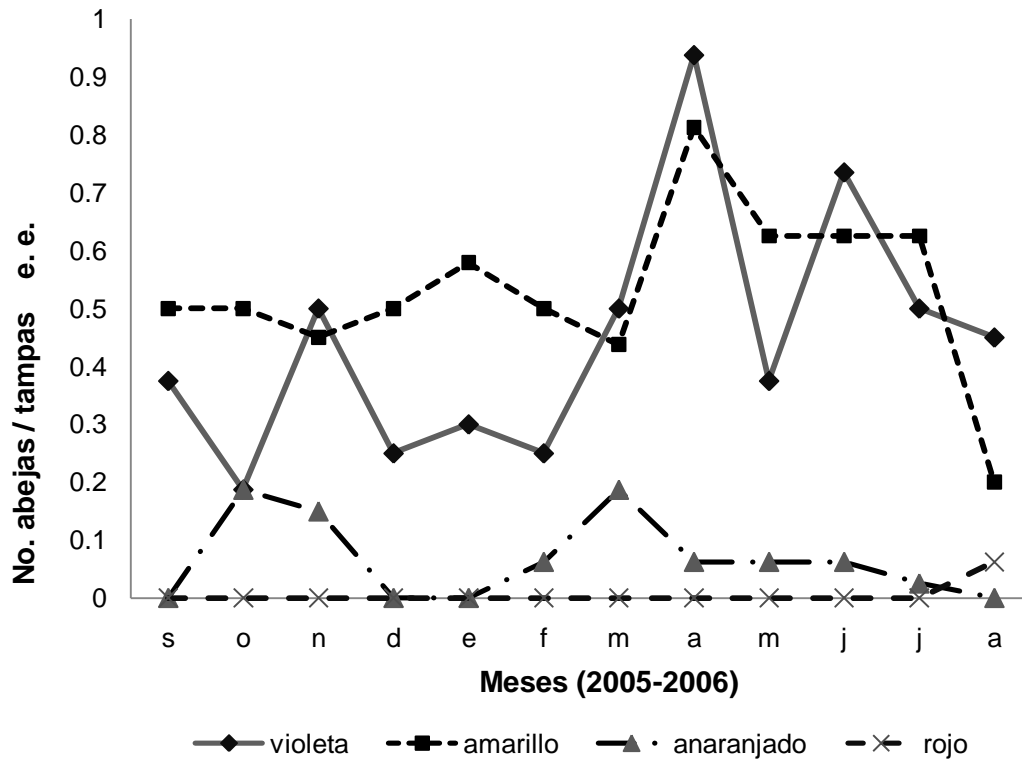


Figura 17. Número promedio de abejas capturadas con trampas jabonosas de distinto color en la REPSA. Datos de 2005-2006.

Cuadro 5. Número total de individuos y especies capturados por trampas jabonosas de distinto color.

Color	No. de individuos	No. de especies	No. sp. exclusivas	No. sp. compartidas
Violeta	103	13	7	6
Amarilla	79	9	3	6
Anaranjada	14	6	2	4
Roja	1	1	0	0

Las comunidades de abejas recolectadas con trampas de color violeta y amarillo registraron altos índices de similitud entre ellas (54.5%), mientras que las colectadas con trampas rojas registraron los índices de similitud más bajos (Cuadro 6).

De acuerdo con el coeficiente de similitud de Sørensen CSS (Southwood, 1978) las especies de abejas que son atraídas por el color violeta y amarillo presentan una menor distancia de vinculación (Fig. 19).

Cuadro 6. Valores del coeficiente de similitud de Sørensen entre comunidades de abejas colectadas en trampas jabonosas de distinto color en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel.

	Roja	Anaranjada	Amarilla
Anaranjada	0.286	-	-
Amarilla	0.200	0.533	-
Violeta	0.143	0.421	0.545

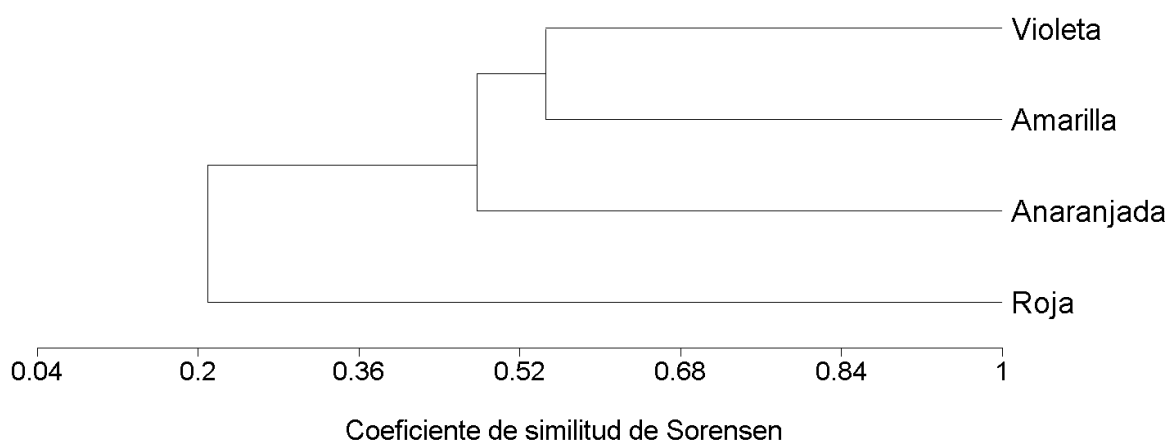


Figura 19. Fenograma que refleja el grado de similitud entre las comunidades de abejas atraídas hacia las trampas de diferentes colores. Para la generación del fenograma se utilizó el método de ligamento UPGMA.

Con las trampas jabonosas se colectaron también ejemplares de insectos de los órdenes Collembola, Hemiptera, Homoptera, Tysanoptera, Diptera, Coleoptera, Hymenoptera (avispas y hormigas) y Lepidoptera. El color violeta atrajo gran cantidad de coleópteros y dípteros, sobre todo de la familia Syrphidae, mientras que los colores rojo y anaranjado atrajeron a un gran número de áfidos. El color rojo, por su parte, fue atractivo para los lepidópteros.

5.6. Recursos florales utilizados

Se registraron 61 especies de plantas pertenecientes a 28 familias que fueron visitadas por abejas en los sitios estudiados (ver Anexo 3). La especie de abeja que más especies de plantas utilizó fue *Apis mellifera*, que se colectó sobre flores de 38 especies de plantas, seguida de *Ceratina mexicana* (con 23), *Bombus pennsylvanicus sonorus* (con 19) y *Xylocopa tabaniformis azteca* (con 17) (Fig. 20).

La especie de planta cuyas flores fueron visitadas por el número más alto de especies de abejas fue *Dahlia coccinea*, en la cual se registraron diez especies, seguida de *Tithonia tubaeiformis*, con nueve registros, *Verbesina virgata*, con seis, y *Eupatorium pulchellum*, *Florestina pedata*, *Buddleia cordata* y *Shinus molle*, todas las cuales registraron cuatro especies de abejas (Anexo 3; Fig. 21).

