



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE  
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**  
**FACULTAD DE BIOLOGÍA**

**Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas  
Área temática: Ecología y Conservación**

# **Relación entre el ensamble de colibríes y sus recursos florales en un ambiente urbano**

**TESIS**

**que como requisito parcial para obtener el título  
profesional de**

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Presenta

**Luz Ariana Villaseñor Madrigal**

**Directora de tesis: Dra. Yvonne Herrerías Diego  
Co-Director de tesis: Dr. Mauricio Ricardo Quesada  
Avendaño**

U.M.S.N.H



**FACULTAD  
DE  
BIOLOGÍA**

**Morelia, Michoacán**

**Abril de 2023**

**“When humanity serves Nature,  
Nature serves humanity. When  
we serve animals and plants,  
they too serve us in return”**

Mata Amritanandamayi

## Agradecimientos

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Facultad de Biología, por brindarme un hogar de aprendizaje en sus aulas.

Al Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, por otorgarme un espacio en la academia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por financiar este trabajo otorgándome la beca (787916) para llevar a cabo mis estudios de Maestría.

A la Secretaría del H. Ayuntamiento de Morelia, a la oficina de Dirección de Ordenamiento y Sustentabilidad del Patrimonio Natural de la Secretaría de Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Territorial y a la Comunidad Ecológica Jardines de la Mintzita por su respuesta positiva a los oficios de solicitud para el acceso a los sitios de muestreo.

Al Laboratorio de Vida Silvestre por abrirme sus puertas desde el inicio de mi servicio social, por permitirme descubrir y vivir las mejores experiencias en este campo.

Al Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica, ENES unidad Morelia, UNAM por el apoyo brindado para el análisis de datos.

A los proyectos que financiaron este trabajo de investigación:

"Manejo sustentable de polinizadores: estatus actual, factores de riesgo y estrategias para el aprovechamiento de las abejas melíferas y silvestres en sistemas de agricultura protegida y en cultivos a campo abierto en México" 291333 SADER-CONACyT.

"Análisis de los factores que amenazan a polinizadores nativos e introducidos en México: vinculación de la docencia con la investigación en ecología genómica, conservación biológica y ecología de paisaje" IV200418 PAPIIT-UNAM.

"Relación entre la polinización, flujo génico, morfología y microbiota de recompensas florales en especies cultivadas y silvestres del género Cucúrbita" IN219021 PAPIIT-UNAM.

A mi asesora de tesis, la Dra. Yvonne Herrerías Diego por dirigirme en este camino de la investigación y brindarme su confianza y amistad en mi desarrollo académico.

Al comité sinodal: Dr. Alejandro Salinas Melgoza, Dr. Mauricio Quesada Avendaño, Dr. Eduardo Cuevas García y Dr. José Fernando Villaseñor Gómez, por su valiosa contribución para la mejora de este trabajo.

Al Dr. Martín Hesajim de Santiago Hernández por sus valiosas aportaciones a la mejora de este trabajo y por todo su apoyo y enseñanza en los análisis de redes de interacción.

Al equipo de trabajo en campo: Alejandro Chávez García, Santiago Gaona Patiño, Jonathan Hurtado Tejeda, Margarita Zárate Solís, Frecia N. Ramírez Rincón, Diana Abarca Solorio, Milca I. Reyes Rodríguez y Vidal Ramírez Torres por todo su apoyo en los muestreos y toma de datos, por siempre trabajar con entusiasmo y crear un ambiente agradable que llevó a formar una amistad que atesoraré por siempre.

A mis compañeros de escritorio en el laboratorio: Ottmar A. Silva Cabrera, Estefanía Montelongo García y A. Stefano Salgado Amezcua por compartir mutuamente palabras de aliento y ánimo a una misma ambición: la redacción de una tesis. Gracias por los días de charlas y risas que hicieron más ameno nuestro proceso.

Al Departamento de Posgrado de la Facultad de Biología, en especial a la Lic. Patricia Liliana Cerritos Barriga, por todo su apoyo y paciencia al orientarnos en el papeleo y en los trámites en cada paso de este proceso.

A Isaías Serrano Arroyo, Alejandro Mijangos Altamirano e Isabel por sus atenciones prestadas durante los muestreos en el Cerro del Punhuato.

A los directores generales de cada sitio, por permitirnos el acceso y proporcionarnos las facilidades para llevar a cabo los muestreos.

## **Dedicatoria**

**A mi familia, por su paciencia y comprensión con mi ausencia en casa, por apoyarme en todo momento en mis sueños y aspiraciones, alentándome a culminar y vivir con pasión cada objetivo que me propongo.**

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| RESUMEN.....   | 8         |
| ABSTRACT.....  | 10        |
| INTRODUCCIÓN GENERAL.....  | 12        |
| PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....  | 15        |
| OBJETIVOS.....   | 16        |
| HIPÓTESIS.....   | 17        |
| DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS.....  | 18        |
| <b>CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE: INTERACCIÓN PLANTA-COLIBRÍ.....</b>                  | <b>24</b> |
| Introducción.....  | 25        |
| Métodos.....   | 28        |
| Colibríes y su relación con el recurso floral.....                                   | 29        |
| Relación planta-colibrí mediante redes de interacción.....                           | 31        |
| Colibríes y recurso floral, la eficiencia desde una perspectiva morfológica.....     | 32        |
| Colibríes y la extracción de néctar.....   | 35        |
| Robo de néctar en la interacción planta-colibrí.....                                 | 37        |
| Conclusiones.....  | 39        |
| <b>CAPÍTULO II. REDES DE INTERACCIÓN PLANTA COLIBRÍ EN ÁREAS VERDES URBANAS.....</b> | <b>47</b> |
| Resumen.....   | 48        |
| Abstract.....  | 48        |
| Introducción.....  | 49        |
| Material y métodos.....  | 54        |
| Resultados.....  | 57        |
| Discusión.....   | 71        |
| Conclusiones.....  | 75        |
| Agradecimientos.....   | 76        |
| Literatura citada.....   | 77        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>CAPÍTULO III. ENSAMBLE DE COLIBRÍES Y SUS RECURSOS FLORALES</b> .....         | 83  |
| Resumen.....   | 84  |
| Introducción.....  | 86  |
| Material y métodos.....  | 89  |
| Área de estudio.....   | 89  |
| Muestreo y recopilación de datos.....  | 92  |
| Resultados.....  | 97  |
| Ensamble de colibríes.....   | 97  |
| Relación entre la abundancia de colibríes y la producción de néctar.....         | 98  |
| Relación entre la abundancia de colibríes y la abundancia de recurso floral..... | 99  |
| Disponibilidad de recurso floral.....  | 103 |
| Traslape de nicho alimenticio.....   | 106 |
| Eficiencia de polinización en las visitas de los colibríes.....                  | 108 |
| Discusión.....   | 112 |
| Conclusiones.....  | 117 |
| Literatura citada.....   | 118 |
| <b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....  | 124 |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....   | 126 |

## RESUMEN

Las interacciones entre organismos, son la base de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas, ya que la composición y la dinámica de una comunidad es determinada por las especies interactuantes y por la manera en que éstas interactúan. De estas interacciones, la interacción planta-colibrí es una de las interacciones mutualistas más especializada y dominante en la región Neotropical por su gran relevancia en la polinización de alrededor del 15% de especies de plantas en esta región. De acuerdo con la literatura, la interacción planta-colibrí ha sido ampliamente estudiada en una gran variedad de ambientes, no obstante, es necesaria más información acerca de esta interacción en los sistemas urbanos. Además, la mayoría de los estudios revelan resultados de forma global sin considerar la variación estacional. Dado lo anterior, en este estudio se analizó la estructura de las redes de interacción planta-colibrí considerando las visitas de los colibríes a las flores y la carga polínica en tres categorías de áreas verdes urbanas: Jardín, Parque y Área Natural Protegida. En este trabajo, también se evaluó la relación entre el recurso floral, tomando en cuenta la producción de néctar (volumen y concentración de azúcar) y el número de flores disponibles. Adicionalmente, se determinó la manera en que los colibríes utilizan el recurso, mediante el traslape de nicho alimenticio y el comportamiento de forrajeo legítimo en las visitas a la flores. Dado que las condiciones ambientales influyen en la estructura de la vegetación y del ensamble de colibríes, se consideraron tres temporadas para evaluar la variación estacional: secas cálidas, lluvias y secas frías. De acuerdo con nuestros resultados globales por categoría de área verde, la red de interacción planta colibrí de ANP obtuvo un mayor tamaño por su riqueza de especies tanto de colibríes como de plantas, además presentó un mayor número de interacciones. En cuanto a la variación estacional, se sugiere que las redes de interacción planta-colibrí varían en estructura y composición de acuerdo a las temporadas en cada categoría. La categoría de Jardín fue la que demostró menor variación, ya que la composición de especies fue muy similar a lo largo del año. En cuanto al ensamble de colibríes, tres especies (*Cynanthus latirostris*, *Saucerotia beryllina* y *Leucolia violiceps*) se reportaron como residentes, por estar presentes todo el año y en las tres categorías.

Dos especies fueron migratorias (*Selasphorus rufus* y *Archilochus colubris*) y dos especies se registraron como ocasionales (*Eugenes fulgens* y *Basilinna leucotis*). También, se evaluó si existe relación entre la frecuencia de visitas de los colibríes a las flores con la disponibilidad del recurso y/o con la producción de néctar. Nuestros resultados indican que existe relación entre la frecuencia de visitas y la disponibilidad del recurso floral, mientras que con la producción de néctar no se encontró relación. En cuanto a la manera en que utilizan el recurso, evaluamos el traslape de nicho y la eficiencia de polinización en la visita a las flores. Encontramos que los valores de traslape fueron altos en la temporada de secas frías, cuando la abundancia de flores fue mayor, pero con menor variedad de especies, lo que sugiere que las especies de colibríes utilizan las mismas flores para suplir sus necesidades energéticas. Además, las especies residentes de colibríes presentaron un mayor tamaño, realizaron la mayoría de las visitas a *Leonotis nepetifolia* de manera ilegítima (sin tocar las estructuras reproductivas). Mientras que las especies migratorias, presentaron un tamaño pequeño y visitaron mayormente de manera legítima (tocando las estructuras reproductivas) a esta misma especie de planta, siendo en general, la especie con mayor número de visitas ilegítimas. Acerca de esto, la literatura sugiere que los visitantes florales que no se adaptan a la morfología de las flores, pueden realizar visitas ilegítimas, lo cual podría ocasionar una disminución en el éxito reproductivo de la planta. Sin embargo, es importante estudiar más a fondo la historia natural de las interacciones planta-colibrí para entender las posibles relaciones mutualistas que forman la estructura de una comunidad. Además, este conocimiento, podría ayudarnos a predecir el impacto de las extinciones de especies clave en un sistema natural y así mismo mitigar este efecto mediante acciones de conservación.

**Palabras clave:** Trochilidae, interacciones, planta-colibrí, polinizadores, néctar.

## ABSTRACT

Plant-animal interactions are the basis of the structure and functioning of ecosystems, since the composition and dynamics of a community are determined by the interacting species and by the way in which they interact. Of these interactions, the plant-hummingbird interaction is one of the most specialized and dominant mutualistic interactions in the Neotropical region due to its great relevance in the pollination of about 15% of plant species in this region. According to the literature, the plant-hummingbird interaction has been widely studied in a wide variety of environments; however, more information is needed about this interaction in urban systems. In addition, most studies reveal results globally without considering seasonal variation. Given the above, this study analyzed the structure of plant-hummingbird interaction networks considering hummingbird visits to flowers and pollen load in three categories of urban green areas: Garden, Park, and Protected Natural Area. In this work, the relationship between the floral resource was also evaluated, taking into account nectar production (volume and sugar concentration) and the number of flowers available. Additionally, the way in which hummingbirds use the resource was determined, through the overlap of food niche and legitimate foraging behavior in flower visits. Since environmental conditions influence the structure of the vegetation and the hummingbird assemblage, three seasons were considered to evaluate the seasonal variation: warm dry, rainy, and cold dry. According to our global results by category of green area, the ANP hummingbird-plant interaction network obtained a larger size due to its richness of both hummingbird and plant species, and also presented a greater number of interactions. Regarding the seasonal variation, it is suggested that the plant-hummingbird interaction networks vary in structure and composition according to the seasons in each category. The Garden category was the one that showed the least variation, since the composition of species was very similar throughout the year. Regarding the hummingbird assemblage, three species (*Cyananthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* and *Leucolia violiceps*) were reported as residents, because they are present all year round and in all three categories. Two species were migratory (*Selasphorus rufus* and *Archilochus colubris*) and two species were recorded as

occasional (*Eugenes fulgens* and *Basilinna leucotis*). Also, it was evaluated if there is a relationship between the frequency of visits of hummingbirds to the flowers with the availability of the resource and/or with the production of nectar. Our results indicate that there is a relationship between the frequency of visits and the availability of the floral resource, while no relationship was found with nectar production. Regarding the way in which they use the resource, we evaluated the niche overlap and the pollination efficiency in the visit to the flowers. We found that the overlap values were high in the cool dry season, when the abundance of flowers was higher, but with less variety of species, suggesting that hummingbird species use the same flowers to supply their energy needs. In addition, the resident species of hummingbirds were larger, making most of the visits to *Leonotis nepetifolia* illegitimately (without touching the reproductive structures). While the migratory species, presented a small size and visited mostly legitimately (touching the reproductive structures) to this same plant species, being in general, the species with the highest number of illegitimate visits. Regarding this, the literature suggests that floral visitors that do not adapt to the morphology of the flowers can make illegitimate visits, which could cause a decrease in the reproductive success of the plant. However, it is important to further study the natural history of hummingbird-plant interactions to understand the possible mutualistic relationships that form the structure of a community. In addition, this knowledge could help us predict the impact of extinctions of key species on a natural system and likewise mitigate this effect through conservation actions.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Naturalmente, los organismos interactúan entre sí por diversas razones, ya sea para alimentarse, reproducirse o defenderse y pueden interactuar tanto entre individuos de la misma especie como entre individuos de especies diferentes (Maglianesi y Jones, 2015; Pacheco, et al., 2015). Estas interacciones, son la base de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas, ya que la composición y la dinámica de una comunidad es determinada por las especies interactuantes y por la manera en que éstas interactúan (Jordano, et al., 2009; Martínez-García, et al., 2020; Vargas-Valverde, et al., 2022). Particularmente, las interacciones que se dan entre animales y plantas, son muy importantes para el mantenimiento de las mismas especies que participan en dicha interacción y su entorno (Pacheco, et al., 2015).

Generalmente, las interacciones se clasifican en antagonistas y mutualistas de acuerdo al beneficio de los interactuantes (Díaz, 2016). De manera que, en las interacciones antagonistas, al menos un individuo es perjudicado y el otro es beneficiado, como es el caso de la depredación, la herbivoría y el parasitismo (Pacheco, et al., 2015). Caso contrario en las interacciones mutualistas, ya que generalmente ambos individuos son beneficiados, por ejemplo, en la dispersión de semillas y en la polinización (Aguilar, et al., 2009; Maglianesi y Jones, 2015; del Val, 2022).

La polinización es considerada como uno de los servicios ecológicos esenciales en los ecosistemas por su gran relevancia en la productividad de alimentos y en el mantenimiento de la diversidad de plantas (Córdova y Fajardo, 2018; Bartholomé y Lavorel, 2019). Este proceso, consiste en la transferencia de los granos de polen desde las anteras al estigma de las flores, con el fin de efectuar la reproducción de las plantas (Chalcoff, et al., 2014). Aunque, el transporte de polen de una flor a otra, es llevado a cabo tanto por vectores bióticos (animales) como por vectores abióticos (agua y viento) (Pantoja, et al., 2014), se estima que alrededor del 87.5 % (aproximadamente 308 000 especies) de las plantas angiospermas necesitan de animales polinizadores para su reproducción (Aguilar, et al., 2009; Aguilar, 2013; Díaz, 2016; García, et al., 2016; Martínez-García, et al., 2020). Así

mismo, muchos animales polinizadores, dependen de los recursos que ofrecen las flores para su alimentación, como son polen, partes florales, ceras y néctar. (Aguilar, et al., 2009; Barrios, 2020; Martínez-García, et al., 2020). Es así, como la interacción planta-polinizador es de las interacciones más complejas que existen y ofrece funciones muy importantes para la estabilidad de los ecosistemas (Beltrán y Traveset, 2018). Sin embargo, este proceso ecológico se ha visto alterado debido a actividades como la propagación de especies exóticas y el uso del suelo para desarrollo humano. De manera que la mayoría de los grupos de polinizadores que hacen frente a los disturbios causan una preocupación por la disminución de sus poblaciones tanto en agro ecosistemas como en áreas naturales (Velasquez, 2018).

Dentro de las interacciones planta-polinizador, una de las interacciones mutualistas más especializada y dominante en la región Neotropical es la interacción planta-colibrí (Farji, 1991; Lara, 2006; Abrego y Bonilla, 2014). Los colibríes, pertenecientes a la familia Trochilidae, constituyen la familia de aves nectarívoras con mayor riqueza en especies (alrededor de 330 especies) (Arizmendi y Berlanga, 2014; Abrahamczyk y Kessler, 2010) y se alimentan principalmente del néctar de las flores, aunque también consumen artrópodos pequeños como fuente de proteína (Ornelas, 1996). Se estima que estas aves, participan polinizando alrededor del 15% de las angiospermas en la región neotropical (Lara, 2006; Arizmendi y Berlanga, 2014; León-Camargo y Rangel-Ch. 2015; Díaz, 2016; Velasquez, 2018; Buzato, *et al.*, 2000; Martínez-García, et al., 2020; Prieto-Torres, *et al.*, 2021). Es por esta razón que estos organismos nectarívoros representan un vector muy importante como polinizadores, sobre todo en aquellos lugares donde muchas plantas dependen exclusivamente de la polinización cruzada y del transporte de polen por estas aves (Araújo, et al., 2011).

De acuerdo con la literatura, es fundamental ahondar en el estudio de interacciones mutualistas para entender los patrones ecológicos y los factores que determinan la estructura de las redes de interacción en una comunidad. Además de que, la información generada puede brindarnos las bases necesarias para contribuir en la conservación y mantenimiento de las interacciones ecológicas, que

proporcionan la base de la estructura y funcionamiento del ecosistema. De acuerdo con lo anterior, en el capítulo uno nos planteamos realizar una revisión de literatura para describir los trabajos que han evaluado la interacción planta-colibrí. En el segundo capítulo, el objetivo fue realizar el estudio del análisis de redes de interacción planta-colibrí en tres categorías de áreas verdes urbanas: Parque, Jardín y Áreas Naturales Protegidas (ANP). considerando la variación estacional: temporada de lluvias, temporada de secas cálidas y temporada de secas frías. Para el tercer capítulo, se caracterizó el ensamble de colibríes y su relación con la disponibilidad del recurso alimenticio tomando en cuenta las visitas de los colibríes a las flores y la abundancia de flores disponibles como recurso alimenticio para estas aves, así como también la producción del néctar (volumen y concentración de azúcar). Además, se determinó la disponibilidad del recurso disponible y se analizó el traslape de nicho alimenticio y la eficiencia de polinización mediante el forrajeo en las visitas a las flores. Para llevar a cabo los objetivos del capítulo tres, se trabajó en tres sitios suburbanos correspondientes a Áreas Naturales Protegidas de Morelia, Michoacán: Cerro del Punhuato, Manantial La Mintzita y Cañadas de Río Chiquito.

## **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el estado del arte sobre la relación entre colibríes y los recursos florales?

¿Cómo están estructuradas las redes de interacción planta-colibrí considerando la frecuencia de visitas de colibríes al recurso floral y la carga polínica?

¿La frecuencia de visitas de colibríes a las flores está determinada por la producción de néctar (volumen de producción de néctar y concentración de azúcar) y/o la disponibilidad de los diferentes recursos florales (número de flores abiertas)?

¿Cuál es la disponibilidad de recurso floral alimenticio y el traslape de nicho alimenticio entre las especies de colibríes tomando en cuenta la variación estacional?

¿Cuál es la eficiencia de polinización (contacto de estructuras reproductivas) en las visitas de los colibríes a las flores en su forrajeo?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Caracterizar la estructura de la red de interacción planta-colibrí y la relación del ensamble de colibríes con los recursos florales, así como analizar el traslape de nicho alimenticio y la manera en que lo utilizan, mediante el forrajeo eficiente en sus visitas.

### **Objetivos particulares**

1. Realizar el estado del arte sobre la relación entre colibríes y las plantas que utilizan como recurso alimenticio.
2. Describir la estructura de las redes de interacción planta-colibrí considerando la frecuencia de visitas de colibríes al recurso floral y la carga polínica.
3. Analizar si la frecuencia de visitas de colibríes a las flores está determinada por la producción de néctar (volumen y concentración de azúcar) y/o la disponibilidad de los diferentes recursos florales (número de flores abiertas).
4. Analizar la disponibilidad de recurso floral disponible y el traslape de nicho alimenticio entre las especies de colibríes tomando en cuenta la variación estacional.
5. Evaluar la eficiencia de polinización (contacto de estructuras reproductivas) en las visitas de los colibríes a las flores en su forrajeo.

## HIPÓTESIS

1. Las áreas verdes que presentan mayor perturbación urbana (mayor presencia de áreas pavimentadas, menor cobertura vegetal, dominancia de flora exótica y mayor frecuencia de uso ciudadano) tienden a resguardar menor diversidad y abundancia de avifauna (De Juana, 2015; Alcaraz, 2020), por este motivo las redes de interacción de las Áreas Naturales Protegidas serán de mayor tamaño por el número de especies y con más interacciones que las redes de Jardín y Parque.
2. Debido a que las áreas urbanas dentro de la ciudad albergan especies de avifauna más generalistas (Maruyama, et al., 2019), las redes de ANP serán más especializadas que las redes de Parque y Jardín.
3. Dado que la fenología floral es un factor que influye en la abundancia de colibríes (Partida, et al., 2012), además de que, la calidad del néctar es una de las características más importantes en las flores visitadas por estas aves, (Velasquez, 2018), la abundancia de colibríes estará relacionada con la abundancia de las flores disponibles y/o con la producción del néctar (volumen del néctar y concentración de azúcar).
4. Cuando existe menor cantidad y variedad de recurso disponible, se espera un traslape alto debido a que las especies de colibríes tienden a utilizar los mismos recursos florales, (Abrahamczyk y Kessler, 2010), por lo tanto, los valores de traslape de nicho alimenticio serán más altos en la temporada con menor abundancia y/o variedad de flores.
5. Dado que algunos de los visitantes florales que no se adaptan a la morfología de la flor tienden a realizar visitas ilegítimas (Lara y Ornelas, 2001) las especies de colibríes de menor tamaño son las que realizarán visitas ilegítimas a las especies de flores (sin tocar las estructuras reproductivas de la flor).

## DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

Para tener conocimiento de los estudios realizados sobre la interacción planta-colibrí, en el capítulo uno realizamos una revisión de literatura, donde se describió los principales estudios que han evaluado procesos y patrones ecológicos en el uso del recurso alimenticio por parte de los colibríes. De acuerdo a la revisión de la información disponible, la interacción planta-colibrí ha sido ampliamente estudiada en gran variedad de regiones y ecosistemas del continente americano. Sin embargo, las áreas urbanas y suburbanas han sido poco exploradas, además de que son muy pocos los estudios que consideran la variación estacional. Se sugiere que considerar la variación estacional es muy importante dado que la fenología floral está impulsada por las condiciones ambientales, y la disponibilidad del recurso floral influye en la abundancia y composición del ensamble de colibríes. Por lo tanto, un análisis de la interacción planta-colibrí desde una perspectiva estacional, podría ofrecer un panorama más amplio sobre como varía la composición de especies temporalmente en un sitio dado.

Para los capítulos dos y tres se seleccionaron algunos sitios pertenecientes a tres categorías de áreas verdes urbanas: Jardín, Parque y Área Naturales Protegidas (ANP). En el capítulo dos se evaluó el efecto de la urbanización en la interacción planta-colibrí mediante el análisis de redes de interacción. Se realizaron dos juegos de datos. El primer juego consistió en las visitas de los colibríes a las flores, por medio de observaciones directas y considerando todo lo que había disponible como recurso alimenticio para estas aves. Debido a que las cargas de polen junto con la observación de las visitas pueden ofrecernos una visión más completa de las plantas que utilizan los colibríes, el segundo juego de datos consideró la carga polínica obtenida directamente de individuos de estas aves capturados. Con las matrices de datos, se realizaron las redes de interacción y se calcularon algunas métricas para describir la composición y estructura de la red. Los resultados sugieren que, a nivel global de categoría, las redes de ANP presentan un mayor tamaño en composición de especies y un mayor número de interacciones. Además, las redes en las áreas urbanas, presentaron mayor especialización. Esto, debido a que las especies de colibríes más persistentes en Jardín y Parque, son las especies

generalistas. Adicionalmente, la carga polínica evidenció un panorama más amplio en cuanto a las especies de plantas que son visitadas y polinizadas por los colibríes. Un aspecto importante, es la importancia de recurso floral no nativo para los colibríes como fuente de recurso alimenticio. Esto a su vez, se resalta la importancia de los colibríes como vectores de polen para algunas plantas exóticas.

Dado que la categoría ANP, fue un buen sitio de estudio, con mayor riqueza y abundancia tanto de plantas como de colibríes, se seleccionó esta categoría para evaluar aspectos del uso del recurso floral por parte de los trochilidos en el capítulo tres. Se analizó si la frecuencia de las visitas de estas aves a las flores está determinada por la producción de néctar, considerando el volumen y la concentración de azúcar y/o por la disponibilidad de las flores que utilizan como alimento. Además, se determinó la manera en que utilizan este recurso mediante el análisis del traslape de nicho alimenticio entre las especies de colibríes y a través de las visitas legítimas e ilegítimas en el forrajeo de las visitas a las flores. Nuestros resultados indicaron que la producción de néctar, tanto el volumen de néctar como la concentración de azúcar no influyen en la frecuencia de las visitas a las flores por parte del ensamble de colibríes. En cambio, la disponibilidad del recurso floral es un factor importante en la selección del recurso, de manera que, en este estudio, estas aves prefieren abundancia de recurso antes que calidad de néctar. Se ha documentado que la comunidad de colibríes está influenciada por la disponibilidad del recurso, de acuerdo con los resultados la mayor abundancia de colibríes resultó cuando se presentó mayor variedad de recurso floral y mayor abundancia de flores, siendo en las temporadas de lluvias y secas frías, respectivamente. En cuanto al traslape en el uso de las flores, los resultados sugieren altos valores de traslape en temporada de secas frías, siendo esta temporada la de mayor abundancia de flores, pero de menor variedad de especies. Por lo tanto, se sugiere que las especies de colibríes utilizan las mismas especies de flores como alimento. En cuanto a la eficiencia de polinización, las especies residentes, las cuales presentaron mayor tamaño de longitud total y de pico, realizaron la mayoría de las visitas ilegítimas a flores de la especie de planta *Leonotis nepetifolia*. Mientras que las especies migratorias presentaron un tamaño pequeño, realizaron más visitas legítimas que

ilegítimas a la misma especie de planta, siendo ésta la planta más visitada en general y con mayor número de visitas ilegítimas.

Las áreas verdes urbanas cumplen un papel importante en la provisión de alimento a los colibríes. Sin embargo, más estudios son requeridos para definir patrones más claros acerca de la utilización del recurso nativo y exótico por parte de los colibríes a lo largo del año. Así mismo, este tipo de estudios nos aportan la información valiosa sobre las especies clave en un ecosistema, para poder contribuir en la conservación de las interacciones y mantener la estabilidad del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahamczyk, S. y M. Kessler. 2010. Hummingbird diversity, food niche characters, and assemblage composition along a latitudinal precipitation gradient in the Bolivian lowlands. *The Journal of Ornithology*. 151: 615-625.
- Abrego G. J. E. y M. F. Bonilla. 2014. Interacciones colibrí-planta en dos tipos de hábitat (Subcaducifolio y Ripario) del Área Protegida Trinacional Montecristo, departamento de Santa Ana, El Salvador. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador. Ciudad Universitaria. 86 pp.
- Aguilar, R., L. Ashworth, L. Cagnolo, M. Jausoro, M. Quesada y L. Galetto. 2009. Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas en ambientes fragmentados. *Ecología y Evolución de interacciones planta-animal*. 199-230.
- Aguilar, R. P. A. 2013. Biología floral y reproductiva de *Tillandsia heterophylla* y *Tillandsia macropetala* (Bromeliaceae), en el municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan, en la región central de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Centro de Investigaciones Tropicales. 129 pp.
- Alcaraz, L. I. O. 2020. Integración de parques urbanos con las funciones de la ciudad mediante criterios de conectividad sustentable. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. 235 pp.
- Araújo, F. P., A. A. Almeida B. y P. E. Oliveira. 2011. Floral resources and hummingbirds on an island of flooded forest in Central Brazil. *Flora*. 206: 827-835.
- Arizmendi, M.C. y H. Berlanga. 2014. Colibríes de México y Norteamérica. CONABIO. México. 160 pp.
- Barrios, O. Y. C. 2020. Las plantas y los polinizadores: mutualistas inmersos en una red compleja de interacciones. Desde el Herbario CICY. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. 12: 16-20.
- Bartholomée O. y S. Lavorel. 2019. Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods. *Ecological Indicators*. 107: 105576
- Beltrán, R., y 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. Doi.: 10.7818/ECOS.1409
- Buzato, S., M. Sazima e I. Sazima. 2000. Hummingbird-Pollinated Floras at Three Atlantic Forest Sites. *BIOTROPICA*. 32: 824-841.
- Chalcoff, V. R., C. L. Morales, M. A. Aizen, Y. Sasal, A. E. Rovere, M. Sabatino, C. Quintero y M. Tadey. 2014. Capítulo 5, Interacciones planta-animal, la polinización. *Ecología e Historia Natural*. 113-132 pp. January 2014 In book: *Ecología e historia natural de la Patagonia Andina: un cuarto de siglo de investigación en biogeografía, ecología y conservación* (pp.113-132) Chapter: 5 Publisher: Fundación de Historia Natural Félix de Azara Editors: M. de Torres Curth, Raffaele Estela, Carolina Laura Morales, Thomas kitzberger
- Córdova, A. M. C. y P. C. Fajardo A. 2018. Efectos de la disponibilidad de *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (Proteaceae) en las redes de interacción de polinización de colibríes en matorrales montano andinos al sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 53 pp.

de Juana, A. F. 2015. Gestión de zonas verdes urbanas y periurbanas para la conservación de la biodiversidad: el caso de Vitoria-Gasteiz. Sociedad Española de Ciencias Forestales. 39: 313-322.

del Val de Gortari, Ek. (2022). Redes de interacciones para el estudio de la biodiversidad. Revista Digital Universitaria (RDU) 23(2).  
<http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.9>

Díaz, V. R. 2016. Historia Natural, Ecología y Análisis de la Interacción Planta-Colibrí en un Paisaje Mexicano, Bajo Dos Aproximaciones Teóricas: Escalamiento en Ecología y Redes de Interacciones Complejas. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Alicante. 138 pp.

Farji, B. A. G. 1991. Forrajeo del colibrí *Selasphorus flammula* en relación con tamaños y distribución de parches florales. Revista de Biología Tropical. (1) 39: 169-172.

García, G. M., L. A. Ríos O. y J. Álvarez C. 2016. La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. IDESIA. (34) 3: 53-68.

Jordano, P., Vázquez, D., y Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. En R. Medel, M. A. Aizen, y R. Zamora, Ecología y evolución de interacciones planta-animal (pp. 17-41). Editorial Universitaria.

Lara, C. 2006. Temporal dynamics of flower use by hummingbirds in a highland temperate forest in Mexico. Ecoscience. (1) 13: 23-29.

Lara, C. y J. F. Ornelas. 2001. Preferential nectar robbing of flowers with long corollas: experimental studies of two hummingbird species visiting three plant species. Oecología. 128: 263-273.

León-Camargo, D. y J. O. Rangel-Ch. 2015. Hummingbird-flower interaction in three remnants of tropical dry forest (Tdf) in the municipality of Chimichagua (Cesar, Colombia). Caldasia. (37) 1: 107-123

Maglianesi, S. M. A. y G. Jones R. 2015. Efecto del cambio climático sobre las interacciones planta-animal y sus consecuencias sobre los ecosistemas. Biocenosis. 30: 1-2.

Martínez-García, V., O. González y R. Ortiz-Pulido. 2020. Hummingbird-Plant Network in a Lowland Dry Forest in Yucatan, Mexico. Tropical Conservation Science. 13: 1-12.

Maruyama, P. K., C. Bonizário, A. Perin M., G. D'Angelo, M. Maianne S., E. N. Silva N. P. E. Oliveira, I. Sazima, M. Sazima, J. Vizentin-Bugoni, L. Dos A., A. M. Rui y O. Marçal J. 2019. Plant-hummingbird interaction networks in urban areas: Generalization and the importance of trees with specialized flowers as a nectar resource for pollinator conservation. Biological Conservation. 230: 187-194.

Ornelas, J. F. 1996. Origen y evolución de los colibríes. Instituto de Ecología. A. C. Revista de Cultura Científica.  
<https://www.revistaciencias.unam.mx/en/184-revistas/revista-ciencias-42/1731-origen-y-evoluci%C3%B3n-de-los-colibr%C3%A9s.html>

Pacheco, L. F., J. Aparicio, c. Benavides, M. Escobar, R. Galeón, E. García, F. Guerra, M. I. Gómez, D. M. Larrea-Alcázar, M. Limachi, D. Maldonado, Bruno Miranda, D. Morales, M. I. Moya, A. Rico, J. Salazar-Bravo y L. Tellería. 2015. Interacciones entre plantas y animales. Pp. 406-416. En: Moya, M.I., R. I. Meneses y J. Sarmiento (Eds.). 2015. Historia Natural de un Valle en Los Andes: La Paz. Segunda Edición. Museo Nacional de Historia Natural, La Paz, Bolivia. 801 p.

Pantoja, A., A. Smith-Pardo., A. García., A. Saénz y F. Rojas. 2014. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. Santiago, Chile. 56 pp.

Partida, L. R., P. L. Enríquez, J. L. Rangel-Salazar, C. Lara y M. Martínez I. 2012. Abundancia de colibríes y uso de flores en un bosque templado del sureste de México. *Revista de Biología Tropical* [en línea]. 60(4), 1621-1630. [fecha de Consulta: 29 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44925088018>

Prieto-Torres, D. A., L. E. Nuñez R., D. Remolina F. y M. C. Arizmedi. 2021. Most Mexican hummingbirds lose under climate and land-use change: Long-term conservation implications. *Perspective in Ecology and Conservation* 19: 487-499.

Vargas-Valverde, I., A. Campos-Alvarado, N. Niño-Rodríguez, R. Simón, Y. M. G. Piñanez E., A. Hernández-Rivera y G. Avalos. 2022. Redes de interacción colibrí-planta en un área abierta con robledales en el Cerro de La Muerte, Costa Rica. *Zeledonia*. 26: 1. 26-38.

Velasquez, T. Y. S. 2018. Comunidad de colibríes (Aves: Trochilidae) de sotobosque y el uso de sus recursos florales en época seca y época húmeda en la Estación Biológica Cocha Cashu, Parque Nacional del Manú, Madre de Dios-Perú. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Biológicas. Arequipa-Perú. 71 pp.

