



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

USO DE HÁBITAT DE LOS COLIBRÍES (AVES:
TROCHILIDAE) EN EL JARDÍN DE POLINIZADORES,
FES IZTACALA, UNAM, MÉXICO

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA
ALEJANDRA CASTILLO GARCÍA

DIRECTORA DE TESIS
DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA

LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA, ESTADO DE
MÉXICO
MAYO, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos.

A mi tutora principal Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga.

A la Dra. Claudia Isabel Rodríguez Flores.

A mi comité tutor: Dra. Ana María Contreras González, Dr. Francisco Alberto Rivera Ortiz,

Dra. María Félix Ramos Ordoñez y Dr. Rafael Lira Saade.

A los proyectos PAPIIT-IN221920, IN216617 y IV200418.

Al proyecto PAPIME PE212316.

Índice

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Índice de Tablas | 4 |
| Índice de Figuras..... | 5 |
| Resumen..... | 6 |
| Introducción..... | 7 |
| Antecedentes..... | 10 |
| Justificación..... | 10 |
| Objetivo General..... | 11 |
| Objetivos Particulares..... | 11 |
| Área de Estudio..... | 11 |
| Método..... | 13 |
| Observaciones..... | 13 |
| Fenología..... | 14 |
| Red de Interacción..... | 14 |
| Análisis de Datos..... | 16 |
| Resultados..... | 17 |
| Observaciones..... | 17 |
| Fenología..... | 27 |
| Red de interacción..... | 29 |
| Discusión..... | 32 |
| Conclusiones..... | 36 |
| Literatura Citada..... | 38 |
| Apéndices..... | 45 |
| Apéndice 1. Registro fotográfico de la flora del jardín de polinizadores..... | 45 |
| Apéndice 2. Saucerottia beryllina..... | 46 |
| Apéndice 3. Cynanthus latirostris..... | 47 |

Índice de Tablas

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Especies de plantas sembradas en el jardín de polinizadores (Apéndice 1). | 13 |
| Tabla 2. Lista de plantas utilizadas por colibríes durante el periodo septiembre 2018 a agosto 2019. | 21 |
| Tabla 3. Número de flores totales por especie registradas mensualmente de septiembre 2018 a agosto 2019..... | 27 |

Índice de Figuras

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Ubicación del jardín de polinizadores dentro de la FES Iztacala. Modificado de https://www.iztacala.unam.mx/nuevo_ingreso/?p=21 | 12 |
| Figura 2. <i>S. beryllina</i> perchando en <i>Rosa</i> sp. en la FES Iztacala (izquierda); <i>C. latirostris</i> hembra perchando en <i>S. mexicana</i> en el jardín de polinizadores (centro); <i>C. latirostris</i> macho (derecha).... | 17 |
| Figura 3. Número de registros de colibríes..... | 18 |
| Figura 4. Número de registros de individuos de colibríes observados por hora..... | 18 |
| Figura 5. Porcentaje de actividades realizadas por los colibríes en el jardín de polinizadores. | 19 |
| Figura 6. Tiempo promedio de forrajeo de las especies de colibríes registradas en el jardín de polinizadores con error estándar..... | 19 |
| Figura 7. Tiempo promedio de forrajeo por especie de planta por colibrí..... | 20 |
| Figura 8. Tiempo promedio de forrajeo con rango en datos extremos..... | 20 |
| Figura 9. Tiempo promedio de forrajeo por especie de planta por colibrí (datos extremos)..... | 21 |
| Figura 10. Especies de plantas que son utilizadas para perchar por los colibríes del jardín de polinizadores..... | 22 |
| Figura 11. Número de interacciones antagonistas por mes..... | 23 |
| Figura 12. Porcentaje de interacciones antagonistas entre especies de colibríes..... | 23 |
| Figura 13. Oferta floral y número de interacciones registradas entre septiembre 2018 y agosto 2019..... | 24 |
| Figura 14. Correlación de Spearman entre el número de interacciones antagonistas y el número de flores..... | 24 |
| Figura 15. Especies de plantas utilizadas para baño por los colibríes del jardín de polinizadores.... | 25 |
| Figura 16. Tiempo promedio de baño de las especies de colibríes registradas en el jardín de polinizadores con error estándar..... | 25 |
| Figura 17. Porcentaje del número de registros de acicalamiento..... | 26 |
| Figura 18. Tiempo promedio de limpieza con error estándar..... | 26 |
| Figura 19. Oferta floral y número de visitas registradas entre septiembre 2018 y agosto 2019..... | 28 |
| Figura 20. Correlación de Spearman entre el número de visitas y el número de flores..... | 28 |
| Figura 21. Red de interacción constuida a partir de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes del jardín de polinizadores. A la izquierda fotografías de las especies de plantas que conforman la red y a la derecha fotografías de los colibríes interactuantes..... | 29 |
| Figura 22. Valores de anidamiento observados respecto al modelo de Patefield..... | 30 |
| Figura 23. Índice de asimetría de la red de observaciones directas de las especies de colibríes y plantas en el jardín de polinizadores..... | 31 |
| Figura 24. Curva extinción de la red de interacción del jardín de polinizadores..... | 31 |
| Figura 25. Valores de robustez observados respecto al modelo de Patefield..... | 32 |

Resumen.

Las interacciones entre plantas y polinizadores están siendo amenazadas por la grave crisis global. La implementación y estudio de jardines para polinizadores es una alternativa de sobrevivencia para los polinizadores, entre los cuales se encuentran los colibríes. El objetivo de estudio fue caracterizar la interacción planta-colibrí en el jardín de polinizadores de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (FES Iztacala), considerando el uso por la comunidad de colibríes y la disponibilidad del recurso. El jardín se monitoreó durante 12 meses, realizando observaciones directas de los colibríes y llevando el registro de la fenología de las especies de plantas. La comunidad de colibríes estuvo compuesta por dos especies: *Saucerottia beryllina* y *Cyananthus latirostris*, ambos comportándose como generalistas y haciendo uso de los recursos disponibles del jardín, *S. beryllina* manifestó su comportamiento territorial al defender el recurso de la especie subordinada, *C. latirostris*. En tanto que la comunidad de plantas estuvo compuesta de 30 especies, de las cuales quienes obtuvieron mayor registro de visitas fueron *Salvia mexicana*, *S. longistyla*, *Hibiscus rosa-sinensis*, *S. elegans* y *Tecoma capensis*. El número de visitas que tuvieron las plantas está fuertemente relacionado con la oferta floral. En el análisis de la red de interacción, se demostró que la red fue aleatoria, frágil a posibles extinciones y que los colibríes son quienes tienen una mayor importancia dentro de la red a comparación de las plantas.

Palabras clave: áreas verdes urbanas, colibríes, forrajeo, antagonismo, red de interacción.

Introducción.

La polinización es un proceso vital para mantener la biodiversidad en la tierra, ya que la reproducción de casi el 90% de las plantas con flor depende de ella, en este proceso, los polinizadores recogen el polen producido por las plantas y lo transportan hacia las partes femeninas de la flor para que se lleve a cabo la fecundación de los óvulos, dando como resultado la formación de frutos y semillas (Arizmendi, 2009).

En el Neotrópico los polinizadores vertebrados, en especial las aves y los murciélagos, desempeñan un papel muy importante en la polinización de las plantas, debido a que son quienes transportan el polen de las anteras a los estigmas de las flores (Garibaldi *et al.*, 2011; Alava & Asanza, 2019). Entre las aves polinizadoras más importantes se encuentran los colibríes (Aves: Trochilidae), ya que polinizan una amplia gama de plantas nativas de América (Arizmendi, 2018).

Los colibríes son aves nectarívoras endémicas de América y existen cerca de 330 especies a lo largo de toda su distribución (Sierra-Morales, *et al.*, 2015). En México se han reportado 58 especies, de las cuales 16 son compartidas con Estados Unidos y Canadá, debido a que en verano llevan a cabo su reproducción en estos países y migran en el invierno al sur y centro de México (Torres & Navarro-Sigüenza, 2000). En México 13 especies son endémicas (Arizmendi *et al.*, 2020). Los Trochilidae son la segunda familia de aves más diversa con morfología y fisiología especializada para alimentarse principalmente del azúcar obtenido de las flores (Stiles 1981; Schuchmann, 1999). Su dieta incluye también a artrópodos de cuerpos blandos (moscas, arañas y áfidos) y de cuerpos duros (hormigas, escarabajos y avispas) en su dieta para cubrir la necesidad de aminoácidos esenciales y lípidos, los cuales se encuentran en bajas cantidades en el néctar (Poulin *et al.*, 1994; Stiles, 1995; Poulin & Lefebvre, 1996; Yanega & Rubega, 2004).

Los colibríes se caracterizan por su pico largo y delgado, son aves pequeñas de entre 2-24 g de peso y 5-22 cm de largo. Tienen una impresionante capacidad de vuelo, ya que pueden volar en cualquier dirección y mantenerse suspendidos en el aire; lo que les permite batir sus alas desde unos 80 hasta más de 200 aleteos por segundo y logran alcanzar velocidades de hasta 95 km/h (Arizmendi *et al.*, 2020).

Los colibríes se encuentran en una gran variedad de ambientes, desde playas y costas, zonas áridas, selvas húmedas y secas, bosques templados, páramos de montaña, hasta en zonas urbanas, en parques y jardines (Arizmendi & Berlanga, 2014). Se sabe que los colibríes pueden polinizar cerca del 15% de especies de angiospermas en una comunidad vegetal (Buzato *et al.*, 2000). Hay colibríes que son polinizadores exclusivos, debido a que son los únicos responsables de la reproducción sexual de algunas plantas, como algunas de los géneros *Heliconia*, *Datura* y *Fuchsia*. Para otras especies de

plantas los colibríes también son polinizadores aunque no exclusivos y para algunas otras plantas los colibríes no representan ningún beneficio como polinizadores. Incluso, en ciertos casos, los colibríes pueden fungir como ladrones de néctar sin necesidad de entrar en contacto con las estructuras reproductivas de las plantas (Arizmendi *et al.*, 2016).

Las plantas utilizadas por los colibríes representan una serie de características para facilitar el acceso de las aves y asegurar la polinización, a este conjunto de características se les ha llamado síndrome de polinización por ornitofilia. Las características a considerar son las siguientes: flores con antesis diurna, flores de color rojo o de longitud de onda cercana al rojo (anaranjado, amarillo, rosa, morado), flor de tejido resistente, especialmente en el cáliz, para proteger los órganos reproductivos, corola tubular con receptáculos de néctar en la base del tubo y anteras, estigma en la entrada del tubo, ausencia de olor y guías de néctar, distancia grande entre el nectario y ovario, néctar abundante y de alta calidad y poco polen (Faegri & Van Der Pijl, 1979; Arizmendi *et al.*, 2020).

En el mismo sentido, las flores visitadas por los colibríes han desarrollado cuatro mecanismos fenológicos y fisiológicos para asegurar su polinización por parte de estas aves (Grant & Grant, 1968). Dichos mecanismos se centran en atraer a los polinizadores, excluir a los organismos que no sean polinizadores, proteger los órganos reproductivos de la planta y en el establecer relaciones espaciales y temporales de los órganos reproductivos para que los colibríes lleven a cabo la polinización (Arizmendi, 1987). Algunas de las plantas que son más utilizadas por los colibríes como recurso de néctar son diferentes especies de los géneros *Salvia*, *Penstemon*, *Fuchsia* y *Erythrina*. No obstante, la mayoría de los colibríes son generalistas y utilizan muchos tipos de flores que presentan diferentes longitudes de corola, dependiendo de la disponibilidad de alimento (Arizmendi & Berlanga, 2014).

La relación que hay entre plantas y colibríes implican situaciones competitivas, las cuales están establecidas por los costos y beneficios que proporcionan los recursos y en sus habilidades para obtenerlo (Márquez-Luna *et al.*, 2017). Por un lado, están los colibríes territoriales que defienden de forma activa y agresivamente los recursos alimenticios y expulsan a los intrusos para asegurar su alimento, el otro tipo de estrategia es de aquellos colibríes que no defienden su territorio, son conocidos como ruteros, porque usan las flores que establecen en rutas de forrajeo (Arizmendi & Berlanga 2014; Arizmendi *et al.*, 2020).

Para representar las interacciones gráficamente se crean matrices de interacción conformadas por vectores columna y vectores fila, las cuales pueden contener información cualitativa (registro de presencia o ausencia) o de tipo cuantitativa (frecuencia de interacción). Con estos vectores se crean redes de interacción que se componen de nodos (especies interactuantes) y enlaces entre ellos (interacciones), las cuales además de que permiten visualizar la red completa, proveen herramientas de búsqueda de patrones que resultan de gran utilidad (Jordano *et al.*, 2009).

Existen dos tipos diferentes de redes: 1) redes unipartitas (los enlaces se pueden establecer entre cualquiera de los nodos de la red) y 2) redes bipartitas (ilustran las conexiones entre nodos de dos grupos distintos, de tal modo que no existen conexiones entre nodos del mismo grupo). Las redes bipartitas son las que se utilizan para representar gráficamente la interacción planta-animal, ya que consisten en dos conjuntos distintos de nodos (especies): plantas y animales. Este tipo de representación es muy adecuada, ya que ilustra el patrón de reciprocidad de interacciones (Bascompte & Jordano, 2007; Jordano *et al.*, 2009).

Las interacciones de tipo planta-polinizador están amenazadas por la grave crisis global que está afectando a las poblaciones de polinizadores desde finales del siglo XX. Esta crisis es provocada por la degradación, el cambio en el uso de suelo, la introducción de especies invasoras, el incremento de patologías, el uso intensivo de agroquímicos, el cambio climático y la urbanización (Sierra-Morales *et al.*, 2015; Beltrán & Traveset, 2018; Arizmendi *et al.*, 2020).

Por otra parte, la urbanización modifica la estructura física y biótica del hábitat original, lo que afecta diversos procesos ecológicos y evolutivos que influyen de cierta manera en la composición y estructura de las comunidades de flora y fauna (Ramírez-Albores, 2008). Restringiendo o ampliando de forma casual la distribución de las especies nativas (Gavareski, 1976; Lancaster & Ress, 1979).

Las áreas verdes urbanas presentan un papel de gran importancia, ya que contribuyen a modelar el clima urbano, regular la temperatura, elevar la humedad relativa, liberar oxígeno, reducir sustancias, partículas y gases contaminantes del aire, facilitando el mantenimiento de una mayor diversidad, debido a que promueven la presencia de un paisaje heterogéneo, lo que es de vital importancia para la flora y fauna, en especial para las aves (Bernatzky, 1975; Ramírez-Albores, 2008).

Es por ello que, al promover la creación de jardines con plantas nativas y propicias para los polinizadores, se ayuda a la conservación de éstos en zonas urbanas (Arizmendi, 2009). Ya que representan pequeños oasis de vegetación y forman parte de corredores ecológicos que benefician a las especies en su tránsito por las ciudades (Arizmendi *et al.*, 2020).

Un jardín de polinizadores es un espacio en donde se plantan especies de plantas con flores, preferentemente nativas de la región, que proveen alimento, refugio y agua para los polinizadores (Ávila & González, 2016). Por lo que la conservación de plantas que son usadas por los colibríes puede asegurar la conservación de ellos mediante el acoplamiento fenológico de ambos grupos (Hegland *et al.*, 2009).

Antecedentes.

Varona en el año 2001, realizó un estudio en siete diferentes áreas verdes en la zona norte del área metropolitana de la Ciudad de México, entre ellas se encontró la FES Iztacala. Durante sus muestreos registró a *Cynanthus latirostris* como una especie muy rara pero observada frecuentemente y a *Lampornis clemenciae* observada fuera de muestreo. Así mismo, Duarte (2001) llevó a cabo una caracterización de la comunidad de aves de la FES Iztacala, reportando cuatro especies de colibríes: *Amazilia beryllina* (ahora llamada *Saucerottia beryllina*), *Calothorax lucifer*, *C. latirostris* y *L. clemenciae*.