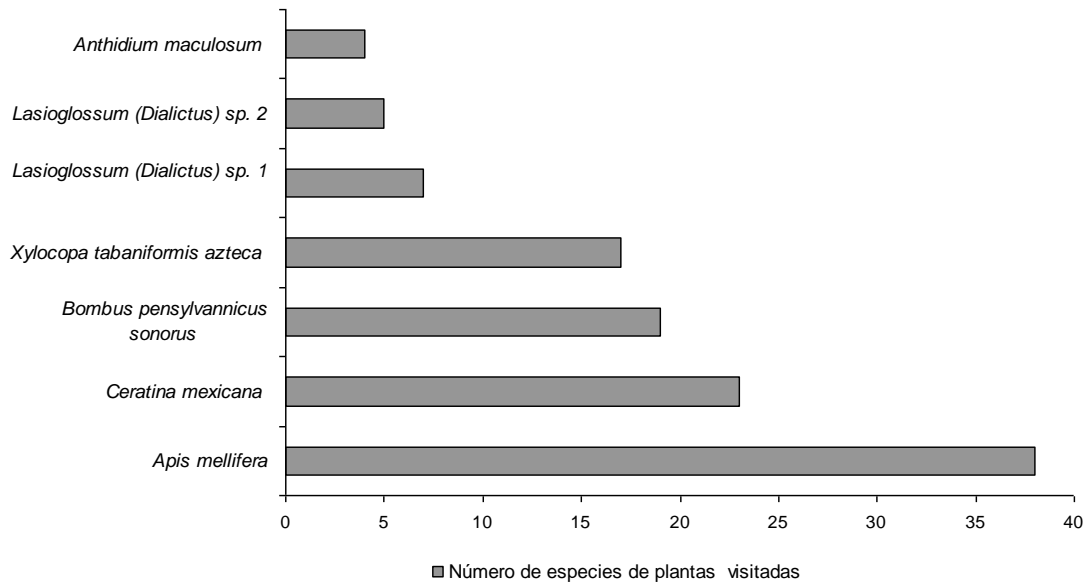


Figura 20. Número de especies de plantas visitadas por siete especies de abejas de la Reserva del Pedregal entre septiembre de 2005 y agosto de 2006.

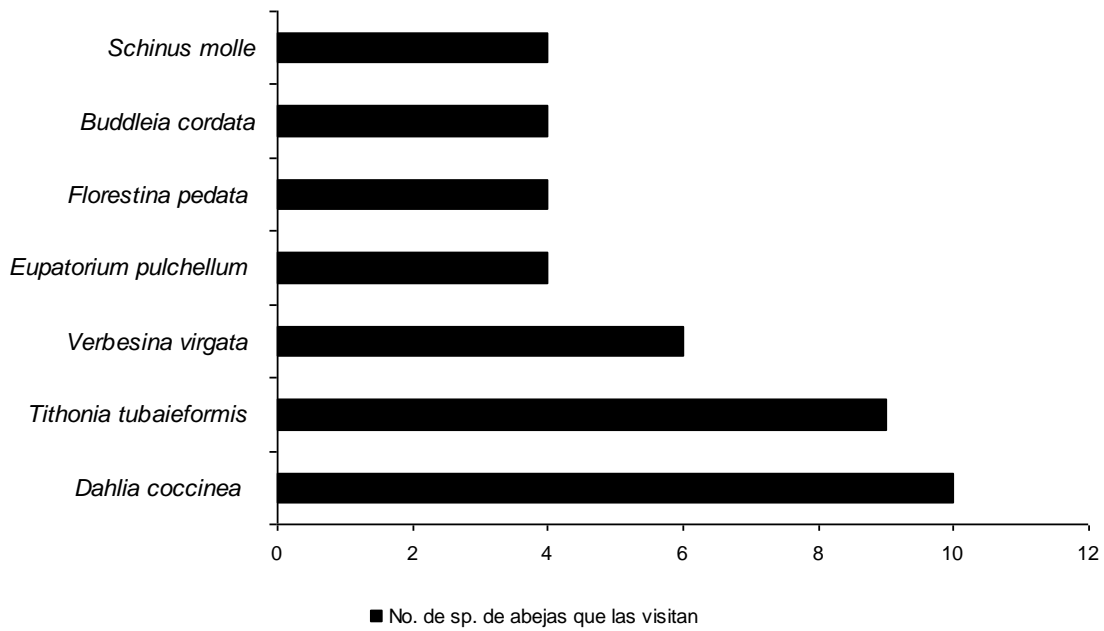


Figura 21. Número de especies de abejas registradas en las flores de siete especies de plantas de la Reserva del Pedregal entre septiembre de 2005 y agosto de 2006.

6. DISCUSIÓN

6.1. Composición

Hinojosa-Díaz (1996) reporta 97 especies, 34 géneros y cinco familias de abejas para la Reserva del Pedregal. De esas especies en este estudio sólo se registró la presencia de 11: *Anthidium maculosum*, *Osmia azteca*, *Apis mellifera*, *Bombus ephippiatus*, *Bombus pennsylvanicus sonorus*, *Ceratina capitosa*, *Deltoptila elefas*, *Diadasia rinconis*, *Exomalopsis mellipes*, *Thygater analis* y *Xylocopa tabaniformis azteca*. No obstante, en los dos estudios, se registraron las mismas cinco familias de abejas. Se detecta la necesidad de realizar más trabajo taxonómico profundo, debido a que en ambos estudios tenemos especies determinadas con el mismo nombre, pero muy posiblemente corresponden a diferente identidad específica.

Dos de las especies registradas en el presente estudio son especies nuevas para la ciencia (R. Ayala, com. pers.), ambas del género *Lasioglossum* (*Dialictus*), y seis más son nuevos registros para la REPSA: *Augochlora smaragdina* (Friese), *Augochlorella pomoniella* (Cockerell), *Centris mexicana* (Smith), *Ceratina mexicana* (Cresson), *Diadasia olivacea* (Cresson) y *Melissodes tepaneca* (Cresson).

Al igual que en el trabajo realizado por Hinojosa-Díaz (1996), un tercio de las especies colectadas no pudo ser determinado a nivel de especie, por lo que muy probablemente, al realizarse las revisiones taxonómicas de los géneros *Colletes*, *Hylaeus*, *Andrena*, *Lasioglossum* y *Ceratina* se reduzca el número de especies registradas originalmente (ver Anexo 2).

Es posible que la riqueza de especies registrada por Hinojosa-Díaz (1996) esté sobrestimada, ya que este dato correspondería a sitios con bosque de pino o

bosques templados del centro de México (R. Ayala, com. pers.). De acuerdo con Ayala *et al.* (1998.) las especies de los géneros *Ceratina* y *Dialictus* hasta este año cuentan con un registro de 22 especies cada uno de estos géneros para todo el país. Si bien es cierto que no se revisó dicho material, en este estudio se pudo detectar que *Ceratina mexicana* es una especie con una alta variación de tamaño y coloración del integumento, lo que podría prestarse a mucha confusión y a una sobrestimación del número de especies en la Reserva del Pedregal en el trabajo de Hinojosa-Díaz (1996).

6.2. Fenología de las abejas y su relación con los factores ambientales

Se encontró que las especies que están activas todo el año son precisamente aquellas que tienen una conducta social o ciclos de vida multivoltinos, es decir varias generaciones a lo largo del año, tal como es el caso de *Apis mellifera*, *Xylocopa tabaniformis azteca*, *Bombus pennsylvanicus sonorus* y *Ceratina mexicana* (todas de la familia Apidae), así como *Lasioglossum (Dialictus) sp. 1* de la familia (Halictidae).

Cerca de la mitad de las especies (16, 55%) se presentan durante la época de lluvias, que es también cuando ocurre el pico de floración en la REPSA, tal como lo sugirieron los datos de Hinojosa-Díaz (1996); sin embargo los datos arrojados por el análisis de regresión múltiple indican que el principal factor que puede determinar la riqueza de especies de abejas activas a lo largo del año, es en primer lugar, la temperatura y en segundo, la humedad relativa. Aunque en el presente estudio se planteó en la hipótesis que la riqueza de especies de abejas estaría directamente relacionada con la diversidad de recursos, tal como lo

sugieren otros estudios (Proctor *et al.*, 1996), el análisis estadístico revela que en el sistema estudiado la temperatura es el factor más importante para la presencia de abejas. Esto tendría sentido en la medida en que para un gran número de insectos la temperatura es el factor ambiental que determina la inducción y término de la diapausa (Tauber y Tauber, 1981). Stamp (1993) sugiere que al menos para las larvas de lepidópteros en las regiones templadas la temperatura es uno de los tres factores más influyentes que moldean los patrones de forrajeo, además de la calidad del alimento y los depredadores de las mismas. En el caso particular de este estudio el pico de especies se encuentra en el momento en el cual la reserva es más cálida y húmeda, Comienza incrementando el número de especies en julio y llega a la mayor riqueza con 15 especies.