**CAPITULO I**  
**ESTADO DEL ARTE: INTERACCIÓN PLANTA-COLIBRÍ**

## Introducción

Las interacciones entre organismos, son la base de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas, ya que la composición y la dinámica de una comunidad es determinada por la manera en que las especies interactúan (Ramírez, 2013; Martínez-García y Ortiz-Pulido, 2014; Martínez, et al., 2020). Una de las interacciones más especializada y dominante en la región Neotropical es la interacción planta-colibrí (Farji, 1991; Lara, 2006; Abrego y Bonilla, 2014), la cual es una interacción mutualista donde los interactuantes resultan beneficiados (Amaya-Márquez, et al 2001; Lasso y Naranjo, 2003; Arizmendi y Berlanga, 2014; Cardozo, et al., 2018). Los colibríes (Familia Trochilidae) buscan obtener alimento, el cual es el néctar de las flores principalmente, y las flores buscan ser polinizadas para llevar a cabo su reproducción (Lasso y Naranjo, 2003; Cardozo, et al., 2018).

Se ha documentado que los procesos de interacción dan lugar a presiones selectivas mutuas, lo cual interviene en la coadaptación y en la coevolución, y finalmente en la coexistencia de las especies (Cardozo, et al., 2018). Es así que, muchas de las características florales han evolucionado en conjunto con las características de su polinizador, para hacer frente a un perfecto ajuste morfológico y contribuir al éxito reproductivo de las plantas (Cardozo, et al., 2018; Araújo, et al., 2011). Tal es el caso de la relación flor-colibrí, donde la longitud del pico de estas aves es de tamaño cercano o muy similar, en la mayoría de los casos, a la longitud de las flores que visitan para alimentarse, por lo tanto, se dice que existe esta adaptación morfológica (Cardozo, et al., 2018; Lara y Ornelas, 2001).

Además, las flores que son visitadas por estas aves nectarívoras, generalmente cumplen otras características, a parte de la longitud de la corola. Las características que predominan son la forma y el color, generalmente son llamativas de colores rojo-anaranjado y sin olor (Amaya-Márquez, et al., 2001). También la calidad y cantidad de néctar es un factor importante ya que producen una gran cantidad de néctar, con la finalidad de cubrir las altas demandas energéticas de los colibríes (Amaya-Márquez, et al., 2001; Araújo, et al., 2011; Dalsgaard, et al., 2009).

Se ha señalado que estas características corresponden al síndrome de ornitofilia específicamente, es decir, que por los rasgos florales es posible identificar cuáles son las plantas polinizadas por los colibríes y que están relacionados con atraer al polinizador más eficiente (Amaya-Márquez, et al., 2001; Cárdenas, 2015).

La polinización es uno de los servicios ecológicos esenciales dentro de los ecosistemas (Córdova y Fajardo, 2018) y se estima que los colibríes participan en este proceso polinizando alrededor del 15% de las angiospermas en la región neotropical (Arizmendi y Berlanga, 2014; Buzato, et al., 2000; Lara, 2006; León-Camargo y Rangel-Ch. 2015; Velasquez, 2018). Es así como, estos organismos nectarívoros representan un vector muy importante como polinizadores, sobre todo en aquellos lugares donde muchas plantas dependen exclusivamente de la polinización cruzada y del transporte de polen por estas aves (Araújo, et al., 2013).

Aproximadamente del 50 al 80 % de plantas angiospermas tropicales son auto incompatibles, por lo tanto, requieren de visitantes florales eficientes que obligatoriamente transporten el polen proveniente de otras flores para efectuar su fecundación (Reyna, 2005). De manera que, la eficiencia del polinizador dependerá de la calidad de las visitas, lo cual está determinado por la cantidad de polen transportado y la frecuencia de visitas (Cárdenas, 2015). Sin embargo, muchas plantas son visitadas por más de un tipo de polinizador y muchos polinizadores visitan variadas formas florales, por lo tanto, la deposición del polen no siempre llega a ser efectiva ni los polinizadores legítimos o eficientes (Aguilar, 2013; Lasso y Naranjo, 2003).

Los trochilidos, por su alto metabolismo, tienen una alta demanda del consumo de azúcar, por lo tanto, son muy dependientes a visitar muchas flores al día (entre 1000 y 2000 flores) (Partida, 2011; Araújo, et al., 2013; Chávez-González et al., 2019; Martínez-Meneses y Torres-González, 2020). Esta dependencia, implica que los colibríes podrían encontrarse restringidos a ciertas áreas de floración, además de presentar variación temporal a causa de la fenología de las flores a lo largo del año. De modo que, se ha documentado que la variación espacio-temporal de la

abundancia de las especies de colibríes puede estar influenciada por la floración de las plantas (Arizmendi y Ornelas, 1990; Partida, 2011).

Sin embargo, la variación del recurso alimenticio no es el único factor por el cual existe variación en la estructura de las comunidades de colibríes a lo largo del año. Se habla también de condiciones ambientales, estructura del hábitat, las relaciones intra e interespecíficas de las mismas aves (por ejemplo, en la repartición del recurso o los comportamientos territoriales), factores altitudinales, espaciales o temporales, entre otros (Abrahamczyk y Kessler, 2010; Arizmendi, et al., 2008; Dalsgaard, et al., 2009; Partida, 2011). Por lo tanto, para hacer frente a los factores cambiantes del ambiente, los organismos pueden modificar sus estrategias de forrajeo, por ejemplo, cambios en sus dietas, en las estrategias de la búsqueda de alimento, en la distribución espacial, entre otros (Reyna, 2005; Samboní, 2010).

Es debido a lo anterior, que la interacción planta-colibrí es probablemente la interacción mutualista más estudiada, en distintos ambientes, ecosistemas, altitudes, en diferentes escalas espaciales y temporales, etc., con la intención de encontrar patrones en su comportamiento, para tratar de entender la compleja relación entre su abundancia con los factores de su entorno (Abrahamczyk y Kessler, 2010; Cortes, 2018; Velasquez, 2018).

La interacción planta-colibrí ha sido ampliamente estudiada en diversas regiones del continente americano, así como en distintos ecosistemas (Araújo, et al., 2013). Además, se han enfocado en aspectos tanto descriptivos, como lo es desde la perspectiva simple del síndrome de ornitofilia, como aspectos ecológicos y evolutivos (Amaya-Márquez, et al., 2001; Velasquez, 2018). Se ha documentado que las especies de colibríes habitan variados y distintos tipos de hábitats, desde selvas húmedas y secas, hasta bosques templados (Abrego y Bonilla, 2014; Arizmendi y Rodríguez-Flores, 2012; Velasquez, 2018). Sin embargo, la mayoría de los estudios se han enfocado en ambientes húmedos, en ecosistemas de bosques y selvas tropicales principalmente (Arizmendi y Ornelas, 1990; Lara, 2006; Medina y Parra-Tabla, 2017), siendo más escasa la información de las comunidades de colibríes en los ecosistemas áridos y costeros (Arizmendi y Ornelas, 1990; Martínez-

García, 2006; Medina y Parra-Tabla, 2017), así como en los hábitats urbanos (Vitorino, et al., 2021). Geográficamente, la distribución de los colibríes abarca desde Alaska hasta la Patagonia en Argentina, siendo la línea ecuatorial, la zona con una mayor diversidad y abundancia de especies (Arredondo-Amezcuca, et al., 2018) En cuanto a distribución altitudinal se encuentran desde el nivel del mar (Toledo, 1975) hasta altitudes máximas que van 4000 y 5200 m.s.n.m. (Arredondo-Amezcuca, et al., 2018).

Esta revisión tiene como objetivo analizar y sintetizar la información acumulada en la literatura científica que presenta evidencia acerca de la interacción entre los colibríes y las plantas que utilizan como recurso alimenticio. Se consideraron todos aquellos trabajos que han realizado estudios sobre la comunidad de colibríes en relación con los recursos florales. Se revisaron estudios que evaluaron la estructura de redes de interacción de colibríes y flores visitadas, así como otros patrones como evaluar si existe relación entre la abundancia de colibríes con la abundancia de recurso floral disponible. También, se tomaron en cuenta aquellos estudios que analizaron el comportamiento de estas aves en sus visitas a las flores, determinando si se comportan como polinizadores o robadores de néctar. Además, se determinó en que ambientes y temporadas estacionales han sido estudiada con mayor frecuencia la interacción planta-colibrí.

## **Métodos**

Se llevó a cabo una búsqueda de información en los buscadores ScienceDirect, Google Scholar y BioOne. Se utilizaron palabras clave como “interacción planta-colibrí, robadores de néctar, colibríes eficientes, colibríes legítimos”. No se estableció un rango de años ni de lugares. Los estudios se revisaron y se clasificaron en 1) Colibríes y su relación con el recurso floral; 2) Relación planta-colibrí mediante redes de interacción; 3) Colibríes y recurso floral, la eficiencia desde una perspectiva morfológica; 4) Colibríes y la extracción de néctar; 5) Robo de néctar en la interacción planta-colibrí.

## Colibríes y su relación con el recurso floral

La información que existe sobre la relación entre el recurso floral alimenticio y la abundancia de colibríes, es abundante, y muchos trabajos han evaluado esto en diferentes ecosistemas con distintas variables. No obstante, debido a que la composición de colibríes cambia por muchos factores, en cuanto al recurso floral, la comunidad de colibríes se ha visto influenciada por el tipo de alimento y/o por la abundancia del alimento (Abrahamczyk y Kessler, 2010). Los estudios que han evaluado esta relación, han encontrado relaciones significativas y positivas ya sea entre la abundancia o diversidad de flores y la abundancia de colibríes (Abrahamczyk y Kessler, 2010; Abrahamczyk y Kessler, 2014; Jiménez, et al., 2012; Malizia, 2001; Medina-Van, et al., 2016; Partida, et al., 2012).

Una hipótesis que ha sido estudiada es que, a mayor número de flores, un mayor número de visitas a la planta, dada la producción masiva de flores, ya que esto las hace más vistosas a kilómetros de distancia, como una estrategia para atraer un mayor número de colibríes (Nieto y Silva, 2012). Como ejemplo, Nieto y Silva (2012) en Ecuador, y Medina y Parra-Tabla (2017) en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, estudiaron la respuesta del ensamble de colibríes a la disponibilidad de los recursos florales. Se encontró de manera general, que la abundancia de flores tiene destacada influencia en la presencia y estrategia de alimentación de los colibríes, ya que la tendencia indica que, a mayor número de flores, mayor es la abundancia de colibríes.

En otros estudios la relación del recurso floral disponible y la abundancia de trochilidos fue más específica solo para ciertas especies de colibríes. Partida (2011) en la Reserva Ecológica de Huitepec en Chiapas, registró una correlación positiva entre la abundancia relativa de *E. fulgens* y la fenología de floración de *P. membranacea*, también entre los colibríes *H. leucotis* y *L. amethystinus* con la planta *S. cinnabarina*. Incluso estos patrones en la abundancia de ciertas especies de flores han jugado un papel importante en las migraciones de especies de colibríes, como es el caso de *Nicotiana attenuata* (Aigner y Scoot, 2002), *Leonotis nepetifolia* (Gómez-Sánchez, 2016), *S. iodantha* y *C. thyrsoideum* las cuales reflejaron relación

positiva y significativa con la abundancia de algunos colibríes migratorios (López-Segoviano, et al., 2021).

Un aspecto importante a considerar en la variación del recurso floral, son las escalas tanto temporales, como espaciales y altitudinales. Algunos trabajos que evaluaron estas variables, han encontrado variación entre número de registros de colibríes y la abundancia y composición de flores en diferentes escalas, así como también en la intensidad de floración de las plantas que utilizan (Lara, 2006; Partida, et al., 2012). A diferentes niveles de un bosque, el uso de flores por parte de los colibríes resultó predominante en niveles del medio y en los niveles altos. Además de que, se sugiere una repartición del recurso, puesto que, los trochilidos de tamaño grande se observaron durante la época de lluvias, contrario a los colibríes de tallas pequeñas y medianas que se registraron usando el recurso floral en la época de secas y principio de la época de lluvias (Arizmendi y Ornelas 1990). Para escalas espaciales resultó una relación significativa entre el recurso floral disponible y la composición de colibríes, solo para escalas pequeñas, (Ortiz-Pulido y Vargas-Licona, 2008).

Otros estudios se enfocaron en evaluar la influencia de tamaños de parches de la disponibilidad de recursos florales, así como variables de precipitación y el tipo de vegetación sobre la composición de especies de colibríes. Se encontró que la composición de especies de estas aves, se vio afectada por el tipo de hábitat, así como los recursos florales disponibles, pero no con la estacionalidad (Rodrigues y Rodrigues, 2015). En algunos casos, resultó una relación positiva entre la composición de colibríes y el tamaño de parches (Cardoso y Sazima, 2003; Jiménez, et al., 2012) de manera que parches pequeños y aislados reciben pocas visitas de colibrís (Farji, 1991).

Así mismo, esto ha funcionado también para evaluar la variación espacio-temporal de los recursos en relación con la reproducción y muda de colibríes. Por ejemplo, Gómez-Sánchez (2016), en un área natural protegida urbana, Gutiérrez-Zamora, (2005) en el Bosque de Torca, de Colombia, Gutiérrez-Zamora, et al. (2004) en el Santuario de flora y Fauna Galeras, en Colombia, Stiles (1980) en la Finca La

Selva, en Costa Rica, Stiles (1985) en el Parque Nacional Braulio Carillo, en costa Rica, Waser (1976) en las Montañas Rocallosas, en E.U.A. y Toloza-Moreno et al. (2014), en un parque natural de Colombia. A pesar de ser lugares distintos, la tendencia general fue que la oferta de recompensa floral alimenticia, ya sea de especies específicas de plantas o el total de flores de un sitio, se relaciona positivamente con las épocas de reproducción o muda de las especies de colibríes, incluso con especies migratorias, tal es el caso de estudio de Gómez-Sánchez (2016).

### **Relación planta-colibrí mediante redes de interacción**

Recientemente, las interacciones entre plantas y colibríes se han representado mediante el uso de redes de interacción las cuales permiten entender mejor la estructura de las comunidades, así como fenómenos evolutivos y patrones ecológicos relacionados con el mantenimiento de las especies y sus interacciones (Cardozo, et al., 2018; Vázquez, 2019; Vitorino, et al., 2021). Estas redes están formadas por nodos y líneas, siendo las especies de plantas y animales los nodos, y las interacciones corresponden a las líneas, con lo que se representa e interpreta las relaciones e intensidad de la interacción (Córdova y Fajardo, 2018). Mediante las conexiones de los nodos es posible identificar y clasificar a las especies como generalistas o especialistas, incluso como especies clave a aquellas que presentan muchas conexiones (Andrade, 2016; Córdova y Fajardo, 2018; Ramírez, 2013).

Este mismo análisis de redes permite explorar las simulaciones, mediante la remoción de especies para predecir las consecuencias de la pérdida de una especie en una comunidad (Ramírez, 2013). Estas predicciones han resultado muy útiles en estudios de ecosistemas fragmentados o con disturbios antropogénicos, donde se ha podido comparar las redes en sitios conservados y modificados (Maruyama, et al., 2019; Vázquez, 2019). Por ejemplo, al evaluar el impacto antrópico en las redes de interacciones planta-colibrí, se mostró que en sitios conservados es menos resistente a la pérdida de especies en comparación a la red de sitios modificados (Vázquez, 2019). De igual manera, se notó que la remoción de especies exóticas

(Vitorino, et al., 2021) y las interacciones legítimas realizadas como robo de néctar (González y Loiselle, 2016) no tienen un efecto significativo al ser quitadas de la red. Caso contrario con las plantas nativas que mostraron ser especies importantes para mantener la estabilidad del sistema (Vitorino, et al., 2021).

Otros análisis que se han realizado por este medio para la comunidad de colibríes, son traslape de dieta (Hazlehurst, et al., 2021), análisis de especialización, para conocer en que variable (origen biogeográfico, comportamiento migratorio, o morfología) era mayor el nivel de especialización en la red de interacción planta-colibrí. Además, se ha evaluado con análisis de asociación, donde la estructura de las redes mostró una fuerte asociación ya sea con la riqueza de especies u otros factores ambientales (Martín, et al., 2015; Martínez-García, et al., 2020; Medina y Parra-Tabla, 2017; Sonne, et al., 2020). Por otro lado, en algunos estudios, la identificación de especies clave ha sido posible mediante las redes mutualistas, logrando así dirigir el enfoque hacia la conservación de estas especies ya que proporcionan equilibrio y dinámica al sistema (Córdova y Fajardo, 2018; Martínez-García y Ortíz-Pulido, 2014; Ramírez, 2013).

### **Colibríes y recurso floral, la eficiencia desde una perspectiva morfológica**

De acuerdo a la literatura, especies de colibríes se fueron especializando al grado de que, en algunos casos, existen flores que podrían estar adaptadas morfológicamente a ser polinizadas por una especie de colibrí, que a su vez podría ser dependiente al néctar de tal especie de planta (Abrahamczyk y Kessler, 2014; Reyna, 2005). Esto podría implicar que las especies involucradas se vuelvan vulnerables por su alta dependencia mutua, es decir, la supervivencia de una es la supervivencia de la otra (Stiles, 1981).

Siendo así, que los diferentes rasgos asociados a la morfología de las flores y de las aves que los visitan, es decir, el ajuste morfológico de los picos de estas aves y la longitud de las corolas de las flores podrían jugar un papel importante en la selección del recurso o incluso en la forma del forrajeo (Betancourt, 2009;

Quilarque-Quijada, et al., 2019). Además, de que esta relación podría estar contribuyendo al éxito reproductivo de las plantas, mediante la transferencia efectiva del polen (Betancourt, 2009; León-Camargo y Rangel-Ch., 2015; Samboní, 2010).

Esta relación ha sido bien estudiada desde análisis morfológicos hasta dinámicas anuales demostrando la importancia de esta especialización y poco estudiada desde una perspectiva de la eficiencia de la polinización (Gutiérrez, et al., 2005; Martínez-Meneses y Torres-González, 2020; Rodríguez-Flores y Stiles, 2005).

En algunos estudios se ha evaluado la eficiencia de los colibríes como los principales vectores de polen para varias especies de plantas. Como es el caso de la mayoría de las especies del género *Columnea*, que presentan una fuerte dependencia por una o dos especies de colibríes ermitaños al ser vectores eficientes de polen por su ajuste morfológico (Marín, 2014; Rodríguez-Flores y Stiles, 2005; Rosero y Sazima, 2004; Toledo, 1975).

En Venezuela, Betancourt (2009), en el Parque Nacional Sierra Nevada, estudió a *Palicourea demissa* y Lugo (2016) a *Echeveria bicolor*. Encontraron que las aves de pico corto constituyeron los polinizadores más efectivos, debido a su alta tasa de visitas, la deposición de polen y un alto porcentaje de producción de frutos, además de su ajuste a la morfología floral. De igual manera León-Camargo y Rangel-Ch. (2015) en Colombia, reporta buen ajuste morfológico entre la mayoría de las visitas a flores ornitófilas por parte de los trochilidos.

En México, Morales, et al., (2012), en el Parque Nacional La Malinche, estudiaron a *Bouvardia ternifolia*, una planta que presenta dos morfos en cuanto a la posición de las anteras y estigma. Aquí se encontró que los colibríes de picos cortos fueron buenos vectores de polen en ambos morfos, contrario a los colibríes de picos largos con un ineficiente transporte de polen y en consecuencia una ineficaz polinización, Del mismo modo, en interacciones muy específicas, se registraron visitas legítimas, es decir, que los visitantes tocaban las estructuras reproductivas de la flor por tener un cercano ajuste morfológico. Tal es el caso de la especie *Tillandsia brachycaulos*, que presentó visitas eficientes por parte del colibrí *Amazilia yucatanensis*, en el Parque Nacional de Dzibilchaltún en Yucatán

(González, 2004), mientras que para *Salvia cinnabarina* fue por el colibrí *L. Amethystinus*, en la Reserva Ecológica Huitepec en Chiapas (Partida, 2011).

Es así como la tendencia general indica que los colibríes de pico largo visitan flores mayormente con corolas amplias, mientras que los colibríes visitan regularmente flores de corolas cortas o pequeñas. De igual manera, se ha reportado en varios trabajos que la longitud del pico de los colibríes está correlacionada positiva y significativamente con la longitud de la corola de las flores que visitan con mayor frecuencia (Araújo, et al., 2013; Arizmendi y Ornelas, 1990; Cardozo, et al., 2018; Temeles, et al., 2002; Walther y Brieschke, 2001).

Por otro lado, otros rasgos morfológicos han causado cierto debate entre los científicos, respecto a si la relación planta-colibrí cumple los supuestos establecidos en el tradicional síndrome de ornitofilia (Dalsgaard, et al., 2009; Medina y Parra-Tabla, 2017). Todo parece indicar que aún no se ha podido establecer un patrón definitivo, debido a los resultados obtenidos en los últimos años.

En estudios realizados para evaluar el color de las flores como un atrayente de los polinizadores, la evidencia señala que, aunque los colibríes no tienen preferencias exclusivas por los colores, podrían aprender a relacionar el color rojo con la calidad de la recompensa floral (Velasquez, 2018). Adicionalmente, muchos de los trabajos que han evaluado este rasgo floral, encontraron distintos porcentajes de visitas de colibríes a flores de otras coloraciones además del rojo. Los colores visitados que se reportan son amarillo, anaranjado, lila, morado, rosa, blanco, entre otros (Abrego y Bonilla, 2014; Aigner y Scoot, 2022; Araújo, et al., 2013; Dalsgaard, et al., 2009; León-Camargo y Rangel-Ch., 2015; Partida, 2011; Ramírez-Burbano et al., 2007; Reyna, 2005; Weinstein y Graham, 2017). Algo interesante aquí, es que a pesar de que se visitaron flores con otros colores, el rojo siempre resultó ser el color más visitado.

Mas específicamente se han evaluado visitas de colibríes a flores de otros síndromes de polinización, donde se descubrió que además del síndrome de ornitofilia, estas aves también visitan otros síndromes florales. Tal es el caso de la planta *Nicotiana attenuata* que son polinizadas principalmente por esfíngidos como

las polillas (Aigner y Scoot, 2002). Así mismo, hubo registro de otras plantas polinizadas principalmente por abejas y otros insectos en general que también registraron visitas de colibríes (Araújo, et al., 2013; Cardoso y Sazima, 2003; Dalsgaard, et al., 2009; Hazlehurst, et al., 2021; Maruyama, et al., 2013; Rodríguez y Araujo, 2011).

Respecto a lo anterior, Aigner y Scoot (2002) sugieren dos hipótesis, la primera es que las plantas podrían haber desarrollado síndromes florales de polinización mixtos. Esto, como una respuesta para asegurar el máximo beneficio reproductivo, al ser proporcionado por varios taxones de polinizadores. La segunda hipótesis señala que los visitantes que no corresponden al síndrome floral son polinizadores ineficaces y no son importantes en la evolución de los rasgos florales. Sin embargo, esto podría requerir de una evaluación más detallada en la efectividad de los visitantes florales desde el aspecto generalización-especialización.

Otro enfoque que se le da a este comportamiento es que los recursos florales frecuentemente son utilizados de manera oportunista por estas aves, como una manera de suplir o complementar sus requerimientos energéticos, a causa de una baja disponibilidad o ausencia de flores ornitófilas (Araujo, et al., 2013; Arizmendi y Ornelas, 1990). No obstante, cabe la posibilidad de que, al utilizar recursos florales oportunamente, cambien las estrategias de forrajeo al obtener el néctar. Es decir, aquellas aves que no se ajustan a los tamaños de las corolas, podrían acceder al néctar por la base de las corolas (Walther y Brieschke, 2001).

### **Colibríes y la extracción de néctar**

Aunque los colibríes incluyen en sus dietas artrópodos para nutrirse, el néctar de las flores es el recurso alimenticio del que dependen casi en su totalidad por su alto metabolismo (Hazlehurst, et al., 2021; Velasquez, 2018). Un alto volumen de néctar en las flores ornitófilas es un rasgo necesario en la atracción de sus polinizadores (Abrahamczyk y Kessler, 2014). Siendo así que, algunos estudios han reportado una correlación positiva y significativa en el tamaño de las corolas y la

cantidad de volumen producido (Araújo, et al., 2013; Arizmendi y Ornelas, 1990; Rodríguez-Flores y Stiles, 2005).

El néctar floral, se compone de tres azúcares dominantes, principalmente (sacarosa, glucosa y fructuosa) y en menor cantidad aminoácidos, lípidos y polisacáridos (Abrahamczyk y Kessler, 2014; Martínez-Meneses y Torres-González, 2020). Sin embargo, la cantidad y calidad del néctar producido en las flores, han mostrado variación entre las especies e incluso a nivel individual de flor. Esta variación es atribuida a factores como la exposición solar, hora del día, temperatura, tiempo ambiental o la edad de la flor, entre otros (Hernández, 2022; Partida, 2011). De manera que, esto podría incidir en los cambios de comportamiento de los colibríes, debido a su dependencia. De este modo, estas aves han sido un objeto de estudio ideal para las investigaciones en la elección del néctar (Cardozo, et al., 2018).

Un estudio indagó experimentalmente la preferencia de los trochilidos hacia distintas concentraciones y tipos de azúcares, además de la preferencia del color mediante observaciones en campo (Stiles, 1976). Encontró una mayor preferencia hacia la concentración de azúcar en primer lugar, en seguida la composición de azúcares y en tercer lugar el color, siendo éste el factor de menor importancia en la elección del recurso. En cuanto a la composición, la sacarosa fue el componente con mayor preferencia sobre la glucosa y la fructuosa (éste último con un fuerte rechazo por parte de las aves), aunque la mezcla de partes iguales de los tres azúcares también mostró una alta elección.

En otros estudios, evaluaron las visitas de colibríes a distintas concentraciones de azúcar en bebederos artificiales (Cortes, 2018; Hernández, 2022), encontrando que la concentración más alta, presentó mayor número de visitas. En cuanto al volumen de néctar, se ha encontrado que las flores con mayores volúmenes, presentan la mayor frecuencia de visitas (Partida, 2011; Martínez-Meneses y Torres-González, 2020) y en algunos casos, una correlación positiva y significativa, además de que, el número de visitas y los volúmenes de néctar tienden a disminuir casi de forma paralela al transcurrir el tiempo (Lugo, 2016).

Contrario a la relación entre la concentración de azúcar y/o la energía contenida en el néctar y las visitas de los colibríes no se ha encontrado una relación significativa (Ortiz-Pulido y Lara, 2011; Velasquez, 2018).

De acuerdo con lo anterior, parece ser que un alto volumen de néctar y alto porcentaje en sacarosa, es una característica importante en la adaptación de la interacción planta-colibrí. Adicionalmente, la longitud de los picos parece indicar una separación de la selección de flores entre el ensamble de colibríes (Cardozo, et al., 2018).

### **Robo de néctar en la interacción planta-colibrí**

Existe otro tipo de visitantes florales que pueden interferir con la interacción planta-colibrí. Se trata de los robadores de néctar (Lasso y Naranjo, 2003). Los ladrones de néctar son aquellos organismos que obtienen la recompensa floral (en este caso el néctar) perforando los tejidos vegetativos de la corola sin tener contacto con las estructuras reproductivas (anteras y estigma) (Navarro, 1999). De acuerdo con algunos trabajos de investigación, se presume que este suceso es común en plantas con flores de corolas tubulares largas y puede afectar el éxito reproductivo de las plantas (Gelvez-Zúñiga, *et al.*, 2016; Lara y Ornelas, 2001; Maruyama, et al., 2015).

Existen dos tipos de robadores de néctar, los primarios y los secundarios. Los robadores primarios llevan a cabo la acción de perforar la pared de la corola para extraer el néctar. Por su parte, los robadores secundarios son individuos oportunistas, es decir, no perforan la corola, pero utilizan las perforaciones previamente echas para acceder igualmente a la recompensa. Se ha reconocido que la morfología del pico es semejante a la morfología de la flor que visita, por lo tanto, los visitantes florales que no se adaptan a estas morfologías son quienes obtienen néctar perforando los tejidos vegetativos (Walther y Brieschke, 2001). De manera que los colibríes que no logran el alcance del néctar, suelen obtenerlo

haciendo una perforación en la base del tubo de la corola o usando un agujero previamente hecho por un robador primario (Lara y Ornelas, 2001).

Desde los tiempos de Darwin, el robo de néctar en las flores ha sido mencionado, sin embargo, ha sido muy poco estudiado desde una perspectiva ecológica y evolutiva (Lugo, 2016). Sobre el daño que las plantas pudieran adquirir a causa de la perforación de los tejidos florales y los efectos en el éxito reproductivo de la flor, aún es desconocido y podría variar de una especie a otra, por lo que no hay un patrón bien definido (Tompkins, 2007). Sin embargo, se ha reconocido que los efectos a las plantas podrían ser negativos (daño a los tejidos reproductivos, costo energético o pérdida de la atracción de polinizadores), positivos (al obligar a los visitantes a recorrer más distancia el polen transferido resulta más efectivo y por ende una tasa de cruzamiento y de producción de semillas alta) o neutros (no hay ningún daño ni positivo ni negativo) (Lasso y Naranjo, 2003; Navarro, 1999; Tompkins, 2007). En el trópico varios estudios han evaluado esto, y lo que se sabe es que hay colibríes de pico corto, que llegan a presentar este comportamiento (Navarro, 2001; Rojas-Nossa, 2007).

Tompkins (2007) estudió la comunidad de ladrones de néctar en un bosque de niebla en la Reserva de Yanacocha, Ecuador, determinó cuales fueron los organismos que efectuaron robo, así como el porcentaje de néctar robado mediante el conteo de flores perforadas. Descubrió tres especies de colibríes, (*Metallura tyrianthina*, *Coeligena lutetiae*, y *Eriocnemis luciani*), las cuales actuaron como ladrones secundarios de cinco especies de plantas. A pesar del porcentaje de robo en las flores (19-72 %), no se presentó daño en las estructuras reproductivas, pero la corola y el cáliz mostraron tejido dañado. Caso contrario en la especie *Ipomoea hederifolia*, donde se reporta que el robo de néctar afectó la producción de semillas (Lara y Ornelas, 2001).

Por otro lado, Abrego y Bonilla (2014), en su estudio realizado en un área protegida (Trinacional Montecristo, en El Salvador), registraron al colibrí *Saucerottia beryllina* realizando una visita ilegítima por no tener contacto con las estructuras reproductivas, si no que más bien, obtuvo el néctar perforando la base de la corola

de la flor *Sanchezia speciosa*. Al igual que otros autores han identificado especies de colibríes comportándose como robadores (Walther y Brieschke, 2001; Weinstein y Graham, 2017; Marín, 2014; Lasso y Naranjo, 2003; Maruyama, et al., 2015). Tal es el caso de *Aglaiocercus coelestis* que robo néctar de las flores de *Columnnea filifera* y de *Columnnea ceticeps*, por su parte *Phaethornis longuemareus* robó a *Hamelia patens*, mientras que, *Phaethornis ruber* robó néctar en la planta *Canna paniculata*.

Este comportamiento de robo primario, además de los efectos en la planta, permite que el robo secundario aumente, lo cual podría incidir en la competencia de los polinizadores legítimos (Tompkins, 2007). Sin embargo, es necesario más estudios a largo plazo enfocados al éxito reproductivo de las flores, así como a los efectos en las competencias inter e intraespecíficas en el ensamble de colibríes. De manera, que con esa información se logre definir con claridad los patrones y efectos que inciden en ese comportamiento en la interacción planta-colibrí.

## **Conclusiones**

La mayoría de los estudios han sido realizados en ecosistemas templados, tropicales, secos y costeros. Mientras que en sistemas urbanos existen pocos estudios que indagan acerca de la comunidad de colibríes y su relación con los recursos florales, así como de su comportamiento en el forrajeo. Además, los estudios en el análisis de redes de interacción planta-colibrí toman en cuenta solo las visitas a las flores, y el análisis que utilizan es un análisis cualitativo. De manera que, información de redes con datos de carga polínica deben ser más estudiados, ya que esto podría ampliar las especies de plantas que son utilizadas por los ensambles de colibríes. Así mismo, las redes con análisis cuantitativos son requeridos para la cuantificación de la cantidad de polen depositado como una medida efectiva para polinización. Otro aspecto importante en esta revisión es que la variación estacional, la mayoría de los estudios comparan la estación de lluvias con la estación de secas. Sin embargo, solo dos estudios han considerado más períodos estacionales tomando en cuenta variaciones de las temporadas lluvias,

secas cálidas, secas frías. Por lo que, más estudios considerando la variación estacional son necesarios para entender cómo los recursos son utilizados por las especies es determinante para explicar la variación de las abundancias dentro de las poblaciones.

Para la ciudad de Morelia, se han realizado algunos estudios sobre la comunidad de colibríes, sin embargo, están enfocados en estudios de diversidad (Villaseñor-Madrigal, 2021) y las fluctuaciones estacionales en riqueza y abundancia de colibríes y los patrones locales de muda con relación a la disponibilidad de flores (Gómez-Sánchez, 2016).

De acuerdo con lo anterior, y debido a que los colibríes podrían presentar una fuerte dependencia a ciertos recursos florales, se considera importante estudiar más a fondo su ecología, ya que estos aspectos podrían contribuir a explicar la distribución de las especies de colibríes. Por lo tanto, esta información de la interacción planta-colibrí nos brinda conocimiento para realizar acciones que contribuyan a su conservación en las áreas verdes urbanas.

## Literatura citada

Abrahamczyk, S. y M. Kessler. 2010. Hummingbird diversity, food niche characters, and assemblage composition along a latitudinal precipitation gradient in the Bolivian lowlands. *The Journal of Ornithology*. 151: 615-625.

Abrahamczyk, S. y M. Kessler. 2014. Morphological and behavioural adaptations to feed on nectar: how feeding ecology determines the diversity and composition of hummingbird assemblages. 2014. *Journal of Ornithology*.

Abrego G. J. E. y M. F. Bonilla. 2014. Interacciones colibrí-planta en dos tipos de hábitat (Subcaducifolio y Ripario) del Área Protegida Trinacional Montecristo, departamento de Santa Ana, El Salvador. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador. Ciudad Universitaria. 86 pp.

Aguilar, R. P. A. 2013. Biología floral y reproductiva de *Tillandsia heterophylla* y *Tillandsia macropetala* (Bromeliaceae), en el municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan, en la región central de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. 129 pp.

Aguilar, R., L. Ashworth, L. Cagnolo, M. Jausoro, M. Quesada y L. Galetto. 2009. Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas en ambientes fragmentados. *Ecología y Evolución de interacciones planta-animal*. 199-230.

Aigner A. P. y P. E. Scoot. 2002. Use and pollination of a hawkmoth plant, *nicotiana attenuata*, by migrant hummingbirds. *The Southwestern Naturalist*. (47) 1: 1-11.

Amaya-Márquez, M., F. G. Stiles y J. O. Rangel-Ch. 2001. Interacción planta-colibrí en Amacayacu (Amazonas, Colombia): una perspectiva palinológica. *Caldasia*. (1) 23: 301-322.

Andrade-L., M.L. 2018. Estudio preliminar de las plantas que usan las aves para su alimentación en tres áreas verdes de Bogotá. Tesis de licenciatura. Universidad Distrital Francisco José de Calda. Bogotá, D. C. 93 pp.

Araújo, F. P., A. A. Almeida B. y P. E. Oliveira. 2011. Floral resources and hummingbirds on an island of flooded forest in Central Brazil. *Flora*. 206: 827-835.

Araújo, F. P., M. Sazima y P. E. Oliveira. 2013. The assembly of plants used as nectar sources by hummingbirds in a Cerrado area of Central Brazil. *Plant Systematic and Evolution*. 299: 1119-1133.

Arizmendi, M. C. y H. Berlanga. 2014. Colibríes de México y Norteamérica. CONABIO. México. 160 pp.