En el año 2013, Héctor Salgado, asesorado por la Dra. María del Coro Arizmendi, implementaron el jardín de polinizadores en la FES Iztacala con 23 especies de plantas que presentaban síndrome ornitófilico, siendo en su mayoría (73.91%) no nativas de México. En su estudio realizó observaciones de los colibríes que visitaron el jardín debido al periodo de aclimatación de las plantas, teniendo registros de las especies *A. beryllina* y *C. latirostris*.

Por otro lado, Acuña en 2014, en su estudio de la avifauna de la FES Iztacala, reportó tres especies de colibríes (*A. beryllina*, *C. latirostris* e *Hylocharis leucotis*). Acuña propuso que existe competencia interespecífica relacionada directamente con el alimento entre *C. latirostris* y *A. beryllina*, ya que la abundancia de *C. latirostris* se redujo en un 50%, mientras que la de *A. beryllina* incrementó.

En el año 2017, Morales realizó un estudio de los patrones de anidación de colibríes en la FES Iztacala, evaluando las principales características de los sitios de anidación y los elementos del paisaje que moldean la distribución de los colibríes. Durante su estudio reportó 114 registros de *A. beryllina* y 55 registros de *C. latirostris*, encontrando seis nidos activos de *A. beryllina* y tres de *C. latirostris*, mencionando que la disponibilidad de alimento y la variación en la composición de las áreas verdes son factores determinantes de la selección de sitios de forrajeo y anidación.

Justificación.

La urbanización ha sido causa del reemplazo de hábitats naturales con infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades humanas, y ha sido identificada como uno de los factores más importantes que afectan actualmente la biodiversidad (Morales, 2017). Con la implementación de jardines de polinizadores y el estudio de éstos se busca una alternativa de supervivencia para organismos como los colibríes, pudiendo servir adicionalmente como un lugar de divulgación y

educación ambiental. No obstante, es necesario realizar el monitoreo de dichos jardines para evaluar su efectividad en cuanto al tipo y cantidad de interacciones que se generan en ellos.

Objetivo General.

Caracterizar la interacción planta-colibrí en el jardín de polinizadores de la FES Iztacala, considerando el uso por la comunidad de colibríes y la disponibilidad del recurso para entender como se encuentran estructuradas las interacciones entre plantas y colibríes.

Objetivos Particulares.

1. Determinar la composición de la comunidad de colibríes que utilizan las especies vegetales del jardín de polinizadores de la FES Iztacala.

2. Identificar las actividades que realizan los colibríes del jardín de polinizadores de la FES Iztacala, para identificar el uso que le dan los colibríes.

3. Determinar la fenología de las plantas cuyas flores visitan los colibríes del jardín de polinizadores de la FES Iztacala con la finalidad de conocer la variación del recurso a lo largo del tiempo y asociar los periodos de floración con la presencia de los colibríes.

5. Realizar una red de interacción cuantitativa para analizar las interacciones entre los colibríes y las plantas del jardín de polinizadores para identificar la estructura de la red del jardín de polinizadores.

Área de Estudio.

El área de estudio está situada al sur de las instalaciones de la FES Iztacala, localizada en los Reyes Iztacala, en el municipio de Tlalnepantla de Baz, en el Estado de México; el jardín está ubicado detrás de la Unidad de Investigación en Biomedicina (UBIMED; Figura 1).

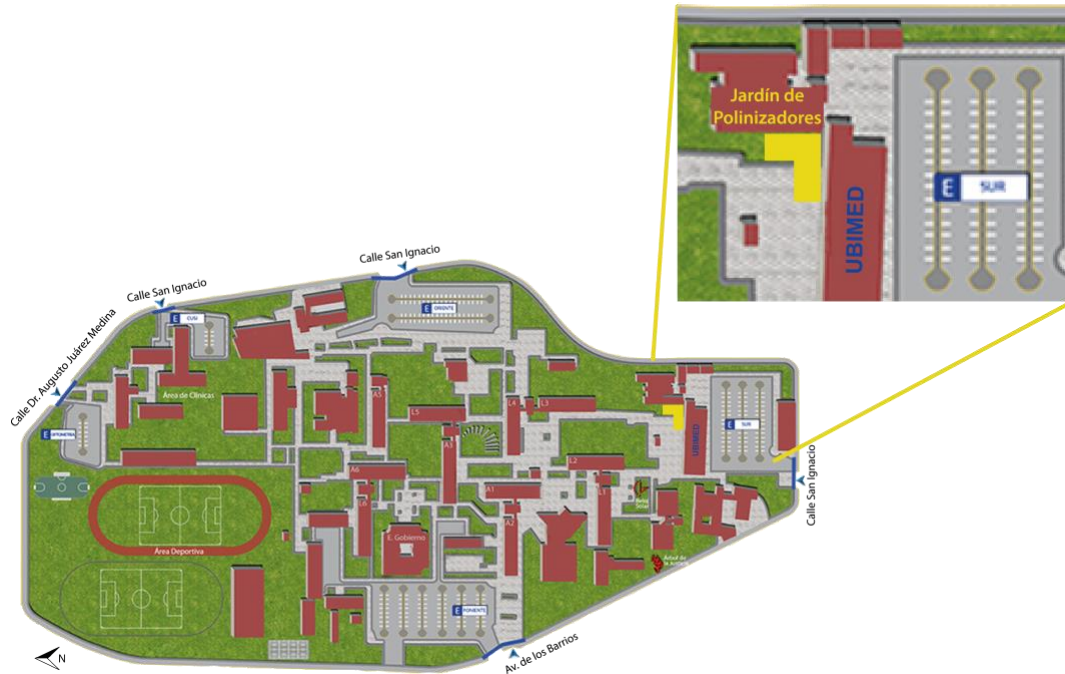


Figura 1. Ubicación del jardín de polinizadores dentro de la FES Iztacala. Modificado de https://www.iztacala.unam.mx/nuevo_ingreso/?p=21

La FES Iztacala se ubica entre los 19° 32' 28'' LN y 98° 11' 39'' LE, con una altitud media de 2475 msnm. En el municipio, las áreas verdes son limitadas, dominando las áreas habitacionales y zonas de gobierno. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura oscila entre 12 °C y 18 °C, con una precipitación media de 500 y 800 mm (IGCEM, 2015).

La vegetación de la FES se encuentra representada por especies de árboles como el colorín (*Erythrina corallorides*), eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus globulus*), pirul (*Schinus molle*), fresno (*Fraxinus udhei*), piracanto (*Pyracantha koidzumii*), jacaranda (*Jacaranda acutifolia*), ciprés (*Cupressus lindleyi*), pino (*Pinus* sp.), chopo blanco (*Populus alba*), álamo (*Populus deltoides*), entre otros (Duarte, 2001).

El jardín de polinizadores de la FES Iztacala fue el primer jardín urbano que se plantó para atraer colibríes y otros polinizadores en el Estado de México. Los jardines urbanos para colibríes son proyecto de la Dra. María del Coro Arizmendi y su equipo de trabajo, el cual tiene como propósito implementar jardines de colibríes como medio de atracción a estos animales y proporcionarles recurso alimenticio en una ciudad en donde se ha deteriorado su hábitat natural, para utilizarlos como medio de educación ambiental señalando la importancia de la conservación de los colibríes como polinizadores y de este proceso para la conservación de la naturaleza así como resaltando la significancia cultural (Arizmendi, s/a).

El jardín comprende de un área de 200 m², en septiembre de 2013 se realizó la primera siembra de plantas, las cuales presentan en su mayoría síndrome ornitófilico. En los meses de septiembre a febrero de 2013 las plantas pasaron por un periodo de aclimatación, algunas de ellas perdieron sus flores pero volvieron a florecer meses después y hubo otras que no sobrevivieron (Salgado, 2013). Para el año 2017 se realizó una segunda siembra de plantas que, de igual modo, presentan síndrome ornitófilico (Tabla 1). Desde que se realizó la primera siembra a la actualidad al jardín se le da mantenimiento continuo.

Tabla 1. Especies de plantas sembradas en el jardín de polinizadores (Apéndice 1).

| Siembra 2013 | | | Siembra 2017 | | |
|-----------------|----------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|------------------------------|
| Familia | Género | Especie | Familia | Género | Especie |
| Acanthaceae | <i>Ruellia</i> | <i>Ruellia</i> sp. | Acanthaceae | <i>Justicia</i> | <i>Justicia spicigera</i> |
| Bignoniaceae | <i>Tecoma</i> | <i>Tecoma capensis</i> | Amoryllidaceae | <i>Agapanthus</i> | <i>Agapanthus africanus</i> |
| Caprifoliaceae | <i>Lonicera</i> | <i>Lonicera japónica</i> | Aponyaceae | <i>Asclepias</i> | <i>Asclepias curassavica</i> |
| Lamiaceae | <i>Agastache</i> | <i>Agastache mexicana</i> | Lamiaceae | <i>Salvia</i> | <i>Salvia coccinea</i> |
| | <i>Lavandula</i> | <i>Lavandula</i> sp. | | | <i>Salvia elegans</i> |
| | <i>Plectranthus</i> | <i>Plectranthus ecklonii</i> | | | <i>Salvia longistyla</i> |
| | <i>Salvia</i> | <i>Salvia leucantha</i> | | | <i>Salvia mexicana</i> |
| | | <i>Salvia microphylla</i> | | | <i>Salvia nemorosa</i> |
| Lythraceae | <i>Punica</i> | <i>Punica granatum</i> | | | <i>Salvia greggii</i> |
| Malvaceae | <i>Hibiscus</i> | <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> | | | <i>Salvia guaranitica</i> |
| Melastomataceae | <i>Tibouchina</i> | <i>Tibouchina</i> sp. | | | <i>Salvia hispanica</i> |
| Nyctaginaceae | <i>Bougainvillea</i> | <i>Bougainvillea</i> sp. | | | <i>Salvia splendens</i> |
| Onagraceae | <i>Fuchsia</i> | <i>Fuchsia hybrida</i> | Malvaceae | <i>Abutilon</i> | <i>Abutilon pictum</i> |
| | | <i>Fuchsia magellanica</i> | | | <i>Malvaviscus</i> |
| | | | Plantaginaceae | <i>Penstemon</i> | <i>Penstemon barbatus</i> |
| | | | Ranunculaceae | <i>Aquilegia</i> | <i>Aquilegia chrysantha</i> |

Método.

El trabajo se realizó entre septiembre de 2018 y agosto de 2019. Para cumplir los objetivos propuestos, se llevaron a cabo dos métodos principales: observaciones directas de colibríes y evaluación de la fenología de las plantas visitadas por los colibríes (Chávez, 1999).

Observaciones.

Las observaciones de colibríes se efectuaron por una persona durante tres días a la semana, cada dos semanas en un horario de 7:00 a 10:00 horas con el uso de binoculares Vortex (10x42), tomando una distancia de 3 a 4 m del jardín (Chávez, 1999). Se utilizaron las guías de aves de

Colibríes de México y Norteamérica (Arizmendi & Berlanga, 2014) y la Guía de Aves de México y del Norte de Centroamérica (Howell & Webb, 1995) para su identificación.

La observación de los colibríes inició con la detección de los individuos y continuó con el registro de la actividad realizada hasta que los colibríes dejaron el jardín (Escalante-Pliego, 2016). Las actividades registradas comprendieron: el forrajeo de néctar, que consiste en la colecta de néctar por capilaridad el néctar floral con la lengua; perchado; encuentros antagonistas, que comprende la conducta agresiva entre dos o más colibríes por el acceso a los recursos; la limpieza, que es un comportamiento de mantenimiento en las aves, el cual implica el acicalamiento con el pico y el rascarse con las patas para colocar las plumas, entrelazar las bárbulas de las plumas que se han separado, engrasar las plumas, eliminar la suciedad del plumaje y controlar ectoparásitos; el baño, que a diferencia de la limpieza, este involucra agua o en algunos casos tierra; y la toma de agua (Cotgreave & Clayton, 1994; Ornelas, 1996; Márquez-Luna, *et al.*, 2018).

Cada vez que se observó a un colibrí visitando el jardín se registró la especie, sexo (en el caso que se pudiera diferenciar), actividad que realizó, duración de la actividad, en el caso de forrajeo de néctar se anotó la especie de planta que visitó y el número de flores que visitó (Rodríguez-Flores, 2009).

Fenología.

En cada muestreo se contabilizó el número de flores abiertas que presentó cada especie vegetal del jardín de polinizadores (Partida *et al.*, 2012). La identificación de las especies vegetales que visitan los colibríes se realizó a partir de una comparación con registros fotográficos que se tienen del listado de especies de Salgado (2013; Apéndice 1). La forma de la flor de las plantas utilizadas por los colibríes se determinó siguiendo la guía botánica de Benítez y colaboradores (2006).

Red de Interacción.

Para estudiar la estructura de las interacciones planta-colibrí se elaboró una matriz cuantitativa (frecuencia de la interacción), representando a los colibríes en columnas (H) y las plantas en filas (F). Se registró el número total de visitas, asumiendo como una sola visita cada vez que un colibrí visitó una especie de planta independientemente del número de flores. Cada elemento $a_{ij} \neq 0$ tomó valores más allá de la presencia y ausencia ($a_{ij} = 1$, $a_{ij} = 0$, respectivamente; Rodríguez-Flores *et al.*, 2012; Andrade 2016).

Se calculó la conectancia, la cual es la proporción de enlaces observados respecto al total de enlaces posibles dentro de la red (Dormann *et al.*, 2009).

El anidamiento, en la mayoría de las redes se ha basado en datos cualitativos, donde todas las conexiones entre especies tienen el mismo peso (Thompson, 2006). Recientemente se propuso un algoritmo para estimar el anidamiento mediante matrices cuantitativas, a este algoritmo se le conoce como anidamiento ponderado (wNODF: weighted nestedness metric based on overlap and decreasing fill; Martínez-Falcón *et al.*, 2019). Cuando el valor de wNODF es cero, indica que la red no está anidada, mientras que valores iguales a 100 corresponden a redes con anidamiento perfecto (Andrade, 2016). El parámetro wNODF fue calculado usando la función “networklevel” del paquete bipartite del software R (Dormann, *et al.*, 2009; R Development Core Team, 2019). Para probar la significancia del valor de anidamiento de la matriz, el valor de wNODF se comparó contra 1000 matrices nulas generadas por el algoritmo de Patefield (PA), utilizando el software R (Dormann, *et al.*, 2009; R Development Core Team, 2019). El modelo nulo de PA restringe el tamaño de la red (representa la riqueza de especies) y los totales marginales de la matriz de interacción (suma de las frecuencias de interacción de cada colibrí y especie de planta) lo que puede ser una consecuencia de la abundancia de especies o el esfuerzo de muestreo (Patefield, 1981).

El índice de asimetría se define como $A_i = \frac{\sum_j d_{ij}}{k_i}$, donde d_{ij} es la medida de la fuerza de la interacción entre i y j , en tanto que k_i es el número de especies que interactúan con la especie i (Vázquez *et al.*, 2009). Cuando una especie obtiene un valor cercano a 1 significa que afecta fuertemente a las especies con las que interactúa y recibe pocos efectos de las demás especies; en cambio cuando una especie obtiene un valor cercano a -1 significa que está fuertemente influenciada por las demás especies y que tiene pocos efectos sobre las demás especies (Vázquez *et al.*, 2007). El parámetro fue calculado utilizando las funciones “species level” y “network level” del paquete bipartite del software R (Dormann, *et al.*, 2009; Dormann, 2011; R Development Core Team, 2019).

Se realizó una simulación de eliminación de especies tanto de colibríes como de plantas para la red obtenida, esto con el fin de estimar la robustez (R) de la red.

La robustez (R) mide el grado de resistencia de una red frente a un escenario de una perturbación causante de una cascada de extinciones. Varía entre 0 y 1, donde un valor de 0 indica que la red es un sistema muy frágil, en el que la pérdida de una fracción pequeña de polinizadores desencadenará una gran extinción de especies. Por el contrario, un valor de 1 indica que la red es muy resistente, una elevada desaparición de polinizadores únicamente provocaría la extinción de unas pocas especies en la red (Dormann *et al.*, 2009; Beltrán & Traveset, 2018). La simulación se realizó a partir de una eliminación aleatoria de especies, para este escenario se corrieron 1000 réplicas y se graficó la pendiente de extinción (Guzmán, 2018). La simulación y el gráfico fueron realizados utilizando el software R, paquete Bipartite (Dormann *et al.*, 2009; R Development Core Team, 2019).