Particularmente para la mayoría de las especies de abejas que son solitarias y con ciclos de vida cortos (Ayala, 2004; Michener, 2000), limitados a un tiempo específico durante el año (Scott y Epstein, 1987); las señales que brindan los cambios estacionales o cambios en los factores ambientales serán de vital importancia para poder obtener los recursos necesarios para su sobrevivencia. Sin embargo, la variación en la temperatura puede afectar fuertemente la fenología de los de insectos, modulando sus periodos de actividad. Los cambios en la fenología, en el tiempo de emergencia o en los periodos de actividad pueden afectar el desempeño de las especies de plantas y animales que dependen de ellos, debido a su acción como polinizadores, depredadores o presas (Logan *et al.*, 2006).

La variabilidad estacional de los artrópodos puede ser extremadamente elevada, (Logan *et al.*, 2006), esto refleja que sólo existe un periodo en el cual la

fuente de alimento está disponible; esta variabilidad también puede estar ligada a los cambios ambientales en términos de precipitación en las regiones tropicales (Denlinger *et al.*, 1980), o en términos de temperatura en ecosistemas templados (Mani, 1968; Scott y Epstein, 1987). La precipitación afecta la humedad del aire y muchas especies de insectos alcanzan su máximo valor de abundancia en su fase adulta durante la estación húmeda en regiones tropicales (Wolda, 1988, 1989; Wolda y Roubik, 1986), o durante la estación cálida en ecosistemas templados (Scott y Epstein, 1987). La temperatura es un factor muy importante que es tomado en cuenta en los modelos teóricos de interacciones bióticas en los que se encuentran los artrópodos, que tienen un carácter exotérmico (Walther *et al.*, 2002; Logan *et al.*, 2006).

La humedad relativa, por su parte, es un factor ambiental que reduce las posibilidades de deshidratación de los insectos (Krebs, 1978). La humedad en la actividad diaria de los insectos, tiene una influencia determinante en el metabolismo de los insectos, por lo menos en algunos casos, los aumentos en el metabolismo y la tasa de intercambio de gases o de una mayor actividad puede ser el resultado de la disminución de la humedad (Danks, 2000).

El contenido de agua de los insectos varía ampliamente, desde 40 a 90 % de la masa húmeda (Edney 1977; Hadley 1994). Es más baja en los insectos con altas reservas de grasa o pesados cutículas, y varía entre las especies, instares, los individuos, ya lo largo del tiempo en un mismo individuo (Wharton 1985). Debido a la relación inversa entre el contenido de agua y lípidos, contenido de agua no es necesariamente una buena indicación del estado de hidratación de un

insecto. Los insectos que presentan diapausa en alguna fase de su vida tienden a tener menor contenido de agua debido a la acumulación de grasa (Danks, 2000).

Los factores ambientales que resultaron ser más influyentes en la riqueza de abejas contrastan con los resultados de un estudio de la fenología de las mariposas diurnas en la REPSA, realizado de forma paralela a éste por Moyers-Arévalo y Cano-Santana (2009) en donde se obtuvo que los factores ambientales más determinantes para este grupo de lepidópteros es positivamente la riqueza mensual de las especies vegetales y negativamente la precipitación mensual.

6.3. Color de las trampas jabonosas y la eficiencia de captura

El método de las trampas jabonosas coloridas no había sido utilizado para estudiar la entomofauna de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Este método demostró ser eficaz para la captura de especies de abejas “raras”, que son aquellas que aportan menos del 4% de los ejemplares. Este método también fue muy efectivo para capturar abejas que no pudieron ser colectadas con red entomológica. En este estudio, por ejemplo, se colectaron cuatro especies exclusivamente con este método. Además las trampas son útiles para la captura de insectos pertenecientes a varios grupos, como colémbolos, hemípteros, homópteros, trips, dípteros, hormigas, coleópteros y lepidópteros.

Con las trampas de color violeta y amarillo se logró capturar un mayor número de abejas que con las de color anaranjado y el rojo. Estos resultados concuerdan con los experimentos y observaciones en campo (Chittka, 1997) en los que se registra que las abejas tienden a tener mayor constancia floral a flores con colores amarillos y violetas o morados. Sin embargo, se registró que el uso de

distintos colores complementa el poder atractivo de las trampas, ya que ciertas especies de abejas son atraídas por un color particular; por ejemplo *Lasioglossum (Dialictus)* sp. 3 y *Exomalopsis mellipes* sólo fueron registradas en las trampas anaranjadas (ver Cuadro 4). Por lo anterior, para llevar a cabo un programa de monitoreo estacional de abejas se recomienda hacer colectas con redes y trampas jabonosas de los colores violeta, amarillo y anaranjado y, posiblemente, incluir colores como el rosa y blanco.

El color de trampa que mostró menor éxito en la atracción de abejas fue el rojo, pues en estas sólo se capturó un ejemplar; sin embargo éstas atrajeron varios ejemplares de áfidos (Homoptera). Las razones de que las abejas evitan el rojo y en cambio son atraídas por el violeta y el amarillo se exponen a continuación.

La mayoría de las abejas tienen tres tipos de receptores del color con tres diferentes picos de sensibilidad 340, 430 y 540 nm (Wener, *et al.*, 1988; Blackhouse, 1993; Chittka, 1996; Kevan *et al.*, 2001). Sin embargo, pocas especies de abejas tienen picos de sensibilidad en longitudes de onda más largas. Para la mayoría de las abejas, sin embargo, siempre que la fuente de luz sea suficientemente intensa (arriba de 650 nm) puede estimular el receptor de 540 nm (Chittka y Waser, 1997). Las abejas por lo tanto percibirán objetos de color rojo. Para discriminar las flores rojas del fondo verde, las abejas deben basarse esencialmente en la diferencia en la intensidad que la señal de la flor y el follaje generan en el “receptor verde” (540 nm) de las abejas (Giurfa *et al.*, 1996), por lo tanto, dependiendo de la intensidad relativa de las fuentes verde y roja, las abejas

pueden ser capaces o no, de discriminar entre flores rojas y follaje verde (Chittka y Waser, 1997, Rodríguez- Gironés y Santamaría, 2004).

6.4. Recursos florales utilizados por las abejas

La Reserva del Pedregal ofreció a lo largo del año diversos recursos a los visitantes florales, entre los que evidentemente se encuentran las abejas. Las especies de abejas que utilizan un mayor número de recursos fueron *Apis mellifera*, *Ceratina mexicana*, *Bombus pennsylvanicus sonorus* y *Xylocopa tabaniformis azteca*. Todas estas especies pertenecen a la familia Apide y tienen un tipo de agrupación eusocial y cuasisocial (Michener, 2000). Wilson (1979) considera que todas las abejas sociales son de hábitos polilécticos debido a su capacidad de mantener individuos adultos activos durante todo el año (*i.e.*, son multivoltinos), lo cual les permite explotar diferentes recursos florales que se van presentando en distintas estaciones.

La especies vegetales más visitadas fueron: *Dahlia coccinea*, *Tithonia tubaeiformis*, *Verbesina virgata*, *Eupatorium pulchellum*. *Florestina pedata*, *Buddleia cordata* y *Shinus molle*. La mayoría de estas especies pertenecen a la familia Asteraceae. De hecho, 19 especies vegetales de esta familia son melitofílicas. Este resultado coincide con los reportados por Hinojosa (1996) quien ya había registrado que la mayoría de las especies de plantas visitadas por abejas son asteráceas.

Una observación pertinente es que la especie asterácea *Senecio praecox* (= *Pittocaulon praecox*), que es una especie dominante en la Reserva del Pedregal

no atrae a abejas polinizadoras, pese a que sus flores presentan un color amarillo intenso y un agradable olor a chocolate (Figueroa-Castro, 1997).

6.5. El papel de *Apis mellifera* en el ecosistema del Pedregal

En este estudio *Apis mellifera* fue una especie abundante y dominante en la comunidad de abejas, por ello, se debe vigilar su presencia, ya que sus colonias ferales y manejadas pueden extraer grandes cantidades de polen y néctar, lo cual puede representar una fuerte competencia considerando que se comparten recursos florales con otras especies nativas, tanto de abejas como de otros polinizadores (Buchmann, 2000; Paini, 2004). Durante el periodo de este estudio se pudo observar la presencia constante de *Apis mellifera* a lo largo del día y a lo largo del año y sobre una gran cantidad de especies florales. Incluso se observó a *Apis mellifera* buscando néctar por un orificio del tépalo perforado de la orquídea *Spirantes llaveana*.