Arizmendi, M. C. y J. F. Ornelas. 1990. Hummingbirds and their floral resources in a tropical dry forest in México. *BIOTROPICA*. (22) 2: 172-180.

Arizmendi, M. C., E. López-Saut, C. Monterrubio-Solís, L. Juárez, I. Flores-Moreno y 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. *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL*. 19: 491-500.

Arizmendi, M. C. y C. I. Rodríguez-Flores. 2012. How many plant species do hummingbirds visit? *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL*. 23: 71-75.

Arredondo-Amezcuca, L., S. Martén-Rodríguez, M. Lopezaraiza-Mikel, C. A. Gutiérrez-Chávez, E. Ramírez-Aguirre, R. Sáyago-Lorenzana, M. Coro-Arizmendi, y M. Quesada. 2018. Hummingbirds in high alpine habitats of the tropical Mexican mountains: new elevational records and ecological considerations. *Avian Conservation and Ecology* (13) 1:14.

- Betancourt, R. Z. 2009. Colibríes como vectores de polen en *Palicourea demissa* (Rubiaceae), una planta diestílica de la selva nublada tropical andina. Tesis de Licenciatura. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 62 pp.
- Buzato, S., M. Sazima e I. Sazima. 2000. Hummingbird-Pollinated Floras at Three Atlantic Forest Sites. *BIOTROPICA*. 32: 824-841.
- Cárdenas, C. F. S. (2015). Ecología de polinización de *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (Proteaceae) en un matorral montano del sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 41 pp.
- Cardoso, A. A. y M. Sazima. 2003. The assemblage of flowers visited by hummingbirds in the “capões” of Southern Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Flora*. 198: 427-435.
- Cardozo, P. J. S., D. Fajardo M., S. J. Torres V., M. P. Sepúlveda N. 2018. Análisis de la Interacción planta-colibrí en la reserva Mirador Recreo: una perspectiva coevolutiva. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 30: 114-120.
- Chávez-González, E., W. Dáttilo y R. Ortiz-Pulido. 2019. Las relaciones entre colibríes y plantas desde un enfoque mexicanísimo. *CONABIO. Biodiversitas. Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. 144: 2-5.
- Córdova, A. M. C. y P. C. Fajardo A. 2018. Efectos de la disponibilidad de *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (Proteaceae) en las redes de interacción de polinización de colibríes en matorrales montano andinos al sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 53 pp.
- Cortes, C. J. S. 2018. Cambios en la interacción planta – colibrí con la presencia de bebederos artificiales: caso de estudio “Finca el Colibrí Gorriazul” (Fusagasugá). Tesis de. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 45 pp.
- Dalsgaard, Bo., A. M. Martín G., J. M. Olesen, J. Ollerton, A. Timmermann, L. H. Andersen y A. G. Tossas. 2009. Plant–hummingbird interactions in the West Indies: floralspecialisation gradients associated with environment and hummingbird size. *Oecologia*. 159: 757-766.
- Farji, B. A. G. 1991. Forrajeo del colibrí *Selasphorus flammula* en relación con tamaños y distribución de parches florales. *Revista de Biología Tropical*. (1) 39: 169-172.
- Gelvez-Zúñiga, I., A. Aguirre, S. Martén-Rodríguez, V. Matos-Gomes, A. Barbosa, L. Bordignon, R. Rocha y G. W. Fernandes. 2016. Nectar robbing in *Collaea cipoensis* (Fabaceae), an endemic shrub of the Brazilian rupestrian grasslands. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. (87) 4: 1352-1355.
- Gómez-Sánchez, A. 2016. Fluctuaciones estacionales en la riqueza, abundancia y patrones de muda de colibríes (Aves: Trochilidae) y su relación con la disponibilidad de flores en un área natural protegida urbana sujeta a restauración ecológica. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 66 pp.
- González, C. J. U. 2004. Biología de la reproducción y variación isoenzimática en *Tillandsia elongata* Kunth var. *subimbricata* (Baker) L. B. Sm. y *Tillandsia brachycaulos* Schltdl. (Bromeliaceae), en el Parque Nacional de Dzibilchaltún, Yucatán, México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida, México. 104 pp.
- González, O. y B. A. Loiselle. 2016. Species interactions in an Andean bird–flowering plant network: phenology is more important than abundance or morphology. *PeerJ*. 2789.

Gutiérrez-Zamora, A. 2005. Ecología de la interacción entre colibríes (Aves: Trochilidae) y plantas que polinizan en el bosque altoandino de torca. Tesis de Maestría. Universidad de Nariño. Colombia. 47 pp.

Gutiérrez, Z.A., S. V. Rojas-Nossa y F. G. Stiles. 2004. Dinámica anual de la interacción colibrí-flor en ecosistemas altoandinos. ORNITOLOGIA NEOTROPICAL. 15: 205-213.

Hazlehurst, J. A., D. T. Rankin, C. J. Clark, Q. S. McFrederick y E. E. Wilson-Rankin. 2021. Macroecological patterns of resource use in resident and migratory hummingbirds. Basic and Applied Ecology. 51: 71-82.

Hernández, B. Y. G. 2022. Producción de néctar en flores visitadas por colibríes en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Research Journal. (14) e3875.

Jiménez, L., S. Negrete-Yankelevich y R. Macías-Ordóñez. 2012. Spatial association between floral resources and hummingbird activity in a Mexican tropical montane cloud forest. Journal of Tropical Ecology. 28: 497-506.

Lara, C. y J. F. Ornelas. 2001. Preferential nectar robbing of flowers with long corollas: experimental studies of two hummingbird species visiting three plant species. Oecologia. 128: 263-273

Lara, C. 2006. Temporal dynamics of flower use by hummingbirds in a highland temperate forest in Mexico. Ecoscience. (1) 13: 23-29.

Lasso, E. y M. E. Naranjo. 2003. Effect of pollinators and néctar robbers on nectar production and pollen deposition in *Hamelia patens* (Rubiaceae). BIOTROPICA. (1) 35: 57-66.

León-Camargo, D. y J. O. Rangel-Ch. 2015. Hummingbird-flower interaction in three remnants of tropical dry forest (Tdf) in the municipality of Chimichagua (Cesar, Colombia). Caldasia. (1) 37: 107-123.

López-Segoviano, G., M. Arenas-Navarro, E. Villa-Galaviz, S. Díaz-Infante y M. C. Arizmendi. 2021. Hummingbird-plant interactions along an altitudinal gradient in northwestern Mexico. Acta Oecologica. 112: 103762.

Lugo, Libardo. 2016. Polinización y robo de néctar de *Echeveria bicolor* (Kunth) E. Walther (Crassulaceae) en los páramos de Mérida, Venezuela. Tesis de Licenciatura. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 41 pp.

Malizia, R. L. 2001. Seasonal fluctuations of birds, fruits and flowers in a subtropical forest of Argentina. The Condor. The Cooper Ornithological Society. 103: 45-61.

Marín, G. O. H. 2014. Ecología de la polinización y mecanismos de coexistencia del ensamble de *Columnea* (Gesneriaceae) en la Reserva Natural Nambí, Nariño-Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 117 pp.

Martín, A. M. G., B. Dalsgaard, D. Nogués-Bravo, C. H. Graham, M. Schleuning, P. K. Maruyama S. Abrahamczyk, R. Alarcón, A. C. Araujo, F. P. Araújo, S. Mendes A. J., A. C. Baquero, P. A. Cotton, T. Toftemark I., G. Kohler, C. Lara, F. M. G. Las-Casas, A. O. Machado, C. Graco M., M. A. Maglianesi, J. A. McGuire, A. Cerqueira M., G. M. Oliveira, P. E. Oliveira, J. F. Ornelas, L. Cruz R., L. Rosero-Lasprilla, A. M. Rui, M. Sazima, A. Timmermann, I. Galarda V., J. Vizentin-Bugoni, Z. Wang, S. Watts, C. Rahbek y N. D. Martinez. 2015. The macroecology of phylogenetically structured hummingbird-plant networks. Global Ecology and Biogeography. 24: 1212-1224.

- Martínez-García, V. 2006. Interacciones colibri-flor en tres tipos de vegetación de la Reserva de la Biosfera Barrancas de Metzititlán, Hidalgo, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Hidalgo, México. 61 pp.
- Martínez-García, V., O. González y R. Ortiz-Pulido. 2020. Hummingbird-Plant Network in a Lowland Dry Forest in Yucatan, Mexico. *Tropical Conservation Science*. 13: 1-12.
- Martínez-García, V. y R. Ortiz-Pulido, 2014. Redes mutualistas colibrí-planta: comparación en dos escalas espaciales. *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL*. 25: 273-289.
- Martínez-Meneses, A. L. y A. M. Torres-González. 2020. Polinización efectiva de flores ornitófilas en un bosque de niebla de Colombia. *Ciencia en Desarrollo*. (11) 2: 53-63.
- Maruyama, P. K., C. Bonizário, A. Perin M., G. D'Angelo, M. Maianne S., E. N. Silva N. P. E. Oliveira, I. Sazima, M. Sazima, J. Vizentin-Bugoni, L. Dos A., A. M. Rui y O. Marçal J. 2019. Plant-hummingbird interaction networks in urban areas: Generalization and the importance of trees with specialized flowers as a nectar resource for pollinator conservation. *Biological Conservation*. 230: 187-194.
- Maruyama, P. K., G. M. Oliveira, C. Ferreira, B. Dalsgaard y P. E. Oliveira. 2013. Pollination syndromes ignored: importance of non-ornithophilous flowers to Neotropical savanna hummingbirds. *Naturwissenschaften*. 100: 1061-1068.
- Maruyama, P. K., J. Vizentin-Bugoni, B. Dalsgaard, I. Sazima y M. Sazima. 2015. Nectar robbery by a hermit hummingbird: association to floral phenotype and its influence on flowers and network structure. *Oecología*. 178: 783-793.
- Medina, P. y V. Parra-Tabla. 2017. Interacciones planta-colibrí en la duna costera. *Ecología funcional de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos*. SIIES-UADY-UNAM. Pp. 249-265.
- Medina-Van, P., V. Parra-Tabla y J.L. Leirana-Alcocer. 2016. Recursos florales y colibríes durante la época seca en la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos, Yucatán, México. Huitzil, *Revista Mexicana de Ornitología*. (17) 2: 244-250.
- Morales, G. I., C. Lara y C. Castillo-Guevara. 2012. Transporte diferencial de polen por colibríes en una planta diestílica: no es lo mismo picos cortos que largos. Huitzil, *Revista Mexicana de Ornitología*. (13) 1: 74-82.
- Navarro, L. 1999. Pollination Ecology and Effect of Nectar Removal in *Macleania bullata* (Ericaceae). *Biotrópica*. (4) 31: 618-625.
- Navarro, L. 2001. Reproductive biology and effect of nectar robbing on fruit production in *Macleania bullata* (Ericaceae). *Plant Ecology* 152:59-65.
- Nieto, O. A. V. y C. F. Silva A. 2012. Influencia de la alteración de hábitat en el uso de recursos florísticos por el ensamble de colibríes en bosques altoandinos del sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 61 pp.
- Ortiz-Pulido, R. y C. Lara Rodríguez. 2011. Is energy in nectar a good predictor of hummingbird activity at landscape scale? *Italian Journal of Zoology*. (1) 79: 100-104.
- Ortiz-Pulido R. y G. Vargas-Licona. 2008. Explorando la relación entre registros de colibríes y abundancia de flores con escalamiento espacio-temporal. *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL* 19: 473-483.
- Partida, L. R. 2011. Abundancia de colibríes y el uso de flores en la Reserva Ecológica Huitepec. El colegio de la Frontera Sur. Tesis de Maestría. 83 pp.

- Partida, L. R., P. L. Enríquez, J. L. Rangel-Salazar, C. Lara y M. Martínez Ico. 2012. Abundancia de colibríes y uso de flores en un bosque templado del sureste de México. *Revista de Biología Tropical*. (60) 4: 1621-1630.
- Quilarque-Quijada, E., G. Marín-Espinoza, C. J. Velásquez y Y. Carvajal-Moreno. 2019. Palinomorfos identificados en cargas polínicas transportadas por seis especies de colibríes del noreste de Venezuela y factores anatomoflorales, biométricos y fenológicos asociados a su presencia. *The Biologist (Lima)*. (1) 17: 147-156.
- Ramírez, B. M. 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 de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 102 pp.
- Ramírez-Burbano, M. B., J. V. Sandoval-Sierra y L. G. Gómez-Bernal. 2007. Uso de recursos florales por el Zamarrillo multicolor *Eriocnemis mirabilis* (Trochilidae) en el Parque Nacional Natural Munchique, Colombia. *Ornitología Colombiana*. 5: 64-77.
- Reyna, B. O. F. 2005. Utilización de los recursos florales por colibríes en el bosque tropical caducifolio de La Barranca de Colimilla, Jalisco, México. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 101 pp.
- Rodrigues, L. C. y A. C. Araujo. 2011. The hummingbird community and their floral resources in an urban forest remnant in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. (71) 3: 611-622.
- Rodrigues, L.C., y M. Rodrigues. 2015. Floral resources and habitat affect the composition of hummingbirds at the local scale in tropical mountaintops. *Brazilian Journal of Biology*. (75) 1: 39–48.
- Rodríguez-Flores, C. I. y F. G. Stiles. 2005. Análisis ecomorfológico de una comunidad de colibríes ermitaños (Trochilidae, Phaethorninae) y sus flores en la Amazonia Colombiana. *Ornitología Colombiana*. 3: 7-27.
- Rojas-Nossa, S.V. 2007. Estrategias de extracción de néctar por pinchaflores (Aves: *Diglossa* y *Diglossopsis*) y sus efectos sobre la polinización de plantas de los altos Andes. *Ornitología Colombiana* 5:21-39.
- Rosero, L. L. y M. Sazima. 2004. Interacciones planta-colibrí en tres comunidades vegetales de la parte Suroriental del Parque Nacional Natural Chiribiquete, Colombia. *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL*. 15: 183-190.
- Samboní, G. V. 2010. Interacción colibrí-flor en un bosque fragmentado seco montano. (Reserva Natural El Charmolán), Vereda Hatotongosoy, Buesaco. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. 130 pp.
- Stiles, F. G. 1976. Taste Preferences, Color Preferences, and Flower Choice in Hummingbirds. *The Condor*. (78) 1: 10-26.
- Stiles, F. G. 1980. The annual cycle in a tropical wet forest hummingbird community. *Ibis*. 122: 322-343.
- Stiles, F. G. 1981. Geographical aspects of bird-flower coevolution, with particular reference to Central America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. (68) 2: 323-351.
- Stiles, F. G. 1985. Seasonal patterns and coevolution in the hummingbird-flower community of a costa rican subtropical forest. *ORNITHOLOGICAL MONOGRAPHS*. 36: 757-787.
- Sonne, J., J. Vizentin-Bugoni, P. K. Maruyama, A. C. Araujo, E. Chávez-González, A. G. Coelho, P. A. Cotton, O. H. Marín-Gómez, C. Lara, L. R. Lasprilla, C. G. Machado, M. A. Maglianesi, T. S. Malucelli, A. M. Martín G., G. M. Oliveira, P. E. Oliveira, R. Ortiz-Pulido, M. A. Rocca, L. C. Rodrigues,

- I. Sazima, B. I. Simmons, B. Tinoco, I. G. Varassin, M. F. Vasconcelos, B. O'Hara, M. Schleuning, C. Rahbek, M. Sazima y B. Dalsgaard. 2020. Ecological mechanisms explaining interactions within plant–hummingbird networks: morphological matching increases towards lower latitudes. *Proceedings Royal Society B*. 287: 20192837.
- Temeles, E. J., Y. B. Linhart, M. Masonjones y H. D. Masonjones. 2002. The Role of Flower Width in Hummingbird Bill Length–Flower Length Relationships. *BIOTROPICA*. (1) 34: 68-80.
- Toledo, V. M. 1975. La Estacionalidad de las Flores utilizadas por los Colibríes de una Selva Tropical Húmeda en México. *BIOTROPICA*. (1) 7: 63-70.
- Tolozza-Moreno, D. L., D. A. León-Camargo y L. Rosero-Lasprilla. 2014. El ciclo anual de una comunidad de colibríes (Trochilidae) en bosques altoandinos intactos y paramizados en la Cordillera Oriental de Colombia. *Ornitología Colombiana*. 14: 28-47.
- Tompkins, E. 2007. Gape-feeding, Primary, and Secondary Nectar Robbing Behavior in Yanacocha Reserve, Ecuador. Tesis de grado. Macalester College. Biology. Ecuador. 18 pp.
- Vázquez, B. M. A. 2019. Redes de interacción Trochilidaeplanta en dos hábitats contrastantes en un sistema templado del altiplano mexicano. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. 73 pp.
- Velasquez, T. Y. S. 2018. Comunidad de colibríes (Aves: Trochilidae) de sotobosque y el uso de sus recursos florales en época seca y época húmeda en la Estación Biológica Cocha Cashu, Parque Nacional del Manú, Madre de Dios-Perú, 2016. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú. 71 pp.
- Vitorino, B. D., A. V. Boas F. y P. K. Maruyama. 2021. Ecological determinants of interactions as key when planning pollinator-friendly urban greening: A plant-hummingbird network example. *Urban Forestry & Urban Greening*. 64: 127298.
- Walther, B. A. y H. Brieschke. 2001. Hummingbird-flower relationships in a mid-elevation rainforest near Mindo, northwestern Ecuador. *Journal of Ornithology*. (4) 4: 115- 135.
- Waser, N. 1976. Food supply and nest timing of broad-tailed hummingbirds in The Rocky Mountains. *Condor* (78) 1: 133-135.
- Weinstein, B. G. y C. H. Graham. 2017. Persistent bill and corolla matching despite shifting temporal resources in tropical hummingbird-plant interactions. *Ecology Letters*. (3) 20. doi: 10.1111/ele.12730.

**CAPITULO II**  
**REDES DE INTERACCIÓN PLANTA-COLIBRÍ EN TRES CATEGORÍAS DE**  
**ÁREAS VERDES URBANAS DE MORELIA, MICHOACÁN**

## **Redes de interacción planta-colibrí en tres categorías de áreas verdes urbanas de Morelia, Michoacán**

Luz Ariana Villaseñor-Madrigal<sup>1,2</sup>, Yvonne Herrerías Diego<sup>1</sup>, Martín H. de Santiago-Hernández<sup>3</sup>, Mauricio Quesada<sup>3</sup>, Alejandro Salinas Melgoza<sup>1</sup>, Eduardo Cuevas García<sup>4</sup> y José Fernando Villaseñor Gómez<sup>5</sup>.

1Laboratorio de Vida Silvestre, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

2Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Gral. Francisco J. Múgica S/N, C.P. 58030, Morelia, Michoacán, México.

3Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica (LANASE), Escuela Nacional de Estudios Superiores (Unidad Morelia), Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán 58190 México.

4Laboratorio de Evolución de Sistemas Reproductivos en Plantas, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

5Laboratorio de Investigación de Ornitología, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

### **RESUMEN**

Las grandes ciudades crecen a un ritmo acelerado, ocasionando cambios y transformaciones en el paisaje que afectan la composición de especies y sus interacciones. El estudio de la estructura y dinámica de las redes de interacción planta-colibrí en sistemas urbanos, permite profundizar en el conocimiento para la conservación y mantenimiento de los servicios ecosistémicos brindados por interacciones mutualistas. En este estudio se analizaron redes de interacción entre colibríes y plantas en tres categorías de áreas verdes urbanas: Parque, Jardín y Área Natural Protegida. Analizamos redes de visitas florales por colibríes y redes de la carga polínica de colibríes capturados. Nuestros resultados indican que la red de interacción en la categoría ANP fue de mayor tamaño en cuanto a la composición de especies tanto de colibríes como de plantas, comparada con la categoría Jardín que presentó redes de menor tamaño. Además, ésta última categoría obtuvo mayor especialización, modularidad y anidamiento, pero también una red más conectada y con una homogeneidad en la equitatividad de interacciones. Estos análisis nos permiten identificar a las especies clave y su variación temporal.

**Palabras clave:** red de interacción, colibríes, polinizadores, carga polínica, áreas verdes urbanas.

### **ABSTRACT**

Large cities grow at an accelerated rate, causing changes and transformations in the landscape that affect the composition of species and their interactions. The study of the structure and dynamics of plant-hummingbird interaction networks in urban systems, allows to deepen the knowledge for the conservation and maintenance of ecosystem services provided by mutualistic interactions. In this study, interaction networks between hummingbirds and plants were analyzed in three categories of urban green areas: Park, Garden, and Protected Natural Area. We analyzed networks of floral visits by hummingbirds and networks of pollen load of captured hummingbirds. Our results indicate that the interaction network in the ANP category was larger in terms of species composition of both hummingbirds and plants, compared to the Garden category, which presented smaller networks. In addition, this last category obtained greater specialization, modularity and nesting, but also a more connected network and with a homogeneity in the equitability of interactions. These analyzes allow us to identify key species and their temporal variation.

**Keywords:** interaction network, hummingbirds, pollinators, pollen load, urban green areas.

## Introducción

El incremento de la urbanización puede ocasionar daños y transformaciones en el paisaje, llegando a ser una amenaza para la conservación y el mantenimiento de la biodiversidad (González-Oreja et al., 2007; Linares et al., 2018; Vitorino, et al., 2021). Por ejemplo, se sabe que el crecimiento de las ciudades ha llevado a la desaparición y pérdida de especies de plantas nativas y que éstas son sustituidas por especies exóticas (Chávez, 2014). Se estima que entre 60 y 70 % de las especies de flora de las áreas verdes urbanas son especies introducidas (Navarro y Moreno, 2016).

Otro de los efectos de la urbanización, es una disminución en la riqueza de especies animales, además de alterar el patrón de abundancias de las poblaciones de organismos (Muñoz, et al., 2018). De modo que, la urbanización aumenta y los espacios verdes con flora y fauna original se destruyen y desaparecen (Adjei, 2014), lo que justifica la necesidad de las áreas verdes urbanas (Lara, 2012). Las áreas verdes urbanas, funcionan como islas de vegetación dentro de las ciudades (Castro-Torreblanca y Blancas, 2014) y cumplen funciones de refugio y alimento a muchas especies animales (Linares et al., 2018). Por lo que estos sitios urbanos podrían ayudar en la conservación de la biodiversidad, dependiendo de las características de la estructura y funcionalidad de las áreas verdes a nivel de paisaje (Muñoz, et al., 2018; Vitorino, et al., 2021).

Las áreas verdes se clasifican en diversas categorías como bosques, parques, jardines, glorietas, camellones, plazas, dependiendo de las funciones biológicas y usos sociales (deportivo, recreación, educativo) determinadas por los grupos de personas que las visitan (Flores-Xolocotzi y González-Guillén, 2010; Ayuntamiento Morelia, 2016; Alcaraz, 2020). Por ejemplo, los parques y jardines presentan una cubierta vegetal poco diversificada por la alta presencia de áreas pavimentadas, con una flora dominada por especies exóticas y una escasa riqueza faunística (de Juana, 2015). Mientras que las áreas naturales ubicadas fuera de la periferia de la ciudad suelen presentar una mayor superficie y una densa cubierta vegetal, lo que favorece a una elevada tasa de biodiversidad (de Juana, 2015).

Una manera de estimar el efecto de la urbanización en un ecosistema, es mediante las interacciones de sus organismos (Vitorino, et al., 2021). Las interacciones son la base de la estructura y funcionamiento de los sistemas naturales (Jordano, et al., 2009; Martínez-García, et al., 2020; Morales-Contreras, et al., 2020). Por lo tanto, se requiere conservar no solo los hábitats y las especies, sino también las interacciones ecológicas (Martínez-García, et al., 2020).

En las últimas décadas, una herramienta utilizada para estudiar las interacciones planta-animal ha sido el análisis de redes de interacciones (González y Loiselle, 2016; Cardozo, et al., 2018; de Santiago-Hernández, et al., 2019). Las redes contribuyen con el entendimiento de procesos ecológicos, evolutivos y antropogénicos, así como la identificación de especies clave en un ecosistema. Además, las redes permiten visualizar la composición y las interacciones de múltiples especies en una comunidad (Martínez-García, et al., 2020; del Val, 2022). Además, este análisis también permite calcular métricas para conocer la estructura de las redes. Estas métricas permiten conocer la magnitud de la especialización, fuerza de las interacciones, la conectividad, modularidad, entre otras (Beltrán y Traveset, 2018). Las redes de interacción están conformadas por dos elementos: los nodos y los enlaces (Jordano, et al., 2009; Poisot, et al., 2012). Los nodos representan a las especies y los enlaces representan las relaciones existentes entre los individuos, así como la intensidad de la relación (Andrade, 2016; Córdova y Fajardo, 2018; Dáttilo, et al., 2013; Vázquez, 2019).

Las interacciones mutualistas, son de las interacciones más relevantes por su papel en los servicios ecosistémicos esenciales como la dispersión de semillas y la polinización (Aguilar, et al., 2009; Beltrán y Traveset, 2018). La polinización animal es esencial en todos los ecosistemas terrestres, ya que alrededor del 90 % de las angiospermas dependen de los polinizadores para llevar a cabo su reproducción (Pantoja, et al., 2014; García, et al., 2016; Martínez-García, et al., 2020). Por otro lado, los polinizadores dependen del recurso alimenticio (néctar, polen) que ofrecen las flores como recompensa (Aguilar, et al., 2009; Murray, et al., 2014; Pacheco, et al., 2015; González y Loiselle, 2016). Existen muchos tipos de polinizadores como

abejas, mariposas, moscas, murciélagos y aves (León-Camargo y Rangel-Ch., 2015; Nava-Bolaños, et al., 2022). Entre los polinizadores, los colibríes (familia Trochilidae) representan el principal grupo de aves nectarívoras, contribuyendo con la polinización de alrededor del 15% de especies de plantas en la región neotropical (Buzato, et al., 2000; Lara., 2006; Morales-González, et al., 2020). Estos organismos, tienen una tasa metabólica muy alta que demanda un alto consumo de azúcar, por lo que requieren del consumo de néctar de una gran cantidad de flores durante el día (Chávez-González et al., 2019; Peña-Restrepo y Peña, 2020; Martínez-Meneses y Torres-González, 2020).

El consumo de néctar por colibríes depende en gran medida de factores como las condiciones ambientales, el tipo de hábitat, la abundancia y tipo del recurso floral disponible (Partida, et al., 2012; Morales-González, et al., 2020). Si estos factores cambian a causa de la modificación del hábitat u otras causas antrópicas, pueden afectar también las interacciones entre los animales y las plantas (Restrepo-Chica y Bonilla-Gómez, 2017; Ramírez-Burbano, et al., 2021). Por ejemplo, la disminución de riqueza y abundancia de especies de plantas por fragmentación del hábitat, puede ocasionar una reducción en el número de interacciones y la modificación de la estructura de la red de interacción (Hernández, 2022).

En general, las redes de interacción planta-colibrí han sido muy estudiadas en los últimos años, permitiendo explorar simulaciones, mediante la remoción de especies para predecir las consecuencias de la pérdida especies en una comunidad (Ramírez, 2013). Estas predicciones han resultado muy útiles en estudios de ecosistemas fragmentados o con disturbios antropogénicos, donde se ha podido comparar las redes en sitios conservados y modificados (Maruyama, et al., 2019; Vázquez, 2019). Por ejemplo, al evaluar el impacto antrópico en las redes de interacciones planta-colibrí, se mostró que en sitios conservados es menos resistente a la pérdida de especies en comparación a la red de sitios modificados (Vázquez, 2019). De igual manera, se notó que la remoción de especies exóticas (Vitorino, et al., 2021) y las interacciones legítimas realizadas como robo de néctar (González y Loiselle, 2016) no tienen un efecto significativo al ser quitadas de la red. Caso contrario con las

plantas nativas que mostraron ser especies importantes para mantener la estabilidad del sistema (Vitorino, et al., 2021). Por otro lado, en algunos estudios, la identificación de especies clave ha sido posible mediante las redes mutualistas, logrando así dirigir el enfoque hacia la conservación de estas especies ya que proporcionan equilibrio y dinámica al sistema (Córdova y Fajardo, 2018; Martínez-García y Ortíz-Pulido, 2014; Ramírez, 2013).

Si bien, estos análisis de redes, han aportado información valiosa sobre la estructura de las redes entre colibríes y plantas, casi todos los estudios han realizado un análisis cualitativo basado en visitas de colibríes a las flores. De manera que, es necesario generar más información de redes considerando un análisis cuantitativo para la cuantificar la frecuencia de visitas y la cantidad de polen depositado como una medida efectiva para polinización (de Santiago-Hernández, et al., 2019).

Además, la mayoría de los estudios se han llevado a cabo con más frecuencia en bosques templados, bosques secos, bosques tropicales y zonas costeras. En sistemas urbanos hay muy pocos estudios, que han evaluado la importancia de la vegetación nativa y exótica en las redes de interacción planta-colibrí, así como los efectos de la urbanización analizando la estructura de la red planta-colibrí en áreas verdes (Maruyama, et al., 2019; Vitorino, et al., 2021; Marín-Gómez, et al., 2022). Las redes en áreas verdes protegidas obtuvieron mayor riqueza de especies tanto de plantas como de colibríes y con bajos niveles de anidamiento, especialización y conectividad. Mientras que las áreas más urbanizadas fueron más generalistas. Sin embargo, se necesita de más estudios comparativos del ensamble de colibríes con diversas escalas de urbanización y otros factores como la variación estacional para entender la dinámica de las interacciones y comprender como mantener y conservar estas comunidades de plantas y colibríes en paisajes urbanizados (Vitorino, et al., 2021).

Con la finalidad de comprender como ocurren ecológicamente las interacciones entre las plantas y colibríes en un contexto urbano, en este trabajo nos enfocamos en determinar la estructura cuantitativa de las redes de interacción planta-colibrí en distintas categorías de áreas verdes urbanas: Parque, Jardín y

Áreas Naturales Protegidas (ANP), considerando tres temporadas, lluvias, secas cálidas y secas frías (Tapia, 2015). Se tomó en cuenta toda la comunidad de plantas y colibríes en cada tipo de área verde y las analizamos mediante análisis de redes de interacciones. Se construyeron redes basadas en observaciones directas de visitas florales por colibríes y redes basadas en la carga polínica obtenida directamente de los colibríes. Para cada red calculamos métricas que describen las propiedades de la red, que ayudan a entender como están estructuradas las redes de interacción en una comunidad (Beltrán y Traveset, 2018; de Santiago-Hernández, et al., 2019). Esperamos que las redes en ANP tanto de visitas como de carga polínica tendrían mayor riqueza de especies por presentar mayor cobertura vegetal y de origen nativo (de Juana, 2015). Además, dado que las áreas verdes urbanas tienden a resguardar especies más generalistas, se espera que las redes de Parque y Jardín sean menos especializadas que en ANP (Maruyama, et al., 2019) por presentar una menor variedad de recurso alimenticio y de dominancia exótica, dado que los colibríes en áreas verdes urbanas incluyen plantas exóticas en su dieta (Marín-Gómez, et al., 2022).

## Material y Métodos

ÁREA DE ESTUDIO. Se seleccionaron nueve áreas verdes de la ciudad de Morelia, Michoacán (19°27'06"-19°50'12"N y 101°01'43"-101°30'32"O; 1920 m.s.n.m.). El municipio de Morelia se encuentra en una zona montañosa accidentada y sus principales usos de suelo son urbano, agrícola, pecuario y bosque (Lara, 2012). Presenta un clima predominante templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual que va entre 14° y 18°. La precipitación es de 700 mm a 1000 mm anuales (Lara, 2012).

Los sitios seleccionados se clasificaron dentro de categorías de áreas verdes establecidas en el Reglamento para las Áreas Verdes de Morelia Michoacán, (Ayuntamiento de Morelia, 2016) Área Natural Protegida, Jardín y Parque. Donde un Área Natural Protegida (ANP) es “aquella zona del territorio municipal que han quedado sujetas al régimen de protección para preservar ambientes naturales, así como los servicios ambientales que en ellos se generan, salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, lograr el aprovechamiento racional de los recursos naturales y mejorar la calidad del medio ambiente en los centros de población y sus alrededores”. Un Jardín es el “área verde cuya función está enfocada al aspecto decorativo por lo que requiere de mantenimiento constante. Mientras que un parque es el “espacio o terreno público constituido por árboles, plantas, flores, césped y área de juegos, que funciona como espacio recreativo y se diferencia del jardín por contar con área de juegos infantiles (Ayuntamiento de Morelia, 2005; 2016).

Seleccionamos tres ANP localizadas fuera de la periferia de la ciudad: Cerro del Punhuato, Cañadas de Río Chiquito y el manantial La Mintzita (Bahena, 2010; Gómez, et al., 2008; IMPLAN Morelia, 2016). Los sitios con categoría Parque se encuentran en la periferia o dentro de la ciudad: Parque Lineal Bicentenario, Bosque Lázaro Cárdenas, el Centro de Convenciones y el boulevard García de León, los cuales corresponden a la categoría de Parque. Finalmente, los sitios que corresponden a la categoría Jardín fueron Las instalaciones de la Universidad Latina de América y La Comisión Forestal de Michoacán (COFOM).

**MUESTREO Y RECOPIACIÓN DE DATOS.** Se realizaron dos muestreos de un año, visitando mensualmente cada sitio. El primer muestreo se llevó a cabo de enero a diciembre de 2019 y el segundo abarcó el período de agosto del 2021 a julio de 2022. Se dividieron los muestreos en tres temporadas: a) secas frías, de noviembre a febrero; b) secas cálidas, de marzo a junio, y c) la temporada de lluvias, de julio a octubre (Reyna, 2005; Tapia, 2015). Los sitios muestreados fueron el Bosque Lázaro Cárdenas, el Centro de Convenciones, el Boulevard García de León, el Parque Lineal Bicentenario, la Universidad Latina de América, la Comisión Forestal de Michoacán, el Cerro del Punhuato y el manantial La Mintzita. El muestreo se realizó entre las 7:00 am y 7:00 pm.

**OBSERVACIONES DIRECTAS.** Con ayuda de binoculares Vortex 8x42 se realizaron cuatro observaciones de 20 minutos en cada sitio en parches de flores utilizadas por los colibríes (Ralph et al., 1996) completando un total de 80 minutos por sitio, mensualmente. Las observaciones se realizaron de 7:00 am a 11:00 am, registrando la especie visitada y del visitante y la hora de la visita. Se consideró una visita cuando un colibrí insertaba su pico en el tubo floral.

**EXTRACCIÓN DE POLEN.** Se utilizaron redes de niebla de seis metros para obtener muestras de polen de los colibríes capturados (Ralph et al., 1996). Las redes se colocaron en parches de flores que utilizan los colibríes de 7:00 am a 11:00 am y de 3:00 pm a 7:00 pm. Una vez capturados se identificaron con la ayuda de guías (Arizmendi y Berlanga, 2014; Peterson y Chalif, 1973) y se les tomó una muestra de polen, utilizando glicerogelatina con fuchsina (Amaya-Márquez et al., 2001) pasando la gelatina por la cabeza, pico y garganta. Se tomaron fotografías para la identificación de la especie de colibrí y después los individuos fueron liberados.

Posteriormente en el laboratorio, se revisaron las cargas de polen colectadas de cada colibrí y de las flores, utilizando un microscópico óptico Olympus Cx21LED. Los granos de polen colectados del cuerpo del colibrí fueron identificados mediante comparación con el polen colectado directamente de las flores. También se contó el número total de cada palinomorfo por muestra para conocer las plantas que

presentan mayor abundancia de granos de polen en las cargas polínicas de estas aves. La identificación de plantas se realizó con la ayuda de la guía “Flora Fanerogámica del Valle de México” (Rzedowski et al., 2005) y la guía “Plantas del Cerro El Águila” (Cornejo-Tenorio y Ibarra-Manríquez, 2011).