La robustez de la red se calculó utilizando la función “robustness” del paquete bipartite del software R (Dormann *et al.*, 2009; R Development Core Team, 2019). Para probar la significancia del valor de robustez de la matriz, el valor de robustness se comparó contra 1000 redes nulas generadas por el algoritmo de PA utilizando el software R (Dormann *et al.*, 2009; R Development Core Team, 2019).

Análisis de Datos.

Se realizó un análisis de chi cuadrada para saber si existen diferencias significativas en los siguientes casos: 1) entre el número de registros de colibríes por mes, 2) entre la actividad que tuvieron los colibríes por hora, 3) entre el número de registros por actividad y 4) entre el número de registros de percha para limpieza por especie de colibrí. En aquellos casos que mostraron diferencias significativas se realizó un análisis de residuales estandarizados para saber en qué situaciones se presentaron proporciones diferentes a los esperados (Haberman, 1973; Siegel & Castellan, 1995; Medina-van *et al.*, 2016). Estos análisis se realizaron usando el programa GraphPad Prism V.5, previa prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, D’Agostino & Pearson y Shapiro-Wilk, con un error alfa de 0.05 y Excel (Microsoft 2016).

Los datos de tiempo promedio de forrajeo por especie de planta se separaron en dos grupos para su análisis, debido a que hubo registros en donde el tiempo de forrajeo fue prolongado y salen de la curva de normalidad. Por lo que, se realizó una prueba de Welch para saber si existen diferencias en los siguientes casos: 1) el tiempo promedio de forrajeo por especie de planta (registros de tiempo de los 0 a los 50 s), 2) el tiempo promedio de forrajeo por especie de planta en los casos en donde el tiempo de forrajeo fue prolongado (registros de tiempo de 50 a 190 s), 3) el tiempo de baño entre especies de colibrí y 4) el tiempo de limpieza entre especies de colibrí. Los análisis se realizaron con el programa GraphPad Prism V.5, previa prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, D’Agostino & Pearson y Shapiro-Wilk, con un error alfa de 0.05.

Para determinar si existen diferencias entre el número de flores por mes se aplicó una prueba de Friedman (previa prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, D’Agostino & Pearson y Shapiro-Wilk, con un error alfa de 0.05). El análisis se hizo con el programa GraphPad Prism V.5.

Se realizó una correlación de Spearman para determinar si existe una relación en los siguientes casos: 1) entre el número de interacciones antagonistas y la oferta floral y 2) entre el número de visitas y la oferta floral (previa prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, D’Agostino & Pearson y Shapiro-Wilk, con un error alfa de 0.05). El análisis se hizo con el programa GraphPad Prism V.5.

Resultados.

Observaciones.

Se realizaron 184 horas de observación, teniendo un total de 635 registros. La comunidad de colibríes del jardín de polinizadores está representada por las especies *S. beryllina* y *C. latirostris* (Figura 2), 450 registros fueron de *S. beryllina* y 185 registros (113 registros de hembras y 72 de machos) fueron de *C. latirostris* (Apéndice 2; Apéndice 3).

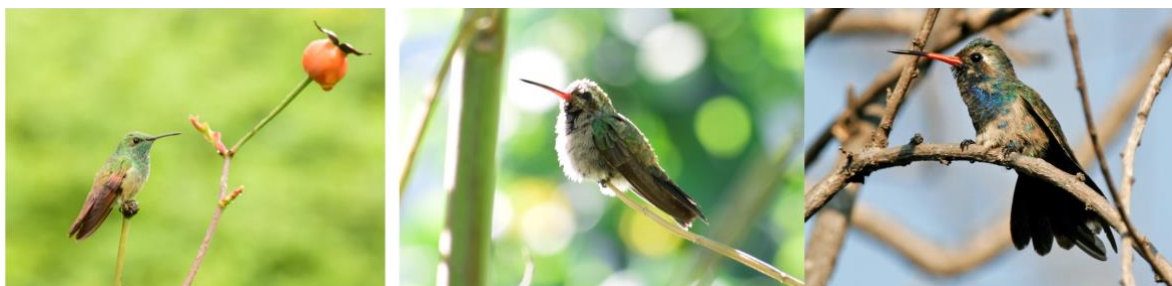


Figura 2. *S. beryllina* perchando en *Rosa* sp. en la FES Iztacala (izquierda); *C. latirostris* hembra perchando en *S. mexicana* en el jardín de polinizadores (centro); *C. latirostris* macho (derecha).

El análisis de chi cuadrado mostró diferencias significativas entre el número de registros de colibríes por mes ($\chi^2=96.6$, $P=0.05$, $g.l.=11$). El mayor número de registros se obtuvo en el mes de abril con 107 registros de *S. beryllina* y 40 registros de *C. latirostris* (33 hembras y 7 machos), mientras que el menor número de registros se obtuvo en el mes de septiembre con 6 registros de *S. beryllina* y 2 registros de hembras de *C. latirostris* (Figura 3). El análisis de residuales estandarizados mostró que *S. beryllina* tuvo un mayor número de registros de los esperados en los meses de octubre y noviembre de 2018, febrero, abril, junio y agosto de 2019, pero menos de los esperados en enero, marzo, mayo y julio de 2019. En contraste *C. latirostris* tuvo mayores registros de los esperados en enero, marzo, mayo y julio de 2019, pero menos en octubre y noviembre de 2018, febrero, abril, junio y agosto de 2019; es decir un patrón contrario al de *S. beryllina*.

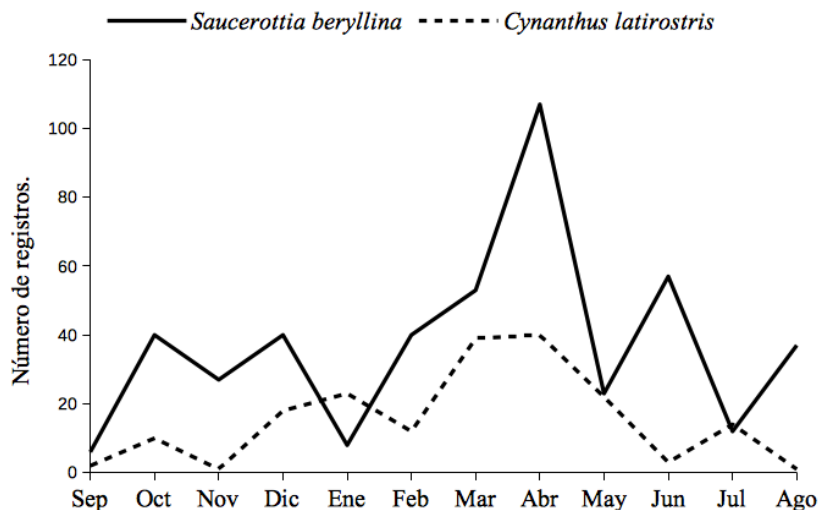


Figura 3. Número de registros de colibríes.

Las horas de mayor actividad de los colibríes fueron las 8:00 y 9:00 horas, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre el número de registros por hora ($X^2=4.83$, $P=0.05$, $g.l.=3$), además se observa que *S. beryllina* tuvo una mayor actividad que *C. latirostris* en los tiempos de observación (Figura 4).

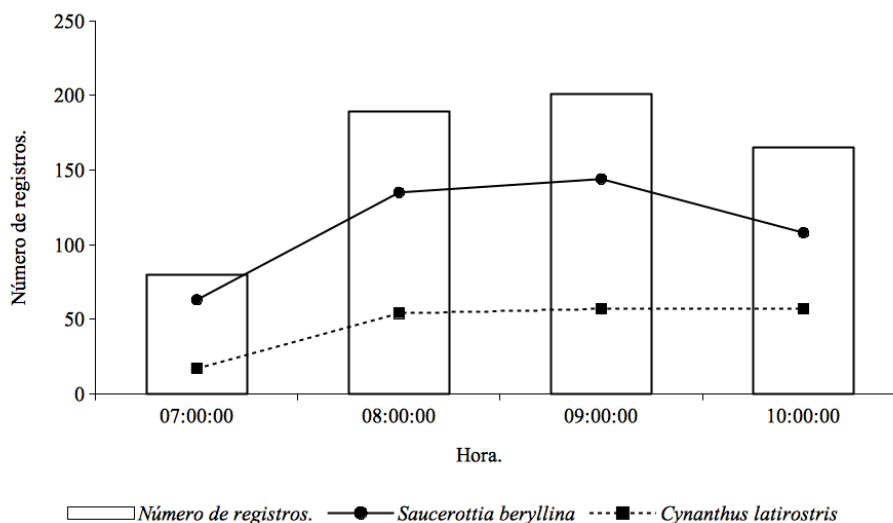


Figura 4. Número de registros de individuos de colibríes observados por hora.

Se obtuvo un total de 1078 registros de actividades. El forrajeo fue la actividad que más realizaron ambas especies de colibríes (56.77%), seguida del perchado (33.02%), sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre el número de registros por actividad ($X^2=5.85$, $P=0.05$, $g.l.=5$). En todas las actividades se observa que *S. beryllina* es quien predomina en el porcentaje de registros (Figura 5).

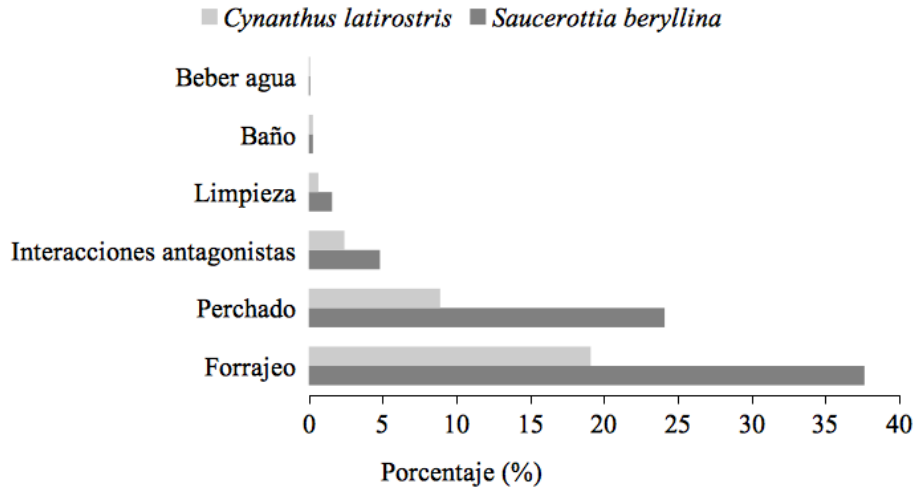


Figura 5. Porcentaje de actividades realizadas por los colibríes en el jardín de polinizadores.

El tiempo promedio de forrajeo de *C. latirostris* fue de 14.41 s (± 0.55 s), mientras que el tiempo promedio de forrajeo de *S. beryllina* fue de 19.36 s (± 0.95 s; Figura 6). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el tiempo promedio de forrajeo entre especies de planta ($t=0.5666$, $P>0.05$, g.l.=28; Figura 7).

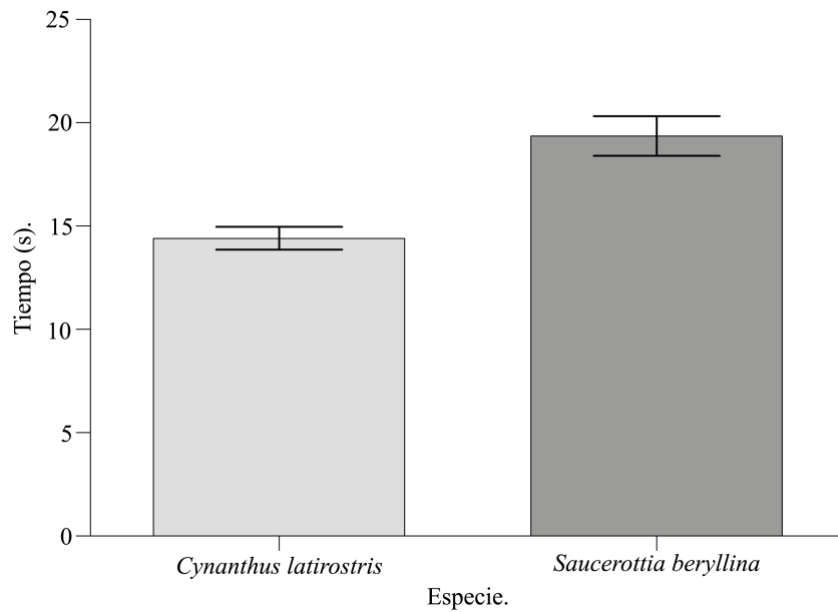


Figura 6. Tiempo promedio de forrajeo de las especies de colibríes registradas en el jardín de polinizadores con error estándar.

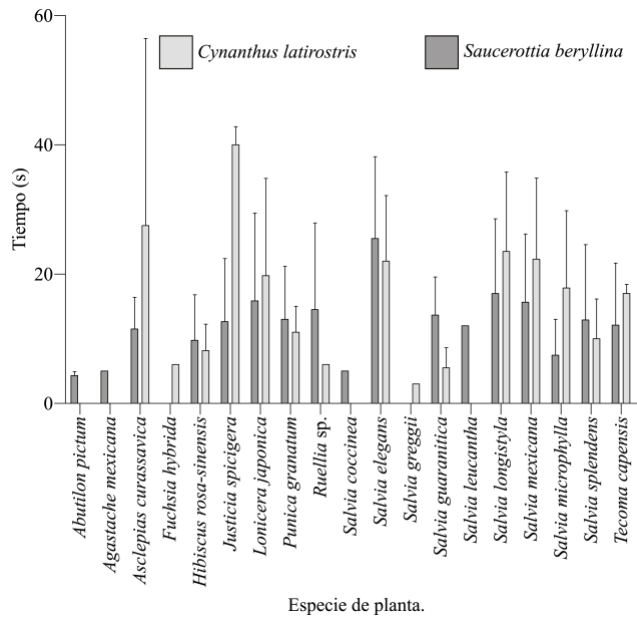


Figura 7. Tiempo promedio de forrajeo por especie de planta por colibrí.

Por otro lado, hubo registros en donde el tiempo de forrajeo fue prolongado, teniendo que el tiempo promedio de forrajeo para *S. beryllina* fue de 80.96 s con un rango de 133 s y para *C. latirostris* de 80.03 s con un rango de 107 s (Figura 8). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el tiempo promedio de forrajeo entre especies de planta ($t=2.033$, $P<0.05$, g.l.=11; Figura 9).

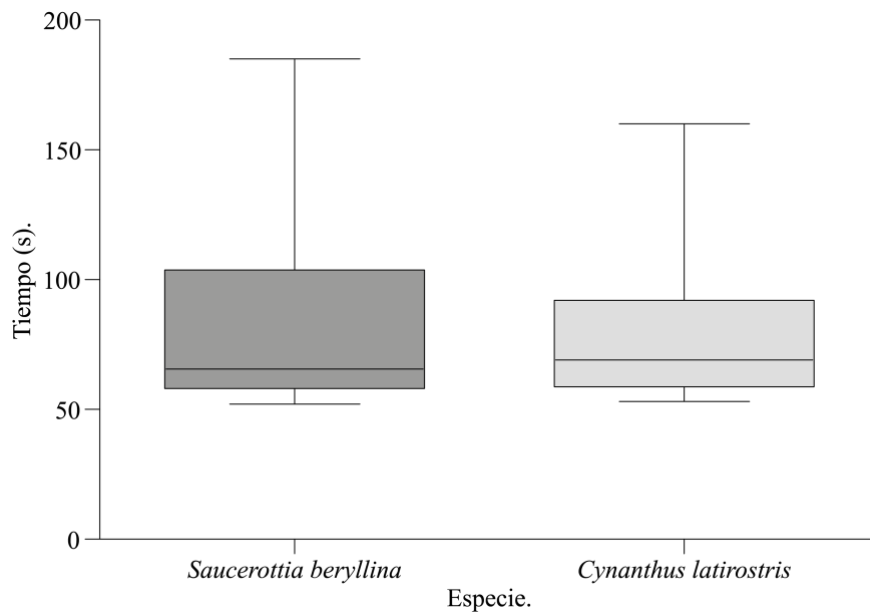


Figura 8. Tiempo promedio de forrajeo con rango en datos extremos.

