

Abejas visitantes florales de *Opuntia heliabravoana* en un gradiente de urbanización

Karina Sánchez-Echeverría¹, Ignacio Castellanos^{1✉}, Luis Mendoza-Cuenca²

¹ Laboratorio de Interacciones Biológicas, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, C.P. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

² Laboratorio de Ecología de la conducta, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Edificio "R", Ciudad Universitaria, Av. Francisco J. Múgica s/n. Col. Felicitas del Río, C.P. 58030. Morelia, Michoacán, México.

Resumen

Las abejas son importantes polinizadores de plantas con flor y son consideradas como especies clave debido a que juegan un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas. Sin embargo, estas funciones pueden verse afectadas por la expansión de las zonas urbanas. En este trabajo determinamos las abejas que son visitantes florales de una especie de nopal endémica de México, *Opuntia heliabravoana*, y evaluamos si la composición de especies, riqueza y abundancia de abejas difiere a lo largo de un gradiente de urbanización. Se colectaron las abejas visitantes de las flores de *O. heliabravoana* en 19 sitios con diferente nivel de urbanización en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México durante la temporada de floración. Se registraron 1127 individuos de abejas visitantes pertenecientes a 16 especies, la mayoría nativas de México con excepción de *Apis mellifera*. Las especies de abejas más abundantes fueron *Macrotera sinaloana*, *Lithurgus littoralis*, *Diadasia* sp. y *Apis mellifera*. La mayor diferencia entre la composición de especies de abejas se encontró para los sitios que se encuentran en los extremos del gradiente de urbanización. La abundancia de abejas disminuyó con la urbanización, sin embargo, la riqueza de especies no mostró una relación significativa con el grado de urbanización. La urbanización influye en la comunidad de las abejas visitantes florales de *O. heliabravoana*.

Palabras clave: polinización, Cactaceae, Hidalgo, Apoidea.

Flower visiting bees of *Opuntia heliabravoana* along an urbanization gradient

Abstract

Bees are important pollinators of flowering plants and are considered key species due to their fundamental role in ecosystem functioning. However, these functions can be affected by the expansion of urban areas. In this study we determined the bees that are flower visitors of *Opuntia heliabravoana*, a prickly pear species native to Mexico, and we evaluated if bee species composition, bee richness and abundance differ along an urbanization gradient. Flower visiting bees were collected from 19 sites along an urbanization gradient in the metropolitan area of Pachuca, Hidalgo, Mexico during the flowering season. We collected 1127 bee individuals from 16 species from the flowers of *O. heliabravoana*, most of them native to Mexico, except *Apis mellifera*. The most abundant bee species were *Macrotera sinaloana*, *Lithurgus littoralis*, *Diadasia* sp. and *Apis mellifera*. The largest difference among bee species composition was found between the two sites at the extremes of the urbanization gradient. Bee abundance decreased with urbanization, however, bee species richness was not significantly affected by urbanization. Urbanization has an influence on the community of flower visiting bees of *O. heliabravoana*.

Key words: pollination, Cactaceae, Hidalgo, Apoidea

Introducción

Las abejas que polinizan las plantas con flor son consideradas como especies clave, debido a que son animales que juegan un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas (McIntyre y Hostetler, 2001; Tommasi *et al.*, 2004). La reducción o eliminación de los insectos polinizadores podría traducirse en una severa reducción en la reproducción de las plantas, lo que a su vez afectaría no sólo la estructura y composición de plantas, sino también la de los animales que se alimentan de las semillas, a los herbívoros y depredadores de los herbívoros, generando un efecto en cascada en las redes tróficas (Kearns y Inouye, 1998; Prince y Waser, 1998; Elmquist *et al.*, 2013).

Aunque se reconoce la importancia de estas relaciones mutualistas, sorprendentemente se conoce poco sobre cómo las comunidades de abejas se ven afectadas por cambios ambientales a gran escala, como es el incremento del desarrollo urbano (Kearns *et al.*, 1998; Hernández *et al.*, 2009; MacDonnell y Hahs, 2015). Actualmente, más de la mitad de la población humana se ha asentado en las ciudades, y se calcula que para el 2050 esta fracción habrá aumentado a 66%, mientras que para México se espera

que aumente a 86% (Organización de las Naciones Unidas, 2014). La urbanización, por lo tanto, es un proceso complejo que involucra la transformación de hábitats naturales, causando diferentes impactos sobre el medio ambiente y la biodiversidad. Aunque generalmente se considera que las áreas urbanas tienen efectos negativos en la biodiversidad (McKinney, 2006; Mantteson *et al.*, 2008) contienen áreas verdes como parques, jardines y remanentes de vegetación nativa que pueden representar áreas favorables para la fauna, además de que las ciudades a menudo se localizan en áreas biológicamente diversas que pueden presentar características naturales importantes para la fauna (McDonald *et al.*, 2008). Por lo tanto, es necesario realizar estudios que evalúen la variación en dirección y magnitud del impacto humano sobre la riqueza y abundancia de las especies dentro de un paisaje urbano heterogéneo (Matteson *et al.*, 2008).

El conocimiento del impacto de la urbanización en la riqueza y abundancia de los visitantes florales es esencial para entender sus efectos sobre las interacciones entre las plantas y sus visitantes florales y por lo tanto, procesos ecológicos importantes como la polinización. Bajo este escenario, este conocimiento es particularmente importante para aquellas especies que se distribuyen en comunidades ricas en endemismos, así como para especies raras o aquellas con un estatus de riesgo, como son las cactáceas (Martínez-

✉ Ignacio Castellanos, ignacioe.castellanos@gmail.com

Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5, C.P. 42184. Mineral de la Reforma, Hidalgo Tel. (771)717200 Ext. 6652.