**ANÁLISIS DE DATOS.** Se elaboraron dos bases de datos, una de observaciones directas y la otra con los datos de la carga polínica de los colibríes. Se realizaron matrices cuantitativas de las interacciones planta-colibrí de cada categoría de área verde en las tres temporadas (lluvias, secas cálidas y secas frías). Para cada matriz se calcularon las métricas de red como: 1) índice de especialización ( $H_2'$ ), va de cero a 1, donde 0 indica no especialización y 1 indica especialización completa a nivel de la red; 2) conectancia, mide el número de interacciones respecto al número de interacciones posibles; 3) anidamiento (NODF), describe la asimetría de especialización, va de 0 a 100, donde 100 indica anidamiento perfecto; 4) modularidad, agrupa especies que interactúan más entre ellas que con otras; 5) generalidad para colibríes y vulnerabilidad para plantas, indica el número medio ponderado de especies que interactúan (de Santiago-Hernández, et al., 2019; Bascompte y Jordano, 2009). Adicionalmente, se compararon las métricas con un modelo nulo (valores Z-score), con la finalidad de analizar si las métricas de red son resultado del azar (Vizentin-Bugoni, et al., 2014). Para cada análisis nulo se construyeron matrices donde todas las interacciones tenían la misma probabilidad y utilizamos el modelo nulo `r2dtable` en 1000 generaciones. Las figuras de las redes, fueron editados con Cytoscape (Shannon, et al., 2003). Para el análisis de redes de interacciones utilizamos el software R y los paquetes `vegan`, `permute`, `lattice`, `network`, `sna` y `bipartite` (R Studio Team, 2022).

## Resultados

REDES DE INTERACCIÓN PARA LAS VISITAS DE COLIBRÍES. Se registraron siete especies de colibríes. Tres especies residentes (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*), dos migratorias (*Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus*) (Arizmendi y Berlanga, 2014) y dos especies fueron ocasionales (*Eugenes fulgens* y *Basilinna leucotis*). Estas aves, interactuaron con 45 especies de plantas, donde las familias más frecuentes fueron Fabaceae y Convolvulaceae. Se obtuvo un total de 1516 interacciones, con 155 interacciones diferentes. Al comparar las redes de interacción de forma global para cada categoría de área verde, se observó variación en cuanto a la composición y estructura de las redes. La red de ANP tuvo un mayor tamaño (siete especies de colibríes y 33 especies de plantas) y el mayor número de interacciones totales (802), con 86 interacciones diferentes (Figura 1, Tabla 1). El índice de especialización y modularidad registraron los valores más altos para la categoría de Jardín ( $H2' = 0.35$ ;  $Q = 0.36$ ) y los valores más bajos fueron para ANP ( $H2' = 0.19$ ;  $Q = 0.23$ ) (Tabla 1). Esto indica que la red de Jardín es más especializada y más compartimentada, es decir, que existen especies que interactúan con un subgrupo de especies. La equitatividad de interacciones fue más homogénea en la red de la categoría Jardín, (0.70), y para Parque fue más heterogénea (0.59). El anidamiento y la conectancia siguieron el mismo patrón, los valores más altos para la categoría Jardín y los valores más bajos para Parque (Tabla 1). Esto sugiere que, la red de Jardín fue más compleja y anidada, indicando que especies generalistas interactúan con una gran variedad de especies, pero las más especialistas interactúan con un subgrupo de las más generalistas (Figura 1b).



Tabla 1. Métricas de las redes de interacción global basadas en las visitas de colibríes en áreas verdes urbanas (ANP, Jardín y Parque) de Morelia, Michoacán.

| <b>Métricas</b>               | <b>ANP</b>   | <b>JARDÍN</b> | <b>PARQUE</b> |
|-------------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Tamaño                        | <b>40</b>    | 21            | 25            |
| Peso de la red                | <b>802</b>   | 212           | 502           |
| Especies de colibríes         | <b>7</b>     | 3             | 6             |
| Especies de plantas           | <b>33</b>    | 18            | 19            |
| Enlaces                       | <b>86</b>    | 31            | 38            |
| Especialización (H2')         | 0.19         | <b>0.35</b>   | 0.26          |
| Modularidad (Q)               | 0.23         | <b>0.36</b>   | 0.30          |
| Anidamiento (NODF)            | 15.41        | <b>18.63</b>  | 11.82         |
| Anidamiento ponderado (WNODF) | <b>24.26</b> | 6.70          | 9.27          |
| Conectancia (C)               | 0.37         | <b>0.57</b>   | 0.33          |
| Equitatividad de Interacción  | 0.67         | <b>0.70</b>   | 0.59          |
| Módulos                       | <b>4</b>     | 3             | 3             |

Los números en negritas indican los valores más altos.

Al comparar las redes de interacción de cada categoría de área verde por temporada, se observó diferente estructura. La categoría ANP y Parque obtuvieron el mayor número de especies de colibríes en la temporada de lluvias (7 y 6 especies, respectivamente), mientras que, para Jardín se mantuvo el mismo número de especies durante las tres temporadas (tres especies) (Figura 2). En cuanto a las especies de plantas, ANP registró más especies de flores en la temporada de lluvias (21 especies), y Jardín y Parque obtuvieron el mayor número de especies de plantas en secas cálidas (13 especies) y secas frías (12 especies), respectivamente. El mismo patrón se encontró en el tamaño general de la red y en el número de interacciones diferentes para cada red. Para el número de interacciones totales, el valor más alto fue en temporada de lluvias para ANP (332) y Parque (202), mientras que para Jardín fue en secas frías (92) (Figura 2, Tabla 2). De acuerdo con las métricas, se encontró mayor especialización de la red en secas cálidas para ANP (0.30), en secas cálidas para Jardín (0.43) y en lluvias para Parque (0.40). La modularidad indicó un valor similar en la temporada de secas cálidas para ANP

(0.28), en secas frías para Jardín (0.39) y secas frías para Parque (0.30) (Tabla 2). El anidamiento sugiere que la red de la categoría Jardín estuvo más anidada en la temporada de lluvias (32.90), y para ANP y Parque el mayor anidamiento fue en secas cálidas (23.76 y 30.92, respectivamente). Se obtuvo una mayor conectancia y un valor alto de equitatividad de interacción en la temporada de secas cálidas para ANP (C= 0.48; Equitatividad de Interacción= 0.72) y Parque (C= 0.57; Equitatividad de Interacción= 0.64) mientras que para Jardín fue en secas frías el valor más alto de conectancia (0.62) y en lluvias la mayor equitatividad de interacción (0.71) (Figura 2, Tabla 2).

Tabla 2. Métricas de las redes de interacción basadas en las visitas de colibríes en tres temporadas (LL= lluvias; SC= secas cálidas; SF= secas frías) en áreas verdes urbanas (ANP, Jardín y Parque) de Morelia, Michoacán.

| Métricas                      | ANP        |       |       | JARDÍN |           |           | PARQUE     |       |           |
|-------------------------------|------------|-------|-------|--------|-----------|-----------|------------|-------|-----------|
|                               | LL         | SC    | SF    | LL     | SC        | SF        | LL         | SC    | SF        |
| Tamaño                        | <b>28</b>  | 24    | 19    | 10     | <b>16</b> | 10        | 16         | 13    | <b>17</b> |
| Peso de la red                | <b>332</b> | 150   | 319   | 40     | 80        | <b>92</b> | <b>202</b> | 136   | 164       |
| Especies de colibríes         | <b>7</b>   | 4     | 6     | 3      | 3         | 3         | <b>6</b>   | 3     | 5         |
| Especies de plantas           | <b>21</b>  | 20    | 13    | 7      | <b>13</b> | 7         | 10         | 10    | <b>12</b> |
| Enlaces                       | <b>50</b>  | 38    | 33    | 10     | <b>19</b> | 13        | 20         | 17    | <b>21</b> |
| Especialización (H2')         | 0.25       | 0.30  | 0.15  | 0.35   | 0.40      | 0.43      | 0.40       | 0.33  | 0.28      |
| Anidamiento (NODF)            | 17.20      | 23.76 | 12.69 | 32.90  | 25.69     | 15.62     | 14.62      | 30.92 | 12.44     |
| Anidamiento ponderado (WNODF) | 8.54       | 8.05  | 5.44  | 0.59   | 2.24      | 1.24      | 2.66       | 1.83  | 4.37      |
| Conectancia (C)               | 0.34       | 0.48  | 0.42  | 0.48   | 0.49      | 0.62      | 0.33       | 0.57  | 0.35      |
| Equitatividad de Interacción  | 0.64       | 0.72  | 0.65  | 0.71   | 0.70      | 0.62      | 0.49       | 0.64  | 0.57      |
| Modularidad (Q)               | 0.26       | 0.28  | 0.18  | 0.30   | 0.30      | 0.39      | 0.22       | 0.24  | 0.30      |
| Módulos                       | 5          | 4     | 4     | 3      | 3         | 3         | 3          | 3     | 3         |

Los números en negritas indican los valores más altos.

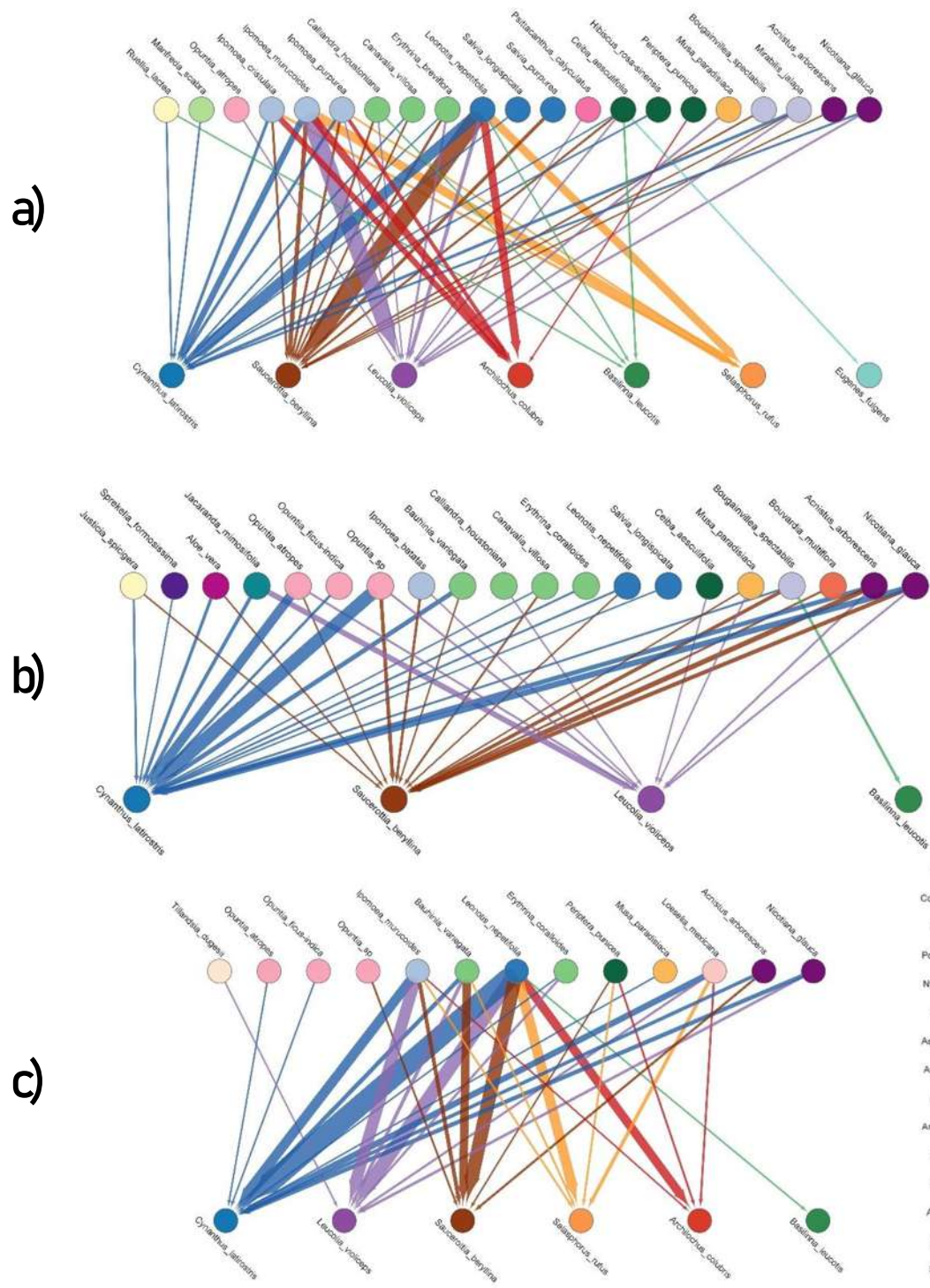


Figura 2. Redes de interacción basadas en las visitas de colibríes en tres temporadas: a) lluvias; b) secas cálidas; c) secas frías en ANP en Morelia, Michoacán. Círculos superiores representan especies de plantas, el color representa la Familia indicada en el listado de la derecha. Círculos inferiores representan las especies de colibríes y el grosor de la línea indica la fuerza de la interacción.

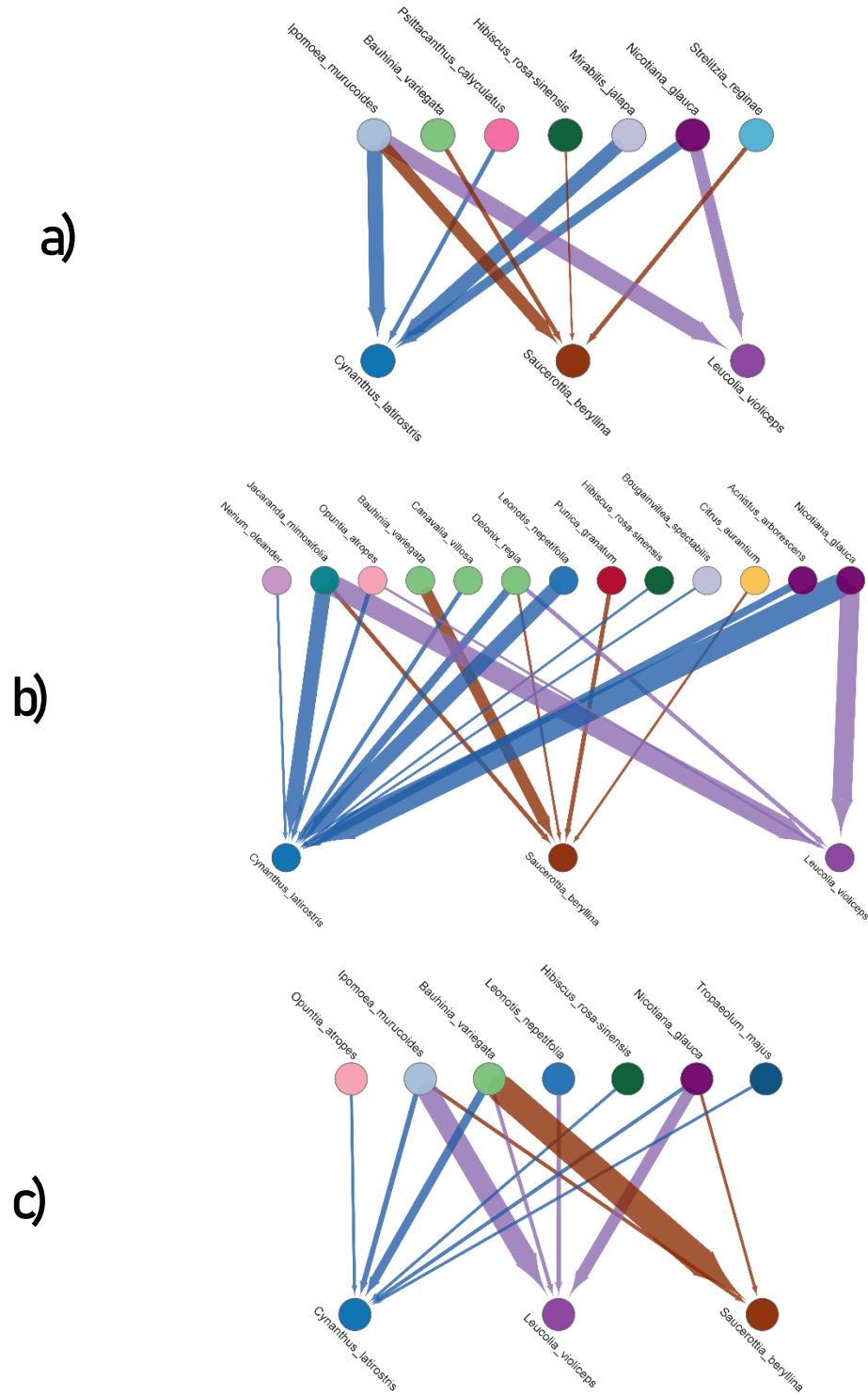


Figura 3. Redes de interacción basadas en las visitas de colibríes en tres temporadas: a) lluvias; b) secas cálidas; c) secas frías en Jardín en Morelia, Michoacán. Círculos superiores representan especies de plantas, el color representa la Familia indicada en el listado de la derecha. Círculos inferiores representan las especies de colibríes y el grosor de la línea indica la fuerza de la interacción.

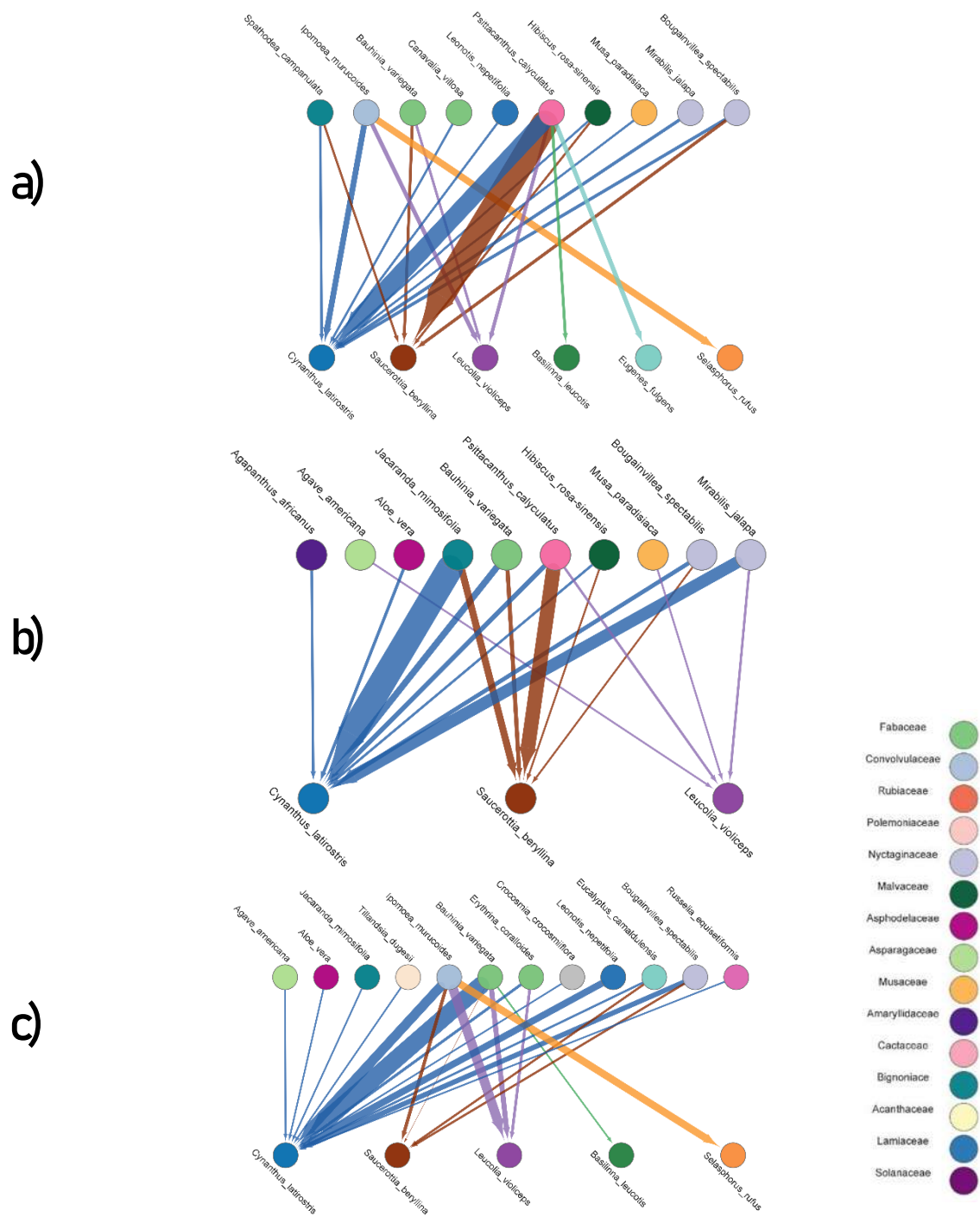


Figura 4. Redes de interacción basadas en las visitas de colibríes en tres temporadas: a) lluvias; b) secas cálidas; c) secas frías en Parque en Morelia, Michoacán. Círculos superiores representan especies de plantas, el color representa la Familia indicada en el listado de la derecha. Círculos inferiores representan las especies de colibríes y el grosor de la línea indica la fuerza de la interacción.

REDES DE INTERACCIÓN COLIBRÍ-POLEN. Se revisaron un total de 234 muestras de polen de los colibríes capturados. Se registraron 40 especies de plantas y 24 morfos de polen no identificados presentes en la carga polínica de siete especies de colibríes. Se obtuvo un total de 239 interacciones diferentes. Comparando las redes de interacción de forma global para cada categoría de área verde, se observó variación en cuanto a composición y estructura. La red de ANP obtuvo un mayor tamaño en cuanto al número total de especies (seis especies de colibríes y 56 morfos de polen), además, también obtuvo el mayor número de carga polínica (197046 granos de polen) y mayor número de interacciones diferentes (163) (Figura 5a, Tabla 3). La categoría de Parque obtuvo los valores más bajos en cuanto a tamaño de la red (23), carga polínica total (20531), e interacciones diferentes (32) (Figura 5c, Tabla 3). De acuerdo con las métricas calculadas para describir la estructura de la red, el índice de especialización y el anidamiento fueron más altos en la categoría Parque ( $H2' = 0.35$ ;  $NODF = 21.35$ ) y más bajo para ANP ( $H2' = 0.23$ ;  $NODF = 12.74$ ) (Tabla 3). La modularidad, la conectancia y la equitatividad de interacción mostraron un valor más alto en la categoría de Jardín y un valor más bajo para Parque (Tabla 3).

Tabla 3. Métricas de las redes de interacción global basadas en la carga polínica en áreas verdes urbanas (ANP, Jardín y Parque) de Morelia, Michoacán.

| <b>Métricas</b>               | ANP           | JARDÍN      | PARQUE       |
|-------------------------------|---------------|-------------|--------------|
| Tamaño                        | <b>62</b>     | 24          | 23           |
| Peso de la red                | <b>197046</b> | 27518       | 20531        |
| Especies de colibríes         | <b>6</b>      | 3           | 4            |
| Especies de plantas           | <b>56</b>     | 21          | 19           |
| Enlaces                       | <b>163</b>    | 44          | 32           |
| Especialización ( $H2'$ )     | 0.23          | 0.33        | <b>0.35</b>  |
| Modularidad (Q)               | 0.24          | <b>0.30</b> | 0.15         |
| Anidamiento (NODF)            | 12.74         | 17.92       | <b>21.35</b> |
| Anidamiento ponderado (WNODF) | <b>38.81</b>  | 2.87        | 3.68         |
| Conectancia (C)               | 0.49          | <b>0.70</b> | 0.42         |
| Equitatividad de Interacción  | 0.48          | <b>0.61</b> | 0.42         |
| Módulos                       | 4             | 3           | 3            |

Los números en negritas indican los valores más altos.

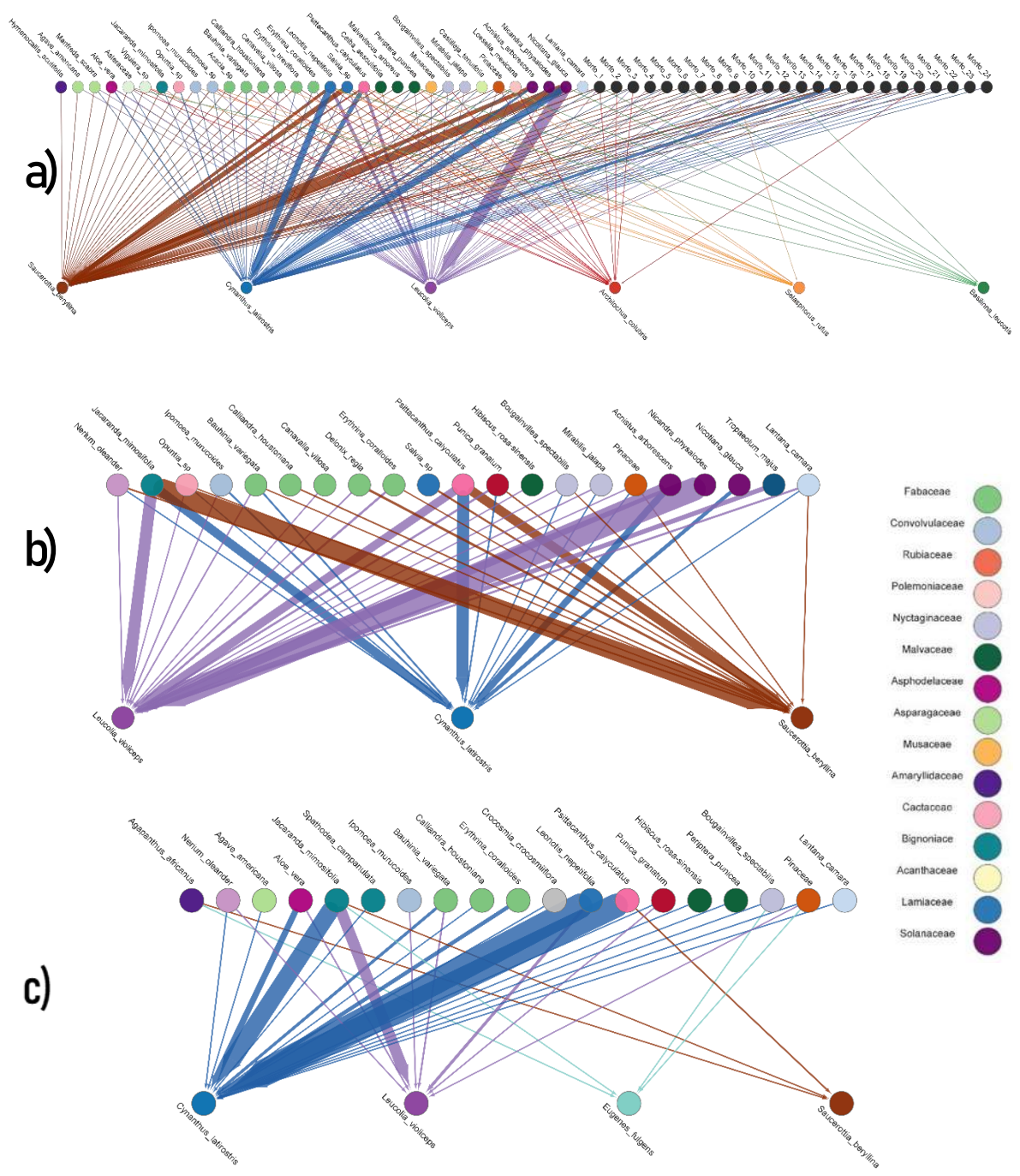


Figura 5. Red de interacción global basada en la carga polínica en las diferentes categorías de áreas verdes urbanas en Morelia, Michoacán. a) ANP; b) Jardín; c) Parque. Círculos superiores representan especies de plantas, el color representa la Familia indicada en el listado de la derecha. Círculos posteriores representan las especies de colibríes y el grosor de la línea indica la fuerza de la interacción.

En cuanto a las redes de interacción basadas en la carga polínica de cada categoría de área verde por temporada, se observó variación en la composición de especies y estructura de la red. Se registró el valor más alto de especies de plantas en la carga polínica de los colibríes en la temporada de secas cálidas para las categorías ANP (39) y Parque (15), mientras que para Jardín fue en lluvias el mayor número de especies de plantas (17) (Figura 6, Tabla 4). De acuerdo al peso total de la red, Parque y Jardín obtuvieron la mayor carga polínica en la temporada de secas cálidas (15744 y 16000, respectivamente), mientras que para ANP fue en secas frías (94932 granos de polen). Para el número de interacciones diferentes el valor más alto para ANP y Jardín fue en temporada de lluvias (96 y 30, respectivamente) y para Parque fue en secas cálidas (28) (Tabla 4). Según las métricas calculadas, el índice de especialización para ANP fue mayor en la temporada de lluvias (0.38), para Jardín se obtuvo un valor mayor similar en lluvias y secas frías (0.70 para ambas temporadas), mientras que para Parque la red más especializada fue en secas frías (0.76) (Tabla 4). La red más anidada y más compartimentada para Jardín fue en lluvias (NODF= 33.77; Q= 0.40), y para Parque fue en secas frías (NODF= 31.93; Q= 0.39), mientras que para ANP fue en secas cálidas el valor más alto de anidamiento (NODF= 22.80) y en secas frías la mayor modularidad (Q= 0.36; Tabla 4). Se obtuvo una mayor conectancia y un valor de equitatividad de interacción alto en la temporada de secas cálidas para ANP (C= 0.77; I. E= 0.47), para Parque fue en secas frías (C= 0.63; Equitatividad= 0.70) mientras que para Jardín la conectancia fue mayor en secas frías (C= 0.75) y en secas cálidas la mayor equitatividad de interacción (Equitatividad= 0.56) (Figura 7, Tabla 4).

Tabla 4. Métricas de las redes de interacción basadas en la carga polínica en tres temporadas (LL= lluvias; SC= secas cálidas; SF= secas frías) en áreas verdes urbanas (ANP, Jardín y Parque) de Morelia, Michoacán.

| Metrics                       | ANP         |              |              | JARDÍN       |              |             | PARQUE |              |              |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------|--------------|--------------|
|                               | LL          | SC           | SF           | LL           | SC           | SF          | LL     | SC           | SF           |
| Tamaño                        | 42          | 41           | 42           | <b>20</b>    | 17           | 14          | 7      | <b>19</b>    | 10           |
| Peso de la red                | 33761       | 68353        | <b>94932</b> | 8401         | <b>16000</b> | 3117        | 4749   | <b>15744</b> | 38           |
| Especies de colibríes         | 5           | 2            | <b>6</b>     | 3            | 3            | 2           | 3      | <b>4</b>     | 2            |
| Especies de plantas           | 37          | <b>39</b>    | 36           | <b>17</b>    | 14           | 12          | 4      | <b>15</b>    | 8            |
| Enlaces                       | <b>96</b>   | 60           | 94           | <b>30</b>    | 24           | 18          | 5      | <b>28</b>    | 10           |
| Especialización (H2')         | <b>0.38</b> | 0.25         | 0.36         | 0.70         | 0.37         | 0.70        | 0.75   | 0.21         | <b>0.76</b>  |
| Anidamiento (NODF)            | 9.57        | <b>22.80</b> | 13.87        | <b>33.77</b> | 21.40        | 0.16        | 26.77  | 19.78        | <b>31.93</b> |
| Anidamiento ponderado (WNODF) | 15.66       | 12.45        | 15.93        | 2.04         | 1.76         | 0.94        | 0.15   | 2.21         | 0.15         |
| Conectancia                   | 0.52        | <b>0.77</b>  | 0.44         | 0.59         | 0.57         | <b>0.75</b> | 0.42   | 0.47         | <b>0.63</b>  |
| Equitatividad de Interacción  | 0.41        | <b>0.47</b>  | 0.41         | 0.45         | <b>0.56</b>  | 0.29        | 0.05   | 0.43         | <b>0.70</b>  |
| Modularidad (Q)               | 0.26        | 0.20         | <b>0.36</b>  | <b>0.40</b>  | 0.27         | 0.19        | 0.01   | 0.16         | <b>0.39</b>  |
| Módulos                       | 3           | 2            | 5            | 2            | 3            | 2           | 2      | 3            | 2            |

Los números en negritas indican los valores más altos.

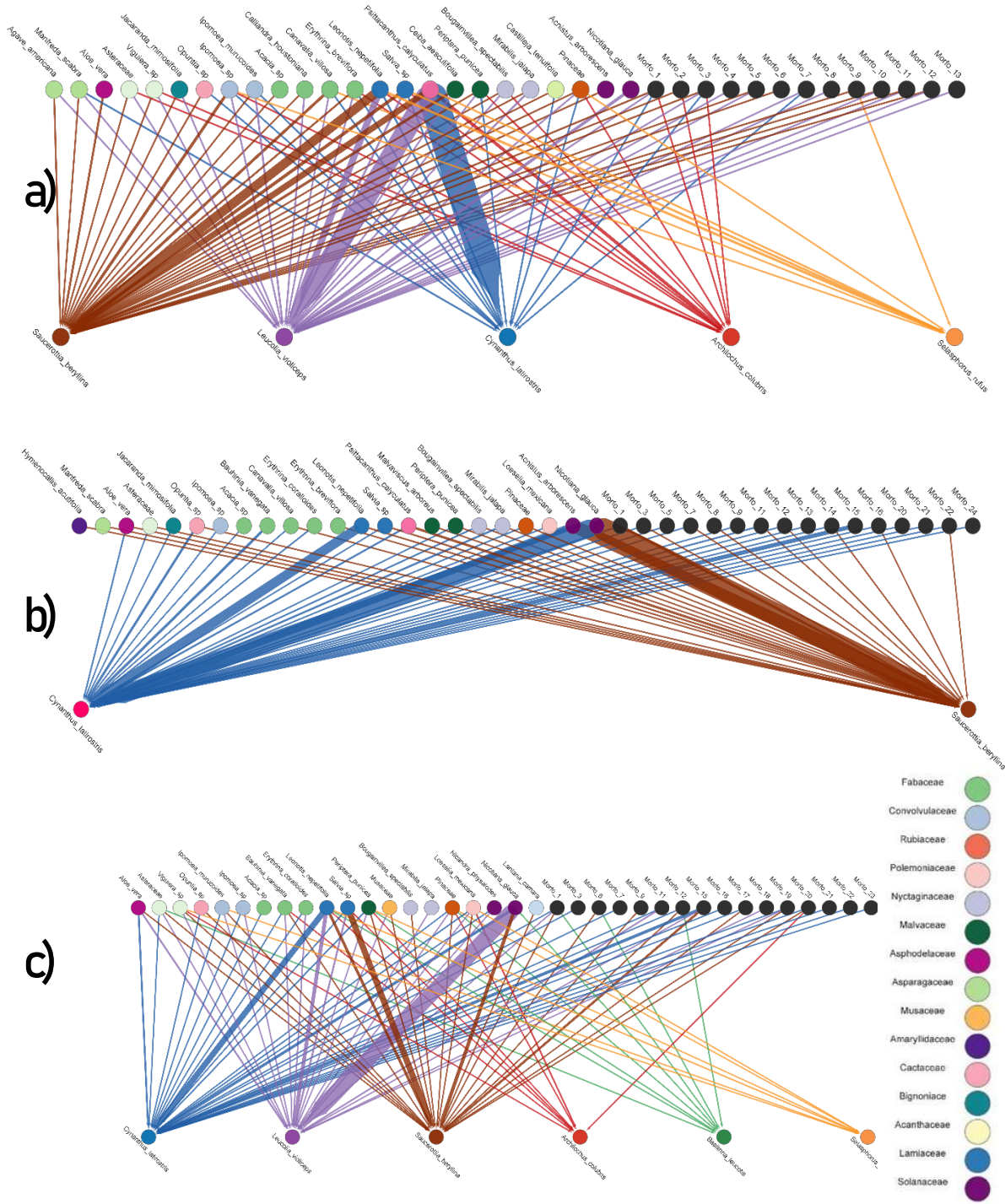


Figura 6. Redes de interacción basadas en la carga polínica, en tres temporadas: a) lluvias; b) secas cálidas; c) secas frías en ANP en Morelia, Michoacán. Círculos superiores representan especies de plantas, el color representa la Familia indicada en el listado de la derecha. Círculos posteriores representan las especies de colibrís y el grosor de la línea indica la fuerza de la interacción.