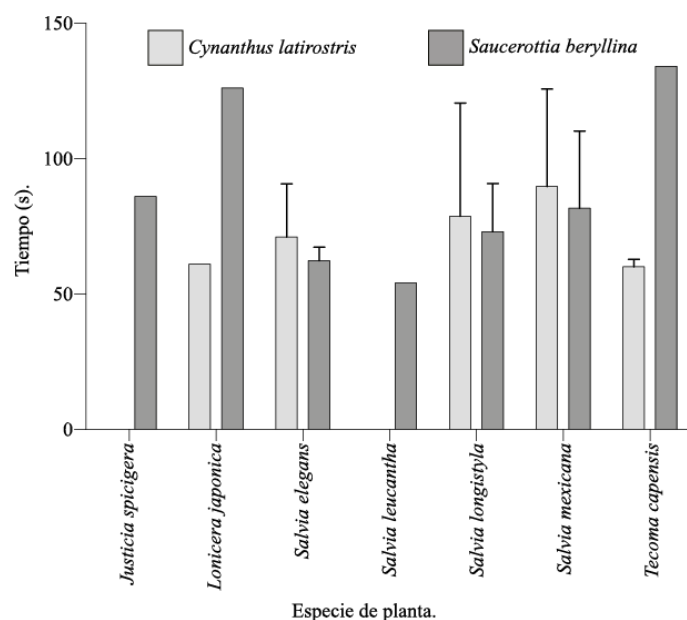


Figura 9. Tiempo promedio de forrajeo por especie de planta por colibrí (datos extremos).

El 19.04% de las especies de plantas utilizadas como alimento por los colibríes presentan un color rojo y el 19.04% el color anaranjado; las flores que visitan los colibríes son predominantemente tubulares (78.94%) y en su mayoría son plantas nativas de México (63.15%). La familia Lamiaceae es la mejor representada con un total de 10 especies seguida por las familias Acanthaceae y Malvaceae con dos especies cada una (Tabla 2). Es importante mencionar que todas las visitas que recibió *H. rosa-sinensis* fueron ilegítimas, es decir, los colibríes visitaron sus flores por un costado de la corola.

Tabla 2. Lista de plantas utilizadas por colibríes durante el periodo septiembre 2018 a agosto 2019.

| Especie | Familia | Tipo de crecimiento | Forma de flor | Color de flor | Síndrome floral | Nativa MX |
|-------------------------------|----------------|---------------------|------------------|--------------------------|-----------------|-----------|
| <i>Abutilon pictum</i> | Malvaceae | Arbusto | Campana | Amarilla-roja | Mielitófilo | No |
| <i>Agastache mexicana</i> | Lamiaceae | Hierba | Tubular | Morada | Ornitófilo | Si |
| <i>Asclepias curassavica</i> | Aponyaceae | Arbusto | Copa | Amarilla-roja | Psicófilo | Si |
| <i>Fuchsia hybrida</i> | Onagraceae | Arbusto | Globosa | Morada-blanca | Mielitófilo | Si |
| <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> | Malvaceae | Arbusto | Tubular | Amarilla Anaranjada Roja | Psicófilo | No |
| <i>Justicia spicigera</i> | Acanthaceae | Arbusto | Tubular | Anaranjada | Ornitófilo | Si |
| <i>Lonicera japonica</i> | Caprifoliaceae | Enredadera | Tubular | Blanca | Ornitófilo | No |
| <i>Punica granatum</i> | Lythraceae | Árbol | Campana | Anaranjada | Mielitófilo | No |
| <i>Ruellia</i> sp. | Acanthaceae | Hierba | Infundibuliforme | Morada | Mielitófilo | No |
| <i>Salvia coccinea</i> | Lamiaceae | Hierba | Tubular | Rosa-blanca | Ornitófilo | Si |
| <i>Salvia elegans</i> | Lamiaceae | Arbustiva | Tubular | Roja | Ornitófilo | Si |
| <i>Salvia greggii</i> | Lamiaceae | Arbusto | Tubular | Rosa | Ornitófilo | Si |
| <i>Salvia guaranitica</i> | Lamiaceae | Hierba | Tubular | Azul | Ornitófilo | No |

| | | | | | | |
|---------------------------|--------------|-----------|---------|------------|------------|----|
| <i>Salvia leucantha</i> | Lamiaceae | Arbusto | Tubular | Blanca | Ornitófilo | Si |
| <i>Salvia longistyla</i> | Lamiaceae | Arbusto | Tubular | Roja | Ornitófilo | Si |
| <i>Salvia mexicana</i> | Lamiaceae | Arbustiva | Tubular | Azul | Ornitófilo | Si |
| <i>Salvia microphylla</i> | Lamiaceae | Arbustiva | Tubular | Rosa | Ornitófilo | Si |
| <i>Salvia splendens</i> | Lamiaceae | Hierba | Tubular | Roja | Ornitófilo | No |
| <i>Tecoma capensis</i> | Bignoniaceae | Arbusto | Tubular | Anaranjada | Ornitófilo | Si |

De las 30 especies de plantas que hay en el jardín disponibles, los colibríes sólo utilizaron 11 de ellas, siendo *S. mexicana* la que más uso le dan, además *S. beryllina* es quien tiene un mayor número de registros perchando, principalmente en *S. mexicana*, *H. rosa-sinensis* y *T. capensis*, *C. latirostris* perchó más en *S. mexicana*, *H. rosa-sinensis* y *Tibouchina* sp. (Figura 10).

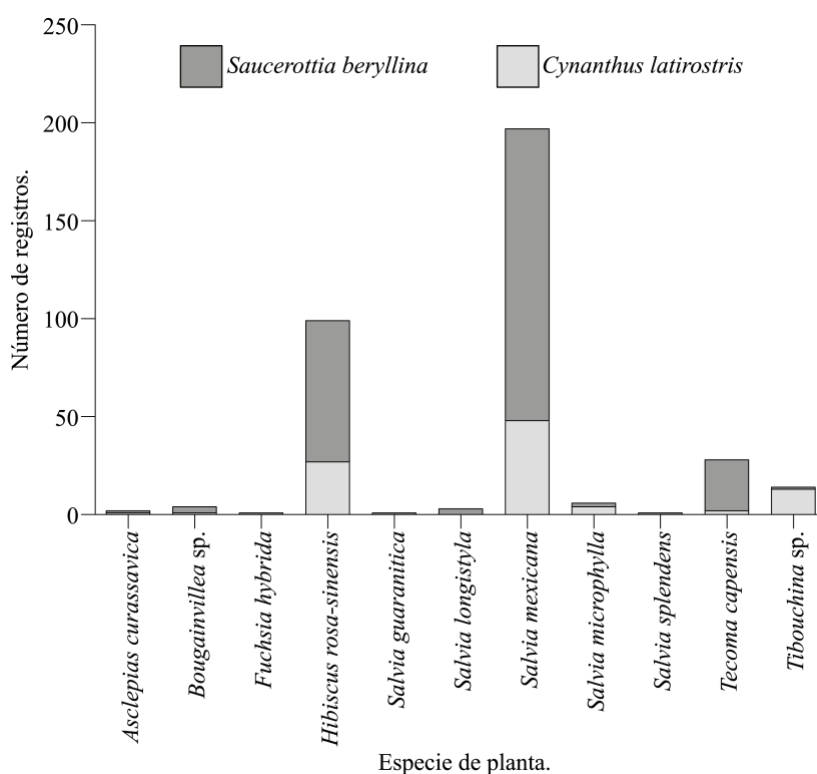


Figura 10. Especies de plantas que son utilizadas para perchar por los colibríes del jardín de polinizadores.

Se registraron un total de 53 interacciones antagonistas; el número de interacciones cambió a lo largo de los meses, siendo abril el mes en el cual se registró un mayor número de encuentros (Figura 11).

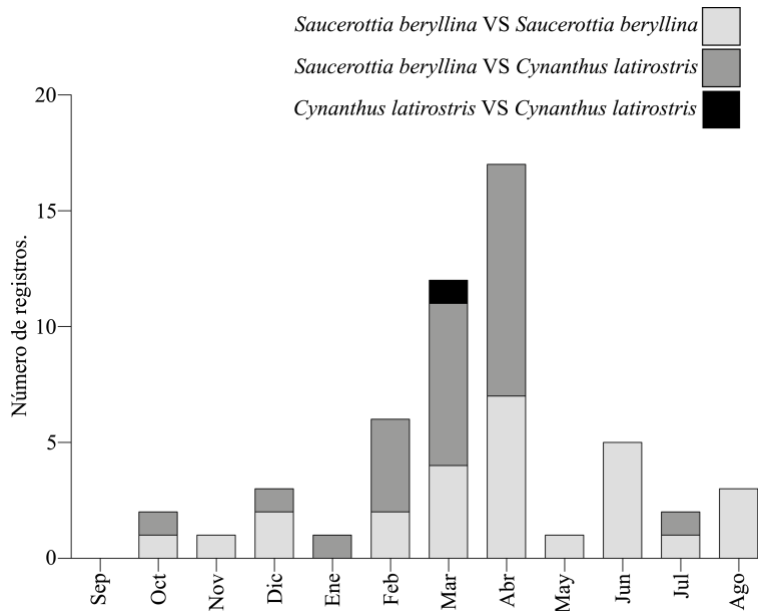


Figura 11. Número de interacciones antagonistas por mes.

En el 50.94% de las interacciones antagonistas, *S. beryllina* fue quien tuvo un comportamiento agresivo sobre otros individuos de su misma especie, mientras que en un 47.16% lo tuvo sobre individuos de *C. latirostris*, solamente el 1.88% representan registros de interacciones antagonistas entre individuos de *C. latirostris* (Figura 12).

■ 50.94% *Saucerottia beryllina* VS *Saucerottia beryllina*
 ■ 47.16% *Saucerottia beryllina* VS *Cynanthus latirostris*
 ■ 1.88% *Cynanthus latirostris* VS *Cynanthus latirostris*

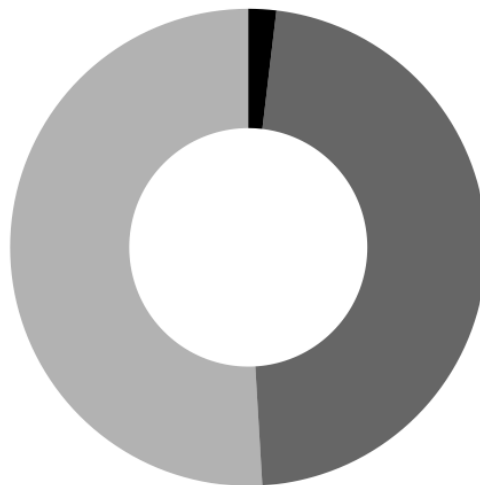


Figura 12. Porcentaje de interacciones antagonistas entre especies de colibríes.

Relacionando la oferta floral con el número de interacciones registradas, se encontró que el mes en que mayor oferta floral hubo fue octubre, mientras que el mes en que mayor número de

interacciones antagonistas se registraron fue abril ($F=28.76$, $P=0.0025$, $g.l.=12$; Figura 13). No obstante, no existe una correlación significativa entre el número de interacciones registradas y la oferta floral ($r_s=-0.1661$, $P>0.05$, $g.l.=12$; Figura 14).

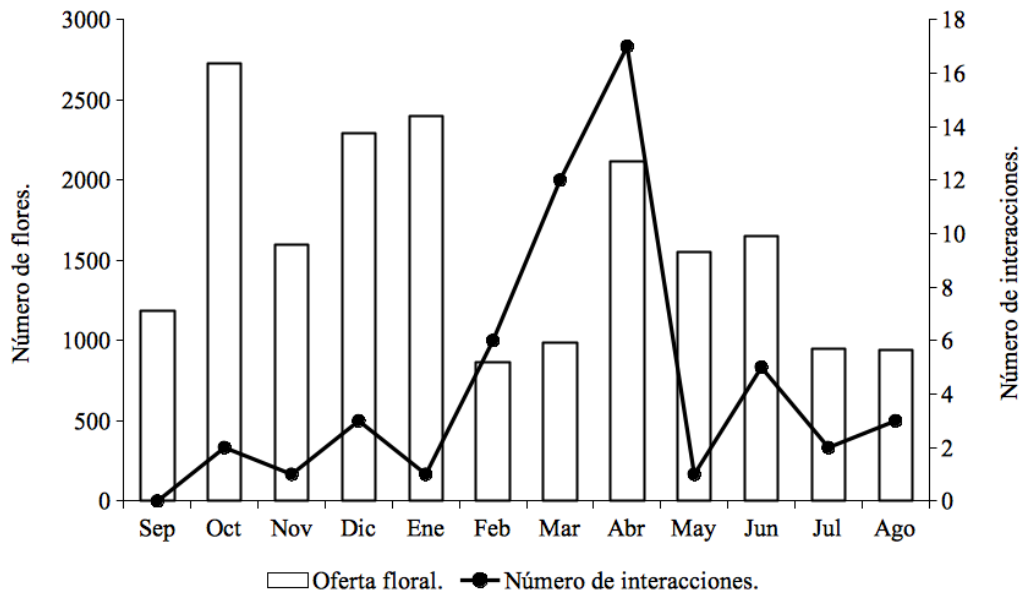


Figura 13. Oferta floral y número de interacciones registradas entre septiembre 2018 y agosto 2019.

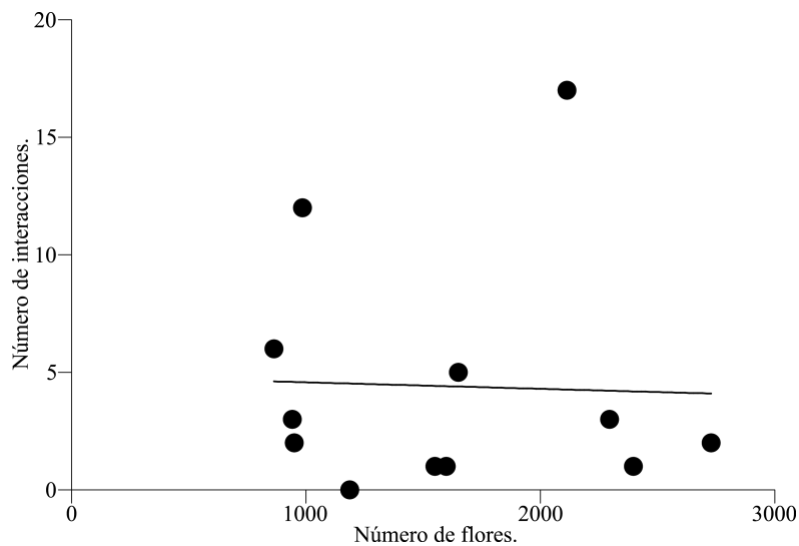


Figura 14. Correlación de Spearman entre el número de interacciones antagonistas y el número de flores.

Cuando los colibríes realizaban la actividad de bañarse, las especies de plantas que estos utilizaron fueron *H. rosa-sinensis*, *S. guaranítica* y *S. mexicana* (Figura 15).