Peralta *et al.*, 2011).

Entre las angiospermas, la familia Cactaceae es morfológicamente muy distintiva y exitosa, ya que se conocen cerca de 1600 especies en el mundo. La gran mayoría de las cactáceas son endémicas de América, en donde se distribuyen desde Canadá hasta Argentina, siendo México el centro más importante de diversidad con 669 especies y 244 subespecies (Reyes-Agüero *et al.*, 2006). Dentro de la familia Cactaceae, *Opuntia* es el género más diverso y ampliamente distribuido en América. Las plantas que se incluyen en este género han sido fuertemente asociadas con la polinización de abejas y se ha sugerido la existencia de un proceso de coevolución con algunos géneros de abejas (Reyes-Agüero *et al.*, 2006), de igual manera, es conocida su fuerte dependencia de los visitantes florales como vectores de polen para la polinización cruzada (Valiente-Banuet *et al.*, 1996).

Sin embargo, a pesar de que el género *Opuntia* está ampliamente distribuido en México y es un grupo común dentro de los paisajes urbanos y semiurbanos, existe poca información sobre la mayoría de sus visitantes florales. De tal modo, los objetivos de este trabajo fueron determinar cuáles son las abejas visitantes de las flores de *Opuntia heliabravoana* en un gradiente de urbanización. El presente estudio es relevante debido a que la información que se tiene sobre los visitantes florales de *O. heliabravoana* y su respuesta a la urbanización son nulos, por lo que se pretende aumentar la comprensión no solo de la importancia de las abejas como visitantes florales de esta especie y su respuesta a la creciente urbanización, sino contribuir al conocimiento general de la ecología de la familia Cactácea.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Este trabajo se realizó en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México, la cual se ubica entre las coordenadas 19° 50' y 20° 10' de latitud N y entre los 98° 41' y 98° 57' de longitud O (Fig. 1A) y se encuentra a una altitud

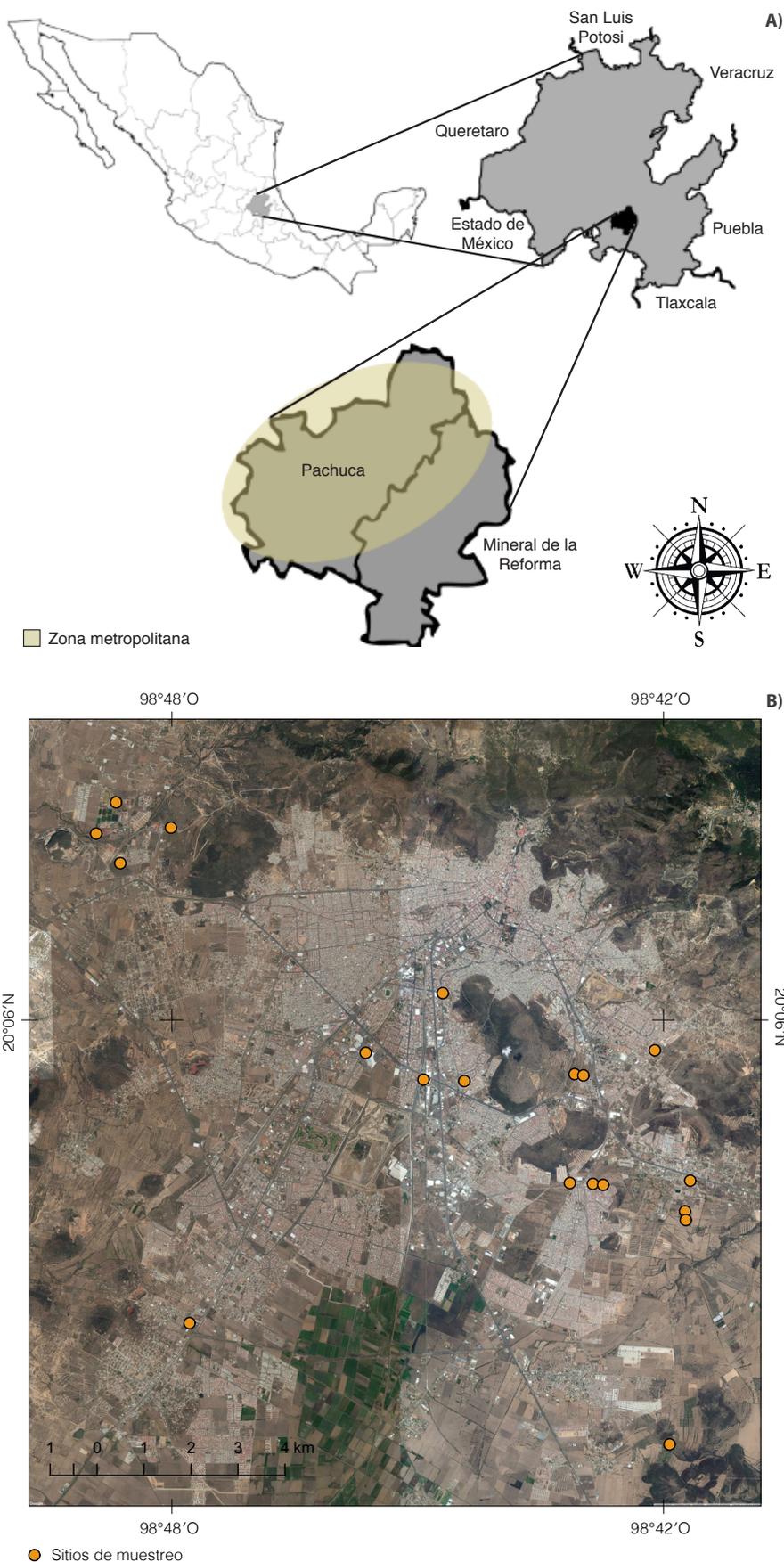


Figura 1. A) Ubicación de la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México. B) Ubicación de los sitios de colecta dentro de la zona metropolitana; representados por los círculos naranjas.