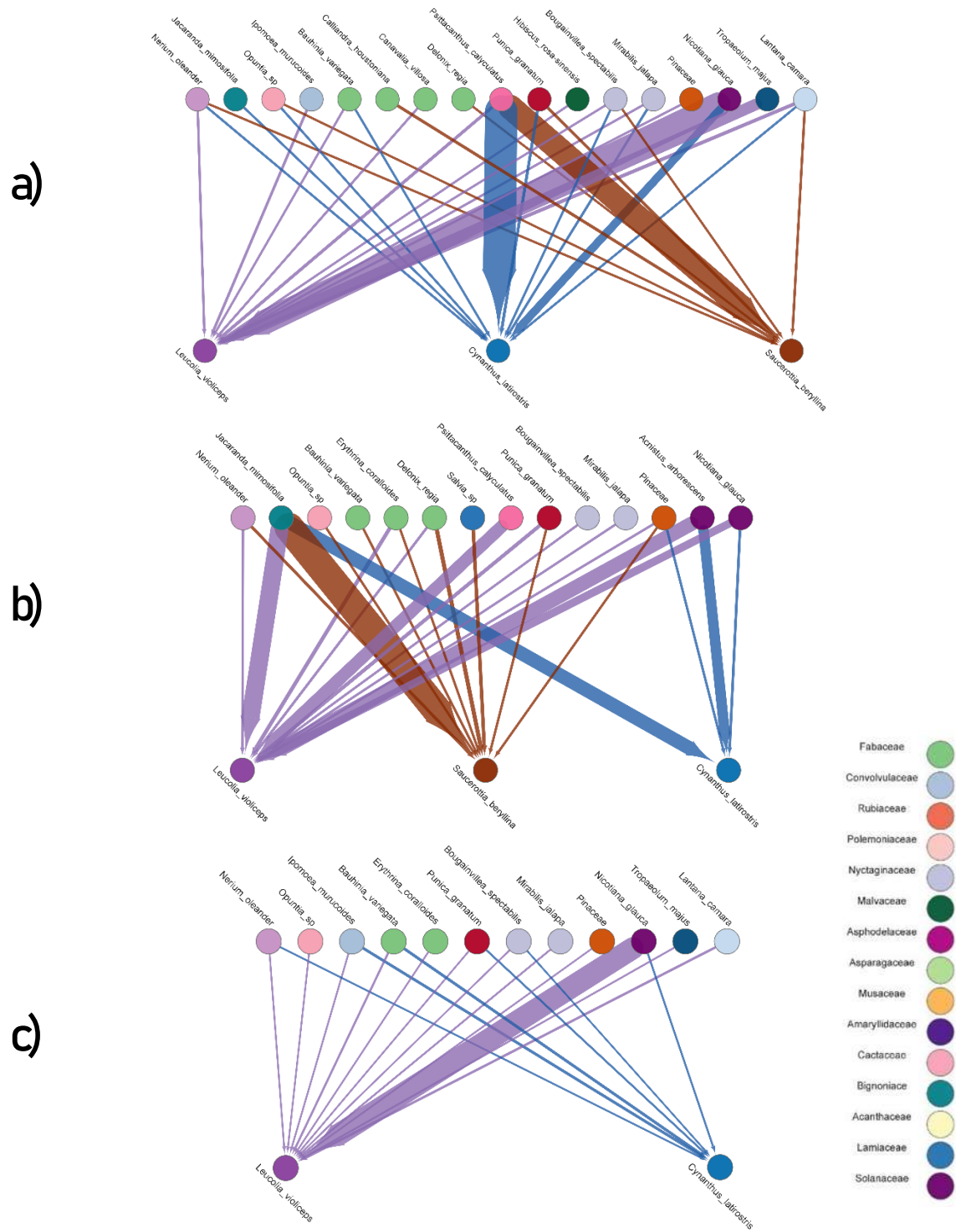


Figura 7. Redes de interacción basadas en la carga polínica en tres temporadas: a) lluvias; b) secas cálidas; c) secas frías en Jardín en Morelia, Michoacán. Círculos superiores representan especies de plantas, el color representa la Familia indicada en el listado de la derecha. Círculos posteriores representan las especies de colibrís y el grosor de la línea indica la fuerza de la interacción.

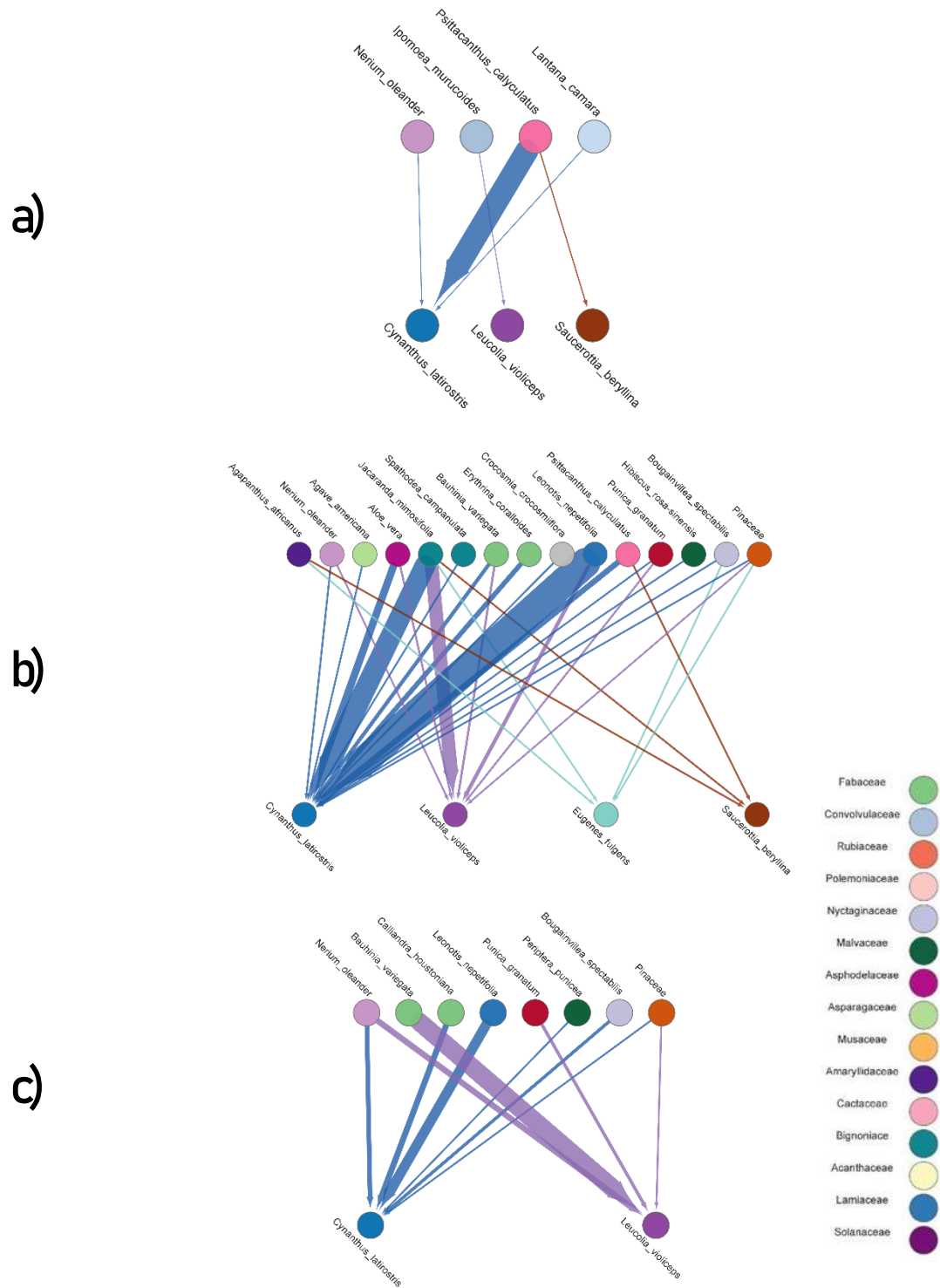


Figura 8. Redes de interacción basadas en la carga polínica en tres temporadas: a) lluvias; b) secas cálidas; c) secas frías de la categoría Parque en Morelia, Michoacán. Círculos superiores representan especies de plantas, el color representa la Familia indicada en el listado de la derecha. Círculos posteriores representan las especies de colibrís y el grosor de la línea indica la fuerza de la interacción.

## Discusión

En este estudio analizamos la estructura de interacción planta-colibrí en tres categorías de áreas verdes urbanas. Encontramos que hay un mayor grado de especialización en las categorías más urbanizadas en comparación con las de Áreas Naturales Protegidas, las cuales representan los hábitats más naturales. La mayor especialización resultó en las redes globales por categoría tanto para las redes de la frecuencia de visitas de colibríes como para las de carga polínica. Esto indica que existen diferencias entre los tipos de categorías, que corresponden a diferentes tipos y estructura de vegetación y temporadas.

En general, el ensamble de colibríes fue de siete especies, menor a las 11 especies reportadas en trabajos previos en la ciudad de Morelia (García, 2009; Gómez-Sánchez, 2016; Villaseñor-Madrigal, 2020). Sin embargo, es un número similar al reportado en otros estudios realizados en sitios con algún grado de urbanización, por ejemplo, Vitorino y colaboradores (2021) registraron cinco especies y Rodrigues y Araujo (2011), reportan ocho especies de colibríes en un bosque fragmentado y rodeado de área urbanizada. En otro estudio se reportaron seis especies donde se comparó área urbana contra área natural (Maruyama, et al., 2019). Las familias más frecuentes en las visitas de los colibríes fueron Fabaceae y Convolvulaceae. Estas familias, también se reportan como las familias más visitadas en otros estudios (Reyna, 2005; Rodrigues y Araujo (2011).

La composición y estructura de las redes de interacción mostraron una variación en la riqueza y abundancia de especies, tanto entre las categorías de áreas verdes urbanas, como entre las temporadas. Las redes globales de ANP tanto de visitas como de carga polínica, resultaron con mayor número de especies tanto de colibríes como de plantas, y un mayor número de interacciones. Tal como se hipotetizó en este estudio, nuestros resultados sugieren que las redes de interacción son más pequeñas en número de especies y de interacciones totales, en ambientes con mayor presión antropogénica. Este patrón coincide con los resultados de otros estudios (Maruyama, et al., 2019; Marín-Gómez, et al., 2022), con lo cual se sugiere

que, a mayor número de interactuantes, mayor es el número de interacciones (Jordano, et al., 2003).

En términos generales, las redes de Jardín y Parque tanto de visitas como de carga polínica fueron más especializadas, conectadas, anidadas, con mayor modularidad y una equitatividad de interacción más homogénea (Ramírez, (2013; Marín-Gómez, et al., 2022). Estos resultados, no coinciden con los reportados en el estudio de Maruyama y colaboradores (2019), donde la red urbana fue menos especializada y modular, con lo cual sugieren una menor repartición del recurso entre las especies de colibríes en el área urbanizada.

### **Redes de interacción basadas en las visitas de colibríes a las flores**

Las redes de Jardín y ANP fueron más especializadas en temporada de secas cálidas, mientras que en Parque fue en lluvias. Lo que sugiere que estas temporadas presentaron un mayor número de especies especialistas (Beltrán y Traveset, 2018). Los valores de modularidad fueron altos en la temporada de secas frías para las categorías de Jardín y Parque, mientras que para ANP la red más modular fue la de secas cálidas. Estas temporadas presentaron especies de colibríes que interactuaron con mayor intensidad con una alta riqueza de plantas (Marín-Gómez, et al., 2022). Las redes de las categorías ANP y Parque en temporada de secas cálidas fueron más anidadas y con una equitatividad de interacciones más homogénea. Por su parte, Jardín presentó la red con mayor anidamiento y homogeneidad en sus interacciones en temporada de lluvias. En cuanto a la conectancia, las redes de ANP y Parque obtuvieron mayor conectancia en la temporada de secas cálidas, mientras que en Jardín la red más conectada fue en secas frías.

Las especies de colibríes residentes (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*), presentaron un comportamiento generalista en todas las redes de todas las categorías y temporadas. En cuanto a especies especialistas, las especies migratorias (*Selasphorus rufus* y *Archilochus colubris*) y las especies ocasionales (*Eugenes fulgens* y *Basilinna leucotis*) tuvieron mayor presencia en la categoría de ANP y una interacción más fuerte con las plantas *Leonotis nepetifolia*

e *Ipomoea murucoides*. En la categoría Parque, los colibríes especialistas tuvieron muy poca presencia, además mostraron una interacción fuerte con las plantas *I. murucoides* y una interacción débil con las especies de planta *Psittacanthus calyculatus* y *Bauhinia variegata*. Por su parte las especies de colibríes residentes (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*), estuvieron presentes con mayor frecuencia en Parque y Jardín. Particularmente, algo relevante en Jardín, es que estas especies de colibríes residentes se mantienen más estables durante todo el año sin registrar especies migratorias ni especies ocasionales. Las plantas *I. murucoides*, *Nicotiana glauca*, *Jacaranda mimosifolia* y *Bauhinia variegata* fueron las especies más importantes de la red. Este patrón, coincide con lo obtenido por Marín-Gómez y colaboradores (2022), quienes sugieren que, en los ecosistemas urbanos predominan las especies de colibríes residentes. Se sugiere, además, que la urbanización podría afectar más a las especies especialistas al depender de pocas especies de plantas, mientras que las especies generalistas, al alimentarse de una amplia variedad de flores, son las que logran adaptarse y persistir en sistemas urbanos (Asworth, et al., 2004, Büchi y Vuilleumier, 2014, Pardo, 2018).

A pesar de que la mayoría de las plantas mencionadas, representan un mayor porcentaje de especies no nativas (*Leonotis nepetifolia*, *B. variegata* y *Nicotiana glauca*, *Jacaranda mimosifolia*), fueron importantes para los colibríes. Algunas de estas especies han sido registradas como las más visitadas por colibríes en otros trabajos (Walther y Brieschke, 2001; Gómez-Sánchez, 2016; Marín-Gómez, et al., 2022), lo que sugiere que, aunque algunas de estas plantas no presentan las características usuales de flores visitadas por colibríes, muestran una integración importante en las redes de interacción del sistema urbano estudiado.

### **Redes de interacción planta-colibrí basadas en la carga polínica**

De acuerdo con nuestra hipótesis, al igual que en las redes basadas en las visitas florales, las redes de ANP de la carga polínica presentarían una mayor composición de especies. Además, se identificaron palinomorfos que no corresponden a las especies de las ANP lo que sugiere que, los colibríes se desplazan con frecuencia

a plantas fuera de las ANP que en las categorías Jardín y Parque, registraron cargas de polen más pequeñas y que corresponden a las plantas que estaban en floración en cada sitio.

Las redes de Jardín y ANP fueron más especializadas en temporada de lluvias, mientras que Parque lo fue en secas frías. Los valores de modularidad fueron altos en la temporada de secas frías para las categorías de ANP y Parque, mientras que para ANP la red más modular fue la de lluvias. La conectancia para la red de ANP en secas cálidas fue alta, así como también en las redes de secas frías en las categorías Parque y Jardín. Además, ANP y Jardín mostraron una similitud en la equitatividad de interacciones en temporada de secas cálidas, y para Parque fue en secas frías. En cuanto al anidamiento, cada categoría presentó la red más anidada en diferente temporada, para ANP fue en secas cálidas, para Jardín fue en lluvias y para Parque en secas frías.

Al igual que con las redes basadas en las visitas, las especies residentes (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*), las cuales fueron las más generalistas, se registraron en todas las temporadas y en todas las categorías. Mientras que las especies migratorias (*Selasphorus rufus* y *Archilochus colubris*), solo se presentaron en ANP y fueron especies especialistas al igual que las especies ocasionales (*Eugenes fulgens* y *Basilinna leucotis*). *Basilinna leucotis* se registró solo en la categoría de secas frías y *Eugenes fulgens* se registró en la categoría de Parque en la temporada de secas cálidas.

Las plantas con mayor carga polínica en la categoría ANP fueron *Nicotiana glauca*, *Psittacanthus calyculathus*, *Leonotis nepetifolia*, y *Salvia spp.* En la categoría de Jardín, las especies de plantas más relevantes en lluvias fueron *N. glauca*, *P. calyculathus*. En secas cálidas fue *Jacaranda mimosifolia* y en secas frías *N. glauca*.

En la categoría de Parque, las redes obtuvieron el tamaño más pequeño en cuanto a riqueza de plantas. En la temporada de lluvias la especie de planta con mayor carga polínica fue *Psittacanthus calyculathus*, en secas cálidas *Leonotis nepetifolia* y *Jacaranda mimosifolia* y en secas frías *Bauhinia variegata* fue la especie con mayor carga de polen en el colibrí residente *Leucolia violiceps*.

Al igual que en las redes basadas en las visitas florales, las cargas polínicas coincidieron con las plantas más visitadas, a excepción de *I. murucoides*, una de las especies nativas más visitadas, pero en las cargas polínicas no tuvo gran relevancia, quizá porque los colibríes no se ajustan a la morfología de la flor con síndrome de quiropterofílico (Caballero-Martínez, et al., 2012).

De igual manera, la mayoría de las plantas relevantes en las redes de carga polínica, representan un mayor porcentaje de especies no nativas (*Leonotis nepetifolia*, *B. variegata* y *Nicotiana glauca*, *Jacaranda mimosifolia*). Esto indica que los colibríes contribuyen en la propagación de estas especies exóticas mediante el servicio de la polinización. A su vez, estas plantas representan una importante fuente de alimento, tanto en Áreas Naturales Protegidas como en áreas con mayor grado de urbanización.

## **Conclusiones**

En este estudio concluimos que es importante considerar la variación estacional, ya que la evidencia sugiere que la estructura de las redes varía entre categorías y entre temporadas. Se ha demostrado que, las redes de interacción con menor grado de urbanización conforman redes de mayor tamaño en cuanto a riqueza de especies y con mayor número de interacciones. Nuestros resultados también sugieren que las redes de interacción tanto de visitas como de polen, son más especializadas en las categorías con mayor grado de urbanización. Esto, debido a que las especies de colibríes más persistentes en Jardín y Parque, son las especies generalistas. Adicionalmente, se presenta evidencia en que la carga polínica ofrece un panorama más amplio en cuanto a las especies de plantas que son visitadas y polinizadas por los colibríes. Un aspecto relevante, es la importancia de recursos florales no nativos para los colibríes como fuente de alimento y resalta la importancia de los colibríes como vectores de polen para algunas plantas exóticas. Este estudio contribuye a entender la estructura y composición de las interacciones en un sistema urbano e identificar a las especies clave en un ecosistema las cuales cumplen un papel importante en la provisión de alimento a los colibríes. Sin embargo, se requieren

más estudios para definir patrones más claros acerca de la utilización del recurso nativo y exótico por parte de los colibríes.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a los proyectos que financiaron este trabajo de investigación: "Manejo sustentable de polinizadores: estatus actual, factores de riesgo y estrategias para el aprovechamiento de las abejas melíferas y silvestres en sistemas de agricultura protegida y en cultivos a campo abierto en México" 291333 SADER-CONACyT. "Análisis de los factores que amenazan a polinizadores nativos e introducidos en México: vinculación de la docencia con la investigación en ecología genómica, conservación biológica y ecología de paisaje" IV200418 PAPIIT-UNAM. "Relación entre la polinización, flujo génico, morfología y microbiota de recompensas florales en especies cultivadas y silvestres del género Cucúrbita" IN219021 PAPIIT-UNAM. A CONACyT por la beca otorgada para mis estudios de maestría.

## Literatura citada

Adjei, M. C. 2014. Destruction of urban green spaces: a problem beyond urbanization in Kumasi City (Ghana). *American Journal of Environmental Protection*. (3) 1: 1-9.

Aguilar, R., L. Ashworth, L. Cagnolo, M. Jausoro, M. Quesada y L. Galetto. 2009. Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas en ambientes fragmentados. *Ecología y Evolución de interacciones planta-animal*. 199-230.

Alcaraz, L. I. O. 2020. Integración de parques urbanos con las funciones de la ciudad mediante criterios de conectividad sustentable. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente. San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. 235 pp.

Amaya-Márquez, M., F. G. Stiles y J. O. Rangel-Ch. 2001. Interacción planta-colibrí en Amacayacu (Amazonas, Colombia): una perspectiva palinológica. *Caldasia*. (23) 1: 301-322

Andrade, L., M.L. 2018. Estudio preliminar de las plantas que usan las aves para su alimentación en tres áreas verdes de Bogotá. Tesis de licenciatura. Universidad Distrital Francisco José de Calda. Bogotá, D. C. 93 pp.

Arizmendi, M.C. y H. Berlanga. 2014. Colibríes de México y Norteamérica. CONABIO. México. 160 pp.

Ashworth, L. R. Aguilar, L. Galetto y M. A. Aizen. 2004. Why do pollination generalist and specialist plant species show similar reproductive susceptibility to habitat fragmentation? *Journal of Ecology*. 92: 717-719.

Ayuntamiento de Morelia. 2005. Reglamento para las áreas verdes del municipio de Morelia, Michoacán. Morelia, Michoacán.

Ayuntamiento de Morelia. 2016. Reglamento ambiental y sustentabilidad del 75 municipio de Morelia. Morelia, Michoacán.

Bahena, G. A. 2010. Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Preservación Ecológica "Manantial La Mintzita" y su Zona de Amortiguamiento, del Municipio de Morelia, Michoacán.

Bascompte J. y P. Jordano, 2008. Redes mutualistas de especies. *Investigación y Ciencia*. 50 – 59.

Beltrán, R., y 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. Doi.: 10.7818/ECOS.1409.

Buñchi, L. y S. Vuilleumier. 2014. Coexistence of specialist and generalist species is shaped by dispersal and environmental factors. *The American Naturalist* (183) 5: 612-624.

Bustamante-Castillo, M., B. E. Hernández-Baños y M.C. Arizmendi. 2018. Hummingbird diversity and assemblage composition in a disturbed tropical dry forest of Guatemala. *Tropical Conservation Science*. Vol. 11. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1940082918793303>

Buzato, S., M. Sazima e I. Sazima. 2000. Hummingbird-Pollinated Floras at Three Atlantic Forest Sites. *BIOTROPICA*. 32: 824-841.

Caballero-Martínez, L. A., L. I. Aguilera-Gómez, I. v. Rivas-Manzano, C. J. Aguilar-Ortigoza y V. Lamus-Molina. 2012. Biología floral y polinización de *Ipomoea murucoides* Roem.& Schult. (Convolvulaceae) en Ixtapan del Oro, Estado de México (México). *Anales de Biología*. 34: 65-76.

Cardozo, P. J. S., D. Fajardo M., S. J. Torres V., M. P. Sepúlveda N. 2018. Análisis de la Interacción planta-colibrí en la reserva Mirador Recreo: una perspectiva coevolutiva. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 30: 114-120.

Castro-Torreblanca, M. y E. Blancas. C. 2014. Aves de Ciudad Universitaria campus Sur de la Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*. (15) 2: 82-92.

Chávez, C.A. 2014. Relación entre la avifauna, la vegetación y las construcciones en plazas y parques de la ciudad de Valdivia. Trabajo de grado. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Valdivia, Chile. 31 pp.

Chávez-González, E., W. Dáttilo y R. Ortiz-Pulido. 2019. Las relaciones entre colibríes y plantas desde un enfoque mexicanísimo. *CONABIO. Biodiversitas. Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. 144: 2-5.

Córdova, A. M. C. y P. C. Fajardo A. 2018. Efectos de la disponibilidad de *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (Proteaceae) en las redes de interacción de polinización de colibríes en matorrales montano andinos al sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 53 pp.

Cornejo-Tenorio, G. y G. Ibarra-Manríquez. 2011. Plantas del Cerro El Aguila. Universidad Autónoma de México. Municipios de Lagunillas y Morelia, Michoacán México. 21 pp.

Dáttilo, W., P. R. Guimaraes y T. J. Izzo. 2013. Spatial structure of ant-plant mutualistic Networks. *Oikos*, 122, 1643-1648

de Juana, A. F. 2015. Gestión de zonas verdes urbanas y periurbanas para la conservación de la biodiversidad: el caso de Vitoria-Gasteiz. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 39: 313-322.

de Santiago-Hernández, M. H., S. Martén-Rodríguez, M. Lopezaraiza-Mikel, K. Oyama, A. González-Rodríguez, and M. Quesada. 2019. The role of pollination effectiveness on the attributes of interaction networks: from floral visitation to plant fitness. *Ecology* 0(0): e02803. 10.1002/ecy.2803

del Val de Gortari, Ek. (2022). Redes de interacciones para el estudio de la biodiversidad. *Revista Digital Universitaria (RDU)* 23(2). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.9>

Flores-Xolocotzi, R. y M. de J. González-Guillén. 2010. Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista Mexicana Científica*. (1) 1: 17-24.

García, G. M., L. A. Ríos O. y J. Álvarez C. 2016. La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *IDESIA*. (34) 3: 53-68.

García, P. I. N. 2009. Lista de Aves registradas en el trabajo de licenciatura "Aves residentes de la microcuenca del río Chiquito, municipio de Morelia: riqueza, estacionalidad, distribución y conservación. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Gómez, M., A. Blanco, E. Aureoles, M. C. Marín y R. Linding. 2008. Programa de manejo del Área Natural Protegida "Cerro Punhuato". La Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente. Morelia, Michoacán, México. 54 pp

Gómez-Sánchez, A. 2016. Fluctuaciones estacionales en la riqueza, abundancia y patrones de muda de colibríes (Aves: Trochilidae) y su relación con la disponibilidad de flores en un área natural protegida urbana sujeta a restauración ecológica. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 66 pp.

González, O. y B. A. Loiselle. 2016. Species interactions in an Andean bird–flowering plant network: phenology is more important than abundance or morphology. *PeerJ*. 2789.

González-Oreja, J. A., C. Bonache, D. Buzo, A.A. de la Fuente y L. Hernández. 2007. Caracterización ecológica de la avifauna de los parques urbanos de la ciudad de Puebla México. *Ardeola*. (54) 1: 53-67.

Hernández, B. Y. G. 2022. Producción de néctar en flores visitadas por colibríes en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Research Journal*. (14) e3875.

IMPLAN. 2016. Morelia Next 2041: Plan de gran visión. Citieslab. Morelia: Instituto Municipal de Planeación de Morelia, Michoacán.

Jordano, P., J. Bascompte y J. M. Olesen. 2003. Invariant properties in coevolutionary networks of plant-animal interactions. *Ecology Letters*. 6: 69-81.

Jordano, P., Vázquez, D., y Bascompte, J. 2009. Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. En R. Medel, M. A. Aizen, y R. Zamora, *Ecología y evolución de interacciones planta-animal* (pp. 17-41). Editorial Universitaria.

Lara, C. 2006. Temporal dynamics of flower use by hummingbirds in a highland temperate forest in Mexico. *Ecoscience*. (1) 13: 23-29.

Lara, L. L. F. 2012. Calidad, funcionalidad y accesibilidad de las áreas verdes de la ciudad de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México. Morelia, Michoacán. 186 pp.

Linares, G.I., A. Dorantes y R. Evan. 2018. La urbanización y su impacto en la variación estacional de las aves de la Ciudad de Mérida. *Desde el Herbario CICY*. Vol.10: 233–240.

López-Segoviano, G., M. Arenas-Navarro, E. Villa-Galaviz, S. Díaz-Infante y M. C. Arizmendi. 2021. Hummingbird-plant interactions along an altitudinal gradient in northwestern Mexico. *Acta Oecologica*. 112: 103762.

Maciel-Mata, C. A., N. Manríquez-Morán, P. Octavio-Aguilar y G. Sánchez-Rojas. 2015. El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*. 25 (2), 3-19. doi: 10.15174/au.2015.690

Maruyama, P. K., C. Bonizário, A. P. Marcón, G. D'Angelo, M. M. da Silva., E. N. da Silva Neto. P. E. Oliveira, I. Sazima, M. Sazima, J. Vizentin-Bugoni, L. dos Anjos, A. M. Rui y O. Marçal J. 2019. Plant-hummingbird interaction networks in urban areas: Generalization and the importance of trees with specialized flowers as a nectar resource for pollinator conservation. *Biological Conservation*. 230: 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.012>

Marín-Gómez, O. H., C. Rodríguez F. y M. C. Arizmendi. 2022. Assessing ecological interactions in urban areas using citizen science data: Insights from hummingbird–plant meta-networks in a tropical megacity. *Urban Forestry & Urban Greening*. 74: 127658. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127658>

Martínez-García, V., O. González y R. Ortiz-Pulido. 2020. Hummingbird-Plant Network in a Lowland Dry Forest in Yucatan, Mexico. *Tropical Conservation Science*. 13: 1-12.

Martínez-García, V. y R. Ortiz-Pulido, 2014. Redes mutualistas colibrí-planta: comparación en dos escalas espaciales. *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL*. 25: 273-289.

Martínez-Meneses, A. L. y A. M. Torres-González. 2020. Polinización efectiva de flores ornitófilas en un bosque de niebla de Colombia. *Ciencia en Desarrollo*. (11) 2: 53-63.

Medina, P. y V. Parra-Tabla. 2017. Interacciones planta-colibrí en la duna costera. Ecología funcional de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos. SIIES-UADY-UNAM. Pp. 249-265.

Morales-Contreras, J., M. A. Martínez-Morales y U. Márquez-Luna. 2020. Recursos florales usados por el colibrí esmeralda de Cozumel (*Chlorostilbon forficatus*). Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología. 21(1): e-589. doi: <https://doi.org/10.28947/hrmo.2020.21.1.467>

Morales-González, O. E., G. Peñuela-Díaz y J. E. Carvajal-Cogollo. 2020. Uso de hábitats y recursos florales de *Chalybura buffonii caeruleogaster* (Aves: Trochilidae) en un sector del piedemonte llanero, Villavicencio, Colombia. Intropica 15 (1): 34-41.

Morrison B. M. L. y C. D. Mendenhall. 2020. Hummingbird–Plant Interactions Are More Specialized in Forest Compared to Coffee Plantations. Diversity. 12, 126. doi:10.3390/d12040126.

Muñoz, V. C. E., M. I. Undurraga, T. Saratschelf, T. Rannou y J. Celis-Diez. 2018. Diversidad y conocimiento de las aves urbanas por habitantes de Santiago, Chile. In: Biodiversidad urbana en Chile: Estado del arte y los desafíos futuros. Ediciones Universidad Central de Chile. Santiago, Chile. pp. 285-315.

Murray K. G., S. Kinsman, y J. L. Bronstein. 2014. Interacciones planta-animal. En: Nathaniel T. Wheelwright y Nalini M. Nadkarni.(eds). Monteverde: ecología y conservación de un bosque nuboso tropical. Oxford University Press. Oxford, New York. 376-470 pp.

Nava-Bolaños, A., L. Osorio-Olvera y J. Soberón. 2022. Estado del arte del conocimiento de biodiversidad de los polinizadores de México. Revista Mexicana de Biodiversidad. 93: e933948.

Navarro, L.A. y J.L. Moreno. 2016. Cambios en el paisaje arbolado en Hermosillo: escasez de agua y plantas nativas. Región y Sociedad. (28) 67: 79-120.

Pacheco, L. F., J. Aparicio, c. Benavides, M. Escobar, R. Galeón, E. García, F. Guerra, M. I. Gómez, D. M. Larrea-Alcázar, M. Limachi, D. Maldonado, Bruno Miranda, D. Morales, M. I. Moya, A. Rico, J. Salazar-Bravo y L. Tellería. 2015. Interacciones entre plantas y animales. Pp. 406-416. En: Moya, M.I., R. I. Meneses y J. Sarmiento (Eds.). 2015. Historia Natural de un Valle en Los Andes: La Paz. Segunda Edición. Museo Nacional de Historia Natural, La Paz, Bolivia. 801 p.

Pantoja, A., A. Smith-Pardo., A. García., A. Saénz y F. Rojas. 2014. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. Santiago, Chile. 56 pp.

Pardo, R. S. D. 2018. Influencia de la urbanización sobre la diversidad de aves de tres zonas en la ciudad de Bogotá, Colombia. Tesis de Licenciatura.

Partida, L. R., P. L. Enríquez, J. L. Rangel-Salazar, C. Lara y M. Martínez I. 2012. Abundancia de colibríes y uso de flores en un bosque templado del sureste de México. Revista de Biología Tropical [en línea]. 60(4), 1621-1630. [fecha de Consulta: 29 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44925088018>

Peña, R. M. y A. Peña M. 2020. Colibríes, una historia natural de belleza y polinización. Revista Ambiental ÉOLO. 19: 204- 2015.

Peterson, R.T. Chalif E.L. 1973. A field guide to mexican birds Mexico, Guatemala, Belize, El Salvador. Boston (NY): Houhton Mifflin Company.

Poisot, T., E. Canard, D. Mouillot, N. Mouquet y D. Gravel. 2012. The dissimilarity of species interaction networks. Ecology Letters, 15: 1353-1361. doi: 10.1111/ele.12002

Ralph, J., G. R. Geupel, P. Pyle, T. E. Martin, D. F. De Sante y B. Milá. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Albany, C. A. Pacific Southwest Research Station, Forest Service. U.S. Department of Agriculture. 46 pp.

Ramírez, B. M. 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 de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 102 pp.

Ramírez-Burbano, M. B., Amorim, F. W., Torres-González, A. M., Sonne, J., & Kiyoshi Maruyama, P. (2021). Nectar provision attracts hummingbirds and connects interaction networks across habitats. *Ibis*. doi:10.1111/ibi.12988

Restrepo-Chica M. y M. A. Bonilla-Gómez. 2017. Dinámica de la fenología y visitantes florales de dos bromelias terrestres de un páramo de Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88: 636-645.

Rodrigues, L. C. y A. C. Araujo. 2011. The hummingbird community and their floral resources in an urban forest remnant in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. (71) 3: 611-622.

RStudio Team (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com>

Rzedowski, G. C., de J. Rzedowski, S. Acosta C., S. Aguilar R., R. Aguilar S., L. A. Lerner de S., J. A. Andrade M., M. L. Arreguín. S., H. Arroyo. F., M. R. Azcárraga R., M. A. Barrios R., J. H. Beaman, F. Brizuéla V. G. Calderón de R., G. C. Díaz B., J. L. Campos D., M. E. Cárdenas F., E. Carranza G., M. Cervantes C., B. L. Cruz. P., M. F. Denton, M. E. Díaz B., A. Díaz O., D. D. Dunn, A. Espejo S. J. Espinosa G., R. Fernández N., G. Flores M., P. A. Fryxell, R. Galván V., J. García P., L. M. García R., F. García S., A. García Z., M. S. González E., M. González L., A. Hernández R., Y. Herrera A., M. Ishiki I., A. R. López F., S. D. Koch, A. Lot H., E. J. Lott, J. S. Marroquín, J. M. Medina C., M. D. Montesinos R., S. Morelos O., A. Novelo R., I. Núñez T., S. Ochoa G., A. Ortega R., A. Patiño S., M. Peña, S. Pérez H., H. E. Pérez R., T. P. Ramamoorthy, L. Rico R., C. Rodríguez J., S. Romero R., J. Rzedowski R., A. Salas N., S. Sánchez C., B. G. Schubert, W. D. Stevens, J. Valdés R., A. A. Vargas N., R. M. Vega O., R. Vélez M., A. Victoria H., T. Wendt y S. Zamudio R. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª edición. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. 1406 pp.