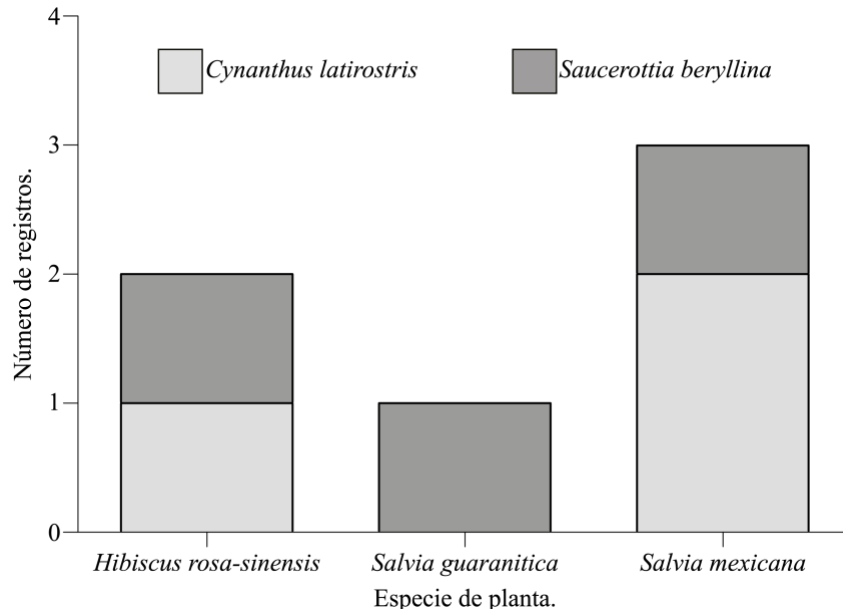


Figura 15. Especies de plantas utilizadas para baño por los colibríes del jardín de polinizadores.

El tiempo promedio de baño de los individuos de *S. beryllina* fue de 23.67 ± 9.28 s, mientras que el tiempo promedio de baño de *C. latirostris* fue de 31.33 ± 9.95 s. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el tiempo de baño entre especies de colibrí ($t=0.5633$, $P>0.05$, g.l.=3; Figura 16).

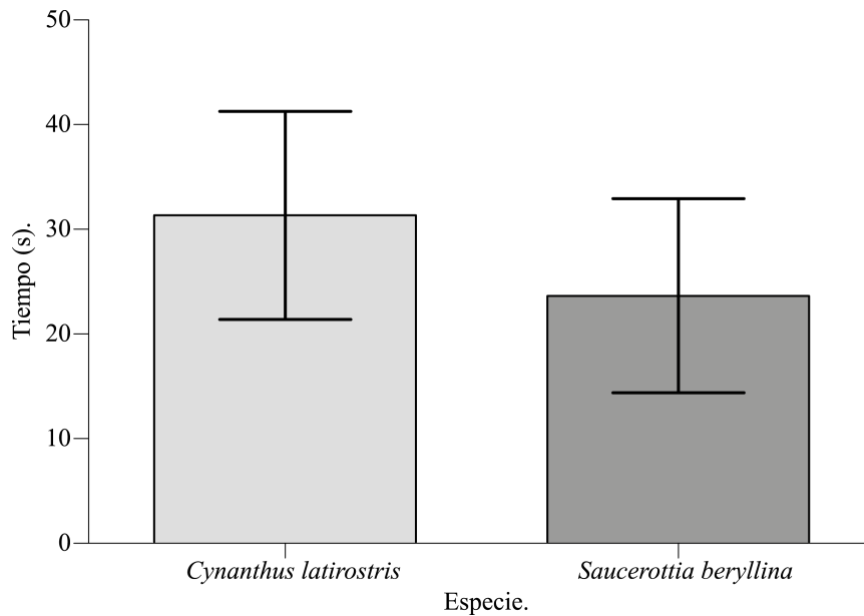


Figura 16. Tiempo promedio de baño de las especies de colibríes registradas en el jardín de polinizadores con error estándar.

En cuanto a la limpieza, las especies de plantas en donde percharon los colibríes para limpiarse fueron en *H. rosa-sinensis* y *S. mexicana* (Figura 17). No se encontraron diferencias significativas entre el número de registros por especie de planta ($\chi^2=0.02$, $P=0.05$, g.l.=1).

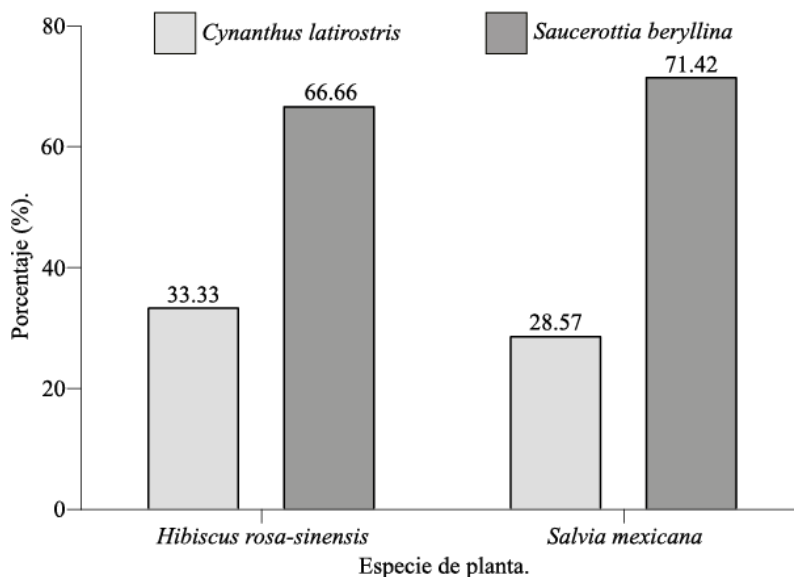


Figura 17. Porcentaje del número de registros de acicalamiento.

El tiempo promedio de limpieza de *C. latirostris* fue de 248.1 s con un rango de 572 s, mientras que el tiempo de limpieza de *S. beryllina* fue de 160.5 s con un rango de 429 s. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el tiempo de limpieza entre especies de colibrí ($t=1.031$, $P=0.3366$, g.l.=7); Figura 18).

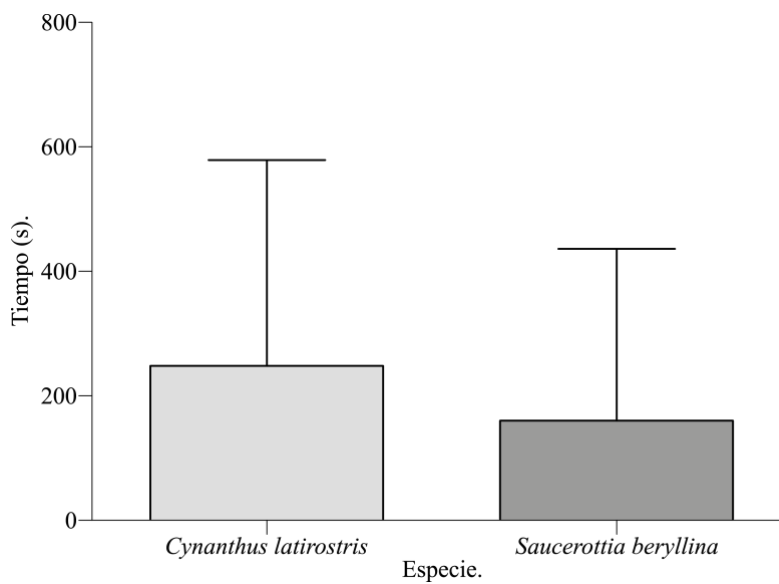


Figura 18. Tiempo promedio de limpieza con error estándar.

Solamente se obtuvieron dos registros de toma de agua por parte de los colibríes en el mes de mayo, un individuo de *S. beryllina* por 86 s y una hembra de *C. latirostris* por 4 s. La toma de agua la realizaron mientras el aspersor del jardín estaba en funcionamiento.

Fenología.

La cantidad de flores disponibles fue variable a lo largo de todo el año (Tabla 3), y hubo especies de plantas con floraciones abundantes durante cada mes (*Asclepias curassavica*, *Lavandula* sp. y *S. longistyla*), especies que tuvieron periodos de floración muy cortos (*Bougainvillea* sp., *S. greggii*, *S. hispanica* y *Tibouchina* sp.) y especies que no florecieron durante el estudio (*Penstemon barbatus* y *Plectranthus ecklonii*). El mes dónde se registró un mayor número de flores fue octubre y el mes con pocas especies de plantas en floración fue febrero ($F=28.76$, $P<0.05$, $g.l.=12$).

Tabla 3. Número de flores totales por especie registradas mensualmente de septiembre 2018 a agosto 2019.

| Especie vegetal | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Total |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Abutilon pictum</i> | 13 | 16 | 18 | 15 | 20 | 2 | 3 | 2 | 1 | 5 | 7 | 5 | 107 |
| <i>Achilegia chrysantha</i> | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 26 | 9 | 1 | 47 |
| <i>Agapanthus africanus</i> | 23 | 3 | 5 | 0 | 11 | 29 | 62 | 0 | 6 | 6 | 9 | 40 | 194 |
| <i>Agastache mexicana</i> | 34 | 92 | 54 | 34 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 64 | 298 |
| <i>Asclepias curassavica</i> | 174 | 649 | 459 | 346 | 344 | 35 | 339 | 501 | 377 | 201 | 159 | 16 | 3600 |
| <i>Bougainvillea</i> sp. | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 4 | 1 | 5 | 0 | 0 | 2 | 3 | 19 |
| <i>Fuchsia hybrida</i> | 14 | 29 | 13 | 27 | 32 | 4 | 9 | 22 | 0 | 28 | 3 | 7 | 188 |
| <i>Fuchsia magellanica</i> | 65 | 116 | 66 | 77 | 72 | 30 | 44 | 114 | 116 | 192 | 162 | 88 | 1142 |
| <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> | 17 | 63 | 38 | 72 | 59 | 15 | 29 | 30 | 17 | 35 | 39 | 34 | 448 |
| <i>Justicia spicigera</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57 | 65 | 32 | 0 | 0 | 154 |
| <i>Lavandula</i> sp. | 1131 | 480 | 564 | 116 | 44 | 48 | 87 | 476 | 691 | 632 | 824 | 957 | 6050 |
| <i>Lonicera japonica</i> | 43 | 428 | 92 | 62 | 68 | 90 | 45 | 256 | 143 | 286 | 316 | 206 | 2035 |
| <i>Malvaviscus arboreus</i> | 0 | 5 | 14 | 20 | 32 | 8 | 5 | 6 | 7 | 18 | 12 | 16 | 143 |
| <i>Penstemon barbatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Plectranthus ecklonii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Punica granatum</i> | 0 | 4 | 7 | 1 | 1 | 0 | 18 | 86 | 32 | 38 | 0 | 0 | 187 |
| <i>Ruellia</i> sp. | 79 | 21 | 7 | 14 | 4 | 18 | 24 | 62 | 68 | 54 | 32 | 12 | 395 |
| <i>Salvia coccinea</i> | 13 | 19 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 11 | 4 | 0 | 67 |
| <i>Salvia elegans</i> | 66 | 53 | 93 | 218 | 386 | 142 | 62 | 338 | 127 | 113 | 9 | 0 | 1607 |
| <i>Salvia greggii</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 5 |
| <i>Salvia guaranitica</i> | 21 | 9 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 10 | 22 | 62 | 35 | 67 | 231 |
| <i>Salvia hispanica</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| <i>Salvia leucantha</i> | 7 | 47 | 14 | 22 | 26 | 25 | 32 | 66 | 62 | 69 | 8 | 14 | 392 |
| <i>Salvia longistyla</i> | 244 | 531 | 422 | 467 | 388 | 211 | 288 | 307 | 258 | 113 | 34 | 18 | 3281 |
| <i>Salvia mexicana</i> | 19 | 45 | 24 | 825 | 900 | 163 | 84 | 180 | 135 | 44 | 2 | 53 | 2474 |
| <i>Salvia microphylla</i> | 217 | 330 | 149 | 75 | 94 | 102 | 39 | 142 | 212 | 357 | 220 | 350 | 2287 |
| <i>Salvia nemorosa</i> | 6 | 19 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| <i>Salvia splendens</i> | 191 | 43 | 19 | 9 | 11 | 9 | 8 | 39 | 18 | 50 | 9 | 17 | 423 |
| <i>Tecoma capensis</i> | 35 | 350 | 185 | 102 | 64 | 48 | 6 | 16 | 1 | 152 | 49 | 80 | 1088 |
| <i>Tibouchina</i> sp. | 0 | 2 | 6 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| Total | 2413 | 3354 | 2260 | 2513 | 2568 | 985 | 1185 | 2719 | 2373 | 2524 | 1969 | 2048 | |

El mes que presentó mayor oferta floral fue octubre y el mes con mayor número de visitas registradas fue abril (Figura 19).

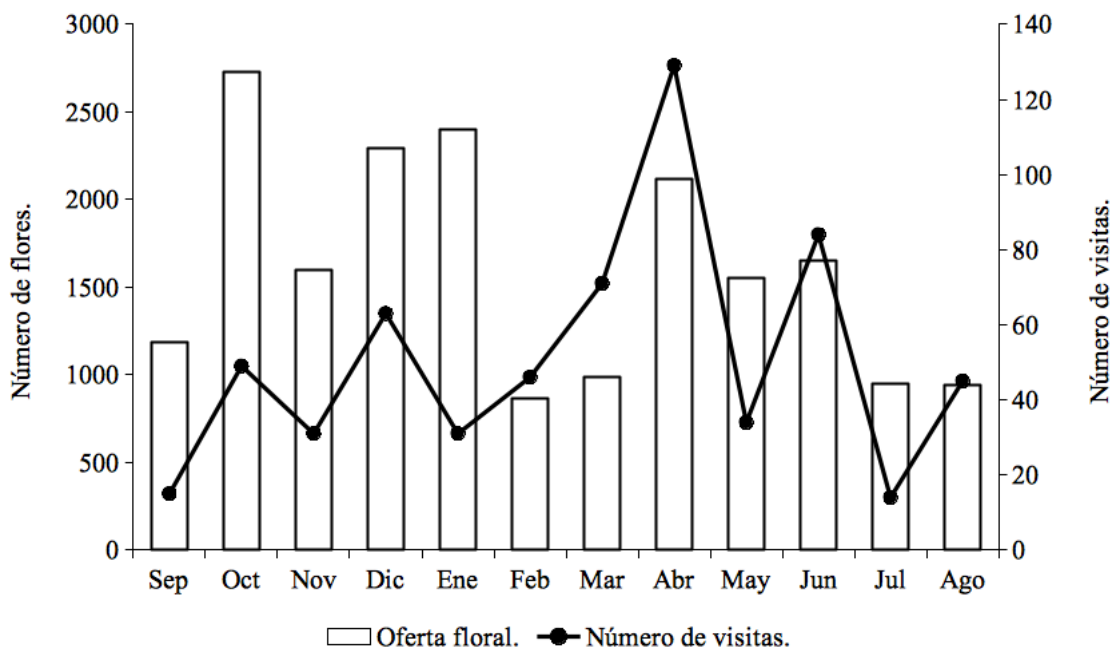


Figura 19. Oferta floral y número de visitas registradas entre septiembre 2018 y agosto 2019.

El número de visitas está relacionado con el número de flores (Figura 20), debido a que el análisis de correlación de Spearman mostró una relación positiva y significativa entre el número de visitas y el de flores ($r_s=0.68$, $P=0.001$, g.l.=19).

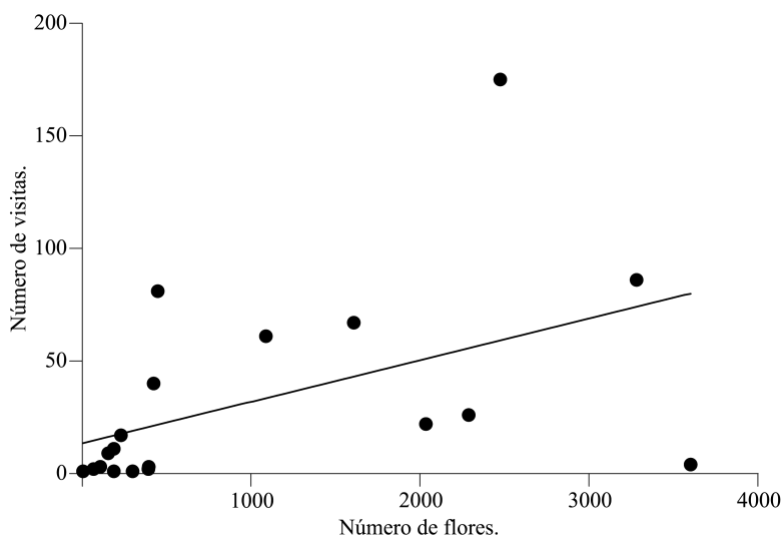


Figura 20. Correlación de Spearman entre el número de visitas y el número de flores.