que va de los 2,300 a los 2,800 m (Fleming, 1999). El trabajo se realizó en los municipios de Mineral de la Reforma, Pachuca de Soto, San Agustín Tlaxiaca y Epazoyucan, que forman parte de la zona metropolitana, la cual cuenta con una superficie de 1,196.5 km², una población humana de 512,196 habitantes y el cuarto lugar nacional en tasa de crecimiento poblacional (INEGI, 2010).

El tipo de clima es semiseco templado con veranos cálidos, la temperatura media anual es de 15 °C, la máxima se presenta en mayo (32 °C) y la mínima en enero (5 °C); la precipitación media anual es de 366 mm; la humedad relativa promedio es de 49% y la velocidad promedio del viento de 24 m/s y la vegetación característica está compuesta por matorral xerófilo (Gómez-Aíza y Zuria, 2010).

Diseño de muestreo

Para registrar a los visitantes florales de *O. heliabravoana*, se eligieron 19 sitios de muestreo seleccionados de manera estratificada al azar, con el fin incluir sitios dentro de la mancha urbana, en la periferia y fuera de ésta (Fig. 1B). Estos sitios fueron seleccionados con la ayuda de una imagen satelital y se procuró que todos los sitios de muestro contaran con vegetación nativa. En cada sitio, se seleccionaron de uno a tres individuos de *O. heliabravoana*, dependiendo de la abundancia de la especie. Como estimador de la urbanización, se cuantificó el porcentaje de cobertura impermeable en una área circular de 500 m de radio alrededor de las plantas muestreadas, utilizando una imagen de satélite (Worldview-2 Standard Bundle, con 4 bandas multispectrales, 0.5 m de resolución, tomada en febrero de 2015) y el programa ArcGis 10.1. Se consideró como cobertura de superficie impermeable la capa superficial que cubre un área, y que por sus características físicas impide la infiltración del agua, como son casas,

edificios, calles, carreteras, estacionamientos. Se obtuvo un gradiente de urbanización que va de 0.1 a 65% de superficie impermeable ya que la planta no se encontró en sitios con coberturas impermeables mayores a 65%.

Sistema de estudio

Opuntia heliabravoana (Scheinvar, 1975) es conocida como xoconostle blanco, nopal chaparro, nopal chino entre otros, y es una especie endémica de México cuya distribución abarca el Estado de México, Hidalgo, San Luis Potosí, Querétaro y Tlaxcala a una elevación entre 1000-2700 msnm; en una vegetación de matorral xerófilo (Rzedowski y Rzedowski, 2001; Scheinvar *et al.*, 2011). *O. heliabravoana* es de hábito rastrero, sus cladodios se elevan de 0.58 a 1.5 m de altura, puede presentar clones extendidos hasta de 4 m y no presenta tronco (Fig. 2A). Los cladodios son anchamente obovados a subcirculares, color verde limón, en ocasiones algo amarillentos. El día de la apertura, las flores son de color amarillo, pasando a color salmón al segundo día y llegando a medir 6 cm de diámetro en la antesis, los filamentos y las anteras son amarillas, el estilo es amarillo con tintes rosados y el estigma verde (Fig. 2B-C) (Rzedowski y Rzedowski, 2001; Scheinvar *et al.*, 2011). Florece de marzo a mayo y fructifica de junio a agosto. Los frutos son globosos o elípticos color verde amarillento con manchas color salmón cuando están maduros, su tamaño es de aproximadamente 3 cm. Sus frutos son muy abundantes pero no son aprovechados comercialmente debido a su acidez, por lo que pueden persistir sobre los cladodios durante todo el año o por más tiempo (Scheinvar *et al.*, 2011).

Abejas visitantes de las flores de *O. heliabravoana*

Para determinar la riqueza y abundancia de abejas que visitaron las flores de *O. heliabravoana* en el gradiente



Figura 2. A) *Opuntia heliabravoana* antes de la temporada de floración; B) Vista superior de la flor; C) Cladodio con yemas florales y flores.

de urbanización, se realizaron nueve visitas por sitio de muestreo durante la temporada de floración de mayo a julio del 2016. En cada visita se registró y colectó a las abejas que interactuaban con las estructuras reproductoras de las flores durante un periodo de 20 min. Adicionalmente, se cuantificó el número de flores abiertas en los individuos de estudio para cada visita. Posteriormente, las abejas colectadas fueron identificadas a través de la comparación de rasgos morfológicos con ayuda de claves taxonómicas y con la colección del Laboratorio de Interacciones Biológicas del Centro de Investigaciones Biológicas, la cual cuenta con ejemplares de referencia de la zona metropolitana de Pachuca.