Shannon, P., A. Markiel, O. Ozier, N. S. Baliga, J. T. Wang, D. Ramage, N. Amin, B. Schwikowski y T. Ideker. 2003. Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. *Genome Research*. 13 (11): 2498-504.

Tapia, A. R. 2015. Dieta del *Ambystoma andersoni* endémico al ANP de la laguna de Zacapu, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. Morelia, Michoacán. 95 pp.

Vázquez, B. M. A. 2019. Redes de interacción Trochilidae-planta en dos hábitats contrastantes en un sistema templado del altiplano mexicano. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. 73 pp.

Villaseñor-Madrigal, L. A. 2020. Ecología urbana: las áreas verdes como zonas de refugio y alimentación de colibríes en Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 81 pp.

Vitorino, D. B., A. V. Boas da F., P. K. Mayurama. 2021. Ecological determinants of interactions as key when planning pollinator-friendly urban greening: A plant-hummingbird network example. *Urban Forestry and Urban Greening*. 64: 127298.

Vizentin-Bugoni, J., P. K. Maruyama y M. Sazima. 2014. Processes entangling interactions in communities: forbidden links are more important than abundance in a hummingbird - plant network. *Proceedings of the Royal Society B.* 281, 20132397.

Walther, B. A. y H. Brieschke. 2001. Hummingbird-flower relationships in a mid-elevation rainforest near Mindo, northwestern Ecuador. *Journal of Ornithology.* (4) 4: 115- 135.

### **CAPITULO III**

## **CARACTERIZACIÓN DEL ENSAMBLE DE COLIBRÍES Y SU RELACIÓN CON EL RECURSO FLORAL EN TRES ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS SUBURBANAS DE MORELIA, MICHOACÁN**

## Resumen

Para compensar los requerimientos energéticos, los colibríes han desarrollado características morfológicas, fisiológicas y ecológicas que influyen en la organización temporal y espacial de las comunidades de estas aves, además del comportamiento inter e intraespecífico. De manera que, una baja riqueza y abundancia de recursos disponibles, puede ocasionar que algunas especies cambien localmente de hábitat a áreas con mayor disponibilidad de alimento. Otra situación es, que las diferentes especies de colibríes pueden utilizar el mismo recurso, provocando altos niveles de solapamiento. Por lo tanto, la coexistencia de las especies de colibríes, depende también de las diferencias y similitudes de la utilización del recurso. En base a lo anterior, en este trabajo, evaluamos la relación entre el recurso floral, tomando en cuenta la producción de néctar (volumen y concentración de azúcar) y el número de flores disponibles con la frecuencia de visitas de los colibríes. Adicionalmente, se determinó la disponibilidad del recurso floral a lo largo del año y la manera en que los colibríes lo utilizan, mediante el traslape de nicho alimenticio considerando las visitas de los colibríes a las flores que utilizaron como alimento. Finalmente, determinamos la eficiencia de polinización en las visitas de estas aves a las flores, considerando visitas legítimas (tocando las estructuras reproductivas de la flor) e ilegítimas (sin tocar las estructuras). Dado que las condiciones ambientales influyen en la estructura de la vegetación y del ensamble de colibríes, se consideraron tres temporadas para evaluar la variación estacional: secas cálidas, lluvias y secas frías. Nuestros resultados sugieren que, existe relación entre la frecuencia de visitas y la disponibilidad del recurso floral, mientras que con la producción de néctar no se encontró relación. Además, se determinó que en general, las aves cuentan con recurso floral disponible todo el año. Sin embargo, existe variación en la riqueza y abundancia entre las temporadas. Los resultados indican mayor riqueza de plantas en lluvias, y mayor abundancia de flores en secas frías. En cuanto a la manera en que utilizan el recurso, los valores de traslape fueron altos en la temporada de secas frías, cuando la abundancia de flores fue mayor, pero con menor variedad de especies, lo que sugiere que las especies de colibríes utilizan las mismas flores para

suplir sus necesidades energéticas. Además, las especies residentes de colibríes presentaron un mayor tamaño morfológico, siendo éstas las especies que realizaron la mayoría de las visitas a *Leonotis nepetifolia* de manera ilegítima (sin tocar las estructuras reproductivas). Mientras que las especies migratorias, presentaron un tamaño pequeño y visitaron mayormente de manera legítima (tocando las estructuras reproductivas) a esta misma especie de planta, siendo en general, la especie con mayor número de visitas ilegítimas. Acerca de esto, la literatura sugiere que los visitantes florales que no se adaptan a la morfología de las flores, pueden realizar visitas ilegítimas, lo cual podría ocasionar una disminución en el éxito reproductivo de la planta. La fenología floral y la manera en que el recurso es utilizado son factores que influyen en las interacciones planta-colibrí. A su vez, estas interacciones nos permiten conocer patrones ecológicos que forman la estructura y composición de los ensambles de colibríes y plantas. Por este motivo, es prioritario entender la importancia que cumplen estas interacciones mutualistas en cuanto a los servicios ecosistémicos que proveen. Por lo que es esencial, pensar en la interacción planta-colibrí desde una perspectiva de conservación, para prevenir la desaparición de especies e interacciones clave en un ecosistema.

## Introducción

Dentro de las interacciones planta-polinizador, una de las interacciones mutualistas más especializada y dominante en la región Neotropical es la interacción planta-colibrí (Farji, 1991; Lara, 2006; Abrego y Bonilla, 2014). Los colibríes, pertenecientes a la familia Trochilidae, constituyen la familia de aves nectarívoras con mayor riqueza en especies (alrededor de 330 especies) (Arizmendi y Berlanga, 2014; Abrahamczyk y Kessler, 2010) y se alimentan principalmente del néctar de las flores, aunque también consumen artrópodos pequeños como fuente de proteína (Wolf, et al., 1976; Ornelas, 1996). Los trochilidos, por su alto metabolismo, tienen una alta demanda del consumo de azúcar, por lo tanto, son muy dependientes a visitar muchas flores al día (Araújo, et al., 2011; Partida, 2011; Chávez-González et al., 2019; Martínez-Meneses y Torres-González, 2020).

Para compensar los requerimientos energéticos, estas aves han desarrollado características morfológicas, fisiológicas y ecológicas que influyen la organización temporal y espacial de las comunidades de estas aves, además del comportamiento inter e intraespecífico (Gutiérrez-Zamora, 2005). De modo que, la distribución espacial y la variación estacional de las flores visitadas por estas aves influyen la abundancia y distribución de los colibríes (Montgomerie y Gass, 1981, Malizia, 2001; Arizmendi y Ornelas, 1990; Partida, 2011; Partida, et al., 2012). Siendo así, que una baja disponibilidad de recursos, puede ocasionar que algunas especies cambien localmente de hábitat a áreas con mayor disponibilidad de alimento (Montgomerie y Gass, 1981). En otros casos, la disminución de la riqueza y abundancia de los recursos, puede ocasionar que las diferentes especies de colibríes tiendan a utilizar las mismas flores, provocando altos niveles de solapamiento (Abrahamczyk y Kessler, 2010, Nieto y Silva, 2012). Por lo tanto, la coexistencia de las especies de colibríes, depende también de las diferencias y similitudes de la utilización del recurso (Alarcón-Nieto, 2009).

Por otro lado, algunas flores polinizadas por colibríes han desarrollado rasgos morfológicos que están asociados en la atracción de este grupo de aves (Andrade, 2018). De manera que, las flores de una planta podrían estar adaptadas

morfológicamente para la obtención de polen óptimo mientras que para los colibríes es prioridad una fuente de néctar óptima (Velásquez, 2018, Amaya-Márquez et al., 2001). Para esto, los caracteres de las flores que determinan esta adaptación son importantes, por ejemplo, corolas grandes, en formas de campana o tubulares, además de la calidad y cantidad del néctar (Amaya-Márquez et al., 2001). Estas características, pueden permitir la identificación de las flores polinizadas por colibríes, ya que muchas especies de flores han desarrollado rasgos florales y recompensas específicas que están fuertemente relacionados con la atracción de polinizadores (Cárdenas, 2015). Incluso se ha señalado más específicamente que los rasgos florales están relacionados con atraer al polinizador más eficiente. (Cárdenas, 2015). Sin embargo, muchos de los visitantes pueden presentarse en flores que no presentan las características asociadas a la atracción de ciertos polinizadores, donde puede no haber transferencia de polen o simplemente la transferencia es inadecuada (Amaya-Márquez et al., 2001). Esto es debido principalmente a que no hay un ajuste morfológico perfecto entre la morfología del pico del colibrí y el tamaño de la corola (Rojas-Nossa, 2013). En otros casos, puede no haber contacto con las estructuras reproductivas debido a que algunos visitantes usan perforaciones en la base de las flores para acceder al néctar del fondo de las corolas tubulares (Rojas-Nossa, 2013). Es por eso que, la deposición del polen no siempre llega a ser efectiva ni los polinizadores legítimos o eficientes (Aguilar, 2013; Lasso y Naranjo, 2003). Ya que una visita legítima o eficiente se define como la inserción del pico del colibrí en la parte distal de la flor, haciendo contacto con las estructuras reproductivas (Rojas-Nossa, 2013; Restrepo, 2015). En consecuencia, la eficiencia del polinizador depende de la calidad de las visitas, lo cual es determinado por el contacto con las estructuras reproductivas de la flor (ajuste morfológico entre el visitante y la flor) la cantidad de polen transportado y la frecuencia de visitas a las flores (Cárdenas, 2015). Por lo tanto, evaluar la ecología de la polinización es esencial debido a que estos organismos nectarívoros representan un vector muy importante como polinizadores, sobre todo en aquellos lugares donde muchas plantas dependen exclusivamente de la polinización cruzada y del transporte de polen por estas aves (Araújo, et al., 2011).

Dado lo anterior, la importancia de este trabajo, se enfoca en la destacada función ecológica que tienen estas aves como polinizadores, ya que este estudio nos permitió obtener información sobre las interacciones que existen entre los colibríes y las plantas que utilizan como recurso alimenticio.

Particularmente, algunos sitios suburbanos de la ciudad de Morelia establecidos como Áreas Naturales Protegidas tienen gran relevancia por los servicios ecosistémicos que proveen a la ciudad, sin embargo, han sido poco estudiados, por lo que esta investigación podría aportar el conocimiento para el mantenimiento y conservación de estas interacciones ecológicas. De manera que, en este estudio, evaluamos la relación que existe entre las visitas de colibríes a las flores y la abundancia del recurso floral (número de flores disponibles) y la producción del néctar de las flores visitadas por estas aves. Además, analizamos la disponibilidad del recurso floral, en términos de abundancia de flores, abundancia de plantas y especies de plantas temporalmente mediante un conteo de flores abiertas disponibles en cada temporada. Adicionalmente, se calculó el traslape de nicho alimenticio entre las especies de colibríes tanto global como temporalmente, basándonos en las visitas de los colibríes a las flores. Finalmente, se analizó cuáles son las especies de colibríes que tienen un comportamiento de robadores de néctar, ya sea primario o secundario, lo cual está determinado cuando en las visitas a las flores estas aves tocan o no las estructuras reproductivas de la flor. Además, de determinar cuáles especies de plantas son visitadas de manera ilegítima, es decir sin que estas aves toquen las estructuras reproductivas de la flor.

## **Material y métodos**

### **Área de estudio**

El presente estudio se llevó a cabo en tres áreas naturales protegidas suburbanas de la ciudad de Morelia, Michoacán (19°27'06" - 19°50'12"N y 101°01'43" - 101°30'32"O; 1920 m.s.n.m.). El municipio de Morelia se encuentra en una zona montañosa accidentada y sus principales usos de suelo son urbano, agrícola, pecuario y bosque (Lara, 2012). Presenta un clima predominante templado subhúmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual que va entre 14°C y 18°C. La precipitación es de 700 mm a 1000 mm anuales (Lara, 2012). Los tres sitios de estudio seleccionados se encuentran fuera de la periferia de la ciudad, los cuales son el Cerro del Punhuato, el manantial La Mintzita y La Loma de Santa María también conocido como Los Filtros Viejos o Cañadas de Río Chiquito. Estas zonas están consideradas dentro de alguna categoría de Área Natural Protegida (ANP).

### **Cerro del Punhuato**

De acuerdo con algunos autores (Gómez *et al.*, 2008) el 15 de febrero del 2008, se publicó en el Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo las reformas al Decreto de Declaratoria del Área Natural protegida. En este decreto se declara como Parque Estatal Cerro del Punhuato. La superficie total es de 118.86 ha y se encuentra entre las cotas altitudinales de 1980 y 2300 msnm. El área natural protegida se encuentra a 7 km del centro de la Ciudad de Morelia en dirección este y corresponde a la parte occidental y suroccidental de la falda del Cerro del Punhuato (figura 1). El área cuenta con trabajos de conservación del suelo, actividades de reforestación y control de incendios. Cuenta con diferentes estados de conservación como remanentes de vegetación original, por ejemplo, los encinares presentes en las laderas más protegidas. También cuenta con elementos característicos del matorral subtropical. En zonas con degradación del suelo los eucaliptos son el estrato arbóreo dominante. En general,

este sitio juega un papel importante en la conservación de especies animales, ya que funge como refugio no solo de especies nativas animales sino también vegetales, incluyendo algunas especies amenazadas.

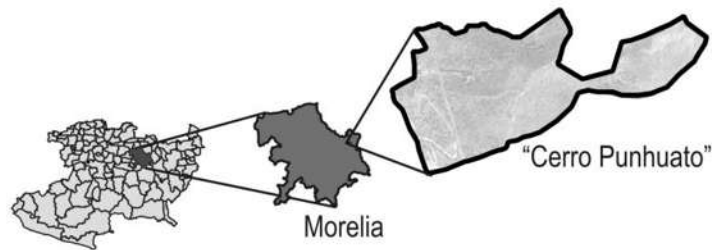


Figura 1. Localización del Área Natural Protegida Cerro del Punhuato. Tomado del Programa de Manejo del Área Natural Protegida “Cerro Punhuato” (Gómez *et al.*, 2008).

### **Manantial La Mintzita**

El 31 de enero del 2005 se publicó en el Periódico Oficial del Estado de Michoacán de Ocampo el Decreto de la Zona Sujeta a Preservación Ecológica Manantial La Mintzita (ZSPE). Después, el 2 de febrero del 2009 la ZSPE fue incluida en el listado de la Convención de Humedales de Importancia Internacional, conocida también como Convención RAMSAR. Este sitio se localiza en el municipio de Morelia, al Sur-Oeste de la ciudad, en la localidad conocida como La Mintzita (figura 2) y las coordenadas del polígono son  $19^{\circ} 37' 39.4''$  -  $19^{\circ} 40' 1.4''$  de Latitud Norte y  $101^{\circ} 15' 22.2''$  -  $101^{\circ} 17' 00''$  de Longitud Oeste. El Manantial La Mintzita es una fuente vital de abastecimiento de agua limpia para la ciudad de Morelia, por lo que es un sitio importante para la protección del manantial y las áreas de recarga, además de la conservación de las especies nativas y endémicas presentes en esta área. La delimitación del área propuesta se basa en los criterios de protección de un humedal de agua dulce rodeado por una zona de vegetación terrestre con especies arbóreas de distribución muy restringida y poblaciones reducidas. El polígono del Área Natural Protegida incluye 419.6 hectáreas, las cuales Incluyen

tierras de cultivo, los asentamientos humanos que ya existían antes de la declaratoria, el espejo de agua, la zona de humedales y nacimientos de agua. La vegetación ha pasado por estado de sucesión ecológica debido a la quema incontrolada, el pastoreo de ganado y a la agricultura. El área cuenta con tres tipos de vegetación: Matorral subtropical, Bosque de galería, y Vegetación acuática (Bahena, 2010).

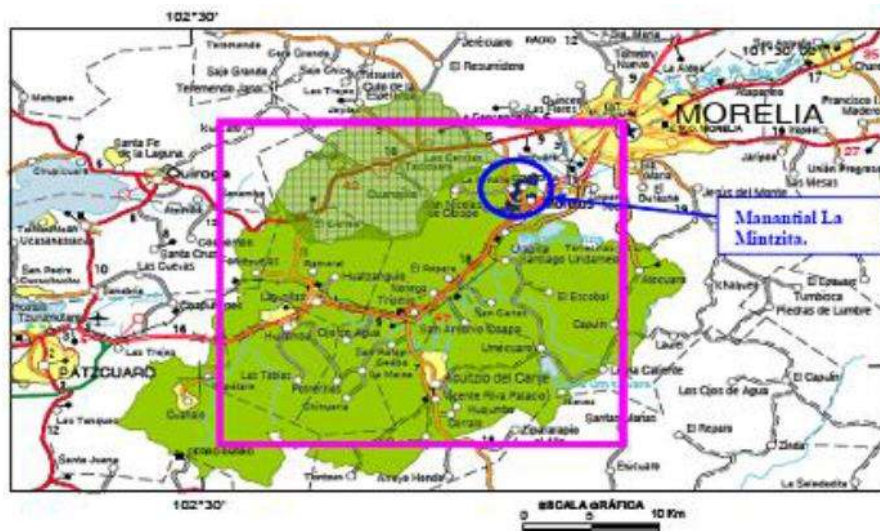


Figura 2. Localización de la Zona Sujeta a Preservación Especial, Manantial La Mintzita. Tomado del Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Preservación Ecológica “Manantial La Mintzita” y su Zona de Amortiguamiento, del Municipio de Morelia, Michoacán (Bahena, 2010).

### **Loma de Santa María y Depresiones Aledañas (Los Filtros Viejos / Río chiquito)**

Se decretó como Área Natural Protegida en la categoría Zona de Restauración y Protección Especial el 31 de diciembre de 2009. Con una superficie de 166.68 ha. Esta área se localiza al sureste de la ciudad de Morelia, Michoacán (figura 3). Su extensión es de aproximadamente 90 km<sup>2</sup>. La microcuenca del Río Chiquito cuenta con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura promedio oscila entre 16° y 18°C, mientras que la lluvia promedio total es de 880 mm anuales. De acuerdo con la hidrología de la cuenca, las zonas altas donde nacen la mayoría de los manantiales se encuentran al sur, y a partir de ahí

se forman los diferentes arroyos y otros cuerpos de agua que se unen al cauce principal, el cual conforme va fluyendo hacia las partes más bajas al norte de la cuenca, se convierte en un canal rectificado al entrar a la zona urbana de Morelia. La microcuenca del Río Chiquito constituye colinas y lomeríos altos correspondiente a 68.26 km<sup>2</sup> (75% del territorio total). El resto del área conforma un sistema de planicies fluvio-lacustres o valles que se forman por el paso del agua. En este lugar, se presenta una alta biodiversidad y distintos tipos de ecosistemas, como son, bosques de pinos, bosques de encinos y pastizales (IMPLAN, Morelia, 2016).

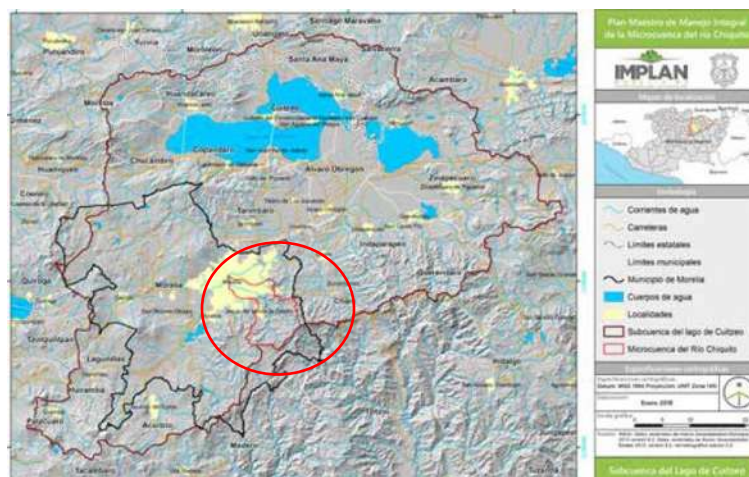


Figura 3. Localización de la microcuenca del Río chiquito (polígono delineado de rojo, dentro del círculo rojo). Tomado de Caracterización de la microcuenca del Río Chiquito (IMPLAN, Morelia, 2016).

### Muestreo y recopilación de datos

El muestreo se realizó durante los meses de mayo de 2021 a junio de 2022, con visitas mensuales. El muestreo comprendió un horario de 7:00 am a 7:00 pm, período en el que se realizó una revisión de las especies de flores y especies de colibríes presentes en estas áreas. Además, para establecer la variación estacional, se dividieron los muestreos en tres temporadas: a) la temporada de secas cálidas, la cual abarca los meses de noviembre a febrero; b) la temporada de secas cálidas, que comprende los meses de marzo a junio y c) la temporada de lluvias, correspondiente a los meses de julio a octubre (Reyna, 2005; Tapia, 2015). Para acceder a las áreas verdes seleccionadas, se informó a las autoridades

correspondientes, la Dirección de Protección al Medio Ambiente y Sustentabilidad, la Secretaría de Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Territorial y al H. Ayuntamiento de la ciudad de Morelia, mediante oficios de solicitud de permiso, en los cuales se explicó el propósito del proyecto de investigación y las actividades a realizar.

### **Captura de colibríes**

Se llevó a cabo la captura de colibríes mediante el método de captura con redes de niebla de seis metros (Ralph *et al.*, 1996). Estas redes fueron colocadas en puntos estratégicos (con presencia de flores que utilizan los colibríes como recurso alimenticio), en un horario de 7:00 am a 11:00 am y de 3:00 pm a 7:00 pm. Una vez capturados los individuos, se les tomó una muestra de polen, pasando trozos de gelatina con colorante por la cabeza, pico y garganta (Amaya-Márquez *et al.*, 2001). Además, se tomaron fotografías para la identificación de la especie y datos morfométricos del individuo capturado (tamaño de alas, tarso, pico, largo total, peso), empleando instrumentos de medición como Vernier electrónico y una balanza de precisión electrónica. Se identificaron con la ayuda de las guías de identificación: Colibríes de México y Norteamérica (Arizmendi y Berlanga, 2014) y A field guide to Mexican Birds (Peterson y Chalif, 1973). Una vez registrados estos datos, los individuos fueron liberados.

### **Observaciones**

En cada una de las tres áreas, se realizaron observaciones directas utilizando binoculares Vortex 8x42 mm. Se seleccionaron cuatro puntos de observación en cada sitio con presencia de parches florales de uso alimenticio para los colibríes y separados por aproximadamente 50 metros. (Ralph *et al.*, 1996). Se estableció una vigilancia continua durante veinte minutos en cada punto durante dos períodos del día, por la mañana entre las 7:00 y las 11:00 y por la tarde entre las 15:00 y 19:00 horas. Logrando un total de dos horas y 40 minutos por cada sitio mensualmente.

Los datos que se registraron son especie de flor visitada, especie de colibrí (visitante), hora en que visita y número de flores por visita y el tiempo total que visitó la planta. Adicionalmente, se consideró el comportamiento de forrajeo de los colibríes al visitar las flores, es decir, la eficiencia en la polinización. De manera que, la visita se consideró legítima: cuando el colibrí tocó las estructuras de la flor mientras se alimentó del néctar. Por otro lado, la visita se consideró ilegítima cuando los individuos tomaron el néctar, pero no tocaron las estructuras de la flor. Se tomaron algunas fotografías de las especies avistadas para su posterior identificación, tanto de colibríes como de las plantas utilizadas como recurso.

### **Fenología de plantas**

Para conocer la abundancia y la disponibilidad del recurso floral alimenticio de los colibríes, se llevó a cabo recorridos mensuales en cada sitio, caminando cuatro transectos de 250 metros de largo por un metro de ancho (Mostacedo y Fredericksen, 2000). En estos recorridos se registraron las especies de plantas encontradas y el número de flores abiertas, de especies de plantas utilizadas por colibríes. Además, se tomó una muestra de polen directa de la flor para conocer su palinomorfo y contrastar posteriormente con los granos de polen encontrados en las muestras tomadas de los colibríes. Se fotografiaron las flores y se colectó un ejemplar, para una posterior identificación taxonómica con la ayuda de la guía “Flora Fanerogámica del Valle de México” (Rzedowski *et al.*, 2005), además de utilizar la plataforma digital Naturalista y un catálogo de flora “Plantas del Cerro El Águila” (Cornejo-Tenorio y Ibarra-Manríquez, 2011).

### **Producción de néctar**

Para la medición de la producción de néctar, se embolsaron botones de especies de flores utilizadas por los trochilidos. Los botones fueron embolsados un día antes de la medición con bolsas de tela de tul y de botones que fueran a abrir al siguiente día. Una vez abiertas las flores, se procedió a medir el volumen de néctar

utilizando tubos microcapilares de 50  $\mu$ l. Para medir la concentración de azúcares ( $^{\circ}$ Brix), se utilizó un refractómetro manual (Brix refractometer, 0-90 $^{\circ}$ Brix) (Rodríguez y Araujo, 2011; Ramírez-Burbano, et al., 2007). Ambas mediciones se llevaron a cabo dos veces al día, por la mañana entre las 7:00 y las 11:00 y por la tarde entre las 15:00 y 19:00 horas, una vez al mes durante su período de floración.

### **Trabajo de laboratorio**

Se revisaron las cargas de polen colectadas de cada individuo de colibrí y de las flores, utilizando un microscópico óptico Olympus Cx21LED. Se elaboró un manual de referencia con fotografías de los palinomorfos de cada especie de planta. Los granos de polen del colibrí fueron identificados mediante comparación con el polen colectado directamente de las flores, basándonos en el manual de referencia. Adicionalmente, se contó el número total de cada palinomorfo presente en cada muestra para determinar las plantas que presentan mayor abundancia de granos de polen en las cargas polínicas de los colibríes. Estas actividades fueron realizadas en el Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica, ENES unidad Morelia, UNAM.

### **Análisis estadísticos**

Para saber si los datos cumplían una distribución normal, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk ( $n < 50$ ) y la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $n > 50$ ). Además, se utilizó la prueba de homocedasticidad (homogeneidad de varianzas) de Levene.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para conocer la variación en la abundancia de las especies de colibríes y la variación del recurso floral disponible en las tres temporadas, obteniendo los promedios y el error estándar. Además, se realizó una prueba de Tukey para evidenciar diferencias significativas. Estos análisis se realizaron en el programa R Studio (R Studio Team, 2022).

Para determinar la relación entre la frecuencia de visitas de los colibríes y la disponibilidad del recurso, la concentración y volumen del néctar, se realizaron correlaciones de Spearman en el programa R Studio (R Studio Team, 2022).

El traslape de nicho se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula  $O_{jk} = \frac{(\sum P_{ij} P_{ik})}{(\sqrt{\sum P_{ij}^2 \sum P_{ik}^2})}$ , donde  $O_{jk}$  = índice de traslape de nicho de Pianka entre las especies  $j$  y  $k$ .  $P_{ij}$  = valor de importancia del recurso  $i$  para la especie  $j$ .  $P_{ik}$  = valor de importancia del recurso  $i$  para la especie  $k$  (Tapia, 2015). Para este análisis se utilizó el Software EcoSim 7.0 (Gotelli y Entsminger, 2001) considerando las visitas de colibríes a las flores.

Para evaluar si los colibríes realizan visitas de manera legítima (contacto de estructuras reproductivas de la flor) o ilegítima (sin contacto de las estructuras reproductivas de la flor) a las flores, se realizaron dos redes de interacción, la primera tomando en cuenta las visitas de los colibríes a las flores donde tocaron las estructuras reproductivas de la flor. La segunda red se formó con los datos obtenidos de las visitas donde los colibríes no tuvieron contacto con las estructuras.

## Resultados

### Ensamble de colibríes

Con un total de 96 horas de observación, se registraron 522 individuos de colibríes observados. El ensamble de colibríes se conformó por seis especies (Figura 4) de las cuales, tres fueron residentes (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*) (Figura 4a), dos especies fueron migratorias (*Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus*) (Figura 4b) y una especie fue ocasional (*Basilinna leucotis*) (Figura 4c). *Cynanthus latirostris* fue la especie con mayor número de observaciones (169 individuos), seguido de *Saucerottia beryllina* (137 individuos) (Tabla 1).

#### a) Especies de colibríes residentes



#### b) Especies de colibríes migratorias



#### c) Especie de colibrí ocasional



Figura 4. Especies de colibríes observados en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán.

Tabla 1. Especies de colibríes observados en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán. Los números dentro de la tabla indican las veces que se observó la especie de colibrí. Las cifras en negritas señalan los valores más altos.

| <b>Especie de colibrí</b>    | <b>OBSERVACIONES</b> |
|------------------------------|----------------------|
| <i>Archilochus colubris</i>  | 83                   |
| <i>Basilinna leucotis</i>    | 6                    |
| <i>Cynanthus latirostris</i> | <b>169</b>           |
| <i>Leucolia violiceps</i>    | 90                   |
| <i>Saucerottia beryllina</i> | 137                  |
| <i>Selasphorus rufus</i>     | 37                   |
| <b>TOTAL</b>                 | <b>522</b>           |

### **Relación entre la abundancia de colibríes y la producción de néctar**

No se encontró una relación entre la abundancia de colibríes y la concentración de azúcar en el néctar de las flores para ninguna temporada (lluvias  $r = -0.31$ ,  $p = 0.27$ ; secas cálidas  $r = -0.28$ ,  $p = 0.34$ ; secas frías  $r = -0.096$ ,  $p = 0.82$ ).

En el caso del volumen del néctar, solo para la temporada de lluvias la tendencia fue positiva, sin embargo, no se obtuvo un valor significativo, (lluvias  $r = 0.35$ ,  $p = 0.2$ ; secas cálidas  $r = -0.16$ ,  $p = 0.58$ ; secas frías  $r = -0.11$ ,  $p = 0.8$ ). De manera que, para este estudio, la producción de néctar no influye en la abundancia de colibríes.

### **Relación entre la abundancia de colibríes y la abundancia de recurso floral**

La relación entre la abundancia de flores y la frecuencia de visitas de colibríes fue positiva y significativa para las tres temporadas (lluvias  $r= 0.52$ ,  $p= 0.00024$ ; secas cálidas  $r= 0.7$ ,  $p= 0.0019$ ; secas frías  $r= 0.55$ ,  $p= 0.00089$ ) (Figuras 5, 6 y 7, respectivamente). Lo anterior indica que a mayor número de recurso floral disponible mayor es la abundancia de los colibríes.

Además, el tiempo que pasan los colibríes visitando una planta es mayor cuando existe mayor número de flores disponibles, ya que la relación fue positiva y significativa en las tres temporadas para la relación entre el número de flores disponibles y el tiempo de visita a las plantas (lluvias  $r= 0.5$ ,  $p= 0.0035$ ; secas cálidas  $r= 0.71$ ,  $p= 0.0013$ ; secas frías  $r= 0.77$ ,  $p= 0.021$ ) (Figura 8).

También se encontró relación positiva y significativa entre el número de flores visitadas y el número de flores disponibles (lluvias  $r= 0.56$ ,  $p= 0.00093$ ; secas cálidas  $r= 0.75$ ,  $p= 0.00047$ ; secas frías  $r= 0.93$ ,  $p= 0.00075$ ) (Figura 9).

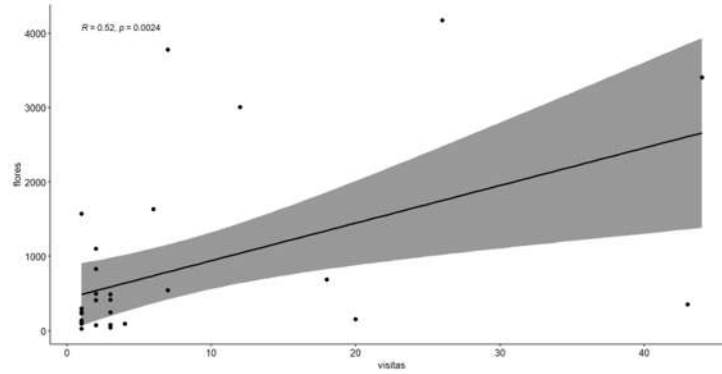


Figura 5. Relación entre la abundancia de colibríes y el número de flores disponibles en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán para la temporada de lluvias. Eje de las y= número de flores disponibles, eje de las x= número de visitas de colibríes.

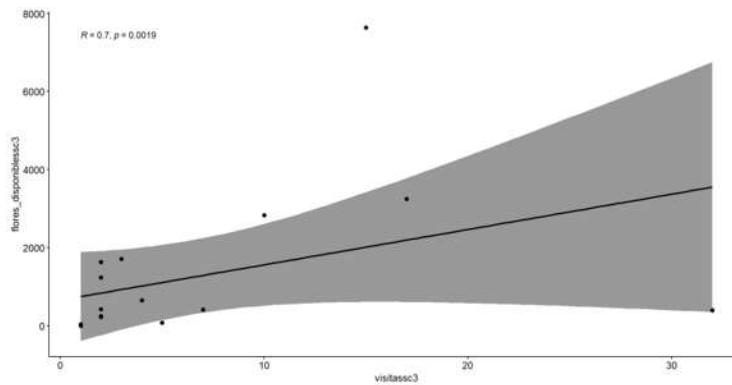


Figura 6. Relación entre la abundancia de colibríes y el número de flores disponibles en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán para la temporada de lluvias. Eje de las y= número de flores disponibles, eje de las x= número de visitas de colibríes.

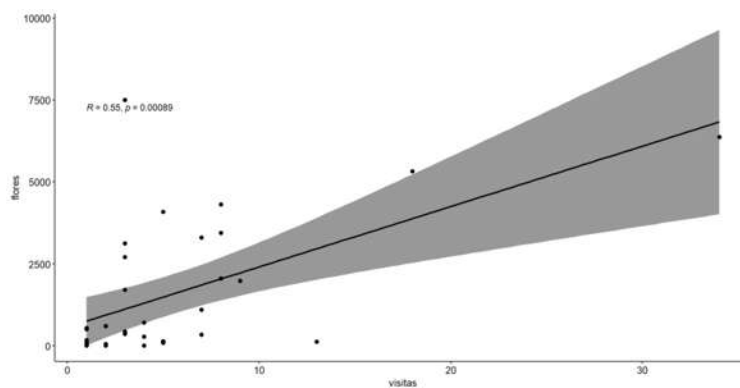


Figura 7. Relación entre la abundancia de colibríes y el número de flores disponibles en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán para la temporada de lluvias. Eje de las y= número de flores disponibles, eje de las x= número de visitas de colibríes.