Las zonas desérticas y los matorrales xerófilos, son extremadamente ricos en abejas polinizadoras y en plantas polinizadas por abejas (Michener, 2000) con la reproducción de las plantas nativas se previene problemas como la erosión, además de que se provee a la fauna silvestre de comida y refugio. La conservación de hábitats como éste dependen fuertemente de la conservación de las poblaciones de abejas, si las abejas desaparecen la reproducción de la mayoría de las especies de flora podría estar seriamente limitado (Michener, 2000)

6.6. Recomendaciones para estudios futuros

Para entender mejor la ecología de las abejas de la REPSA se recomienda lo siguiente:

1. Realizar estudios ecológicos cuantitativos para conocer cuáles son las especies florales que más recursos energéticos y nutritivos aportan (en términos de polen y néctar) a la comunidad de abejas en las diferentes épocas del año.
2. Estudiar las estrategias que presentan en las flores de la REPSA y como contribuyen estas a asegurar el trabajo de los polinizadores, particularmente abejas y en la constancia floral.
3. Promover estudios sobre la historia natural de las especies de abejas más conspicuas de la Reserva, para de esta manera tener información que permita evitar su desplazamiento por la entrada de especies exóticas como *Apis mellifera* o en un futuro nuevos *Bombus*.
4. Conocer de manera puntual de qué forma y en qué grado afecta la presencia de la abeja europea *Apis mellifera* a las especies silvestres presentes en la REPSA.
5. Se recomienda la revisión taxonómica de los géneros y especies de la colección de abejas del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera” de la Facultad de Ciencias de la UNAM, con la finalidad de conocer de forma certera el número de géneros y especies presentes en la REPSA.

7. CONCLUSIONES

1. En la REPSA en este estudio se registraron 18 géneros y 29 especies de abejas pertenecientes a las familias Colletidae, Andrenidae, Halictidae, Megachilidae y Apidae.
2. Se reconocieron cuatro patrones fenológicos en las abejas: (1) con actividad restringida en lluvias (16 especies), entre las que destacan por su abundancia: *Thygater analis*, *Anthidium maculosum* y *Diadasea olivacea*; (2) intermedios con actividad entre lluvias y secas, con seis especies, entre las que se encuentran *Ceratina capitosa* y *Exomalopsis mellipes*; (3) con actividad todo el año (con seis especies), entre las que destacan *Apis mellifera*, *Lasioglossum (Dialictus)* sp. 1 y *Bombus pennsylvanicus*; y (4) con actividad restringida en secas, la cual registra una sola especie: *Lasioglossum (Dialictus)* sp. 4.
3. La fenología floral de especies no anemófilas de plantas, ocurre de la siguiente manera: 89 especies florecen durante la época de lluvias, 11 en la época seca, 37 tienen una floración que inicia en lluvias y se extiende al inicio de secas (noviembre y diciembre), nueve especies florecen en la última etapa de la época seca (abril y mayo) y continúan su floración en junio, y cinco especies florecen a lo largo de todo el año.
4. Las variables ambientales que afectan la actividad estacional de las abejas son la temperatura y la humedad relativa.
5. Las trampas más eficientes para capturar abejas son las de color violeta y amarillo, y las más ineficientes las anaranjadas y rojas; sin embargo, el uso

de varios colores garantiza la captura de ciertas especies exclusivas que son atraídas por un color particular.

6. Las especies de abejas que explotan las flores de un mayor número de plantas fueron, en orden descendiente: *Apis mellifera*, *Ceratina mexicana*, *Bombus pennsylvanicus sonorus*, *Xylocopa tabaniformis azteca*, *Lasioglossum (Dialictus) sp. 1*, *Anthidium maculosum*, *Thygater analis*, *Lasioglossum (Dialictus) sp. nov. 1* y *Lasioglossum (Dialictus) sp. 2*, las cuales visitaron 38, 23, 19, 17, siete, cuatro, tres, tres y tres especies, respectivamente.
7. Las especies de plantas cuyas flores registraron visitas de un mayor número de especies de abejas fueron: *Dahlia coccinea*, *Tithonia tubaeiformis*, *Verbesina virgata*, *Eupatorium pulchellum*, *Florestina pedata*, *Buddleia cordata* y *Shinus molle*, la mayoría de las cuales son asteráceas.

8. LITERATURA CITADA

- Alam, J., T.E. Ohnmeiss, J. Lanza y L. Vrisenga. 1990. Preference of cabbage white butterflies and honey bees for nectar that contains aminoacids. *Oecologia*, **84**: 53-7.
- Alexander, B.A. y C.D. Michener. 1995. Phylogenetic Studies of the families of short-tongued bees (Hymenoptera: Apoidea). *University of Kansas Science Bulletin*, **55**: 377-424.
- Álvarez, J., J. Carabias, J. Meave, P. Moreno-Cassasola, D. Nava, F. Rodríguez, C. Tovar y A. Valiente. 1982. *Proyecto para la creación de una reserva en el Pedregal de San Ángel*. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Ayala, R. 2004. Fauna de abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea). Pp 193-219, en: García-Aldrete, A.N. y R. Ayala (eds.). *Artrópodos de Chamela*. Instituto de Biología, UNAM. México
- Ayala R., T.L. Griswold, S.H. Bullock. 1998. Las abejas nativas de México. Pp. 179-225, en: *Diversidad Biológica de México. Orígenes y distribución*. Ramamoorthy, T.P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds). Instituto de Biología. UNAM, México.
- Barth, F.G. 1985. *Insects and flowers. The biology of a partnership*. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.
- Bertin, R.I. 1989. Pollination Biology. Pp 23-83, en: Abrahamson, W.G. (ed.). *Plant-animal interactions*. Mc Graw Hill, Nueva York.
- Blackhouse, W. 1993. Color vision and color choice behavior of the honey bee. *Apidology*. **24**: 309-331.

- Boch, J., J. Retana y X. Cerdá. 1997. Flowering phenology, floral traits and pollinator composition in a herbaceous Mediterranean plant community. *Oecologia*, **109**: 583-591.
- Borror, D.J., D.M. De Long y C. A. Triplehorn. 1976. *An introduction to the study of insects*. Cuarta edición. Holt, Rinehart and Winston, Nueva York.
- Buchmann, S.L. y G. P Nabhan. 1996. *The forgotten pollinators*. Island Press, Washington, D.C.
- Cano-Santana, Z. 1987. Ecología de la relación entre *Wigandia urens* y sus herbívoros en el Pedregal de San Ángel D. F. (México). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cano-Santana, Z. y J.A. Meave. 1996. Sucesión primaria en derrames volcánicos: el caso del Xitle. *Ciencias*, **41**: 58-68.
- Cano-Santana, Z., S. Castillo-Argüero, Y. Martínez-Orea y S. Juárez-Orozco. 2008. Análisis de la riqueza vegetal y el valor de conservación de tres áreas incorporadas a la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, Distrito Federal (México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **82**: 1-14.
- Cañón-Tapia, E., G.P.L. Walker y E. Herrero-Bervera. 1995. Magnetic fabric and flow direction in basaltic Pahoehoe lava of Xitle volcano, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **65**: 249-263.
- Carrillo-Trueba, C. 1995. *El Pedregal de San Ángel*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Castillo-Argüero, S., G.M. Cartas, M.A. Romero, Y. Martínez, P. Guadarrama, I. Sánchez y O. Núñez. 2004. Dinámica y conservación de la flora del

- matorral xerófilo de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (D. F., México). *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **74**: 51-75.
- Castro- Figueroa D.M. 1997. Análisis comparativo de la biología floral de cinco especies de compuestas del pedregal de San Ángel D.F. (México). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- César-García, S.F. 2002. Análisis de algunos factores que afectan la fenología reproductiva de la comunidad vegetal de la Reserva del Pedregal de San Ángel, D. F. (México). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Chittka, L. 1996. Does bee colour vision predate the evolution of flower color? *Naturwissenschaften*, **83**: 136-138.
- Chittka, L. 1997. Bee color vision is optimal for coding flower color, but flower colors are not optimal for being coded-why? *Israel Journal of Plant Sciences*, **45**: 115-127.
- Chittka, L. y N. Waser. 1997. Why red flowers are not invisible to bees? *Israel Journal of Plant Science* **45**: 169-183.
- Chittka, L., J.D. Thomson y N. Waser. 1999. Flower constancy, insect psychology, and plant evolution. *Naturwiss*, **86**: 361–377.
- Crane, E. y P. Walker. 1984. *Pollination directory for world crops*. International Bee Research Association, Londres.
- Culliney, T.W. 1983. Origin and evolutionary history of the honeybees. *Apis Bee World*, **64**: 29-37.