Análisis estadísticos

Para determinar la completitud del inventario de las especies de abejas en cada sitio de muestreo, se utilizó la cobertura de la muestra (C_n), la cual es un estimador no paramétrico de la riqueza de especies basado en sus abundancias (Chao y Jost, 2012). Se consideraron como representativos los inventarios que alcanzaron más del 85% de completitud.

Se analizó la composición de especies de abejas en el gradiente de urbanización utilizando el índice de similitud de Jaccard con el programa EstimateS 9.1 y los resultados del análisis se graficaron empleando el método UPGMA con el programa Past 3.11. Los sitios de muestreo fueron acomodados de mayor a menor porcentaje de cobertura de superficie impermeable y etiquetados con números del 1 al 19.

Se realizaron regresiones lineales simples para determinar la relación entre la abundancia y riqueza de las especies de abejas y la urbanización, utilizando el número de individuos

y el número de especies como variables dependientes y el porcentaje de cobertura de superficie impermeable como variable independiente. Debido a que la visita de las abejas se relacionó significativamente con la cantidad de flores abiertas ($R^2=0.68$, $p<0.001$), los datos obtenidos de la riqueza y abundancia de las abejas se dividieron entre el número de flores abiertas en cada sitio, los cuales fueron utilizados para realizar las regresiones lineales. Los análisis estadísticos fueron realizados en el programa Sigma Stat 3.5 y se utilizó un valor de significancia de $p<0.05$.

Resultados

Con el esfuerzo de muestreo realizado se alcanzó una completitud de inventarios de más del 85% en la riqueza de especies para todos los sitios de muestreo. En términos generales, estos resultados indican que una gran proporción de las especies presentes en los distintos sitios de estudio fueron registradas, por lo tanto es posible hacer comparaciones confiables de la riqueza de especies entre los sitios de muestreo.

Composición de las especies de abejas

Se registraron 1127 individuos de abejas visitantes de las flores de *O. heliabravoana* en el gradiente de urbanización estudiado, pertenecientes a 4 familias, 8 géneros y 16 especies (**Tabla 1**). La familia mejor representada fue Halictidae (50% de las especies y el 8.51% de los individuos), seguida de Apidae (31.25% de las especies y el 28.92% de los individuos), Andrenidae (12.5% de las especies y el 47.29% de los individuos) y Megachilidae (6.2% de las especies y el 15.26% de los individuos). La mayoría de las especies registradas son especies nativas

Tabla 1. Abejas visitantes de *Opuntia heliabravoana* en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo. La información sobre constancia floral, forma de vida y sustrato de anidación de las abejas fue tomada de Cué-Hernández (2014).

Especies de abejas	Abundancia	Familia	Constancia floral	Forma de vida	Sustrato de Anidación
<i>Agapostemon leonculus</i>	42	Halictidae	Poliléctica	Social	Suelo
<i>Agapostemon</i> sp.	1	Halictidae	Poliléctica	Social	Suelo
<i>Apis mellifera</i>	109	Apidae	Poliléctica	Social	Cavidades
<i>Bombus</i> sp.	34	Apidae	Poliléctica	Social	Cavidades
<i>Ceratina</i> sp.	12	Apidae	Poliléctica	Solitaria	Cavidades
<i>Diadasia diminuta</i>	4	Apidae	Oligoléctica	Solitaria	Suelo
<i>Diadasia</i> sp.	167	Apidae	Oligoléctica	Solitaria	Suelo
<i>Lasioglossum</i> sp. 1	1	Halictidae	Poliléctica	Social	Suelo
<i>Lasioglossum</i> sp. 2	1	Halictidae	Oligoléctica	Social	Suelo
<i>Lasioglossum</i> sp. 3	3	Halictidae	Poliléctica	Social	Suelo
<i>Lasioglossum</i> sp. 4	46	Halictidae	Poliléctica	Social	Suelo
<i>Lasioglossum</i> sp. 5	1	Halictidae	Poliléctica	Social	Suelo
<i>Lasioglossum</i> sp. 6	1	Halictidae	Poliléctica	Social	Suelo
<i>Lithurgus littoralis</i>	172	Megachilidae	Monoléctica	Solitaria	Cavidades
<i>Macrotera sinaloana</i>	448	Andrenidae	Monoléctica	Solitaria	Suelo
<i>Macrotera bicolor</i>	85	Andrenidae	Monoléctica	Solitaria	Suelo