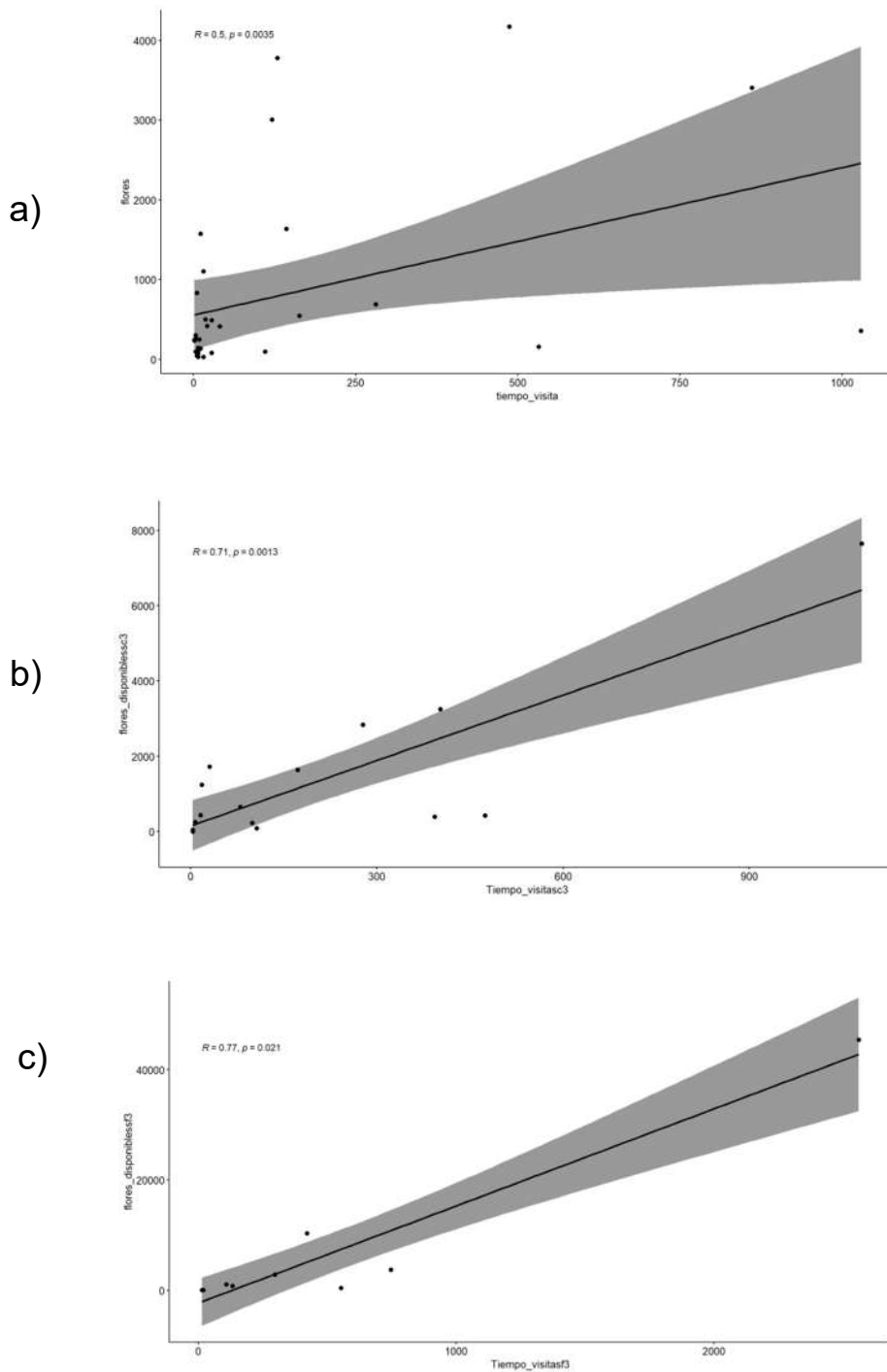


Figura 8. Relación entre el número de flores disponibles y el tiempo total por visita de los colibríes en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán. a) Temporada de lluvias; b) temporada de secas cálidas; c) temporada de secas frías. Eje de las y= número de flores disponibles, eje de las x= tiempo de visita (minutos) de los colibríes.

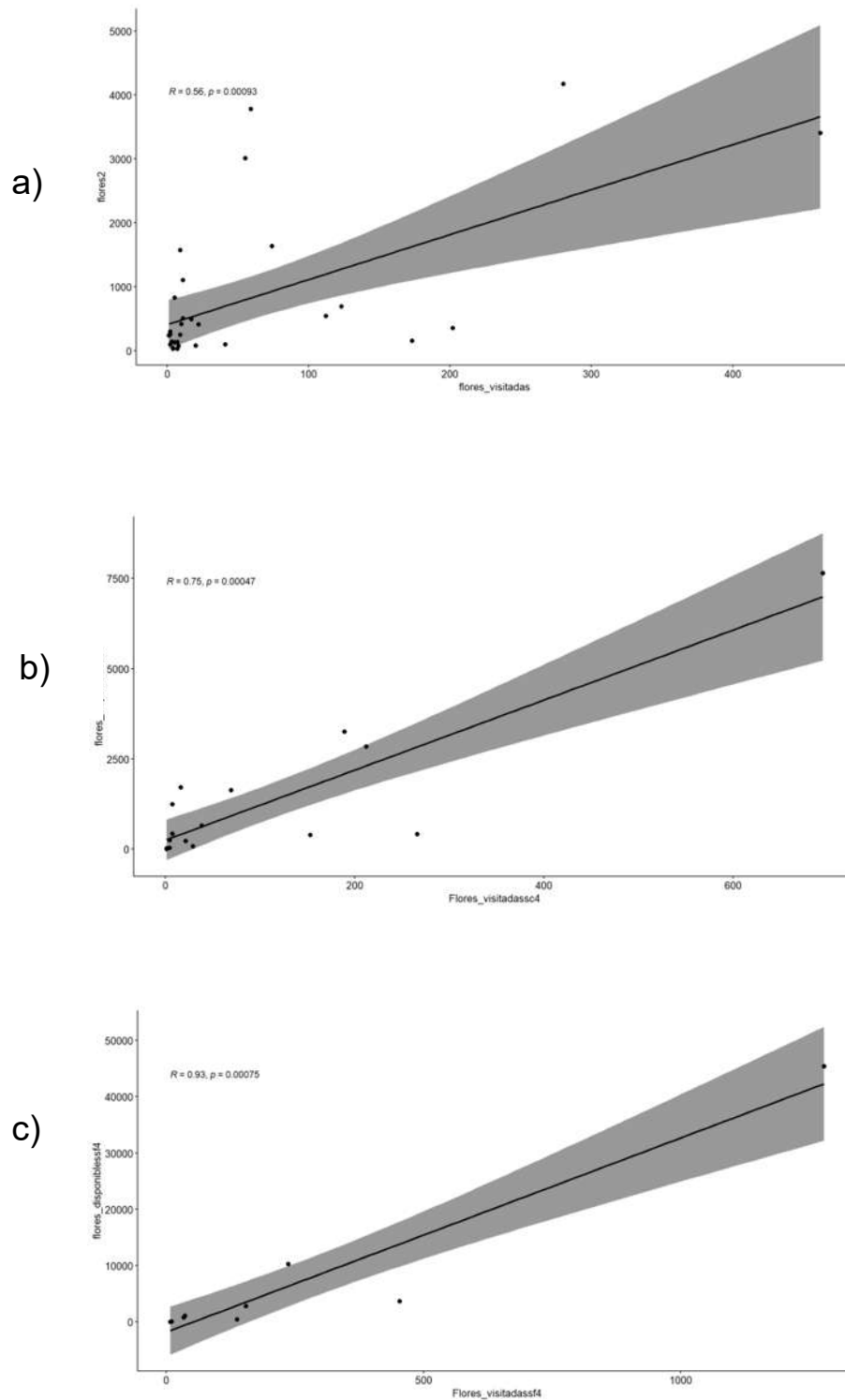


Figura 9. Relación entre el número de flores disponibles y el número de flores visitadas por los colibríes en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán. a) Temporada de lluvias; b) temporada de secas cálidas; c) temporada de secas frías. Eje de las y= número de flores disponibles, eje de las x= número de flores visitadas por los colibríes.

## Disponibilidad de recurso floral

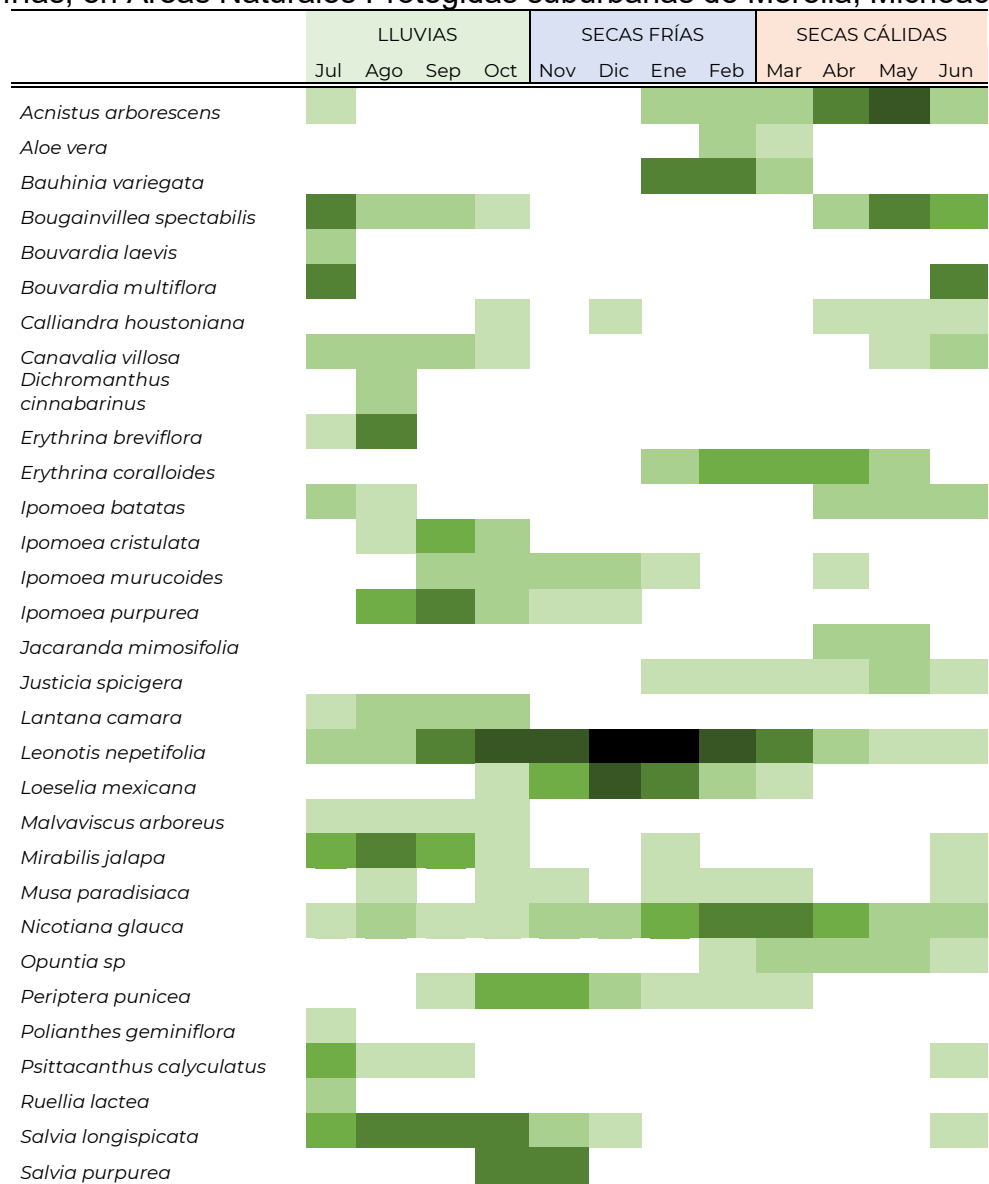
De acuerdo a los datos registrados para conocer la disponibilidad del recurso floral en las Áreas Naturales Protegidas de Morelia, Michoacán, se encontró que en general existe recurso disponible y variado todo el año. Sin embargo, fue en la temporada de secas frías donde se registró mayor número de flores disponibles y mayor abundancia de plantas, pero un menor número de especies de plantas (Tabla 2).

En base al análisis de varianza (ANOVA), al comparar la disponibilidad del recurso floral (flores abiertas) que los colibríes utilizan como alimento en las tres temporadas, se indicó diferencias significativas ( $F_{(2,2)} = 7.89$ ;  $p = 0.002$ ). La temporada de secas frías obtuvo el valor más alto para el promedio de flores disponibles ( $5599.92 \pm 3043.30$ ) siendo significativamente diferente de la temporada de secas cálidas con el valor más bajo ( $1747.92 \pm 1760.58$ ) (Figura 10).

Además, para la abundancia de plantas en general, se encontró diferencias significativas ( $F_{(2,2)} = 15.50$ ;  $p = 0.0002$ ), siendo la temporada de secas frías ( $359.25 \pm 223.26$ ) diferente de secas cálidas ( $46.83 \pm 31.50$ ) y lluvias ( $197.67 \pm 161.42$ ), al presentar el valor más bajo (Figura 11).

Sin embargo, el número promedio de especies de plantas por temporada también registro diferencias significativas ( $F_{(2,2)} = 6.53$ ;  $p = 0.004$ ) y la temporada de lluvias registró el valor más alto ( $8.75 \pm 1.71$ ), siendo significativamente diferente de secas cálidas y secas frías (Figura 12).

Tabla 2. Disponibilidad de recurso floral en temporada de lluvias, secas cálidas y secas frías, en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán.



Rangos para el número de flores abiertas:



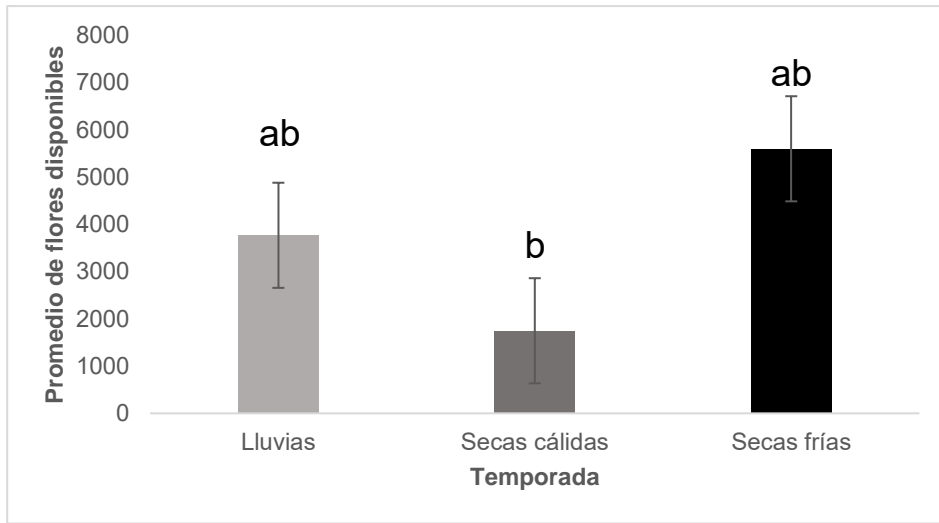
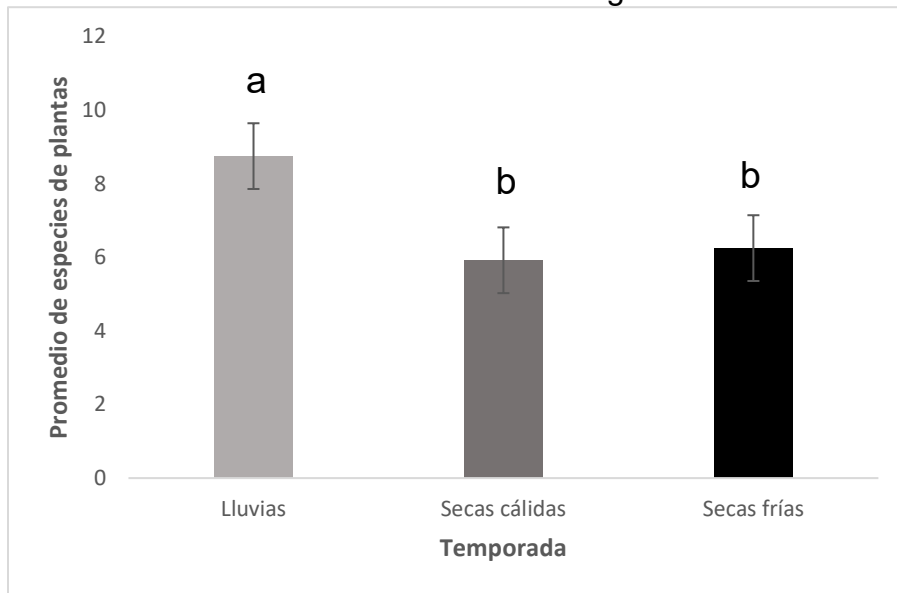


Figura 10. Valor promedio del número de flores disponibles como recurso alimenticio para colibríes en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán en temporada de lluvias, secas cálidas y secas frías. Las barras no conectadas con la misma letra indican diferencias significativas.



Figura 11. Valor promedio de la abundancia de plantas como recurso alimenticio para colibríes en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán en temporada de lluvias, secas cálidas y secas frías. Las barras no conectadas con la misma letra indican diferencias significativas.

Figura 12. Valor promedio del número de especies de plantas como recurso alimenticio para colibríes en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán en temporada de lluvias, secas cálidas y secas frías. Las barras no conectadas con la misma letra indican diferencias significativas.



### Traslape de nicho alimenticio

Se comparó el traslape de nicho alimenticio entre especies de colibríes de forma global y por temporada. Para el análisis global, en general, las especies migratorias (*Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus*) mostraron un alto traslape con las especies residentes (Tabla 2). El valor más alto fue entre las especies *Selasphorus rufus* (especie migratoria) y *Saucerottia beryllina* (especie residente) (0.903). Entre especies residentes el traslape más alto fue con *Saucerottia beryllina* y *Cynanthus latirostris*, con un valor de 0.868 (Tabla 3).

En cuanto al traslape de nicho alimenticio en cada temporada, los valores más altos fueron entre las especies migratorias y las especies residentes, siendo entre *Selasphorus rufus* (especie migratoria) y *Saucerottia beryllina* el valor más alto en temporada de lluvias (0.953) y entre *Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus* (ambas especies migratorias) en temporada de secas frías (0.928). En secas cálidas el traslape más alto fue entre dos especies residentes, *Leucolia violiceps* y *Saucerottia beryllina* (0.786) (Tabla 4).

Tabla 3. Traslape de nicho alimenticio entre las especies de colibríes de las Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán. Las cifras en negritas indican los valores más altos.

|                       | <i>A. colubris</i> | <i>B. leucotis</i> | <i>C. latirostris</i> | <i>L. violiceps</i> | <i>S. beryllina</i> | <i>S. rufus</i> |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| <i>A. colubris</i>    |                    | 0                  | <b>0.798</b>          | <b>0.635</b>        | <b>0.826</b>        | <b>0.889</b>    |
| <i>B. leucotis</i>    |                    |                    | 0.042                 | 0.011               | 0.101               | 0               |
| <i>C. latirostris</i> |                    |                    |                       | 0.612               | <b>0.868</b>        | <b>0.782</b>    |
| <i>L. violiceps</i>   |                    |                    |                       |                     | 0.412               | 0.301           |
| <i>S. beryllina</i>   |                    |                    |                       |                     |                     | <b>0.903</b>    |
| <i>S. rufus</i>       |                    |                    |                       |                     |                     |                 |

Tabla 4. Traslape de nicho alimenticio entre las especies de colibríes de las Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán. Las cifras en negritas indican los valores más altos.

|               | <i>A. colubris</i>    | <i>B. leucotis</i> | <i>C. latirostris</i> | <i>L. violiceps</i> | <i>S. beryllina</i> | <i>S. rufus</i> |              |
|---------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|--------------|
| Lluvias       | <i>A. colubris</i>    |                    | 0                     | <b>0.874</b>        | <b>0.667</b>        | 0.73            | 0.736        |
|               | <i>B. leucotis</i>    |                    |                       | 0.075               | 0.028               | 0.029           | 0            |
|               | <i>C. latirostris</i> |                    |                       |                     | 0.576               | <b>0.881</b>    | <b>0.846</b> |
|               | <i>L. violiceps</i>   |                    |                       |                     |                     | 0.225           | 0.122        |
|               | <i>S. beryllina</i>   |                    |                       |                     |                     |                 | <b>0.953</b> |
|               | <i>S. rufus</i>       |                    |                       |                     |                     |                 |              |
| Secas cálidas | <i>B. leucotis</i>    |                    | 0.071                 | 0                   | 0.383               |                 |              |
|               | <i>C. latirostris</i> |                    |                       |                     | <b>0.698</b>        | 0.653           |              |
|               | <i>L. violiceps</i>   |                    |                       |                     |                     | <b>0.786</b>    |              |
|               | <i>S. beryllina</i>   |                    |                       |                     |                     |                 |              |
| Secas frías   | <i>A. colubris</i>    |                    | <b>0.91</b>           | 0.619               | <b>0.82</b>         | <b>0.928</b>    |              |
|               | <i>C. latirostris</i> |                    |                       |                     | <b>0.826</b>        | <b>0.815</b>    | <b>0.908</b> |
|               | <i>L. violiceps</i>   |                    |                       |                     |                     | 0.685           | 0.595        |
|               | <i>S. beryllina</i>   |                    |                       |                     |                     |                 | 0.792        |
|               | <i>S. rufus</i>       |                    |                       |                     |                     |                 |              |

## Eficiencia de polinización en las visitas de los colibríes

Se registraron 522 visitas de colibríes a las flores, de las cuales, una proporción del 26 % correspondió a visitas ilegítimas, donde no hubo contacto con las estructuras reproductivas de la flor. De las 29 especies de flores visitadas por el ensamble de colibríes, las 29 especies fueron visitadas de manera legítima, donde los colibríes tocaron las estructuras reproductivas de la flor (Figura 13). Sin embargo, de estas 29 especies, cinco presentaron también visitas ilegítimas, las cuales fueron *Leonotis nepetifolia*, *Bauhinia variegata*, *Ipomoea murucoides*, *Erythrina coralloides* y *Canavalia villosa*. Se observó que los colibríes migratorios *Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus* quienes presentaron un tamaño de longitud total promedio más pequeño (78.11 mm y 18.79 mm, respectivamente) (Tabla 5) visitaron pocas veces de manera ilegítima una sola especie de flor, *Leonotis nepetifolia*, con nueve y cinco visitas, respectivamente (Tabla 5, Figura 14).

En el caso de los colibríes residentes (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*) que presentaron un mayor tamaño (Tabla 5), la mayoría de sus visitas a *Leonotis nepetifolia* fueron de manera ilegítima (Tabla 6, Figura 14). Además, presentaron pocas visitas ilegítimas a otras especies de flores como *Bauhinia variegata*, *Erythrina coralloides*, *Ipomoea murucoides* y *Canavalia villosa* (Figura 14) en las cuales se les observó libando de la flor, pero sin tener contacto con las estructuras de la flor.

Tabla 5. Medidas morfométricas de las especies de colibríes presentes en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán. Las cifras en negritas indican los valores más bajos indicando los colibríes de menor tamaño.

| ESPECIES DE COLIBRÍES        | LARGO DE PICO (mm) | LARGO TOTAL (mm) |
|------------------------------|--------------------|------------------|
| <i>Archilochus colubris</i>  | <b>18.79</b>       | <b>78.11</b>     |
| <i>Selasphorus rufus</i>     | <b>18.55</b>       | <b>81.43</b>     |
| <i>Basilinna leucotis</i>    | <b>16.9</b>        | <b>79</b>        |
| <i>Cynanthus latirostris</i> | 23.2               | 87.79            |
| <i>Leucolia violiceps</i>    | 24.38              | 96.07            |
| <i>Saucerottia beryllina</i> | 19.84              | 85.94            |

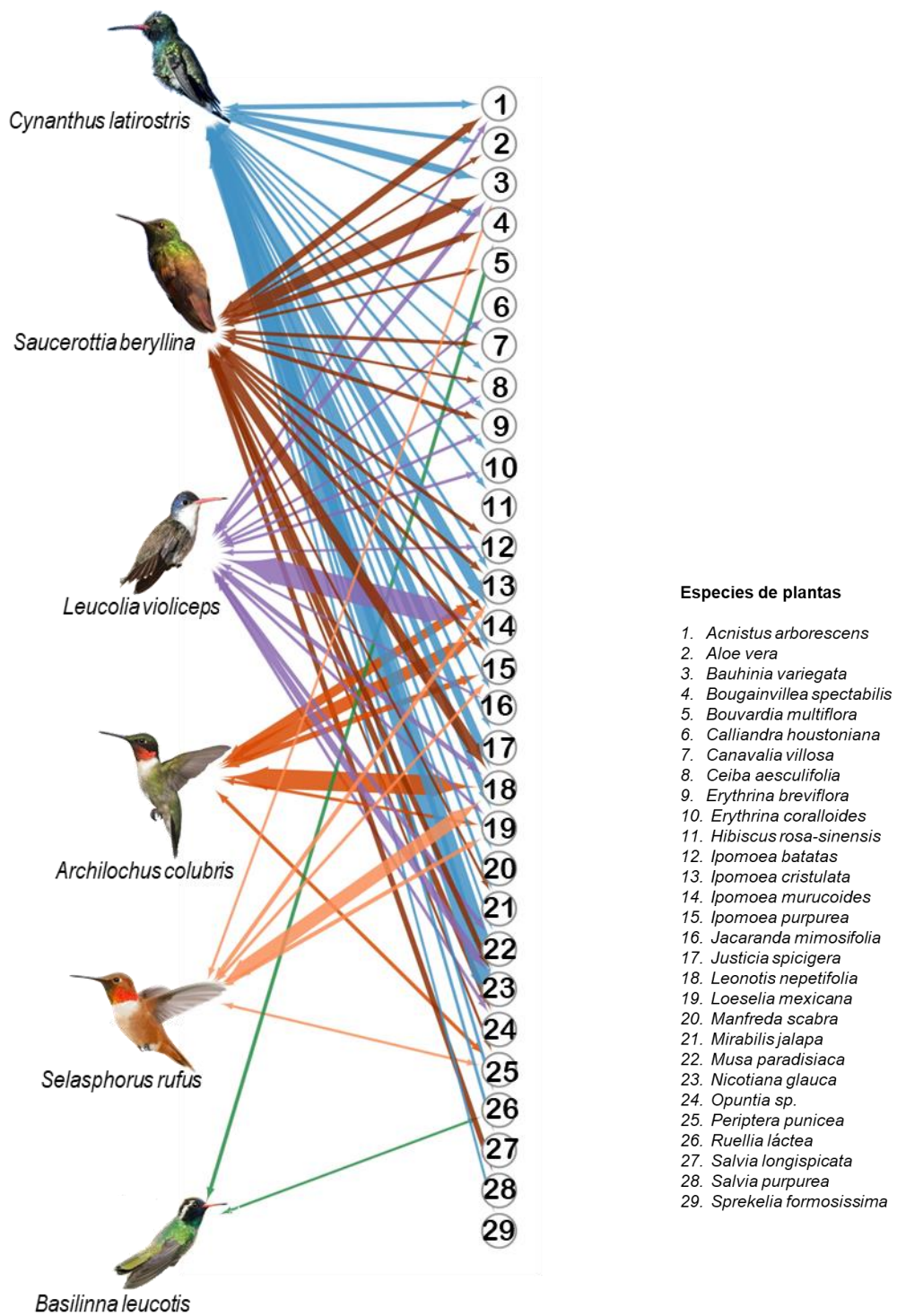


Figura 13. Visitas legítimas (tocando estructuras reproductivas) de los colibríes a las flores en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán.

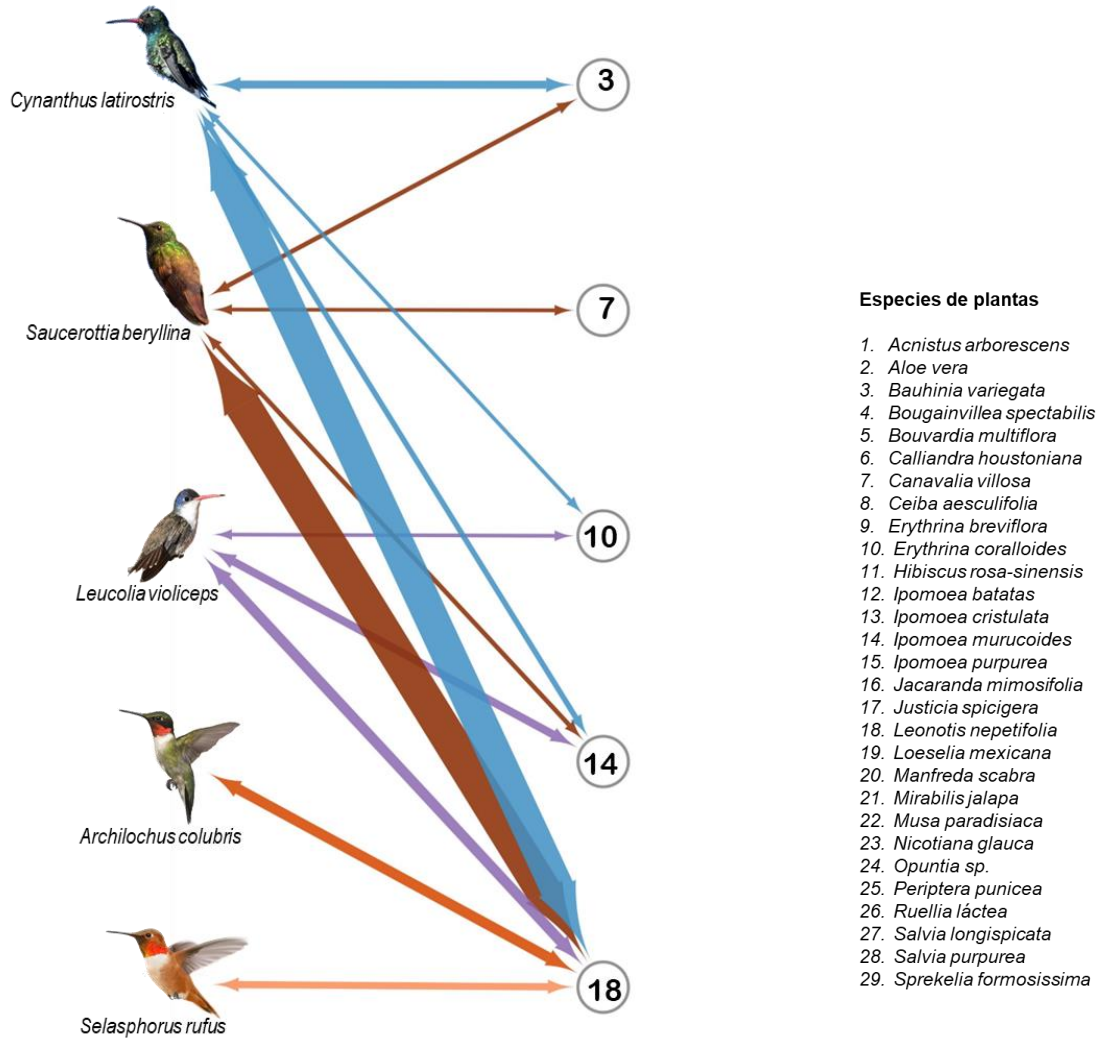


Figura 14. Visitas ilegítimas (sin tocar las estructuras reproductivas) de los colibríes a las flores en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán.

Tabla 5. Visitas legítimas e ilegítimas de las especies de colibríes a las flores presentes en Áreas Naturales Protegidas suburbanas de Morelia, Michoacán. V. I.= visitas ilegítimas; V. L= visitas legítimas.

|                                  | <i>Archilochus colubris</i> |       | <i>Basilinna leucotis</i> | <i>Cynanthus latirostris</i> |       | <i>Leucolia violiceps</i> |       | <i>Saucerottia beryllina</i> |       | <i>Selasphorus rufus</i> |       |
|----------------------------------|-----------------------------|-------|---------------------------|------------------------------|-------|---------------------------|-------|------------------------------|-------|--------------------------|-------|
|                                  | V. I.                       | V. L. | V. L.                     | V. I.                        | V. L. | V. I.                     | V. L. | V. I.                        | V. L. | V. I.                    | V. L. |
| <i>Acnistus arborescens</i>      |                             |       |                           |                              | 5     |                           | 2     |                              | 9     |                          |       |
| <i>Aloe vera</i>                 |                             |       |                           |                              | 4     |                           |       |                              | 1     |                          |       |
| <i>Bauhinia variegata</i>        |                             |       |                           | 6                            | 4     |                           | 5     | 6                            | 12    |                          | 1     |
| <i>Bougainvillea spectabilis</i> |                             |       | 3                         |                              | 2     |                           |       |                              | 7     |                          |       |
| <i>Bouvardia multiflora</i>      |                             |       |                           |                              |       |                           |       |                              | 2     |                          |       |
| <i>Calliandra houstoniana</i>    |                             |       |                           |                              |       |                           | 1     |                              |       |                          |       |
| <i>Canavalia villosa</i>         |                             |       |                           |                              | 2     |                           |       | 1                            | 3     |                          |       |
| <i>Ceiba aesculifolia</i>        |                             |       |                           |                              | 1     |                           | 1     |                              | 1     |                          |       |
| <i>Erythrina breviflora</i>      |                             |       |                           |                              | 1     |                           | 2     |                              | 4     |                          |       |
| <i>Erythrina coralloides</i>     |                             |       |                           | 1                            | 2     | 1                         | 2     |                              |       |                          |       |
| <i>Hibiscus rosa-sinensis</i>    |                             |       |                           |                              | 2     |                           |       |                              |       |                          |       |
| <i>Ipomoea batatas</i>           |                             |       |                           |                              |       |                           | 1     |                              | 3     |                          |       |
| <i>Ipomoea cristulata</i>        |                             | 13    |                           |                              | 2     |                           |       |                              | 3     |                          | 4     |
| <i>Ipomoea murucoides</i>        |                             | 19    |                           | 6                            | 13    | 6                         | 37    | 2                            | 3     |                          |       |
| <i>Ipomoea purpurea</i>          |                             | 7     |                           |                              | 3     |                           |       |                              | 4     |                          | 2     |
| <i>Jacaranda mimosifolia</i>     |                             |       |                           |                              | 1     |                           | 1     |                              |       |                          |       |
| <i>Justicia spicigera</i>        |                             |       |                           |                              | 2     |                           |       |                              |       |                          |       |
| <i>Leonotis nepetifolia</i>      | 9                           | 30    |                           | 37                           | 11    | 10                        | 4     | 44                           | 10    | 6                        | 19    |
| <i>Loeselia mexicana</i>         |                             | 2     |                           |                              | 8     |                           | 2     |                              |       |                          | 4     |
| <i>Manfreda scabra</i>           |                             |       |                           |                              | 2     |                           |       |                              |       |                          |       |
| <i>Mirabilis jalapa</i>          |                             |       |                           |                              | 2     |                           |       |                              | 1     |                          |       |
| <i>Musa paradisiaca</i>          |                             |       |                           |                              | 1     |                           | 4     |                              |       |                          |       |
| <i>Nicotiana glauca</i>          |                             |       |                           |                              | 20    |                           | 9     |                              | 6     |                          |       |
| <i>Opuntia sp</i>                |                             |       |                           |                              | 25    |                           | 2     |                              | 7     |                          |       |
| <i>Periptera punicea</i>         |                             | 3     |                           |                              |       |                           |       |                              | 1     |                          | 1     |
| <i>Ruellia lactea</i>            |                             |       | 1                         |                              | 2     |                           |       |                              |       |                          |       |
| <i>Salvia longispicata</i>       |                             |       |                           |                              | 2     |                           |       |                              |       |                          |       |
| <i>Salvia purpurea</i>           |                             |       |                           |                              |       |                           |       |                              | 6     |                          |       |
| <i>Sprekelia formosissima</i>    |                             |       |                           |                              | 1     |                           |       |                              |       |                          |       |

## Discusión

El estudio de la interacción planta-colibrí, es fundamental para comprender la relación que existe entre las diferentes especies de flores y de colibríes, en términos de interacciones mutualistas. Ya que estas, conforman la estructura y son la base de la funcionalidad del ecosistema. En este estudio, analizamos la composición del ensamble de colibríes y su relación con los recursos florales disponibles, además de analizar la disponibilidad del recurso floral, el traslape de nicho en cuanto a la frecuencia de uso del recurso y el comportamiento de forrajeo en la visita de las flores (visitas legítimas e ilegítimas) considerando la variación estacional.