Red de interacción.

La red de interacción se conformó por 19 especies de plantas y dos especies de colibríes (Figura 21). La conectancia de la red fue de 0.8684, es decir, que un 86.84% del total de enlaces posibles se presentaron en el jardín de polinizadores.

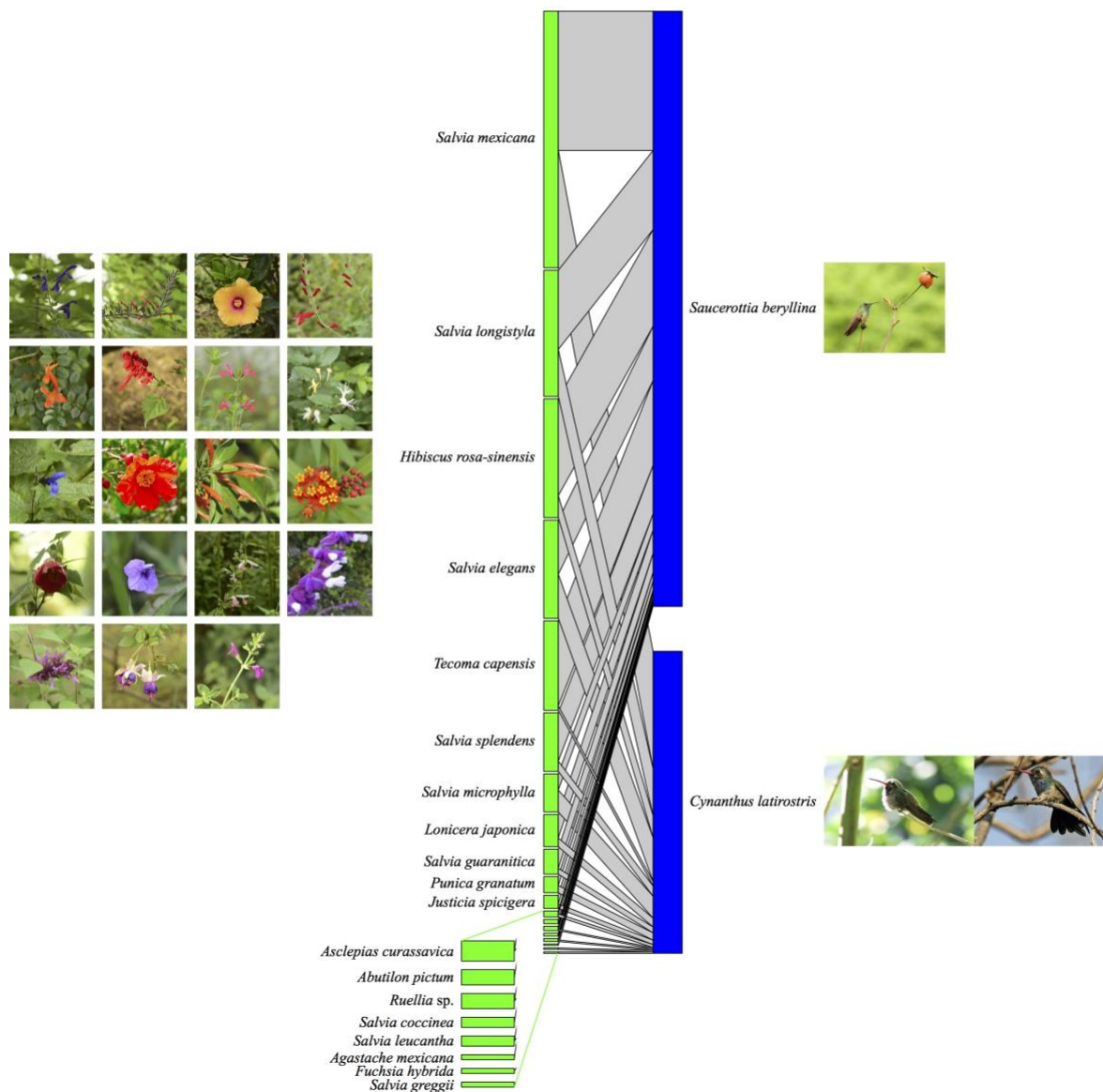


Figura 21. Red de interacción constuida a partir de observaciones directas de las especies de plantas y colibríes del jardín de polinizadores. A la izquierda fotografías de las especies de plantas que conforman la red y a la derecha fotografías de los colibríes interactuantes.

El valor de anidamiento de la red fue de $wNODF=34.7$, indicando que la red tiene una estructura aleatoria y no significativa respecto a las redes nulas ($P=0.513$; Figura 22). Ninguna especie de colibrí se comportó como especialista, y ambas especies de colibríes hicieron uso de los recursos disponibles. *S. beryllina* consumió el néctar de 17 especies del jardín y *C. latirostris* de 16 de ellas, (Figura 21).

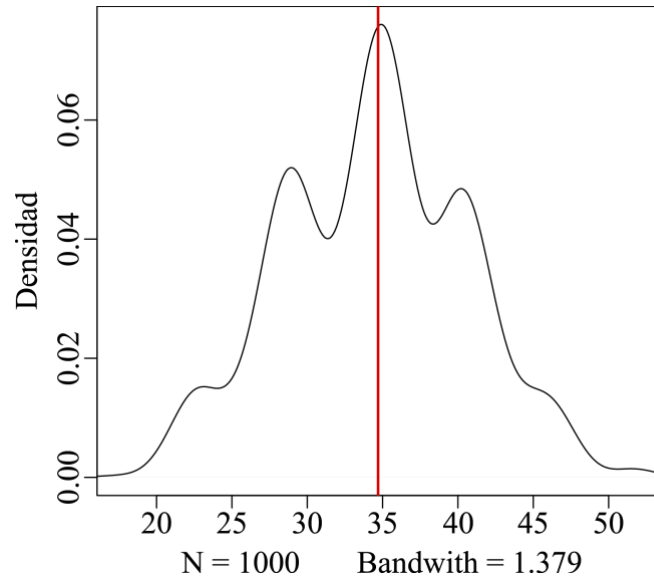


Figura 22. Valores de anidamiento observados respecto al modelo de Patefield.

Por otro lado, las interacciones entre colibríes y plantas fueron asimétricas, el valor de asimetría de *S. beryllina* fue de 0.65 y el de *C. latirostris* de 0.36, por lo que ambas especies de colibríes influyen sobre las especies de plantas con las que interactúan, aunque *S. beryllina* es quien tiene una mayor influencia sobre la organización de la red. Esto contrasta con lo obtenido para las especies de plantas donde todos los valores de asimetría fueron negativos, indicando que éstas no tienen un efecto en la forma en que se organizan las interacciones con los colibríes (Figura 23). Respecto a la asimetría general de la red, ésta fue negativa (-0.39).

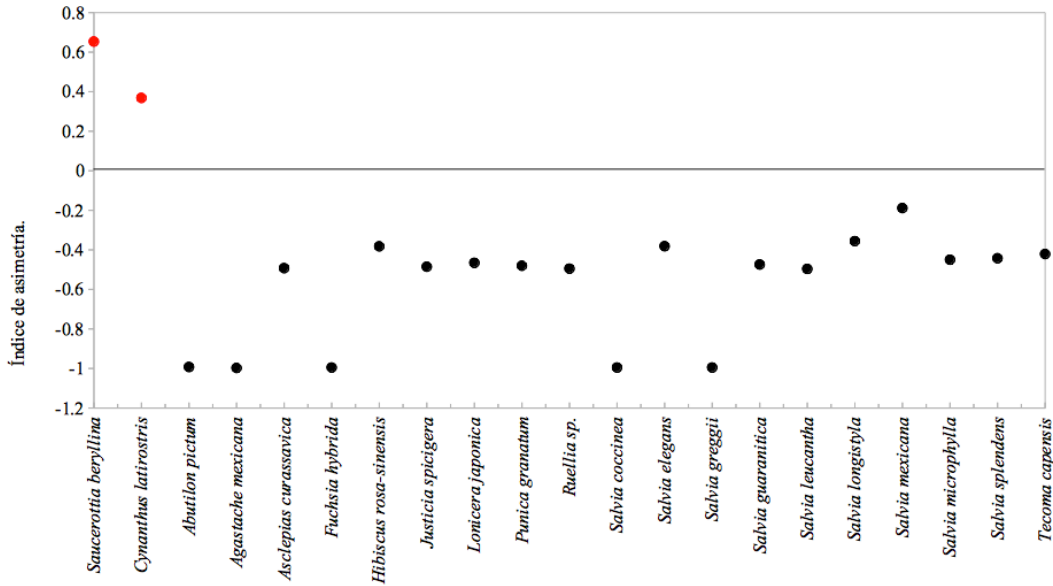


Figura 23. Índice de asimetría de la red de observaciones directas de las especies de colibríes y plantas en el jardín de polinizadores.

La eliminación aleatoria de especies tanto de colibríes como de plantas provoca una disminución rápida de especies de plantas y colibríes, respectivamente; esta extinción rápida ocurrió después de que se eliminara el 20% de especies interactuantes (Figura 24).

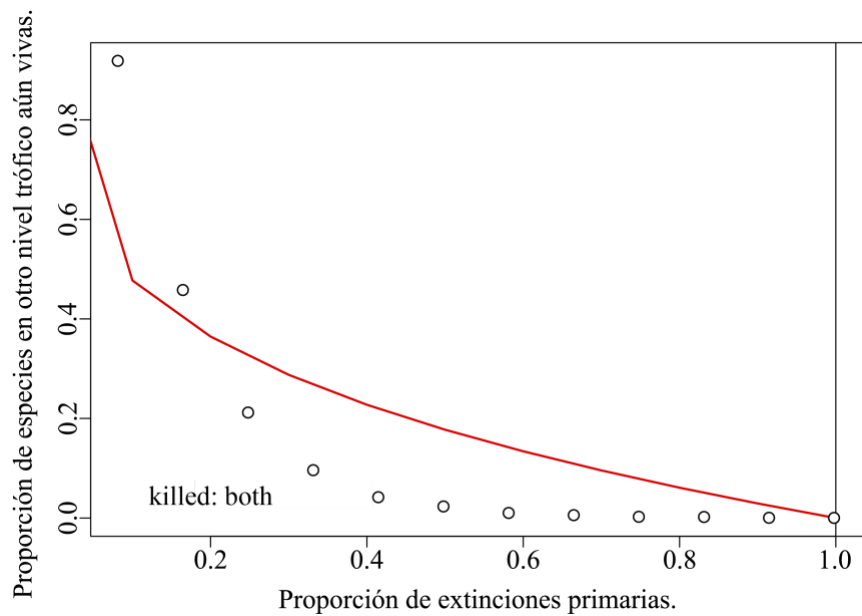


Figura 24. Curva extinción de la red de interacción del jardín de polinizadores.

La red no es robusta ($R=0.21$) y significativamente más frágil respecto a las matrices nulas ($P<0.001$; Figura 25).

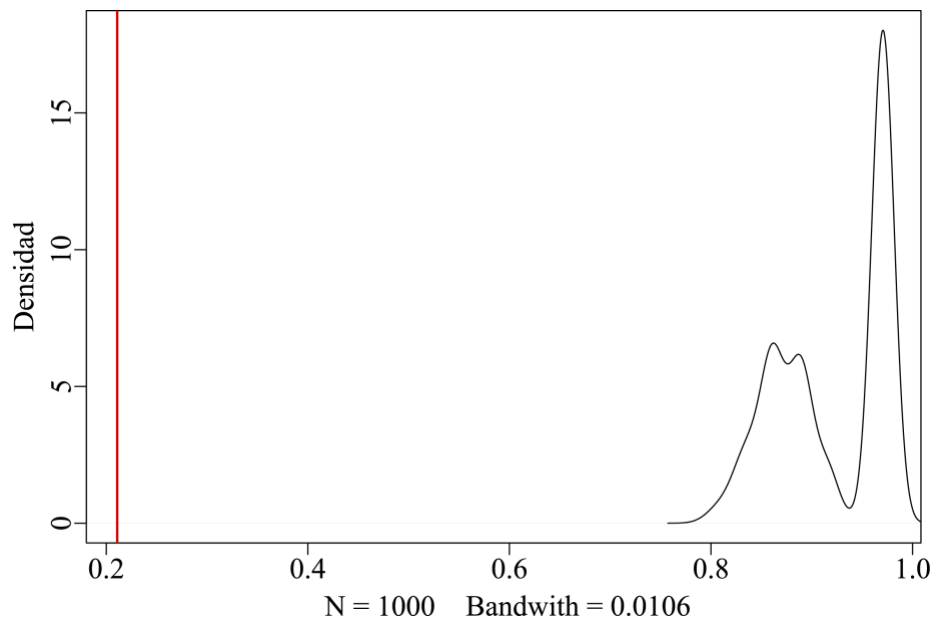


Figura 25. Valores de robustez observados respecto al modelo de Patefield.

Con los parámetros obtenidos se puede decir que la red de colibríes y flores del jardín de polinizadores no es anidada, hay una fuerte superposición en el uso de los recursos, es una red altamente cohesionada y susceptible a la extinción.

Discusión.

La comunidad de colibríes y sus recursos de néctar en el jardín de polinizadores está estructurada de una manera muy similar a la encontrada por Morales (2017), siendo *S. beryllina* la especie con mayor número de registros y quien monopoliza la mayoría de los recursos. Por su parte, *C. latirostris* ocupa los mismos recursos que *S. beryllina* pero siendo subordinado a este (Morales, 2017). El desplazamiento de especies por competencia intraespecífica de alimento entre *S. beryllina* y *C. latirostris* se ve reflejado en su abundancia (Acuña, 2014), en este caso se ve reflejado en el número de registros. La presencia de *C. latirostris* puede ser favorecida por efectos de la urbanización por el aumento de recursos, incremento de la productividad primaria y por la estructura vegetal y florística (Blair, 1996). No obstante, el que *S. beryllina* sea una especie generalista y dominante en su comportamiento de forrajeo ha hecho que sea el colibrí dominante en el valle de México. Registros

recientes indican que ésta especie está siendo más común y que con el paso de los años ha ido desplazando a *C. latirostris* (Lara *et al.*, 2012; Andrade, 2016; Morales, 2017).

Las especies de colibríes con comportamiento de alimentación tipo ruteros tienen más probabilidades de desplazar el polen a largas distancias e incrementar las tasas de cruzamiento entre las plantas, respecto a especies de colibríes territoriales que forrajean comúnmente en áreas definidas y más pequeñas que los ruteros (Ohashi & Thomson, 2009). La pérdida de colibríes territoriales posiblemente aumentaría la dependencia de las plantas por los insectos polinizadores (Dalsgaard *et al.*, 2008).

Los colibríes comienzan a forrajear muy temprano (7:00 horas) y el mayor número de visitas ocurre entre las 8:00 y 9:00 horas. La razón por la cual los colibríes realizan su forrajeo más temprano es porque al despertar amanecen con una deficiencia energética debido al estado de torpor por el cual han pasado durante la noche, estado que es interpretado como un mecanismo crucial para equilibrar las intensas demandas metabólicas y las reservas de energía relativamente bajas de pequeños endotermos (Carpenter & Hixon, 1988). Además de que la cantidad de luz les permite evitar la competencia con los insectos, quienes forrajean en horas cuando la temperatura es alta (Chávez, 1999).