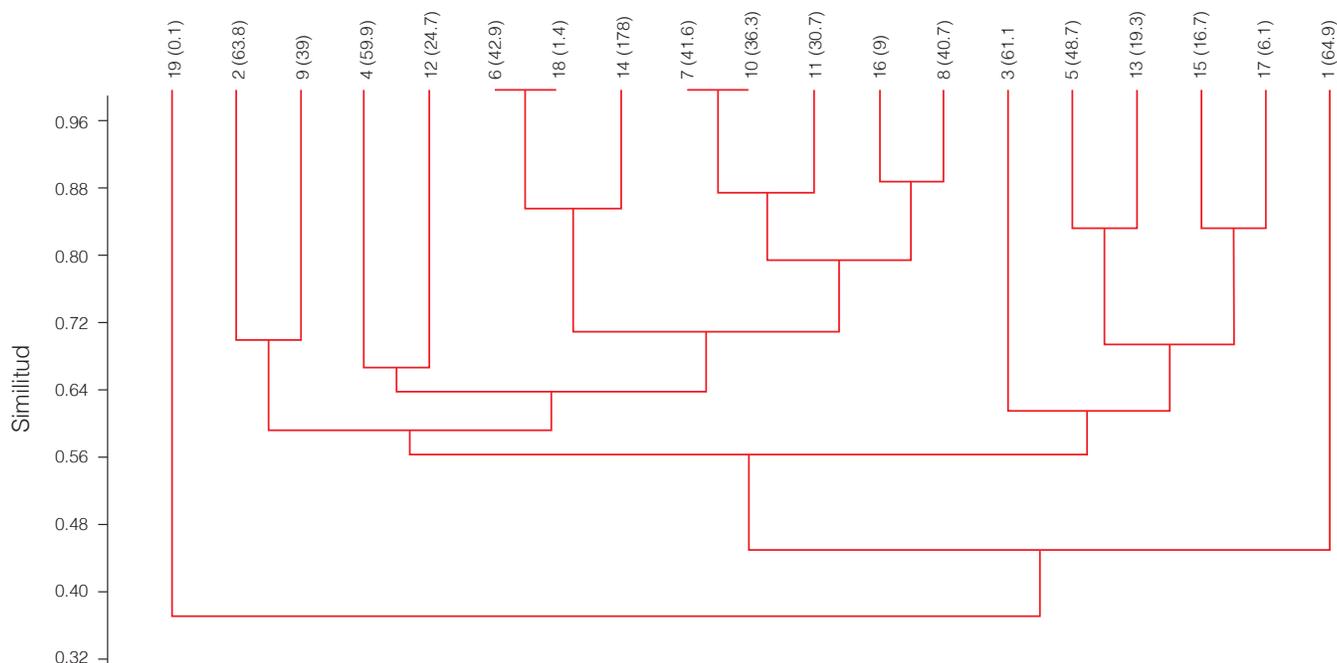


Figura 3. Dendrograma de similitud de las especies de abejas presentes en el gradiente de urbanización, utilizando el índice de Jaccard. Los números del 1 al 19 representan a los sitios de estudio, de mayor a menor porcentaje de cobertura de superficie impermeable, respectivamente. Los números entre paréntesis representan los porcentajes de cobertura de superficie impermeable dentro de buffers de 500 m de radio.

de México, solamente se colectó una especie introducida, *Apis mellifera*. Las especies más abundantes (con más de 100 individuos) en el gradiente de urbanización fueron las abejas *Macrotera sinaloana* (448 individuos), *Lithurgus littoralis* (172 individuos), *Diadasia* sp. (167 individuos) y *Apis mellifera* (109 individuos); mientras que cuatro especies fueron registradas una sola vez y representadas por un solo individuo, las cuales corresponden al género *Lasioglossum* (3 especies) y *Agapostemon* (1 especie).

Al analizar la composición de especies de abejas a lo largo del gradiente de urbanización se encontró que los sitios con el mayor y menor porcentaje de cobertura de superficie impermeable se separaron claramente en el dendrograma (Fig. 3). Estos dos sitios presentaron el porcentaje más bajo de similitud entre especies (12.5%), compartiendo solamente una especie de abeja. Las agrupaciones que se formaron en los demás sitios presentaron porcentajes de similitud altos (>60%), aunque el grado de urbanización difirió entre los sitios; por ejemplo, el sitio 2 y 9 presentaron un 70% de similitud pero el porcentaje de superficie impermeable fue de 63.8% y 39%, respectivamente. El sitio que presentó el menor número de especies compartidas (2 y 3 especies) fue el sitio menos urbanizado (sitio 19), pero fue el sitio que compartió especies con todos los sitios en el gradiente.

Se registraron especies de comportamiento social (62.5% de las especies y el 21.20% de los individuos) y solitario (37.5% de las especies y el 78.79% de los individuos) así como especies que anidan en el suelo (75% de especies y 70.98% de los individuos) y en cavidades preexistentes (25% de las

especies y el 29.01% de los individuos). Además las especies de abejas registradas presentaron diferente constancia floral: poliléticas (62.5% de las especies y el 22.18% de los individuos), oligoléticas (18.7% de las especies y el 15.26% de los individuos) y monoléticas (18.7% de las especies y el 62.55% de los individuos) (Tabla 1).

Abundancia y riqueza de especies en el gradiente de urbanización

Se encontró que la abundancia de las abejas disminuyó significativamente con la urbanización ($R^2=0.253$, $P=0.016$), es decir en los sitios con mayor superficie impermeable se registró un menor número de abejas (Fig. 4). Para el caso de la riqueza de especies de abejas, la relación también fue negativa con la urbanización, aunque ésta no fue significativa ($P=0.14$).

Sin embargo, algunas especies fueron más abundantes en los sitios con mayor superficie impermeable y estuvieron presentes en todos o casi todos los sitios de muestreo. Por ejemplo, *Diadasia* sp. fue más abundante en los sitios más urbanizados y fue colectada en los 19 sitios de muestreo y *L. littoralis* colectada en 17 de los sitios de muestreo y *A. mellifera* en 16 sitios.