Nuestros resultados indican que el ensamble está conformado por seis especies de colibríes, de las once especies que se han reportado históricamente para algunos sitios de la ciudad de Morelia (García, 2009; Gómez, 2016; Villaseñor-Madrigal, 2020). Tres especies fueron residentes, ya que se encontraron todo el período de muestreo (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*), dos especies se registraron como migratorias (*Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus*) y una especie fue ocasional (*Basilinna leucotis*) lo que coincide con las especies de colibríes reportadas en otros trabajos (Reyna, 2005; Gómez, 2016; Villaseñor-Madrigal, 2020). Además, la abundancia de colibríes fue distinta a lo largo del año, registrando la mayor abundancia de colibríes observados en términos de frecuencia de visita a las flores se registró en la temporada de lluvias. Estos resultados coinciden con lo reportado en algunos estudios (Morales-González, et al., 2020), mientras que, en otros trabajos, solo algunas especies de colibríes específicas fueron las que presentaron mayor abundancia en esta temporada de lluvias (Partida, et al., 2012). Además, algunos autores han sugerido que los cambios temporales en las aves y los recursos que utilizan están relacionados con los patrones de lluvia (Stiles, 1985; Arizmendi y Ornelas, 1990; Gutiérrez, et al., 2004; Bustamante-Castillo, et al., 2018). Efectivamente, en este trabajo coincidió con que en esta temporada se registró la mayor variedad de especies de plantas en floración, sugiriendo que el tipo de alimento podría influir en la composición del ensamble de

colibríes como lo menciona la literatura (Abrahamczyk y Kessler, 2010). De manera que, nuestros resultados indicaron una relación positiva y significativa entre la frecuencia de visitas de los colibríes a las flores con la abundancia del recurso floral disponible, coincidiendo con otros estudios que encontraron resultados similares (Malizia, 2001; Abrahamczyk y Kessler, 2010; Jiménez, et al., 2012; Partida, et al., 2012; Toloza-Moreno, et al., 2014; Abrahamczyk y Kessler, 2014; Medina-Van, et al., 2016). Además, se encontró que, el tiempo que pasan los colibríes visitando una planta es mayor cuando existe mayor número de flores disponibles, ya que la relación fue positiva y significativa en las tres temporadas, así como también para la relación entre el número de flores visitadas y el número de flores disponibles. Siendo este resultado similar al encontrado en el trabajo realizado por Nieto y Silva (2012), sugiriendo que la producción masiva de flores es una estrategia para atraer un mayor número de colibríes a la planta. Por lo tanto, este estudio podría indicar que, los colibríes al visitar con mayor frecuencia las plantas con mayor número de flores prefieren cantidad de recurso floral disponible antes que la calidad del alimento.

Por otro lado, aunque la calidad y cantidad de néctar representa una característica muy importante en la selección del recurso alimenticio de los colibríes (Salamanca-Reyes, 2011), en este estudio no se encontró relación entre la frecuencia de las visitas de estas aves a las flores y el volumen de néctar y/o la concentración de azúcar en la producción del néctar de las flores. El resultado en la concentración de azúcar fue similar con lo de otros trabajos, donde tampoco se encontró ninguna relación significativa (Ortiz-Pulido y Lara, 2011; Velasquez, 2018). En el caso del volumen de néctar, nuestros resultados no coinciden con la relación encontrada en algunos trabajos, donde las flores con mayor volumen de néctar presentaron mayor frecuencia de visitas (Partida, 2011; Martínez-Meneses y Torres-González, 2020). Una posible explicación a esto es que la producción de néctar disponible para los trochilidos, algunas veces resulta afectado por factores fisiológicos de la planta (Torres, et al., 2008). De manera que esto podría contribuir a una alteración y variabilidad de la producción del néctar (Partida, 2011; Hernández, 2022) y por ende no ser influyente en la selección del recurso por parte de los colibríes. Siendo así

que, la variación del néctar entre las flores podría influir aumentando o disminuyendo la cantidad de visitas a la planta (Torres, et al., 2008). Ya que además los colibríes son capaces de identificar señales visuales sobre el estado del néctar de las flores (Torres, et al., 2008). Sin embargo, podrían ser solo especulaciones, se considera que, para encontrar un patrón más definido entre la producción de néctar y las frecuencias de las visitas de colibríes, son requeridos más estudios que tomen en cuenta otros factores como la temperatura de la flor, la edad de la flor y mediciones consecutivas para determinar si varía cada reposición del néctar.

En cuanto a la disponibilidad del recurso floral y a partir de los registros de floración, nuestros resultados sugieren una variación temporal de flores, de manera que la oferta de flores disponibles y la mayor abundancia de plantas es mayor en la temporada de secas frías, sin embargo, existe una menor variedad de especies, siendo esta mayor en la temporada de lluvias. Las plantas cuentan con características como el número de flores, la temporada y período de floración y la cantidad de néctar por flor, por lo tanto, cada especie puede brindar cantidades distintas de alimento a las aves. De manera que, las plantas que producen grandes cantidades de flores en un mismo sitio y por más tiempo de floración, representan recursos importantes de alimento (Toledo, 1975). Por ejemplo, *Leonotis nepetifolia*, fue la especie de planta más visitada por los colibríes, además de que, estuvo presente durante todo el año con una gran cantidad de flores, representando así, una especie clave y fuente de energía importante para el ensamble de colibríes de este estudio.

El traslape de nicho mostró variación a lo largo del año, los resultados indican que las especies de colibríes se traslapan de forma diferente entre temporadas y dependiendo de la cantidad y tipo del recurso floral disponible, además de la utilización del recurso. Los valores de traslape del recurso alimenticio entre temporadas varió, registrando un alto traslape entre las especies migratorias y las especies residentes, siendo entre *Selasphorus rufus* (especie migratoria) y *Saucerottia beryllina* (especie residente) el valor más alto en temporada de lluvias y entre *Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus* en temporada de secas frías. Cabe

mencionar que las especies migratorias tuvieron mayor presencia en esta temporada. En secas cálidas el traslape más alto fue entre dos especies residentes, *Leucolia violiceps* y *Saucerottia beryllina*. Los valores más altos de traslape ocurrieron en secas frías. Una posible explicación a esto es que la cantidad de recursos disponibles entre temporadas es diferente. Además, se ha demostrado que si los recursos son abundantes y variados podrían ocasionar una repartición del recurso, permitiendo un mejor aprovechamiento por parte de los polinizadores y disminuyendo la competencia (Abrahamczyk y Kessler, 2010; Restrepo-Chica y Bonilla-Gómez, 2017; Weistein y Graham, 2017). De manera que, para este estudio, la mayor abundancia de flores disponibles fue en secas frías, sin embargo, se observó menor variedad de recursos florales y el alto traslape de nicho podría estar indicando altos niveles de competencia debido a la poca variedad de plantas, por lo que las especies de colibríes utilizan los mismos recursos alimenticios.

Por otro lado, en las interacciones planta-polinizador, una especie de planta puede ser visitada por varios tipos de visitantes (Scobell y Scott, 2002) y a su vez, para este caso, una especie de colibrí podría visitar muchas especies de plantas (Restrepo-chica y Bonilla-Gómez, 2017). En algunas ocasiones, estos visitantes no pueden acceder de manera legítima al néctar (tocando las estructuras reproductivas de la flor) por no haber un ajuste morfológico entre la flor y el colibrí (Rojas-Nossa, 2013). Por lo tanto, la flor podría presentar variación en el éxito de la polinización (Scobell y Scott, 2002). En este trabajo, la especie de planta que presentó mayor número de visitas ilegítimas fue *Leonotis nepetifolia*, y las especies de colibríes de mayor tamaño (*Cynanthus latirostris*, *Leucolia violiceps* y *Saucerottia beryllina*) fueron quienes realizaron la mayoría de las visitas ilegítimas a las flores de esta planta y muy pocas visitas legítimas. Mientras que los colibríes migratorios que presentaron un tamaño promedio más pequeño realizaron más visitas legítimas y muy pocas ilegítimas a esta especie de planta. Este comportamiento ya ha sido documentado, explicando que, los colibríes de tamaños que no se ajustan a la morfología de las flores (ya sea tamaño del pico o longitud total del ave) pueden visitar las flores sin tener contacto con las estructuras reproductivas de la flor o bien, podrían acceder al néctar mediante perforaciones en la base de la corola. Además,

coincidiendo con la literatura, estos comportamientos tienen que ver con visitantes generalistas y especialistas, aquellos que son especialistas, en este caso los colibríes migratorios, tienen adaptaciones morfológicas para extraer el recurso más eficientemente (Weinstein y Graham, 2017). Por lo tanto, en este estudio, las especies migratorias visitaron mayormente de manera legítima a las flores. Sobre los daños que podrían causar las visitas ilegítimas en el éxito reproductivo de las plantas, no tenemos evidencia, ya que no evaluamos la producción de semillas. Por lo tanto, sería importante considerarlo en trabajos futuros.

De acuerdo con la información anterior, podemos concluir que, la fenología floral y la manera en que el recurso es utilizado son factores que influyen en las interacciones planta-colibrí. A su vez, estas interacciones nos permiten conocer patrones ecológicos que forman la estructura y composición de los ensambles de colibríes y plantas. Por este motivo, es prioritario entender la importancia que cumplen estas interacciones mutualistas en cuanto a los servicios ecosistémicos que proveen. Por lo que es esencial, pensar en la interacción planta-colibrí desde una perspectiva de conservación, para prevenir la desaparición de especies e interacciones clave en un ecosistema.

## Conclusiones

El ensamble de colibríes está conformado por seis especies, de las cuales tres son residentes (*Cynanthus latirostris*, *Saucerottia beryllina* y *Leucolia violiceps*), dos especies se registraron como migratorias (*Archilochus colubris* y *Selasphorus rufus*) y una especie fue ocasional (*Basilinna leucotis*).

La producción de néctar (volumen de néctar y concentración de azúcar) no influyen en la frecuencia de visitas de los colibríes a las flores.

Existe una relación positiva y significativa entre la abundancia del recurso floral disponible y la frecuencia de la visita de los colibríes a las flores, ya que, a mayor cantidad de flores disponibles, mayor es la frecuencia de las visitas.

Existe una mayor abundancia de plantas y mayor cantidad de recurso floral disponible en la temporada de secas frías, sin embargo, se presenta una mayor variedad de especies de plantas en la temporada de lluvias.

El traslape de nicho alimenticio es alto en la temporada de secas frías, siendo la temporada con menor variedad de especies de flores.

Las especies de flores que fueron visitadas de manera ilegítima (sin tocar sus estructuras reproductivas) fueron *Leonotis nepetifolia*, *Bauhinia variegata*, *Ipomoea murucoides*, *Erythrina coralloides* y *Canavalia villosa*.

Los colibríes migratorios solo presentaron comportamiento ilegítimo en visitas a una especie de planta *Leonotis nepetifolia*, mientras que de los colibríes residentes *Cynanthus latirostris* y *Saucerottia beryllina*, visitaron cuatro especies de flores y *Leucolia violiceps* visitó solo tres especies de plantas de manera ilegítima.

## Literatura citada

Abrahamczyk, S. y M. Kessler. 2010. Hummingbird diversity, food niche characters, and assemblage composition along a latitudinal precipitation gradient in the Bolivian lowlands. *The Journal of Ornithology*. 151: 615-625.

Abrahamczyk, S. y M. Kessler. 2014. Morphological and behavioural adaptations to feed on nectar: how feeding ecology determines the diversity and composition of hummingbird assemblages. 2014. *Journal of Ornithology*.

Abrego G. J. E. y M. F. Bonilla. 2014. Interacciones colibrí-planta en dos tipos de hábitat (Subcaducifolio y Ripario) del Área Protegida Trinacional Montecristo, departamento de Santa Ana, El Salvador. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador. Ciudad Universitaria. 86 pp.

Aguilar, R. P. A. 2013. Biología floral y reproductiva de *Tillandsia heterophylla* y *Tillandsia macropetala* (Bromeliaceae), en el municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan, en la región central de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Centro de Investigaciones Tropicales. 129 pp.

Aguilar, R., L. Ashworth, L. Cagnolo, M. Jausoro, M. Quesada y L. Galetto. 2009. Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas en ambientes fragmentados. *Ecología y Evolución de interacciones planta-animal*. 199-230.

Alarcón-Nieto, G. 2009. Amplitud y traslape de la dieta de los tucanes y barbudos. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 11 pp.

Amaya-Márquez, M., F. G. Stiles y J. O. Rangel-Ch. 2001. Interacción planta-colibrí en Amacayacu (Amazonas, Colombia): una perspectiva palinológica. *Caldasia*. (23) 1: 301-322.

Andrade-L., M.L. 2018. Estudio preliminar de las plantas que usan las aves nectarívoras para su alimentación en tres áreas verdes de Bogotá. Tesis de licenciatura. Universidad Distrital Francisco José de Calda. Facultad de Ciencias y Educación. Bogotá, D. C. 93 pp.

Araújo, F. P., A. A. Almeida B. y P. E. Oliveira. 2011. Floral resources and hummingbirds on an island of flooded forest in Central Brazil. *Flora*. 206: 827-835.

Arizmendi, M.C. y H. Berlanga. 2014. Colibríes de México y Norteamérica. CONABIO. México. 160 pp.

Arizmendi, M. C. y J. F. Ornelas. 1990. Hummingbirds and their floral resources in a tropical dry forest in México. *BIOTROPICA*. (22) 2: 172-180.

Bahena, G. A. 2010. Programa de Manejo de la Zona Sujeta a Preservación Ecológica "Manantial La Mintzita" y su Zona de Amortiguamiento, del Municipio de Morelia, Michoacán.

Baquero, G. N. D. 2021. Estructura de la red de interacciones mutualistas entre aves frugívoras residentes, migratorias y plantas ornitócoras en Tierras Bajas de la Cordillera Oriental Colombiana. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad el Bosque. Bogotá, 82 pp.

Bartholomé O. y S. Lavorel. 2019. Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods. *Ecological Indicators*. 107: 105576

Barrios, O. Y. C. 2020. Las plantas y los polinizadores: mutualistas inmersos en una red compleja de interacciones. *Desde el Herbario CICY* 12: 16-20.

Bascompte J. y P. Jordano, 2008. Redes mutualistas de especies. *Investigación y Ciencia*. 50 – 59.

- Beltrán, R., y 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. Doi.: 10.7818/ECOS.1409
- Bustamante-Castillo, M., B. E. Hernández-Baños y M.C. Arizmendi. 2018. Hummingbird diversity and assemblage composition in a disturbed tropical dry forest of Guatemala. *Tropical Conservation Science*. Vol. 11. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1940082918793303>
- Buzato, S., M. Sazima e I. Sazima. 2000. Hummingbird-Pollinated Floras at Three Atlantic Forest Sites. *BIOTROPICA*. 32: 824-841.
- Cárdenas, C. F. S. 2015. Ecología de polinización de *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (Proteaceae) en un matorral montano del sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 41 pp.
- Chalcoff, V. R., C. L. Morales, M. A. Aizen, Y. Sasal, A. E. Rovere, M. Sabatino, C. Quintero y M. Tadey. 2014. Capítulo 5, Interacciones planta-animal, la polinización. *Ecología e Historia Natural*. 113-132 pp. January 2014 In book: *Ecología e historia natural de la Patagonia Andina: un cuarto de siglo de investigación en biogeografía, ecología y conservación* (pp.113-132) Chapter: 5 Publisher: Fundación de Historia Natural Félix de Azara Editors: M. de Torres Curth, Raffaele Estela, Carolina Laura Morales, Thomas kitzberger
- Chávez-González, E., W. Dáttilo y R. Ortiz-Pulido. 2019. Las relaciones entre colibríes y plantas desde un enfoque mexicanísimo. *CONABIO. Biodiversitas. Boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. 144: 2-5.
- Córdova, A. M. C. y P. C. Fajardo A. 2018. Efectos de la disponibilidad de *Oreocallis grandiflora* (Lam.) R. Br. (Proteaceae) en las redes de interacción de polinización de colibríes en matorrales montano andinos al sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 53 pp.
- Cornejo-Tenorio, G. y G. Ibarra-Manríquez. 2011. Plantas del Cerro El Aguila. Universidad Autónoma de México. Municipios de Lagunillas y Morelia, Michoacán México. 21 pp.
- de Santiago-Hernández, M. H., S. Martén-Rodríguez, M. Lopezaraiza-Mikel, K. Oyama, A. González-Rodríguez, and M. Quesada. 2019. The role of pollination effectiveness on the attributes of interaction networks: from floral visitation to plant fitness. *Ecology* 0(0): e02803. 10.1002/ecy.2803
- del Val de Gortari, Ek. (2022). Redes de interacciones para el estudio de la biodiversidad. *Revista Digital Universitaria (RDU)* 23(2).  
<http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.9>
- Díaz, V. R. 2016. Historia Natural, Ecología y Análisis de la Interacción Planta-Colibrí en un Paisaje Mexicano, Bajo Dos Aproximaciones Teóricas: Escalamiento en Ecología y Redes de Interacciones Complejas. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. Alicante. 138 pp.
- Farji, B. A. G. 1991. Forrajeo del colibrí *Selasphorus flammula* en relación con tamaños y distribución de parches florales. *Revista de Biología Tropical*. (1) 39: 169-172.
- García, G. M., L. A. Ríos O. y J. Álvarez C. 2016. La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. *IDESIA*. (34) 3: 53-68.
- García, P. I. N. 2009. Lista de Aves registradas en el trabajo de licenciatura "Aves residentes de la microcuenca del río Chiquito, municipio de Morelia: riqueza, estacionalidad, distribución y conservación. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Gómez, M., A. Blanco, E. Aureoles, M. C. Marín y R. Linding. 2008. Programa de manejo del Área Natural Protegida "Cerro Punhuato". La Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente. Morelia, Michoacán, México. 54 pp.

Gómez-Sánchez, A. 2016. Fluctuaciones estacionales en la riqueza, abundancia y patrones de muda de colibríes (Aves: Trochilidae) y su relación con la disponibilidad de flores en un área natural protegida urbana sujeta a restauración ecológica. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. Morelia, Michoacán. 66 pp.

Gotelli y entsminger. 2001. Copyright. By Acquired Intelligence Inc., and Pinyon Publishing.

Gutiérrez-Zamora, E. A. 2005. Ecología de la interacción entre colibríes (Aves: Trochilidae) y plantas que polinizan en el Bosque Altoandino de Torca. Universidad Nacional de Colombia. 47 pp.

Gutiérrez, Z.A., S. V. Rojas-Nossa y F. G. Stiles. 2004. Dinámica anual de la interacción colibrí-flor en ecosistemas altoandinos. *ORNITOLOGIA NEOTROPICAL*. 15: 205-213.

Hernández, B. Y. G. 2021. Producción de néctar en flores visitadas por colibríes en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *UNED Research Journal*. 14: e3875.

IMPLAN. 2016. Morelia Next 2041: Plan de gran visión. Citieslab. Morelia: Instituto Municipal de Planeación de Morelia, Michoacán.

Jiménez, L., C. Vignolo y R. Alsedo. 2012. SOS Polinizadores. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y editada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Jordano, P., Vázquez, D., y Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. En R. Medel, M. A. Aizen, y R. Zamora, *Ecología y evolución de interacciones planta-animal* (pp. 17-41). Editorial Universitaria

Lara, C. 2006. Temporal dynamics of flower use by hummingbirds in a highland temperate forest in Mexico. *Ecoscience*. (1) 13: 23-29.

Lara, L. L. F. 2012. Calidad, funcionalidad y accesibilidad de las áreas verdes de la ciudad de Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México. Morelia, Michoacán. 186 pp.

León-Camargo, D. y J. O. Rangel-Ch. 2015. Hummingbird-flower interaction in three remnants of tropical dry forest (Tdf) in the municipality of Chimichagua (Cesar, Colombia). *Caldasia*. (37) 1: 107-123.

Maglianesi, S. M. A. y G. Jones R. 2016. Efecto del cambio climático sobre las interacciones planta-animal y sus consecuencias sobre los ecosistemas. *Biocenosis*. 30: 1-2.

Malizia, L. R. 2001. Seasonal fluctuations of birds, fruits, and flowers in a subtropical forest of Argentina. *The Condor*. 103: 45-61.

Martínez-García, V., O. González y R. Ortiz-Pulido. 2020. Hummingbird-Plant Network in a Lowland Dry Forest in Yucatan, Mexico. *Tropical Conservation Science*. 13: 1-12.

Martínez-Meneses, A. L. y A. M. Torres-González. 2020. Polinización efectiva de flores ornitófilas en un bosque de niebla de Colombia. *Ciencia en Desarrollo*. (11) 2: 53-63.

Medina-Van, P., V. Parra-Tabla y J.L. Leirana-Alcocer. 2016. Recursos florales y colibríes durante la época seca en la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos, Yucatán, México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*. (17) 2: 244-250.

Montgomery, R. D. y C. L. Gass. 1981. Energy limitation of hummingbird populations in Tropical and Temperate communities. *Oecologia*. 50: 162-165.

Morales-González, O. E., Peñuela-Díaz, G. y Carvajal-Cogollo, J. E. 2020. Uso de hábitats y recursos florales de *Chalybura buffonii caeruleogaster* (Aves: Trochilidae) en un sector del piedemonte llanero, Villavicencio, Colombia. *Intropica* (1) 15: 34-41.

Mostacedo, B. y T. S. Fredericksen. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. BOLFOP (Proyecto de Manejo Forestal Sostenible. Santa Cruz, Bolivia. 92 pp.

Nieto, O. A. V. y C. F. Silva A. 2012. Influencia de la alteración de hábitat en el uso de recursos florísticos por el ensamble de colibríes en bosques altoandinos del sur del Ecuador. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador. 61 pp.

Ornelas, J. F. 1996. Origen y evolución de los colibríes. Instituto de Ecología. A. C. Revista de Cultura Científica.

<https://www.revistaciencias.unam.mx/en/184-revistas/revista-ciencias-42/1731-origen-y-evoluci%C3%B3n-de-los-colibr%C3%ADes.html>

Ortiz-Pulido, R. y C. Lara Rodríguez. 2011. Is energy in nectar a good predictor of hummingbird activity at landscape scale? *Italian Journal of Zoology*. (1) 79: 100-104.

Pantoja, A., A. Smith-Pardo., A. García., A. Saénz y F. Rojas. 2014. Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. Santiago, Chile. 56 pp.

Pacheco, L. F., J. Aparicio, C. Benavides, M. Escobar, R. Galeón, E. García, F. Guerra, M. I. Gómez, D. M. Larrea-Alcázar, M. Limachi, D. Maldonado, Bruno Miranda, D. Morales, M. I. Moya, A. Rico, J. Salazar-Bravo y L. Tellería. 2015. Interacciones entre plantas y animales. Pp. 406-416. En: Moya, M.I., R. I. Meneses y J. Sarmiento (Eds.). 2015. Historia Natural de un Valle en Los Andes: La Paz. Segunda Edición. Museo Nacional de Historia Natural, La Paz, Bolivia. 801 p.

Partida, L. R. 2011. Abundancia de colibríes y el uso de flores en la Reserva Ecológica Huitepec. El colegio de la Frontera Sur. Tesis de Maestría. 83 pp.

Partida, L. R., P. L. Enríquez, J. L. Rangel-Salazar, C. Lara y M. Martínez I. 2012. Abundancia de colibríes y uso de flores en un bosque templado del sureste de México. *Revista de Biología Tropical* [en línea]. 60(4), 1621-1630. [fecha de Consulta: 29 de Julio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44925088018>

Peterson, R.T. Chalif E.L. 1973. A field guide to mexican birds Mexico, Guatemala, Belize, El Salvador. Boston (NY): Houghton Mifflin Company.

Prieto-Torres, D. A., L. E. Nuñez R., D. Remolina F. y M. C. Arizmedi. 2021. Most Mexican hummingbirds lose under climate and land-use change: Long-term conservation implications. *Perspective in Ecology and Conservation* 19: 487-499.

Poisot, T., E. Canard, D. Mouillot, N. Mouquet y D. Gravel. 2012. The dissimilarity of species interaction networks. *Ecology Letters*, 15: 1353-1361. doi: 10.1111/ele.12002

Ralph, J., G. R. Geupel, P. Pyle, T. E. Martin, D. F. De Sante y B. Milá. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. Albany, C. A. Pacific Southwest Research Station, Forest Service. U.S. Department of Agriculture. 46 pp.

Ramírez, B. M. 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 de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 102 pp.

- Ramírez-Burbano, M. B., J. V. Sandoval-Sierra y L. G. Gómez-Bernal. 2007. Uso de recursos florales por el Zamarrillo multicolor *Eriocnemis mirabilis* (Trochilidae) en el Parque Nacional Natural Munchique, Colombia. *Ornitología Colombiana*. 5: 64-77.
- Restrepo, C. M. 2015. Mecanismos de la reproducción sexual relacionados con la coexistencia de *Puya trianae* y *Puya nítida* (Bromeliaceae) en el Parque Nacional Natural Chingaza. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 114 pp.
- Restrepo-Chica M. y M. A. Bonilla-Gómez. 2017. Dinámica de la fenología y visitantes florales de dos bromelias terrestres de un páramo de Colombia. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 88: 636-645.
- Reyna, B. O. F. 2005. Utilización de los recursos florales por colibríes en el bosque tropical caducifolio de La Barranca de Colimilla, Jalisco, México. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 101 pp.
- Rodrigues, L. C. y A. C. Araujo. 2011. The hummingbird community and their floral resources in an urban forest remnant in Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. (71) 3: 611-622.
- Rodríguez-Flores, C. I., J. F. Ornelas, S. Wethington y M. del C. Arizmendi. 2019. Are hummingbirds generalists or specialists? Using network analysis to explore the mechanisms influencing their interaction with nectar resources. *PLoS ONE*. 14 (2): e0211855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211855>.
- Rojas-Nossa, S.V. 2013. Estrategias de extracción de néctar por pinchaflores (Aves: Diglossa y Diglossopsis) y sus efectos sobre la polinización de plantas de los altos Andes. *Ornitología Colombiana* 5:21-39.
- RStudio Team (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com>
- Salamanca-Reyes, J. R. 2011. Ecología del Barbudito de Páramo (*Oxypogon guerinii*, Trochilidae) en el páramo de Siscunsi, Boyacá, Colombia. *Ornitología Colombiana*. 11: 58-75.
- Sall, J. 1989. JMP® software. Vers. 8.0. SAS Institute Inc.
- Shannon, P., A. Markiel, O. Ozier, N. S. Baliga, J. T. Wang, D. Ramage, N. Amin, B. Schwikowski y T. Ideker. 2003. Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks. *Genome Research*. 13 (11): 2498-504.
- Scobell, S. A. y P. E. Scott. 2002. Visitors and Floral Traits of a Hummingbird-adapted Cactus (*Echinocereus coccineus*) Show Only Minor Variation Along an Elevational Gradient. *The American Midland Naturalist*. (1) 147: 1-15.
- Tapia, A. R. 2015. Dieta del *Ambystoma andersoni* endémico al ANP de la laguna de Zacapu, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. Morelia, Michoacán. 95 pp.
- Toledo, V. M. 1975. La Estacionalidad de las Flores utilizadas por los Colibríes de una Selva Tropical Húmeda en México. *BIOTROPICA*. (1) 7: 63-70.
- Tolosa-Moreno, D. L., D. A. León-Camargo y L. Rosero-Lasprilla. 2014. El ciclo anual de una comunidad de colibríes (Trochilidae) en bosques altoandinos intactos y paramizados en la Cordillera Oriental de Colombia. *Ornitología Colombiana*. 14: 28-47.
- Torres, I., Salinas, L., Lara, C. y Castillo-Guevara C. 2008. Antagonists and their effects in a hummingbird-plant interaction: Field experiments. *Ecoscience*. (1) 15: 65-72.

Velasquez, T. Y. S. 2018. Comunidad de colibríes (Aves: Trochilidae) de sotobosque y el uso de sus recursos florales en época seca y época húmeda en la Estación Biológica Cocha Cashu, Parque Nacional del Manú, Madre de Dios-Perú. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Biológicas. Arequipa-Perú. 71 pp.

Vargas-Valverde, I., A. Campos-Alvarado, N. Niño-Rodríguez, R. Simón, Y. M. G. Piñanez E., A. Hernández-Rivera y G. Avalos. 2022. Redes de interacción colibrí-planta en un área abierta con robledales en el Cerro de La Muerte, Costa Rica. *Zeledonia*. 26: 1. 26-38.

Vázquez, B. M. A. 2019. Redes de interacción Trochilidaeplanta en dos hábitats contrastantes en un sistema templado del altiplano mexicano. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología. 73 pp.

Villaseñor-Madrigal, L. A. 2020. Ecología urbana: las áreas verdes como zonas de refugio y alimentación de colibríes en Morelia, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacám. 81 pp.

Wolf, L. L., f. G. Stiles y F. R. Hainsworth. 1976. Ecological organization of a tropical, highland hummingbird community. *Journal of Animal Ecology*. 32: 349-379.

Weinstein, B. G. y C. H. Graham. 2017. Persistent bill and corolla matching despite shifting temporal resources in tropical hummingbird-plant interactions. *Ecology Letters*. doi: 10.1111/ele.12730.

## CONCLUSIONES GENERALES

Estudiar la interacción mutualista planta-colibrí es de gran importancia por su contribución en los servicios ecosistémicos que benefician a la población humana y que son clave para el mantenimiento de los ecosistemas. De manera que es fundamental generar información sobre la ecología de estas interacciones que contribuya a la conservación de éstas.

De acuerdo con la revisión de literatura, la interacción planta-colibrí ha sido ampliamente estudiada en diversas regiones y ecosistemas del continente americano. Sin embargo, existe aún poca información acerca de la ecología de colibríes en sistemas urbanos. Adicionalmente, muy pocos estudios consideran la variación estacional y consideramos que tomar en cuenta este factor es muy importante, ya que ofrece un escenario más amplio sobre la composición del ensamble de colibríes y plantas a lo largo del año. En este trabajo, examinamos temporalmente la composición del ensamble de colibríes y el uso de las especies de flores en términos de frecuencia de visitas y carga polínica, para entender algunos aspectos ecológicos como son la estructura de la red de interacción mediante las interacciones entre las especies. Por otro lado, el uso de los recursos por parte de los colibríes depende en gran medida de sus costos y beneficios de alimentación, así como de la presencia o ausencia de otros competidores del néctar y de la presencia de otras especies de flores. En este trabajo, también determinamos la disponibilidad del recurso a lo largo del año, así como el uso por parte de las aves Trochilidae. Se evaluó el traslape de nicho alimenticio y su eficiencia de polinización (visitas legítimas e ilegítimas) considerando las visitas a flores. Nuestros resultados sugieren una variación en la riqueza y abundancia de especies tanto de plantas como de colibríes a lo largo del año. Tenemos evidencia para sugerir que, las áreas verdes urbanas son importantes zonas para proveer alimento durante todo el año a las especies de colibríes. Sin embargo, el ensamble de la interacción planta-colibrí tiene una estructura diferente por la composición y abundancia de especies de aquellas áreas que presentan menor presión antropogénica como las Áreas Naturales Protegidas. Las redes de ANP resultaron ser de mayor tamaño, en cuanto al número de especies tanto de plantas como de

trochilidos, por lo tanto, registraron una mayor número de interacciones. Adicionalmente, las redes de ANP de visitas y polen también fueron menos especializadas, contrario a lo que se esperaba, indicando menos división del recurso entre los colibríes que visitan las flores.

Los resultados indicaron también que, la frecuencia de visitas de colibríes a las plantas está relacionada más con la abundancia del recurso floral disponible que con las características asociadas a la producción del néctar, como es el caso de la concentración de azúcar y del volumen de néctar producido en las flores. Por lo tanto, para este estudio a mayor abundancia de recurso floral disponible, mayor es la abundancia de colibríes en las tres temporadas, mientras que la producción de néctar no influye en la composición y abundancia de estas aves. Además, se ha comprobado que la fenología floral está influenciada por las condiciones ambientales, de manera que en temporada de lluvias florecieron el mayor número de especies de plantas, sin embargo, la mayor abundancia de flores disponibles fue en temporada de secas frías. Lo cual se vio reflejado en la composición del ensamble de colibríes, ya que la mayor abundancia de especies se registró en la temporada de lluvias, cuando existe una gran variedad de flores. Mientras que, en temporada de secas frías, los valores de traslape fueron altos, dada la alta abundancia de flores de una menor variedad de especies, por lo que estas aves se alimentaron de las mismas especies de plantas.

A pesar de la evidencia obtenida en este trabajo que indica que las interacciones planta-colibrí presentan variación a lo largo del año, consideramos que se requieren más estudios para evaluar más a fondo la variación estacional en ambientes perturbados. Particularmente, porque nuestros resultados en las redes de interacción entre categorías y por temporadas no mostraron ningún patrón definido en estructura y composición. Además, muchas de las plantas que fueron visitadas por colibríes, se observaron siendo visitadas por otros tipos de polinizadores. De manera que, en estudios futuros se podría considerar aspectos como la competencia en el uso del recurso por otros polinizadores. Esto, podría ofrecernos información determinante en la variación estacional de las interacciones ecológicas de una comunidad. Por otro lado, desde una perspectiva general, es importante

comprender las relaciones planta-colibrí, sobre todo pensando en la fenología floral, por ser un factor muy importante que influencia la estructura del ensamble de estas aves. De manera que, esta información podría ayudarnos a predecir el impacto de las extinciones de especies clave en sistemas urbanizados, mediante acciones de conservación para mantener la estabilidad de toda la comunidad.

## **RECOMENDACIONES**

Las redes de interacción planta-colibrí pueden variar de acuerdo a muchos factores. Como se demostró en este trabajo, uno de los principales factores que ocasionan cambios en la diversidad de colibríes es la fenología de plantas. Además, es importante considerar las características de las plantas presentes en las áreas verdes, pensando en el recurso alimenticio que pueden proporcionar a los polinizadores.

Debido a lo anterior, se recomienda un monitoreo de colibríes más amplio y constante a fin de que se pueda generar más información para determinar patrones definitivos en la variación de las interacciones entre los colibríes y las plantas.

Además, es importante considerar otros sitios de la ciudad como áreas verdes que no han sido exploradas (camellones, glorietas, plazas públicas) con el objetivo de reunir información que pueda dirigir acciones de planeación de áreas verdes urbanas para la conservación de los polinizadores urbanos.

Consideramos de gran relevancia, incluir más estudios de interacciones ecológicas en el sistema urbano, no solo de colibríes, sino de todos los polinizadores en general, como abejas, mariposas, murciélagos. Esto, podría generar información más detallada sobre la estructura de las interacciones en una comunidad, dado que las interacciones son la base del funcionamiento de los ecosistemas.

Es necesario incluir en las áreas verdes públicas y privadas flora nativa, a fin de mitigar los daños antropogénicos y tratar de restaurar los paisajes a su estructura original.

Es esencial promover y fomentar la educación ambiental al público, con un enfoque dirigido a la conservación de la diversidad urbana de manera colectiva, considerando los múltiples beneficios que obtiene el hombre de los servicios ecosistémicos que proveen las áreas verdes.