- Danks, H.V., 2000. Dehydration in dormant insects. *Journal of Insect Physiology* **46**: 837-852
- Daumer, K. 1958. Blumenfarben, wie sie die Bienen sehen. *Zeit. Vergl. Physiologie*, **41**: 49-110.
- Delaplane, K.S. y D.F., Mayer. 2000. *Crop pollination by bees*. CABI Publishing, Wallingford, Inglaterra.
- Denlinger, L., M. Shukla y D.L. Faustin. 1980. Juvenile hormone involvement in pupal diapause of the flesh fly *sarcophagi Crassipalpis*: regulation of infradian cycles of O₂ consumption. *Journal of Experimental Biology*. **109**, 191-199.
- Devillers, J. 2002. The ecological importance of honey bees and their relevance to ecotoxicology. Pp.5-23, en: Davillers, J. y M. Phan-Delegue (eds.). *Honey bees: Estimating the environmental impact of chemicals*. Taylor and Francis, Nueva York.
- Dressler, R.L. 1968. Pollination in euglossine bees. *Evolution*, **22**: 202-210.
- Dukas, R y L.A. Real. 1993. Cognition in bees: From stimulus reception to behavioral change. Pp 343–374, en: Papaj, D.R y A.C. Lewis (eds.). *Insect learning: ecological and evolutionary perspectives*. Chapman and Hall, Nueva York.
- Enciso, S. 1979. Las lavas del Pedregal. Pp 123-127, en: Rojo A. (comp.). *Reserva Ecológica "El Pedregal de San Ángel: Ecología, historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México (1994), México.
- Edney, E.B. 1977. *Water balance in land arthropods*. Springer, Berlin.

- Faegri, K. y L. van der Pijl. 1979. *The principles of pollination ecology*. Pergamon, Oxford.
- Faheem, M., M. Aslam y M. Razaq. 2004. Pollination ecology with special reference to insect a review. *Journal of Research (Science)*, **15**: 394-409.
- Frankie, G.W. 1976. Pollination of widely dispersal trees, by animals in Central America with an emphasis on bee pollination systems. Pp 151-159 en: Burley, J. y B.T. Style (eds.). *Tropical trees, variation breeding and conservation*. Academic Press, Londres.
- Free, J.B. 1970. The flower constancy of bumble bees. *Journal of Animal Ecology*, **39**: 395–402.
- Frolich, M.W. 1976. Appearance of vegetation in ultra- violet light: absorbing flowers, reflecting background. *Science*, **194**: 839- 841.
- Gegear, R.J. y T.M. Laverty. 2001. The effect of variation among floral traits on the flower constancy of pollinators. Pp. 1-20, en: Chittka, L. y J.D. Thompson. *Cognitive ecology of pollination. Animal behavior and floral evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gillott, C. 2005. *Entomology*. Tercera edición. Springer, Nueva York.
- Giurfa, M., M. Vorobyev, P. Kevan y R. Menzel. 1996. Detection of coloured stimuli by honeybees: Minimum visual angles and receptor specific contrast. *Journal of Comparative Phisiology A.*, **178**: 699-709.
- Giurfa, M. W. Backhaus y R. Menzel. 1995. Color and angular orientation in the discrimination of bilateral symmetric patterns in the honeybee. *Naturwiss.* **82**: 198–201

- Glover, B.J. 2007. *Understanding flowers and flowering. An integrated approach*. Oxford University Press, Oxford.
- Goulson, D. 2000. Are insects flower constant because they use search images to find flowers? *Oikos*, **88**: 547–552.
- Grant, V. 1950. The flower constancy of bees. *Botanical Review*, **16**: 379-398.
- Gross, C.L. 1992. Floral traits and pollinator constancy: foraging by native bees among three sympatric legumes. *Australian Journal of Ecology*, **17**: 67–74.
- Guldberg, L.D. y P.R. Atsatt. 1975. Frequency of reflection and absorption of ultraviolet light in flowering plants. *The American Midland Naturalist*, **93**: 35-43.
- Hadley, N.F. 1994. *Water relations of terrestrial arthropods*. Academic Press. Londres.
- Heinrich, B. 1976. The foraging specializations of individual bumblebees. *Ecological Monographs*, **46**,105–28.
- Heinrich, B. y P.H. Raven. 1972. Energetic and pollination ecology. *Science*, **176**: 597-602.
- Heinrich, B., P.R. Mudge y P.G Deringis. 1977. Laboratory analysis of flower constancy in foraging bumblebees: *Bombus ternarius* and *B. terricola*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **2**: 247–265.
- Heithaus, E.R. 1979. Community structure of Neotropical Flower visiting bees and wasp: Diversity and phenology. *Ecology*, **60**: 190-202.
- Hill, P.S., P.H. Wells y H. Wells. 1997. Spontaneous flower constancy and learning in honey bees as a function of color. *Animal Behavior*, **54**: 615–627.

- Hinojosa-Díaz, I.A. 1996. Estudio faunístico de las abejas silvestres (Hymenoptera: Apoidea) del Pedregal de San Ángel, D. F. México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 51 pp.
- Hurd P.D. 1979. Superfamily Apoidea. Pp.1741-2209, en: Krombein, K.V., P.D. Hurd, D.R. Smith y B.D. Burks (eds.), *Catalog of Hymenoptera in America North of Mexico. Vol. 2.* Smithsonian Institution Press, Washington.
- Kevan, P.G. 1972. Floral colors in the High Arctic with reference to insect flower relations and pollination. *Canadian Journal of Botany*, **50**: 2289-2316.
- Kevan, P.G. 1979. Vegetation and floral colors revealed by ultraviolet light: Interpretational difficulties for functional significance. *American Journal of Botany*, **66**: 746-751.
- Kevan, P.G. 1983. Flower colors through the insect eye: what they are and what they mean. Pp 3-30, en: Jones, C.E. y J. Little (eds.). *Handbook of experimental pollination.* Von Nostrand, Nueva York.
- Kevan, P.G. y H. G. Baker. 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology*, **28**: 407-453.
- Kevan P.G., L. Chittka y A.G. Dyer. 2001. Limits to the salience of ultraviolet: Lessons from colour vision in bees and birds. *The Journal of Experimental Biology*. **204**: 2571–2580.
- Krebs, C.J. 1978. *Ecology; the experimental analysis of distribution and abundance.* Harper and Row Pub., Nueva York.
- Kozin, R.B. 1976. *Pollination of entomophilous agricultural crops by bees.* Amerind Publishing Co., Nueva Dehli.