Discusión

Visitantes florales de *O. heliabravoana* en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo

Dentro de las cactáceas, *Opuntia* es el género más diverso y ampliamente distribuido en América (Reyes-Agüero et

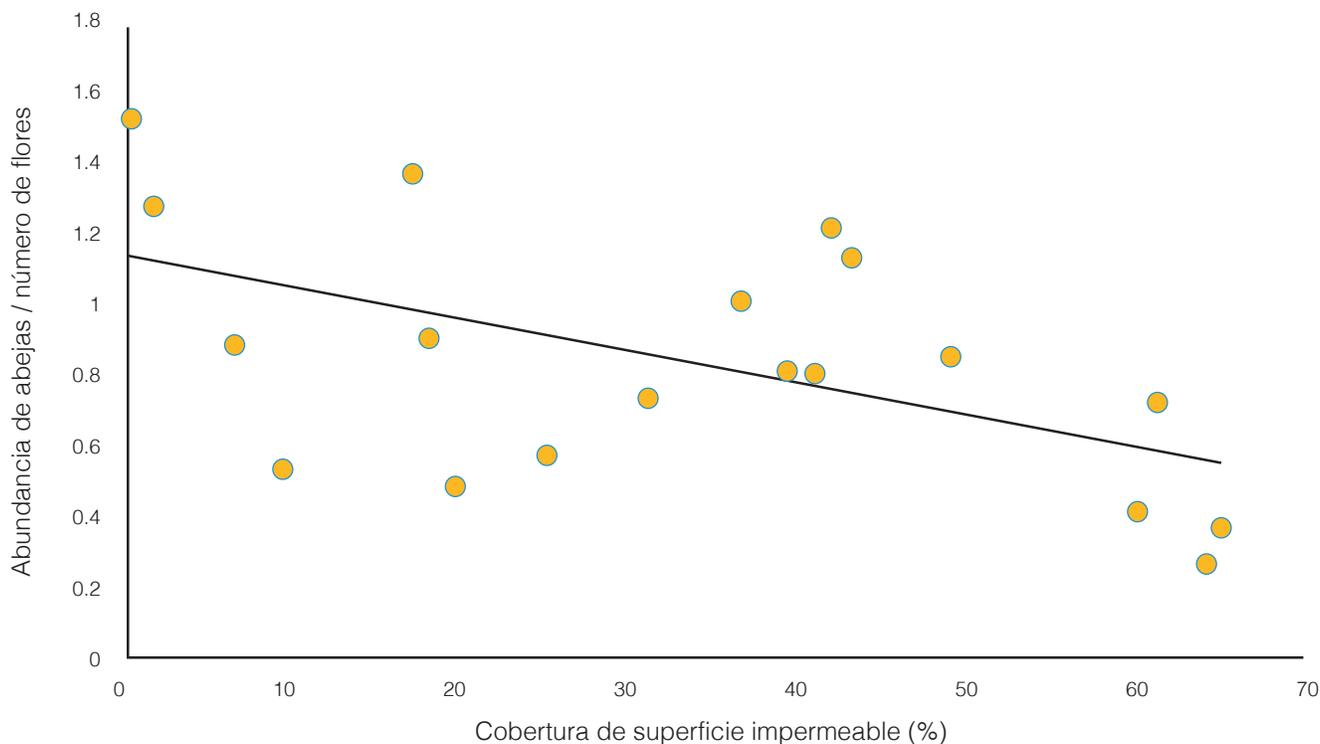


Figura 4. Relación entre la abundancia de especies de abejas visitantes de *Opuntia heliabravoana* y el gradiente de urbanización ($R^2=0.253$, $P=0.016$).

al., 2006), sin embargo, de acuerdo con Hunt (2002) de las 202 especies de *Opuntia* catalogadas, solamente se han registrado los polinizadores y/o visitantes florales de 19 especies, *O. heliabravoana* no es una de esas especies. Sin embargo, los géneros de las 16 especies que fueron registrados como abejas visitantes de *O. heliabravoana* en nuestro estudio, han sido reportados como visitantes florales para otras especies de *Opuntia* en México (Ordway, 1987; Reyes-Agüero et al., 2006).

Las abejas del género *Diadasia* y *Lithurgus* fueron de las abejas más abundantes y comunes en las flores de *O. heliabravoana* de la zona metropolitana de Pachuca, al estar presentes en el 100% y 90% de los sitios de muestreo, respectivamente, lo cual coincide con lo que se ha reportado para diferentes especies de *Opuntia* en México y Estados Unidos (Ordway, 1987; Mandujano et al., 1996). Se ha planteado que *Diadasia* y *Lithurgus* son dos géneros que han coevolucionado con el género *Opuntia* (Ordway, 1984; Michener et al., 1994; Mandujano et al., 1996).

Al igual que el género *Opuntia*, las especies de *Diadasia* ocurren únicamente en el continente Americano y son comunes en las regiones áridas y semiáridas (Michener et al., 1994), en cambio, el género, *Lithurgus* presenta una distribución mundial, pero cuenta con especies nativas de ambientes xéricos. Además, las abejas de estos géneros junto con las abejas del género *Macrotera* son especies que se alimentan exclusivamente del polen y/o néctar de flores del género *Opuntia* (Michener et al., 1994), posiblemente esta es la razón por la cual fueron las especies más comunes

y abundantes en el gradiente de urbanización. En cambio *A. mellifera*, a pesar de ser una especie de hábitos alimenticios generalistas, fue una especie común y abundante en las flores de *O. heliabravoana*, posiblemente debido a que el recurso alimenticio disponible en los sitios estaba conformado por un 90% de las flores de *O. heliabravoana* (K. Sanchez-Echeverría, datos no publicados). Las abejas del género *Lasioglossum* y *Agapostemon* que fueron registradas una sola vez, son abejas que han sido consideradas como visitantes poco comunes en *Opuntia* (Reyes-Agüero et al., 2006).