Los colibríes visitan flores de color rojo y anaranjado principalmente. El color rojo parece ser relevante, ya que es un tono altamente percibido por los colibríes y poco detectado por la mayoría de los insectos, como las abejas, lo que puede ser un medio de evitar la competencia (Stiles, 1976). Además de visitar flores rojas y anaranjadas, los colibríes también visitaron flores amarillas, moradas, blancas, azules y rosas, sin embargo, no importa tanto el color de la flor sino su conspicuidad respecto al medio en el que se encuentre, lo que quiere decir que en un ambiente muy verde las flores rojas serán más visibles que las azules, pero en lugares con follaje azulado la flor más conspicua será la amarilla (Stiles, 1976). De hecho, se sabe que cuando hay escasez del recurso vegetal, los colibríes visitan flores de todo tipo, sin importar el síndrome que éstas presenten (Arizmendi, 1987).

De las 30 especies de plantas que hay en el jardín los colibríes hicieron uso de 19 de ellas, siendo cinco las visitadas más frecuentemente: *S. mexicana*, *S. longistyla*, *H. rosa-sinensis*, *S. elegans* y *T. capensis* lo cual puede estar relacionado con la calidad y cantidad de néctar. De *S. mexicana* se sabe que hay tres aspectos importantes: una tasa alta de producción de néctar (10 µL en promedio por flor), buena concentración de azúcar (SD=22 Brix +- 2) y en el caso del jardín, que es una planta con floración constante y abundante, lo cual pudiera explicar la preferencia que tiene la comunidad de colibríes por esta especie (Arizmendi *et al.*, 2008). Sin embargo, este último aspecto lo comparte con las otras cuatro especies de plantas las cuales se mantuvieron en floración durante todo el periodo de estudio. Se sabe que el número de visitas que tenga una planta estará influenciado por la presencia

de otras especies de plantas floreciendo simultáneamente y que compiten por polinizadores, y por la presencia de nectarívoros que alteran la disponibilidad y acceso a los recursos (Chávez, 1999).

Los colibríes son aves generalistas ecológicamente hablando principalmente por dos razones: a) la demanda del recurso néctar debido a los requerimientos metabólicos, ya que los colibríes deben de consumir en promedio la mitad de su peso de alimento al día y b) la disponibilidad del recurso néctar reflejado en la abundancia de flores ornitófilas y no-ornitófilas, ya que en buena medida regula la organización de la comunidad de colibríes (Andrade, 2016). Se sabe que la estrategia generalista de las interacciones planta-animal es un fenómeno común en la naturaleza, de la que los colibríes hacen uso al aprovechar recursos de fácil acceso (Burbano-Álvarez, 2013; Espino-Espino, *et al.*, 2014).

Respecto al tiempo de forrajeo de las especies de colibríes, se observa que *S. beryllina* es quien permanece mayor tiempo forrajeando en comparación de *C. latirostris*, sin embargo, cuando el tiempo de forrajeo es prolongado ambas especies de colibríes promedian tiempo similar (alrededor de 80 segundos en forrajeo). Factores decisivos en el tiempo que tarda un colibrí en extraer el néctar son la longitud de la corola, el volumen de néctar, el peso y el tamaño del pico (cúlmen expuesto; Chávez, 1999). No obstante, considerando el comportamiento de *S. beryllina*, de ser una especie territorial (Arizmendi & Berlanga 2014), se puede intuir que el tiempo de forrajeo de *C. latirostris* se limita a lo que permite el colibrí territorial. Las diferentes especies de colibríes parecen exhibir también diferentes conductas no solo de forrajeo sino también por la presencia de otros colibríes visitantes: *S. beryllina* parece acostumbrarse rápidamente a la presencia humana, mientras que *C. latirostris* se aleja muy pronto al detectar movimiento.

Los colibríes utilizaron 11 especies de plantas para perchar, entre ellas se encuentran principalmente *S. mexicana*, *H. rosa-sinensis*, *T. capensis* y *Tibouchina* sp., ésta última siendo mayormente utilizada por *C. latirostris*. Resalta el hecho que las especies de las cuales se alimentan puede destacarse que las especies en las cuales perchan y de las que principalmente se alimentan son las mismas, con excepción de *Tibouchina* sp., lo cual podría estar relacionado con la defensa del recurso floral (Pitelka, 1942). Aunando a las especies de plantas en las que perchan, se observó que *S. beryllina* y las hembras de *C. latirostris* suelen perchar en sitios de similar altura (2 m, aproximadamente), aunque las hembras de *C. latirostris* perchan en plantas de mayor cobertura, los machos de esta especie suelen perchar en sitios de baja altura y de poca cobertura (60-80 cm).

El número de encuentros antagonistas secunda el comportamiento establecido por ambos colibríes dentro del jardín (Arizmendi & Berlanga 2014). Las dos especies pertenecen al clado Esmeraldas (McGuire *et al.*, 2014), clado que junto con las Gemas de Montaña y Mangos se ha visto que son los clados de especies que tienden a dominar encuentros agonísticos (Márquez-Luna *et al.*,

2018). No obstante, a la pertenencia del clado de estas especies de colibríes, se observó que la especie que presentó un comportamiento agresivo en la mayoría de los encuentros (98.1%) es la especie de mayor tamaño, *S. beryllina*, debido a que los colibríes de mayor tamaño corporal dominan a las especies de menor tamaño cuando disputan el acceso a los recursos alimenticios (Dearborn, 1998; Márquez-Luna *et al.*, 2018). Es usual que las comunidades de colibríes estén integradas por especies que tienen cierto grado de parentesco o incluso pertenecen al mismo clado, dando como resultado que las especies que integran la comunidad tiendan a ser ecológicamente parecidas y que compartan características morfológicas tales como, tamaño corporal o largo del pico. Esta similitud intensifica la competencia inter e intraespecífica por el acceso a los recursos florales (Márquez-Luna, *et al.*, 2018). Por otro lado, se ha sugerido que la competencia entre visitantes florales es un mecanismo que estructura la comunidad y juega un papel muy importante ya que algunos casos pueden definir en los tiempos de floración (Chávez, 1999).

La red estudiada de interacciones colibrí-planta tuvo una estructura aleatoria, heterogénea, asimétrica y frágil. En una red de polinización artificial generada a partir de procesos aleatorios, observándose que los enlaces entre los dos conjuntos de nodos (plantas y polinizadores) se distribuyen de forma homogénea, sin que existan nodos hiper-conectados y con muy pocos nodos aislados. Sin embargo, las redes de polinización reales presentan una distribución de enlaces muy heterogénea, con una elevada frecuencia de nodos (especies) con muy pocos enlaces, pero también algunos nodos hiper-conectados (Jordano *et al.*, 2009).

Lara y colaboradores (2012) mencionan que un bajo anidamiento puede deberse a la baja riqueza de especies, como es el caso del jardín de polinizadores, en tanto que Rodríguez-Flores y colaboradores (2012) mencionan que el anidamiento se ve favorecido por la entrada de más especies a lo largo del muestreo, ya que estas enlazaran con un número considerable de especies generalistas formando una red más anidada y cohesiva y no solamente con una dos especies generalistas como es el caso del presente estudio.

Respecto a la asimetría, las especies que obtuvieron valores cercanos a 1 fueron los colibríes debido a la frecuencia de visitas a las especies de plantas. Por su parte, la especie de planta que obtuvo el valor más alto de asimetría fue *S. mexicana* con un valor de -0.18, debido a la alta frecuencia de visitas por parte de los colibríes. La red analizada al tener sólo dos especies de colibríes, es frágil ante perturbaciones de diversa índole, y en el caso de extinciones aleatorias la conexión entre las especies disminuyó rápidamente. Se sabe que las redes polinizador-planta poseen una gran capacidad de recuperación después de perturbaciones, es decir, son bastantes robustas ante la pérdida de especies (Guzmán, 2018). La capacidad de recuperación de las redes polinizador-planta depende de cuantas y cuales especies se hayan perdido, así como de la función ecológica de estas últimas. Por ejemplo, se

sabe que la pérdida de polinizadores afecta de manera distinta a la red que la pérdida de plantas (Ramírez, 2013). En este sentido, la eliminación de polinizadores hace más frágil a la red que la eliminación de plantas, ya que para las plantas es más difícil encontrar un reemplazo de polinizador que para los polinizadores explotar otros recursos florales (Guzmán, 2018). La robustez de la red de interacciones invita a proteger a estas especies más conectadas y que a su vez podrían tener efectos sinérgicos en las cascadas de extinción, en ese sentido, la información de la historia natural de cada especie clave puede ser relevante para planear la conservación del sistema entero (Guzmán, 2018).

Estudios similares al presente se han realizado en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), Andrade (2016) menciona que el sitio fue utilizado por los colibríes para anidar y en menor medida para alimentarse, esto debido a la baja riqueza y abundancia de flores a lo largo del año (Andrade, 2016), lo cual contrasta con este estudio en el cual el jardín de polinizadores fue utilizado principalmente como sitio de forrajeo debido a la constante presencia del recurso floral, aunando que ambos sitios son áreas verdes urbanas, sin embargo, cabe mencionar que la REPSA es un lugar con mayor cobertura vegetal y con presencia de un cuerpo de agua.

El jardín fungió como un sitio importante de forrajeo, no sólo para los colibríes, sino también para otros polinizadores que hacen uso de él, entre los cuales hay abejas, abejorros y mariposas. Tan solo los colibríes se alimentan de 19 de 30 especies de plantas que hay en el jardín, de las cuales 12 son nativas de México. Posibles estudios sobre la eficiencia de polinización de cada especie, no solo de los colibríes, sino también de aves percheras e insectos requieren realizarse para conocer más sobre la dinámica de la comunidad de aves del jardín de polinizadores, así como la producción de néctar de las plantas que hay en él.

Conclusiones.

El jardín funge principalmente como sitio de forrajeo para la comunidad de colibríes. En el presente estudio se registraron dos especies de colibríes en el área de estudio, las cuales utilizan 19 de 30 especies de plantas que hay en el jardín para alimentarse, 11 para perchar, tres para percha de baño, dos para percha de limpieza y una para toma de agua.

Los colibríes se alimentaron con mayor frecuencia de cinco especies de plantas: *S. mexicana*, *S. longistyla*, *H. rosa-sinensis*, *S. elegans* y *T. capensis*, esto está relacionado con la abundancia floral y posiblemente con la calidad y cantidad de néctar. Los colibríes no disciernen entre plantas ornitófilas y no-ornitófilas, por lo que se concluye que es un sistema generalista en términos ecológicos debido a la demanda energética reflejado en las visitas a las flores disponibles a lo largo

del estudio. En el mismo sentido, la mayoría de las especies de plantas que visitaron son nativas de México.

La dominancia y territorialidad de *S. beryllina* se reflejó en el inicio de los encuentros antagonistas y la defensa de los recursos florales, mientras que *C. latirostris* no inició los encuentros antagonistas y estos ocurrían cuando visitaba el recurso defendido por el colibrí dominante. Asimismo, se encontró a *S. beryllina* como el principal colibrí que percha en el jardín, sin embargo, el sitio debe de ser estudiado a profundidad para saber de qué manera se emplea en la defensa de los recursos, ya que en este estudio se registraron las especies de plantas en las cuales perchan y por cuanto tiempo, aunque otros datos como altura, cobertura y tamaño de la planta deben ser considerados.

Fueron pocos los registros de limpieza, baño y toma de agua por parte de los colibríes, no obstante hay presencia de éstas actividades ya que son de mantenimiento para ellos.

La relación planta-colibrí es heterogénea para el caso del jardín. Es un reflejo claro de que los colibríes ocupan el recurso cuando está disponible. La red analizada es una red aleatoria, de bajo anidamiento y susceptible a la extinción debido a su tamaño, no obstante, el jardín de polinizadores está funcionando como sitio de conservación para los colibríes y plantas de las que hacen uso.

Literatura Citada.

- Acuña, M. J. D. 2014. Avifauna de la FES Iztacala, UNAM. Estudio Comparativo. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Estado de México. 91 p.
- Alava, C. G., & J. A. Asanza. 2019. Interacción entre colibríes y flora en el campus de la ESPAM MFL. Informe de trabajo de titulación previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador. 101 pp.
- Almeida-Neto, M., P. Guimaraes, P. R. Guimaraes, R. D. Loyola, & W. Ulrich. 2008. A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: reconciling concept and measurement. *Oikos*. 117: 1127-1239.
- Andrade, R. R. 2016. Red de interacción planta-colibrí en la Cantera Oriente, zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA), Ciudad de México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Estado de México. 58 p.
- Arizmendi, M. C. 1987. Interacción entre los colibríes y su recurso vegetal en Chamela, Jal. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. Ciudad de México. 194 p.
- Arizmendi, M. C. 2001. Multiple ecological interactions: nectar robbers and hummingbirds in a highland forest in Mexico. *Canadian Journal of Zoology*. 79: 997-1006.
- Arizmendi, M. C., E. López-Saut., C. Monterrubio-Solís., L. Juárez., I. Flores-Moreno, & C. Rodríguez-Flores. 2008. Efecto de la presencia de bebederos artificiales sobre la diversidad y abundancia de los colibríes y el éxito reproductivo de dos especies de plantas en un parque suburbano de la Ciudad de México. *Ornitología Neotropical*. 19: 491-500.
- Arizmendi, M. C. s/a. Primer Jardín de Colibríes en la FES Iztacala, UNAM. Consultado el 5 de marzo de 2021 desde <http://coroarizmendi.com.mx/jardines-urbanos-de-colibriacutes.html>
- Arizmendi, M. C. 2009. La crisis de los polinizadores. *CONABIO. Biodiversitas* 85: 1-5.
- Arizmendi, M. C., & H. Berlanga. 2014. Colibríes de México y Norteamérica. *Hummingbirds of Mexico and North America*. CONABIO. México. 158 p.
- Arizmendi, M. C., H. Berlanga., C. Rodríguez-Flores., V. Vargas-Canales., L. Montes-Leyva, & R. Lira. 2016. Hummingbird Conservation in Mexico: The Natural Protected Areas System. *Natural Areas Journal*. 36: 366-376.
- Arizmendi, M. C. 2018. Colibríes: Gemas de la Naturaleza. *Oikos - Instituto de Ecología UNAM*. Consultado el 1 de julio de 2020 desde

<http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/articulos/sostenibilidad-cdmx/381-colibríes>

- Arizmendi, M. C., L. E. Nuñez-Rosas., M. R. Meneses-Ramírez., C. I. Rodríguez-Flores., G. Almeida., L. Navarro., B. C. Prado-Herrera, & H. Berlanga. 2020. Jardines para polinizadores: una herramienta para la conservación. UNAM. México. 64 p.
- Atmar, W., & B. Patterson. 1993. The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat. *Oecologia*. 96: 373-382.
- Ávila, H., & M. E. González. 2016. Como hacer un jardín para polinizadores. *Ecosistémica*, A. C. Consultado el 15 de agosto de 2018 desde https://www.biodiversidad.gob.mx/Difusion/ciencia/pdf/guia_polinizadores_exosistemica.pdf
- Bascompte, J., P. Jordano, C. J. Melián, & J. M. Olesen. 2003. The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *PNAS*. 100: 9383-9387.
- Bascompte, J., & P. Jordano. 2007. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 38: 567-593.
- Beltrán, R., & A. Traveset. 2018. Redes de interacción entre flores e himenópteros en dos comunidades costeras. *Efectos de la pérdida de hábitat. Ecosistemas*. 27 (2): 102-114.
- Benítez, R. C., A. Cardozo., L. Hernández., M. Lapp., H. Rodríguez., T. Ruíz, & P. Torrecilla. 2006. *Botánica sistemática: Fundamentos para su estudio*. Cátedra de Botánica Sistemática, Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 242 p.
- Bernatzky, A. 1975. Gardens of stepped terrace housing. *Urban Ecology*. 49-62.
- BirdLife International. 2016. *Amazilia beryllina*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22725767A94902093. Consultado el 16 de julio de 2020 desde <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22687583A93158942.en>
- BirdLife International. 2016. *Cynanthus latirostris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22725767A94902093. Consultado el 16 de julio de 2020 desde <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22725767A94902093.en>
- Blair, R. B. 1996. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological applications*. 6 (2): 506-519.
- Burbano-Álvarez, J. E. 2013. ¿Co-evolución morfológica entr los picos de los colibríes y las corolas de las plantas? *Biocyt*, FES Iztacala, UNAM. 6 (20): 398-409.
- Buzato, S., M. Sazima, & I. Sazima. 2000. Hummingbird-pollinated floras at three Atlantic forest sites. *Biotropica*. 32: 824-841.