- Leppik, E.E. 1956. The form and function of numeral patterns in flowers. *American Journal of Botanical*, **43**: 445-455.
- Levin, D.A. 1978. Pollinator behavior and the breeding structure of plant populations. Pp 133–150, en: Richards A.J. (ed.). *The pollination of flowers by insects*. Academic Press, Londres.
- Lieth, H. 1974. Propouses of a phenology book. Pp 3-19, en: Lieth, H. (ed.). *Phenology and seasonality modeling*. Springer-Verlag, Nueva York.
- Linsley, E.G. 1958. The ecology of solitary bees. *Hilgardia, Berkeley*, **27** 543-597.
- Logan D.J., W. Wolesensky y A.Joern. 2006. Temperature-dependent phenology and predation in arthropod systems. *Ecological modeling*, **196**: 471-482.
- Magurran, A.E. 1988. Ecological diversity and measurement. Princeton University Press. Princeton, Nueva Jersey.
- Mani, M.S. 1968. Ecology and Biogeography of High Attitude Insects. The Hague, Dr. W. Junk N. V. Publishers.
- Méndez-Ramírez V., S. Magaña- Rueda, V. Parra-Tabla, R. Ayala, J. Navarro. 2004. Diversity of native bee visitors of cucurbit crops (Cucurbitaceae) in Yucatán, México. *Journal of Insect Conservation*. **6**: 135–147
- Menzel, R. 1985 Learning in honeybees in an ecological and behavioral context. Pp 55–74, en: Hölldobler B. y M. Lindauer (eds.). *Experimental behavioral ecology*, Fischer Verlag, Stuttgart.
- Menzel R. 2001. Behavioral and neural mechanisms of learning and memory as determinants of flower constancy. Pp. 21-40 en: Chittka, L. y J.D. Thompson (eds.). *Cognitive ecology of pollination. Animal behavior and floral evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Menzel, R., I. Eber y T. Masuhr. 1974. Learning and memory in the honeybee. Pp. 195-217, en: Browne, L.B. (ed.). *Experimental analysis of insect behavior*. Springer, Berlín.
- Michener, C.D. 1974. *The social behavior of the bees a comparative study*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Michener, C. D. 1986. Family-group names among bees. *Journal of the Kansas Entomological Society*, **59**: 219-234.
- Michener, C.D. 1993. Series Apiformes. Pp.307-325 y 347-351, en: Goulet, H. y J.T. Huber (eds.). *Hymenoptera of the world: An identification guide to families*. Research Branch Agriculture Canada Publication No.1894/E, Canadá.
- Michener, C.D. 2000. *The bees of the world*. John Hopkins University Press, Baltimore.
- Michener, C.D. y R.W. Brooks. 1984. Comparative study of the glossae of bees. *Control American Entomology Institute*. **22**:1-73.
- Michener, C.D. y L. Greenberg. 1980. Ctenoplectridae and the origin of long-tongued bees. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **69**: 183-203.
- Moyers-Arévalo R.L. y Z. Cano-Santana. (En prep). Fenología de la comunidad de mariposas diurnas y su relación con la fenología floral de las plantas y otros factores ambientales. E. Lott A. (comp). *Biodiversidad del ecosistema del Pedregal de San Ángel*
- Mulligan, G.A. y P.G. Kevan. 1973. Color, bright-ness, and other floral characteristics attracting insects to the blossoms of some Canadian weeds. *Canadian Journal of Botany*, **51**: 1939-1952.

Multi-Variate Statistical Package v.3.1. Kovach Computing Services, Anglesey, Gales.

Neff, J.L. y B.B. Simpson. 1981. Oil-collecting structures in the Anthophoridae (Hymenoptera): morphology, function, and use in systematics. *Journal of the Kansas Entomological Society*. **54**: 95-123.

Olesen, J.M. y E. Warncke. 1989, Flowering and seasonal changes in flower sex ratio and frequency of flower visitors in a population of *Saxifraga hirculus*. *Holarctic Ecology*, **12**: 21-30.

P-REPSA, Portal de la Reserva Ecológica Pedregal de San Ángel (en línea). 2007. Fecha de actualización: 31/01/2007 Consulta: 05/02/2008. Disponible en: http://www.cic-ctic.unam.mx:31101/reserva_ecologica.

Proctor, M. y P. Yeo. 1973. *The pollination of flowers*. Collins, Londres.

Proctor, M., P. Yeo y A. Lack. 1996. *The natural history of pollination*. Harper Collins, Londres.

Potts, S.G., B. Vulliamy, S. Roberts, C. O'Toole, A. Dafni, G. Ne'eman y P. Willmer. 2005. Role of nesting resources in organizing diverse bee communities in a Mediterranean landscape. *Ecological Entomology* **30**: 78-85.

Richards, A.J. 1986. *Plant breeding systems*. Chapman and Hall, Londres.

Roberts, R.B. y SR. Vallespir. 1978. Specialization of hairs bearing pollen and oil on legs of bees (Apoidea: Hymenoptera). *Annals of Entomological Society of America, Lanham*, **71** : 619-627.

Rodríguez-Gironés, M.A. y L. Santamaría. 2004. Why are so many birds flowers red? *PLoS Biology*, **2**: 1515-1519.

- Rodriguez I., A. Gumbert, N. Hempel de Ibarra, J. Kunze y M. Giurfa. 2004. Symmetry is in the eye of the beholder: innate preference for bilateral symmetry in flower-naïve bumblebees. *Naturwissenschaften*, **91**: 374–377.
- Roig-Alsina, A. y C.D. Michener. 1993. Studies of the phylogeny and classification of long-tongued bees (Hymenoptera: Apoidea). *University of Kansas Science Bulletin*, **55**: 124-162.
- Rojo, A. 1994. Plan de manejo Reserva Ecológica El Pedregal de San Ángel. Pp: 371-320, en: Rojo, A. (comp.). *Reserva Ecológica “El Pedregal” de San Ángel: Ecología historia natural y manejo*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Roubik, D.W. 1989. *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Roulston, T.A., J.H. Cane y S.L. Buchmann. 2000. What governs protein content pollen; pollinator preferences, pollen-pistil interactions, or phylogeny? *Ecological Monographs*, **70**: 617-43.
- Rzedowski, J. 1954. Vegetación del Pedregal de San Ángel (Distrito Federal, México). *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN, México*, **8**: 59-129.
- Schoonhoven, L.M., J.J.A. van Loon y M. Dike. 2006. Segunda edición. *Insects plant biology*. Oxford University Press Inc., Nueva York.
- Scott, J.A. y M.E. Epstein. 1987. Factors affecting phenology in a temperate insect community. *The American Midland Naturalist*, **117**: 103-118.
- Seely, T.D. 1985. *Honey ecology*. Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey.

- Siebe, C. 2000. Age and archeological implications of Xitle volcano southwestern Basin of Mexico City. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **104**: 45-64.
- Silberglied, R.F. 1979. Communication in the ultraviolet. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **10**: 373-398.
- Soberón, J., M.C. Rosas y G. Jiménez. 1991. Ecología hipotética del Pedregal de San Ángel. *Ciencia y Desarrollo*, **17**: 25-38.
- Southwood, T. R.E. 1978. *Ecological methods*. Halsted Press, Londres.
- Stamp, N.E. 1993. A temperate region view of the interaction of temperature, food quality, and predators on caterpillar foraging. Pp. 479-508 en: Stamp, N.E., Casey, T.M. (eds.). *Caterpillars: ecological and evolutionary constraints on foraging*. Chapman and Hall - Nueva York.
- StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Stoner, K.A. 1992. Density of imported cabbageworm, cabbage aphid, and flea beetles on glossy and trichome-bearing lines of *Brassica oleracea* L. *Journal of Economic Entomology*, **85**: 1023-1030.
- Tauber, C.A. y M.J. Tauber. 1981. Insect cycles: Genetics and evolution. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **12**: 281-303.
- Tauber, M.J., C.A. Tauber y S. Masaki. 1986. *Seasonal adaptations of insects*. Oxford University Press, Nueva York.
- Thorp, R.W. 1979. Structural, behavioral, and physiological adaptations of bees (Apoidea) for collecting pollen. *Annals of the Missouri Botanical Garden, St. Louis*, **66**: 788-812.