En general, en este estudio se encontró que las flores de *O. heliabravoana* son visitadas por una gran cantidad de individuos de abejas, principalmente abejas solitarias, que anidan en el suelo, en su mayoría, individuos especialista de *Opuntia* (abejas monoléticas y oligoléticas). Al parecer, *O. heliabravoana* es una especie que aporta gran cantidad de recurso alimenticio, principalmente polen, durante los meses que el recurso es limitado en la zona, beneficiando a una gran cantidad de abejas en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo.

Efecto de la urbanización sobre los visitantes florales de *O. heliabravoana*

El menor porcentaje de similitud entre las especies de abejas a lo largo del gradiente de urbanización se encontró entre los sitios que se encuentran en los extremos del gradiente (sitios 1 y 19). Sin embargo, la similitud entre las especies de abejas presentes en los otros sitios fueron mayores a 60% y

no se observa una clara relación entre su similitud y el grado de urbanización de los sitios, lo cual puede deberse a la cercanía entre algunos de estos sitios y a que las condiciones ambientales y los porcentajes de superficie impermeable presentes en los sitios son similares.

Los resultados encontrados en este trabajo muestran que la urbanización tiene en efecto negativo sobre la abundancia de las abejas visitantes de *O. heliabravoana*, ya que conforme aumenta el gradiente de urbanización disminuyó su abundancia. Para la riqueza de especies, los resultados de este trabajo sugieren que la urbanización no tuvo efecto, sin embargo se observó una tendencia negativa entre el número de especies y la urbanización. Estos resultados son parcialmente consistentes con el trabajo realizado por Cué-Hernández (2014), quien encontró que tanto la abundancia como la riqueza de las abejas disminuyó con la cobertura de superficie impermeable en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo. Sin embargo, Cué-Hernández (2014) colectó abejas de diferentes especies de plantas y también utilizó trampas plato, y sus colectas se realizaron a lo largo de un gradiente de urbanización que incluía sitios con un porcentaje de cobertura impermeable de hasta 90%, mientras que nuestros resultados son específicos para una especie de planta y en un gradiente de urbanización con un porcentaje de cobertura impermeable menor a 65%.

En la literatura se ha reportado que las comunidades de abejas pueden responder de forma diferente a la urbanización. Por ejemplo, Matteson y colaboradores (2008) reportan una disminución en el número de especies de abejas en la ciudad de Nueva York con respecto a las zonas menos urbanizadas y resultados similares han sido reportados en otras ciudades del mundo (Zenette *et al.*, 2005, Bates *et al.*, 2011). En cambio, Banaszak-Cibicka y Zmihorski (2012) reportaron que varias especies de abejas son más abundantes en el centro de la ciudad de Poznan, Polonia, mientras que McBride (2012) reportó que la abundancia y riqueza de especies de abejas fueron similares entre áreas urbanas y no urbanas en varias ciudades de California. Al parecer algunas especies de abejas parecen beneficiarse de las condiciones que se generan en las zonas urbanas y periurbanas. Williams y colaboradores (2010), Banaszak-Cibicka y Zmihorski (2012) y Fortel y colaboradores (2014) sugieren que estas especies poseen rasgos morfológicos, conductuales y alimenticios que favorecen su desarrollo en zonas urbanas, por ejemplo: tamaño corporal pequeño, anidación en cavidades, comportamiento social, hábitos alimenticios generalistas (poliléticas). En nuestro trabajo, *A. mellifera* fue la única especie que cumple con la mayoría de las características antes mencionadas con excepción del tamaño corporal. Sin embargo, *Diadasia sp.* y *L. littoralis* son especies muy abundantes en sitios con urbanización alta pero no cumplen con ninguno de los rasgos morfológicos, conductuales y alimenticios mencionados (Tabla 1). Es posible que la mayor presencia de *Diadasia sp.* y *L. littoralis* en sitios urbanos se deba a varios factores como el porcentaje máximo de superficie impermeable donde se ubicaban los individuos de *O. heliabravoana* no es tan

alto (65%), lo que implica menor efecto antrópico; a que los sitios donde se ubica *O. heliabravoana* generalmente son áreas relativamente grandes con remanentes de vegetación nativa, los cuales proporcionan a las abejas espacio suficiente para anidar y; a que *O. heliabravoana* proporciona gran cantidad de recurso alimenticio. También es posible que el tamaño de las flores y la cantidad y calidad del polen y néctar de *O. heliabravoana* varían con el grado de urbanización (Harrison y Winfree, 2015), lo cual pudo haber influido sobre la abundancia y riqueza de las especies de abejas que visitan las flores de esta planta en la zona metropolitana de Pachuca.

Aunque la comunidad de abejas visitantes de *O. heliabravoana* en la zona metropolitana de Pachuca, Hidalgo parece verse afectada por la densidad de construcciones y las actividades humanas, esto no significa que las ciudades no puedan proporcionar de un hábitat importante para una fauna diversa de abejas, por lo que ante la imposibilidad de evitar la substitución de áreas naturales por áreas urbanas, el establecimiento de un amplio rango de niveles de urbanización parece ser una estrategia para la conservación de la diversidad plantas y abejas en las ciudades (Banaszak-Cibicka, 2014), de igual manera, es necesario que se generen más estudios que evalúen el impacto de la urbanización sobre la flora y fauna en general para así generar más y mejores estrategias de conservación.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de Doctorado otorgada al primer autor. Agradecemos a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por su apoyo a través del Programa Anual de Investigación 2016 y a la Red temática CONACYT "Biología, manejo y conservación de la fauna nativa en ambientes antropizados". También se agradece a los revisores por sus comentarios al manuscrito.