- Carpenter, F. L., & M. A. Hixon. 1988. A new function for torpor: fat conservation in a wild migrant hummingbird. *The Condor*. 90:373-378.
- Chávez, A. C. L. A. 1999. Ecología de polinización de *Salvia mexicana*. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. Ciudad de México. 84 p.
- Cotgreave, P., & D. H. Clayton. 1994. Comparative analysis of time spent grooming by birds in relation to parasite load. *Behaviour*. 131 (3-4): 171-187.
- Dalsgaard, B., A. M. G. Martín., J. M. Olesen., A. Timmermann., L. H. Anderson, & J. Ollerton. 2008. Pollination networks and functional specialization: a test using lesser Antillean plan-hummingbird assemblages. *Oikos*. 000: 000-000.
- Dearbon, D. C. 1998. Interspecific resource territoriality by a Rufous-tailed hummingbird (*Amazilia tzacatl*): effects of intruder size and resource value. *Biotropica*. 30: 306-313.
- Dormann, C. F., J. Fründ, N. Blüthgen, & B. Gruber. 2009. Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal*. 2: 7-24.
- Dormann, C. F. 2011. How to be a specialist? Quantifying specialisation in pollination networks. *Network Biology*. 1: 1-20.
- Duarte, M. T. 2001. Caracterización de la comunidad de aves de la UNAM Campus Iztacala. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Estado de México. 114 p.
- Escalante-Pliego, P. 2016. Consolidación del programa de reintroducción de la guayacamaya roja (*Ara macao cyanoptera*) en Los Tuxtlas. *Bosque Antiguo A. C.* 76 pp.
- Espino-Espino, J., F. Rosas, & E. Cuevas-García. 2014. Variación temporal de visitantes florales en dos especies simpátricas de *Salvia* con floración simultánea y síndrome de polinización contrastante. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 161-166.
- Faegri, K., & L. Van Der Pijl. 1979. *Principles of Pollination Ecology*. Tercera edición. Elsevier. 244 p.
- Garibaldi, L. A., N. Muchhala., I. Motzke., L. Bravo-Monroy., R. Olschewski, & A. Klein. 2011. Services from plant-pollinator interactions in the Neotropics. *Ecosystem Services*. 14: 119-140.
- Gavareski, C. A. 1976. Relation of park size and vegetation to urban bird populations in Seattle, Washington. *Condor*. 78: 375-382.
- Grant, K. A., & V. Grant. 1968. *Hummingbirds and their flowers*. Columbia University Press. New York.

- Guzmán, A. E. 2018. Efecto de la extinción de especies en la estructura de redes mutualistas colibrí-planta. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo. 89 p.
- Haberman, S. J. 1973. The analysis of residuals in cross-classified tables. *Biometrics*. 29: 205-220.
- Hegland, S. J., A. Nielsen., A. Lázaro., A. L. Bjerknes, & O. Totland. 2009. How does climate change warming affect plant-pollinator interactions? *Ecol. Lett.* 12: 184-195.
- Howell, S. N. G., & S. Webb. 1995. *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press. Oxford. 851 p.
- IGCEM. 2015. Información para el plan de desarrollo. Tlalnepantla de Baz. Gobierno del Estado de México. Consultado el 15 de agosto de 2018 desde <http://187.188.121.162:8090/links/092%20Tlalnepantla%20de%20Baz.pdf>
- Jordano, P., D. Vázquez, & J. Bascompte. 2009. Capítulo 1. Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones*. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 17-41 pp.
- Lara, C., T. P. Feria-Arroyo., J. Dale., J. Muñoz., M. C. Arizmendi., J. F. Ornelas., R. Ortiz-Pulido., C. I. Rodríguez-Flores., R. Díaz-Valenzuela., V. Martínez-García., A. Díaz-Palacios., R. Partida., P. L. Enríquez., J. L. Rangel-Salazar, & J. Schondube. 2012. Potential effects of the climate change in the distribution of hummingbirds: a study case with hummingbirds from the genus *Amazilia* and *Cyananthus*. *Ornitología Neotropical*. 23: 57-70.
- Lara, R. N. Z., R. Díaz-Valenzuela., V. Martínez-García., E. Mauricio-López., S. A. Díaz., O. I. Valle-Díaz., A. D. Fisher., C. Lara, & R. Ortiz-Pulido. 2012. Redes de interacciones colibrí-planta del centro-este de México. *Rev. Mex. Biodivers.* 83: 569-577.
- Lancaster, R. K., & W. E. Rees. 1979. Bird communities and the structure of urban habitats. *Canadian Journal of Zoology*. 57: 2358-2368.
- Márquez-Luna, U., C. Lara, & R. Ortiz-Pulido. 2017. La calidad del néctar afecta la conducta territorial y de forrajeo en hembras de colibrí lucifer (*Calothorax lucifer*): un experimento. *Ornitología Neotropical*. 28: 67-75.
- Márquez-Luna, U., C. Lara., P. Corcucera, & P. L. Valverde. 2018. Efecto del tamaño corporal y distancia evolutiva en las interacciones agonísticas de colibríes (Trochilidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 89: 149-162.
- Martínez-Falcón, A. P., C. A. Martínez-Adriano, & W. Dáttilo. 2019. Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. En: Moreno CE (Ed). *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su*

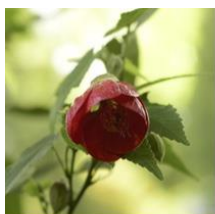
- estudio. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México. 265-283 pp.
- McGuire, J. A., C. C. Witt., J. V. Remsen, A. Corl., D. L. Rabosky., D. L. Altshuler, & R. Dudley. 2014. Molecular phylogenetics and the diversification of hummingbirds. *Current Biology*. 24: 910-916.
- Microsoft. 2016. Microsoft Excel para Mac. Versión 15.22.
- Medina-van, B. P., V. P. Parra-Tabla, & J. L. Leirana-Alcocer. 2016. Recursos florales y colibríes durante la época seca en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, Yucatán, México. *Huitzil, Rev. Mex. Ornitol.* 17 (2): 244-250.
- Morales, O. E. 2017. Patrones de anidación de colibríes en la FES Iztacala. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 57 p.
- Ohashi, K., & J. D. Thomson. 2009. Trapline foraging by pollinators: Its ontogeny, economics and possible consequences for plants. *Annals of Botany*. 103: 1365-1378.
- Ornelas, J. F. 1996. Origen y evolución de los colibríes. *INECOL*. 42: 38-47.
- Partida, L. R., P. L. Enríquez., J. L. Rangel-Salazar., C. Lara, & M. Ico. 2012. Abundancia de colibríes y uso de flores en un bosque templado del sureste de México. *Rev. Biol. Trop.* 60 (4): 1621-1630.
- Patefield, W. M. 1981. An efficient method of generating random RxC tables with given row and column total. *Appl. Stat.* 30: 91-97.
- Piña, E. V. 2017. Red de interacción planta-colibrí en “El Organal”, Jonacatepec, Morelos. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Estado de México. 69 p.
- Pitelka, F. A. 1942. Territoriality and related problems in North American Hummingbirds. *The Condor*. 44 (5): 189-204.
- Poulin, B., G. Lefebvre, & R. McNeil. 1994. Diets of land birds from northeastern Venezuela. *The Condor*. 96: 354-376.
- Poulin, B., & G. Lefebvre. 1996. Dietary relationships of migrants and resident birds from a humid forest in central Panama. *Auk*. 113: 277-287.
- R Development Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Descargado el 18 de junio de 2019.
- Ramírez, M. B. B. 2013. Redes de interacción mutualista colibrí-flor en el Parque Nacional Natural Munchique: ¿La pérdida de un colibrí endémico y en peligro crítico de extinción, acarrea el colapso del sistema? Tesis para obtener el grado de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Colombia, Bogotá, Colombia. 96 p.

- Ramírez-Albores, J. E. 2008. Comunidad de aves de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza campus II, UNAM, Ciudad de México. *Huitzil*. 9: 12-19.
- Rodríguez-Flores, C. I. 2009. Dinámica de las estrategias de forrajeo por néctar en colibríes (Aves: Trochilidae) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manatlán (Jalisco, México). Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. México. 76 p.
- Rodríguez-Flores, C., F. G. Stiles, & M. C. Arizmendi. 2012. Pollination network of a hermit hummingbird community (Trochilidae, Phaethornithinae) and their nectar resources in the Colombian Amazon. *Ornitología Neotropical*. 32: 85-100.
- Salgado, H. 2013. Implementación de un Jardín de Polinizadores en la FESI y su efecto sobre la comunidad de colibríes en su uso. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. 16 p.
- Schuchmann, K. L. 1999. Family Trochilidae (Hummingbirds). 468-680 pp. en del Hoyo, J., A. Elliott & J. Sargatal. *Handbook of the birds of the world. Volumen 5: Barn-owls to hummingbirds*. Ediciones Lynx, Barcelona, España.
- Siegel, S., & J. N. Castellan. 1995. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. Trillas. México, DF. 437 p.
- Sierra-Morales, P., R. C. Almazán-Núñez., E. Beltrán-Sánchez., C. A. Ríos-Muñoz, & M. C. Arizmendi. 2015. Distribución geográfica y hábitat de la familia Trochilidae (Aves) en el estado de Guerrero, México. *Rev. Biol. Trop.* 64: 363-376.
- Stiles, F. G. 1981. Geographical aspects of bird-flower coevolution, with particular reference to Central America. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 68: 323-351.
- Stiles, F. G. 1995. Behavioral, ecological and morphological correlates of foraging for arthropods by the hummingbirds of a tropical wet forest. *The Condor*. 97: 853-878.
- Thompson, J. N. 2006. Mutualistic webs of species. *Science*. 312: 372-373.
- Torres, M. G., & G. A. Navarro-Sigüenza. 2000. Los colibríes de México, brillo de la biodiversidad. *Biodiversitas*. 28: 1-6.
- Varona, G. D. E. 2001. Avifauna de áreas verdes urbanas del Norte de la Ciudad de México. Tesis de Maestría en Ciencias (Ecología y Ciencias Ambientales). Facultad de Ciencias. Ciudad de México. 130 p.
- Vázquez, D. P., C. J. Melián, N. M. Williams, N. Blüthgen, B. R. Krasnov, & R. Poulin. 2007. Species abundance and asymmetric interaction strength in ecological networks. *Oikos*. 116: 1120-1127.
- Vázquez, D. P., N. P. Chacoff, & L. Cagnolo. 2009. Evaluating multiple determinants of the structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecology*. 90: 2039-2046.

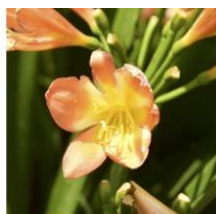
Yanega, G. M., & M. A. Rubega. 2004. Hummingbird jaw bends to aid insect capture. *Nature*. 42: 615.

Apéndices.

Apéndice 1. Registro fotográfico de la flora del jardín de polinizadores.



Abutilon pictum



Agapanthus africanus



Achilegia chrysantha



Agastache mexicana



Asclepias curassavica



Bougainvillea sp.



Fuchsia hybrida



Fuchsia magellanica



Hibiscus rosa-sinensis



Justicia spicigera



Lavandula sp.



Lonicera japonica



Malvaviscus arboreus



Penstemon barbatus



Plectranthus ecklonii



Punica granatum



Ruellia sp.



Salvia coccinea



Salvia elegans



Salvia greggii



Salvia guaranitica



Salvia hispanica



Salvia leucantha



Salvia longistyla



Salvia mexicana



Salvia microphylla



Salvia nemorosa



Salvia splendens



Tecoma capensis



Tibouchina sp.

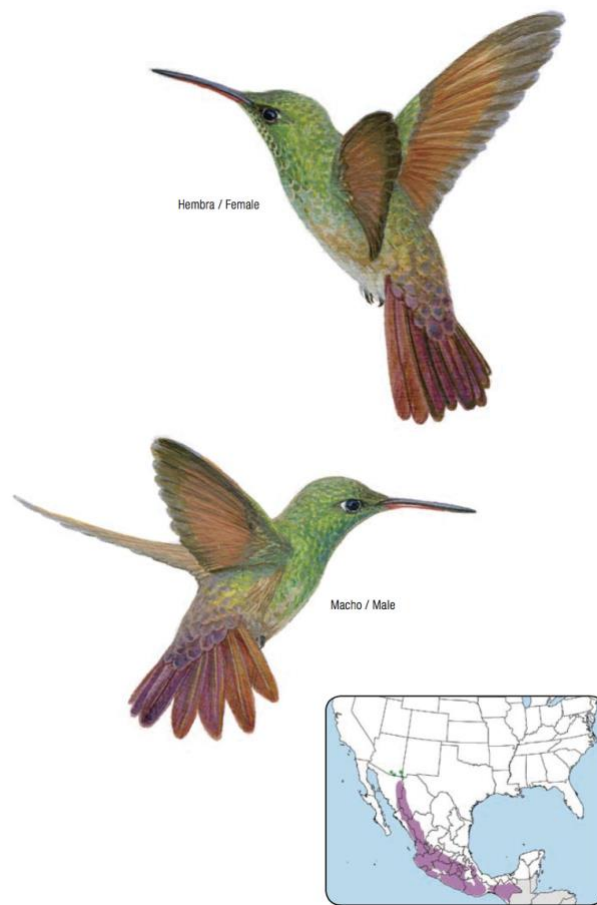
Apéndice 2. *Saucerottia beryllina*

Se distribuye desde el sur de Arizona por el oeste de México, Sonora, Chihuahua hacia el sur a través de la Sierra Madre Occidental, el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Sur, hasta el Salvador y Honduras. Vive en bosques de encino y encino-pino y sus bordes, y también en claros con matorrales (500-2500 msnm).

Es un colibrí mediano, con una longitud de 8-10 cm y un peso de 4-4.4 g. El macho tiene el pico mediano, recto y negro, con la base de la mandíbula rojiza. La garganta y el pecho son verde brillante. El vientre es canela grisáceo. Tienen un parche canela muy conspicuo en las primarias y secundarias. La corona, nuca y espalda son de color verde y es menos brillante en la rabadilla. La cola es color canela intenso.

La hembra es muy parecida al macho pero tiene la garganta y el vientre más pálidos o grisáceos. Los inmaduros son similares a la hembra (Arizmendi & Berlanga, 2014).

Su estado en la lista roja de menor preocupación (least concern), por sus siglas en inglés IUCN (BirdLife International, 2016).



Apéndice 3. *Cyananthus latirostris*

Se distribuye desde el suroeste de Estados Unidos (Arizona y Nuevo México) hasta el sur de México (Chihuahua, Sonora, Nuevo León y Tamaulipas hasta Veracruz y Oaxaca). Vive en zonas áridas, selva tropical seca abierta, desiertos y laderas con matorrales (0-2500 msnm).

Es un colibrí mediano, con 10 cm y un peso de entre 3-4 g. El macho se caracteriza por tener el pico largo y recto de color rojo brillante con la punta negra. Corona, nuca y espalda verde brillante. La garganta es azul o azul violeta brillante y el pecho verde azul. Cola negra y hendida con alas cobertoras inferiores blancas.

La hembra tiene la maxila negra y la mandíbula roja con la punta oscura. Tiene una línea blanca detrás del ojo y un parche oscuro en la zona auricular que contrastan con la corona verdosa. Nuca y espalda verde esmeralda o verde dorado. Cola variable, de verde esmeralda a verde azulosa, a veces negra azulosa. Las partes inferiores son gris pálido. Los inmaduros se parecen a la hembra adulta (Arizmendi & Berlanga, 2014).

Su estado en la lista roja de menor preocupación (least concern), por sus siglas en inglés IUCN (BirdLife International, 2016).