- Valiente-Banuet, A. y E. De Luna. 1990. Una lista florística para la Reserva del Pedregal de San Ángel. *Acta Botanica Mexicana*, **9**: 13-30.
- Van Asch, M. y M.E. Visser. 2007. Phenology of forest caterpillar and their host trees: The importance of synchrony. *Annual Review of Entomology*, **52**: 478-507.
- Waddington, K.D. 2001. Subjective evaluation and choice-behavior of nectar and pollen collecting bees. Pp. 41-60, en: Chittka, L. y J.D. Thompson (eds.). *Cognitive ecology of pollination. Animal behavior and floral evolution*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Walther, G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzels, C. Parmesans, T.J.C. Beebee, J.M. Formentin, O. Hoegh-Guldberg, F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416: 389-395.
- Waser, N.M. 1986. Flower constancy: definition, cause and measurement. *American Naturalist*, **127**: 593-603.
- Weiss K., C.H. Vergara. 2002. *The Little book of bees*. Springer-Verlag. Nueva York.
- Wells, P.H. y H. Wells. 1986. Optimal diet, minimal uncertainty and individual constancy in the foraging of honey bees, *Apis mellifera*. *Journal of Animal Ecology*, **55**: 375–384.
- Wener, A., R. Menzel y C. Wehrhahn. 1988. Color constancy in the honeybee. *The Journal of Neuroscience*, **8**: 156-159
- Wilson, E.O. 1979. *The Insects Societies*. University of Harvard.
- Wilson, P. y M. Stine. 1996. Floral constancy in bumble bees: handling efficiency or perceptual conditioning? *Oecologia*, **106**: 493–499.

- Winston, M.L. 1987. *The biology of the honey bee*. Harvard University Press, Londres.
- Wolda, H. 1978. Seasonal fluctuation in rainfall, food and abundance of tropical insects. *The Journal of Animal Ecology*, **47**(2): 369-381.
- Wolda, H. 1980. Seasonality of tropical insects. *The Journal of Animal Ecology*, **49**(1): 277-290.
- Wolda, H. 1987. Seasonality and the community. Pp. 69-95. En: Gee, J.H.R. y P.S. Giller (eds.). *Organization of communities. Past and present*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Wolda, H. 1988. Insect Seasonality: Why? *American Review of Ecology and Systematics*, **19**: 1-18.
- Wolda, H. 1989. Seasonal cues in tropical organisms. Rainfall? Not necessarily! *Oecologia*, **80**: 437-442.
- Wolda, H. y D. Roubik. 1986. Nocturnal bee abundance and seasonal bee activity in a Panamian Forest. *Ecology*, **67**(2): 426-433.
- Wyss, E. 1995. The effects of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, **75**: 43-49.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Upple Saddle River, Nueva Jersey.

ANEXO 2

Lista de las abejas de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. El arreglo por familias sigue la clasificación de Michener (2000). * Especies que están presentes en la Reserva reportadas por Hinojosa-Díaz (1996), pero que no fueron registradas en el presente estudio. ** Especies que son nuevos registros para la REPSA. “?” indica identidad taxonómica distinta.

Colletidae

<i>Colletes</i> sp. 01	*
<i>Colletes</i> sp. 02	*
<i>Colletes</i> sp. 03	*
<i>Colletes</i> sp. 04	*
<i>Hylaeus</i> sp. 01	*
<i>Hylaeus</i> sp. 01	?
<i>Hylaeus</i> sp. 02	*
<i>Hylaeus</i> sp. 03	*
<i>Hylaeus</i> sp. 04	*

Andrenidae

<i>Andrena tegularis</i> (La Berge)	*
<i>Andrena</i> sp. 01	*
<i>Andrena</i> sp. 02	*
<i>Andrena</i> sp. 01	?
<i>Andrena</i> sp. 02	?
<i>Andrena</i> sp. 03	?
<i>Heterosarus asperatus</i> (Timberlake)	*
<i>Heterosarus mundus</i> (Timberlake)	*
<i>Heterosarus neomexicanus</i> (Cockerell)	*
<i>Perdita</i> sp.	*
<i>Protandrena</i> nov. sp.	*
<i>Pseudopanurgus trimaculatus</i> (Timberlake)	*

Halictidae

<i>Augochlora</i> sp.	*
<i>Augochlora smaragdina</i> (Friese)	**
<i>Augochorella pomoniella</i> (Cockerell)	**
<i>Caenaugochlora</i> sp.	*
<i>Lasioglossum (Dialictus) aquilae</i> (Cockerell)	*
<i>Lasioglossum (Dialictus) cubitales</i> (Vachal)	*
<i>Lasioglossum (Dialictus) perdifficilis</i> (Cockerell)	*
<i>Lasioglossum (Dialictus) petrellus</i> (Cockerell)	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 01	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 02	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 03	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 04	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 01	?
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 02	?

<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 03	?
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 04	?
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 05	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 06	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 07	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 08	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 09	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 10	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 11	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 12	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 13	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 14	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 15	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 16	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 17	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 18	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 19	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 20	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 21	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 22	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 23	*
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. nov 01	**
<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. nov 02	**
<i>Evylaeus</i> sp. 02	*
<i>Halictus ligatus</i> (Say)	*
<i>Halictus</i> sp.	*
<i>Lasioglossum argutum</i> (Mc Ginley)	*
<i>Lasioglossum desertum</i> (Smith)	*
<i>Lasioglossum jubatum</i> (Vachal)	*
<i>Lasioglossum (Lasioglossum)</i> sp. 01	
<i>Sphecodes</i> sp. 01	*
<i>Sphecodes</i> sp. 02	*
<i>Sphecodes</i> sp. 03	*

Megachilidae

<i>Anthidiellum hondurasicum</i> (Cockerell)	*
<i>Anthidium maculosum</i> (Cresson)	
<i>Ashmeadiella aff. Bequaerti</i> (Cockerell)	*
<i>Liturgus littoralis</i> (Cockerell)	*
<i>Megachile Toluca</i> (Cresson)	*
<i>Megachile zapoteca</i> (Cresson)	*
<i>Megachile</i> sp. 01	*
<i>Megachile</i> sp. 01	?
<i>Osmia azteca</i> (Cresson)	
<i>Paranthidium gabbi</i> (Cresson)	*

Apidae

<i>Apis mellifera</i> (Lineo)	
<i>Bombus ephippiatus</i> (Say)	
<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> (Say)	
<i>Centris cockerelli</i> (Fox)	*

<i>Centris mexicana</i> (Smith)	**
<i>Ceratina capitosa</i> (Smith)	
<i>Ceratina mexicana</i> (Cresson)	**
<i>Ceratina</i> sp. 01	*
<i>Ceratina</i> sp. 02	*
<i>Ceratina</i> sp. 03	*
<i>Ceratina</i> sp. 04	*
<i>Ceratina</i> sp. 05	*
<i>Ceratina</i> sp. 06	*
<i>Ceratina</i> sp. 07	*
<i>Ceratina</i> sp. 08	*
<i>Ceratina</i> sp. 09	*
<i>Ceratina</i> sp. 10	*
<i>Ceratina</i> sp. 11	*
<i>Ceratina</i> sp. 12	*
<i>Ceratina</i> sp. 13	*
<i>Ceratina</i> sp. 14	*
<i>Ceratina</i> sp. 15	*
<i>Deltoptila elefas</i> (Friese)	
<i>Diadasia olivacea</i> (Cresson)	**
<i>Diadasia rinconis</i> (Cockerell)	
<i>Epeolus</i> aff. <i>Australis</i> (Mitchel)	*
<i>Exomalopsis mellipes</i> (Cresson)	
<i>Melissodes tepaneca</i> (Cresson)	**
<i>Melissodes</i> sp. 01	*
<i>Melissodes</i> sp. 02	*
<i>Melissodes</i> sp. 03	*
<i>Melissodes</i> sp.04	*
<i>Syntrichalonia exquisite</i> (Cresson)	*
<i>Tetraloniella</i> sp.	*
<i>Thygater analis</i> (Lepelletier)	
<i>Xylocopa guatemalensis</i> (Cockerell)	*
<i>Xylocopa micheneri descipiens</i> (Hurd)	*
<i>Xylocopa tabaniformis azteca</i> (Cresson)	

ANEXO 3

Especies de abejas que visitaron las flores de cada especie de planta de la Reserva del Pedregal entre septiembre de 2005 y agosto de 2006.