Referencias

- Banaszak-Cibicka W, Zmihorski M** (2012) Wild bees along an urban gradient: winners and losers. *J. Insect Conserv.* 16: 331-343
- Bates AJ, Sadler J.P, Fairbrass AJ, Falk SJ, Hale JD, Matthews TJ** (2011) Changing bee and hoverfly pollinator assemblages along an urban-rural gradient. *PloS one* 6: e23459.
- Chao A, Jost L** (2012) Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* 93: 2533-2547.
- Cué Hernández K** (2014) Efecto de la Urbanización sobre las comunidades de abejas y abejorros (Hymenoptera Apoidea) en la ciudad de Pachuca, Hidalgo. *Tesis de Maestría*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológicas. México.
- Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J, Güneralp B, Marcotullio PJ, McDonald RI, Parnell S, Schewenius M, Sendstad M, Seto KC, Wilkinson C** (2013) *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities*. Springer Netherlands, Nueva York, EUA. 775 p.
- Fortel L, Henry M, Guilbaud L, Guirao AL, Kuhlmann M, Mouret**

- H, et al** (2014) Decreasing abundance, increasing diversity and changing structure of the wild bee community (Hymenoptera: Anthophila) along an urbanization gradient. *PLoS one* 9: e104679.
- Gómez-Aíza L, Zuria I** (2010) Aves visitantes a las flores del maguey (*Agave salmiana*) en una zona urbana del centro de México. *Ornitol. Neotrop.* 21: 17-30.
- Harrison T, Winfree R** (2015) Urban drivers of plant-pollinator interactions. *Funct. Ecol.* 29: 879-888.
- Hernandez JL, Frankie GW, Thorp RW** (2009) Ecology of urban bees: a review of current knowledge and directions for future study. *Cities Environ.* 2(1): art. 3.
- Hostetler NE, McIntyre ME** (2001) Effects of urban land use on pollinator (Hymenoptera: Apoidea) communities in a desert metropolis. *Basic Appl. Ecol.* 2: 209-218.
- Hunt D** (2002) Alphabetical list of currently accepted species. In D Hunt, N Taylor (eds), *Studies in the Opuntioideae*. The Manse and Chapel Lave, Sherborne, England, pp 250-255.
- INEGI** (2010) *Cuaderno estadístico municipal, Pachuca de Soto, Estado de Hidalgo*. INEGI. México.
- Kearns CA, Inouye DW, Waser NM** (1998) Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 83-112.
- Mandujano MDC, Montana C, Eguiarte LE** (1996) Reproductive ecology and inbreeding depression in *Opuntia rastrera* (Cactaceae) in the Chihuahuan Desert: Why are sexually derived recruitments so rare? *Am. J. Bot.* 83: 63-70.
- Martínez-Adriano CA, Romero-Méndez U, Flores J, Jurado E, Estrada-Castillón E** (2015) Floral visitors of *Astrophytum myriostigma* in La Sierra El Sarnoso, Durango, Mexico. *Southwest. Nat.* 60: 158-165.
- Matteson KC, Ascher JS, Langellotto GA** (2008) Bee richness and abundance in New York City urban gardens. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 101: 140-150.
- McDonnell MJ, Hahs AK** (2015) Adaptation and adaptedness of organisms to urban environments. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 46: 261-280.
- Michener CD, McGinley RJ, Danforth BN** (1994) *The bee genera of North and Central America (Hymenoptera:Apoidea)*. Smithsonian Institution Press.
- Ordway E** (1984) Aspects of the nesting behavior and nest structure of *Diadasia opuntiae* Ckll. (Hymenoptera: Anthophoridae). *J. Kans. Entomol. Soc.* 57: 216-230.
- Ordway E** (1987) The life history of *Diadasia rinconis* Cockerell (Hymenoptera: Anthophoridae). *J. Kans. Entomol. Soc.* 60: 15-24.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division** (2014) *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)*.
- Price MV, Waser NM** (1998) Effects of experimental warming on plant reproductive phenology in a subalpine meadow. *Ecology* 79: 1261-1271.
- Reyes-Agüero JA, Valiente-Banuet A** (2006) Reproductive biology of *Opuntia*: a review. *J. Arid Environ.* 64: 549-585
- Rzedowski C, Rzedowski G** (2001) *Flora fanerogámica del Valle de México (No. C/582.09725 F56/2001)*.
- Scheinvar L, Gallegos C, Olalde G, Sánchez V** (2011) *Informe final proyecto Estado del conocimiento de las especies del nopal (Opuntia spp.) productoras de Xoconostles silvestres y cultivadas*. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO.
- Tommasi D, Miro A, Higo HA, Winston ML** (2004) Bee diversity and abundance in an urban setting. *Can. Entomol.* 136: 851-869.
- Valiente-Banuet A, Arizmendi MDC, Rojas-Martínez A, Domínguez-Canseco L** (1996) Ecological relationships between columnar cacti and nectar-feeding bats in Mexico. *J. Trop. Ecol.* 12: 103-119.
- Williams N M, Crone EE, Tai HR, Minckley RL, Packer L, Potts SG** (2010) Ecological and life-history traits predict bee species responses to environmental disturbances. *Biol. Conserv.* 143: 2280-2291.
- Zanette LRS, Martins RP, Ribeiro SP** (2005) Effects of urbanization on Neotropical wasp and bee assemblages in a Brazilian metropolis. *Landsc. Urban Plan.* 71: 105-121.