PLANTA	NÚMERO DE ESPECIES VISITANTES	ESPECIES VISITANTES
ALLIACEAE		
<i>Manfreda scabra</i> (Ortega) Mc Vaugh	1	<i>Apis mellifera</i> ,
AMARYLLIDACEAE		
<i>Zephyrantes concolor</i> (Lindl.) Benth. et Hook. f.	2	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1, <i>Apis mellifera</i> ,
<i>Zephyrantes longifolia</i> Hemsl.	1	<i>Ceratina mexicana</i>
ANACARDIACEAE		
<i>Schinus molle</i> L.	4	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
ANTHERICACEAE		
<i>Echeandia mexicana</i>	1	<i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
ASTERACEAE		
<i>Bidens odorata</i> Cav.	2	<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i>
<i>Conyza coronpifolifa</i> Kunth	1	<i>Ceratina mexicana</i>
<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav.	3	<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>

PLANTA	NÚMERO DE ESPECIES VISITANTES	ESPECIES VISITANTES
ASTERACEAE		
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	10	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1, <i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 2, <i>Anthidium maculosum</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Exomalopsis mellipes</i> , <i>Centris mexicana</i> , <i>Ceratina mexicana</i> , <i>Thygater analis</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
<i>Dahlia pinnata</i> Cav.	3	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
<i>Eupatorium petiolare</i> Moc. ex DC.	3	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i>
<i>Eupatorium pulchellum</i> Kunth	4	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1, <i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 4, <i>Apis mellifera</i> , <i>Ceratina mexicana</i>
<i>Florestina pedata</i> (Cav.) Cass	4	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 2, <i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. nov 1, <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> ,
<i>Lagasea rigida</i> (Cav.) Stuessy	1	<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i>
<i>Lagasea rubra</i> Kunth	1	<i>Xylocopa tabaniformis azteca</i> ,

PLANTA	NÚMERO DE ESPECIES VISITANTES	ESPECIES VISITANTES
ASTERACEAE		
<i>Montanoa tomentosa</i> Cerv.	3	<i>Anthidium maculosum</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
<i>Piqueria trinervia</i> Cav.	1	<i>Ceratina mexicana</i>
<i>Senecio praecox</i> (Cav.) DC.	1	<i>Apis mellifera</i> ,
<i>Tagetes lunulata</i> Ortega	1	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i>
<i>Tagetes micrantha</i> Cav.	1	<i>Ceratina mexicana</i>
<i>Taraxacum officinale</i> (<i>Picris echioides</i> L.)	1	<i>Ceratina mexicana</i>
<i>Tithonia tubaieformis</i> (Jacq.) Cass.	9	<i>Andrena</i> sp. 3, <i>Lasioglossum</i> (<i>Dialictus</i>) sp. 1, <i>Lasioglossum</i> (<i>Dialictus</i>) sp. 2, <i>Anthidium maculosum</i> , <i>Osmia azteca</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus ephippiatus</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
<i>Verbesina virgata</i> Cav.	6	<i>Anthidium maculosum</i> , <i>Melissodes tepaneca</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Centris mexicana</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
<i>Zinnia peruviana</i> (L.) L.	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Ceratina mexicana</i>
BEGONIACEAE		
<i>Begonia gracilis</i> Kunth	1	<i>Apis mellifera</i> ,

PLANTA	NÚMERO DE ESPECIES VISITANTES	ESPECIES VISITANTES
BIGNONIACEAE		
<i>Tecoma stans</i> (L.) Kunth	2	<i>Augochlora smaragdina</i> (Friese), <i>Diadasia rincones</i>
BRASSICACEAE		
<i>Brassica sp rapa</i> L.	2	<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i>
<i>Eruca sativa</i>	1	<i>Ceratina mexicana</i>
CACTACEAE		
<i>Opuntia robusta</i> Wendl.	3	<i>Apis mellifera</i> , <i>Megachile</i> sp. 1, <i>Diadasia olivacea</i>
<i>Opuntia rzedowskii</i> Scheinvar	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i>
<i>Opuntia tomentosa</i> Slam-Dyck	2	<i>Megachile</i> sp. 1, <i>Apis mellifera</i>
CAPPARACEAE		
<i>Polanisia uniglandulosa</i> DC.	1	<i>Apis mellifera</i> ,
COMMELINACEAE		
<i>Commelina coelestis</i> Willd. Var. <i>Coelestis</i>	2	<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i>
<i>Tinantia erecta</i> (Jacq.) Schelcht.	1	<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i>
<i>Tradescantia crassifolia</i> Cav.	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. nov 01
CONVOLVULACEAE		
<i>Ipomea purpurea</i> (L.) Roth.	2	<i>Thygater analis</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>

PLANTA	NÚMERO DE ESPECIES VISITANTES	ESPECIES VISITANTES
CONVOLVULACEAE		
<i>Quamoclit gracilis</i> (<i>Ipomea cristulata</i> Hall.)	1	<i>Ceratina mexicana</i>
CRASSULACEAE		
<i>Echeveria gibbiflora</i> DC.	1	<i>Apis mellifera</i>
CUCURBITACEAE		
<i>Sicyos deppei</i> G. Don.	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
FABACEAE		
<i>Calliandra grandiflora</i> (L'Hér.) Benth	1	<i>Ceratina mexicana</i>
<i>Dalea foliolosa</i>	1	<i>Apis mellifera</i> ,
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ort.) Sarg.	3	<i>Apis mellifera</i> , <i>Augochorella pomoniella</i> , <i>Deltoptila elefas</i>
HYDROPHYLLACEAE		
<i>Wigandia urens</i> (Ruiz et Pav) Kunth	6	<i>Lasioglossum</i> (<i>Dialictus</i>) sp. 1, <i>Lasioglossum</i> (<i>Dialictus</i>) sp. 2, <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
IRIDACEAE		
<i>Tigridia pavonia</i> (L.f.) DC.	1	<i>Apis mellifera</i>
LAMIACEAE		
<i>Salvia mexicana</i> L.	3	<i>Andrena</i> sp. 2, <i>Thygater analis</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Ceratina mexicana</i>
<i>Salvia polystachya</i>	2	<i>Thygater analis</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>

PLANTA	NÚMERO DE ESPECIES VISITANTES	ESPECIES VISITANTES
LAMIACEAE		
<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl.	1	<i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i>
LOGANIACEAE		
<i>Buddleia cordata</i> Kunth	4	<i>Apis mellifera</i> , <i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1, <i>Lasioglossum</i> (<i>Lasioglossum</i>) sp. 1, <i>Ceratina mexicana</i>
<i>Buddleia parviflora</i> Kunth	1	<i>Apis mellifera</i>
MALVACEAE		
<i>Anoda cristata</i> (L.) Schlecht	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Xylocopa</i> <i>tabaniformis azteca</i>
<i>Sida rhombifolia</i> L.	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Ceratina</i> <i>mexicana</i>
NYCTAGINACEAE		
<i>Mirabilis jalapa</i> L.	1	<i>Xylocopa tabaniformis</i> <i>azteca</i>
ONAGRACEAE		
<i>Lopezia racemosa</i> Cav.	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Anthidium</i> <i>maculosum</i>
ORCHIDACEAE		
<i>Dichromantus cinnabarinus</i> <i>Spiranthes cinnabarinus</i> (Lex.) Hemsl	1	<i>Apis mellifera</i>
PASSIFLORACEAE		
<i>Passiflora subpeltata</i> Ortega	1	<i>Apis mellifera</i>
PHYTOLACCACEAE		
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	3	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1, <i>Lasioglossum</i> (<i>Dialictus</i>) sp. nov. 1, <i>Apis mellifera</i> ,

PLANTA	NÚMERO DE ESPECIES VISITANTES	ESPECIES VISITANTES
PLUMBAGINACEAE <i>Plumbago pulchella</i> Boiss.	3	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>
RESEDACEAE <i>Reseda luteola</i> L.	3	<i>Lasioglossum (Dialictus) sp. 2</i> , <i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus pennsylvanicus sonorus</i>
SOLANACEAE <i>Solanum rostratum</i> Dunal	1	<i>Ceratina mexicana</i>
VITACEAE <i>Cissus sicyoides</i> L.	2	<i>Apis mellifera</i> , <i>Xylocopa tabaniformis azteca</i>