

Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y colibríes en zonas verdes del
área metropolitana de Bucaramanga

Nicolás Alberto Ardila Díaz

Informe final de Trabajo de grado, modalidad Pasantía de Investigación para Optar al Título de

Biólogo

Director

Víctor Hugo Serrano Cardozo

Doctor en Ciencias Biológicas

Codirector

Martha Patricia Ramírez Pinilla

Doctora en Ciencias Biológicas - Orientación Zoología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Quiero dedicar no solo este trabajo sino todo mi cariño a cada persona que de una u otra manera me dio su apoyo para que se materializara. A mis papás y mi hermano que vivieron todo el proceso más de cerca que cualquier otro y fueron testigos no solo de como avanzaba, sino de todos los sentimientos que esto generó en mí. A mi nona que nunca dejó de darme ánimos y que es la persona que más deseo que me vea completando mis estudios. Finalmente, a mi padrino, que fue mi inspiración para escoger esta carrera y que nunca dejó de estar pendiente de mí, ayudándome en todo lo que pudo y desde la distancia siguió siendo mi principal consejero cuando tuve problemas.

Dedico también una parte de este proyecto a mis amigos dentro y fuera del laboratorio que estuvieron para mi cuando necesité a alguien que me escuchara para desahogarme. Con este trabajo quiero mostrarles que si es posible cumplir con todo lo que busco enseñar en los grupos que dirijo, no importa el miedo que sintamos por hacer algo, no debemos dudar de nosotros mismos ni de nuestras capacidades. Solo necesitamos confiar en nuestra preparación y dar el salto hacia nuestra nueva etapa

Agradecimientos

A mis papás y mi hermano por ser los más cercanos en todo este proceso. A mi nona por ser mi motivación para cumplir esta etapa en mi vida. A mi padrino por inspirarme y ayudarme siempre que lo necesité.

A Melissa y Lina por ser mis principales compañías en el laboratorio, así como fuentes de risas y ayuda cuando las necesité. A Juliana, Nicolle, Diego y Marlly por ser mis principales amigos en la universidad, gracias a ellos esta etapa estuvo llena de muchos recuerdos. A Jennifer, Lizeth, Vidal, Jesús, Jose y Felipe, mis amigos desde el colegio y fuente también de motivación para no quedarme atrás. A todos mis compañeros de pastoral y de servicio que, con una palabra, una sonrisa, un abrazo, siempre me motivaron a no desfallecer y seguir adelante.

Agradezco al Grupo de Estudios en Biodiversidad (GEBIO), principalmente a mis profesores, Víctor Hugo Serrano Cardozo y Martha Patricia Ramírez Pinilla, sin su guía nada de esto hubiera sido posible.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Competencias que Desarrollará el Pasante	13
3. Metodología	14
3.1 Área de estudio	14
3.1.1 Universidad Industrial de Santander - UIS	14
3.1.2 Jardín Botánico Eloy Valenzuela - JB	15
3.2 Muestreos	16
3.2.1 Muestreo aves	16
3.2.2 Muestreo de plantas	17
3.3 Red bipartita.....	18
3.3.1 Análisis a nivel de red.....	19
3.3.2 Análisis a nivel de especies.....	20
4. Resultados	20
4.1 Temporada seca	20
4.2 Temporada húmeda.....	25
5. Discusión.....	30
5.1 Comparación por temporadas	30
5.2 Redes de interacción	33

5.2.1 Análisis a nivel de red.....	33
5.2.2 Análisis a nivel de especie	34
6. Conclusión	36
7. Recomendación.....	37
Bibliografía	38
Apéndices.....	43

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Índices de las redes de frecuencias de la temporada seca y húmeda	30

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Puntos de muestreo (UIS y JB) dentro del área metropolitana de Bucaramanga	15
Figura 2. Curvas de saturación de especies para la temporada seca	21
Figura 3. Abundancia de las especies de colibríes durante la temporada seca	22
Figura 4. Frecuencia de uso de plantas introducidas y nativas durante la temporada seca.	23
Figura 5. Red de interacciones de frecuencia de visitas de colibríes a plantas durante la temporada seca.....	24
Figura 6. Curva de acumulación de especies durante la temporada húmeda.....	26
Figura 7. Abundancia de las cinco especies de colibríes que interactúan durante la temporada húmeda.....	27
<i>Figura 8.</i> Porcentaje de tipo de plantas usadas por los colibríes durante la temporada húmeda..	28
Figura 9. Red de interacciones de frecuencia de visitas de colibríes a plantas durante la temporada húmeda.....	29

Lista de Apéndices

	pág.
Apendice A. Red de interacciones de presencia-ausencia entre colibríes y plantas durante la temporada seca.....	43
Apendice B. Red de interacciones de presencia-ausencia entre colibríes y plantas durante la temporada húmeda.....	44
Apendice C. Índices a nivel de especie de la temporada seca para la identificación de especies clave	45
Apendice D. Índices a nivel de especie de la temporada húmeda para identificación de especies clave	46
Apendice E. Medidas generales de los colibríes observados.....	47
Apendice F. Medidas generales de las plantas utilizadas en el estudio.....	47

Resumen

Título: Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y colibríes en zonas verdes del área metropolitana de Bucaramanga*

Autor: Nicolás Alberto Ardila Díaz**

Palabras Clave: Redes de interacción, urbanización, colibrí, planta, temporadas climáticas

Descripción: Las redes de interacción mutualista cumplen un papel vital en la identificación de componentes importantes en los ecosistemas y en el análisis de las relaciones de las especies que las componen. Existen una gran variedad de estudios de este tipo en distintos tipos de paisajes, sin embargo, son pocos los estudios que se centran en zonas verdes inmersas en paisajes urbanos; por lo cual, el presente trabajo pretende caracterizar la estructura de la red de interacciones mutualistas en zonas verdes que se han visto afectadas o aisladas debido a los efectos de la urbanización en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, además de cómo se ven afectadas estas redes a través de las temporadas climáticas. A través del muestreo en 2 localidades (Universidad Industrial de Santander y Jardín Botánico Eloy Valenzuela) se pudieron registrar un total de 794 interacciones compuestas de siete especies de colibríes y 16 especies de plantas. Las redes demuestran un comportamiento generalista durante las dos temporadas con niveles bajos (cerca de 0) de anidamiento, especialización y conectancia. La temporada seca tuvo una mayor riqueza tanto de aves como de plantas, así como una mayor presencia y uso de especies vegetales no nativas. La temporada húmeda demostró un mayor anidamiento en su red, así como una mayor presencia y uso de flora nativa. *Amazilia tzacatl* y *Anthracothorax nigricollis* resaltaron como las especies clave de colibríes mientras que *Spathodea campanulata* fue la especie clave de plantas en ambas temporadas. Este estudio brinda información clave para la conservación de los espacios verdes en áreas urbanas y la importancia de la conservación de estos debido a su función como zonas de refugio y avistamientos de fauna y flora.

* Pasantía de investigación

** Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo. Doctor en Ciencias Biológicas. Codirector: Martha Patricia Ramírez Pinilla. Doctora en Ciencias Biológicas – Orientación Zoología

Abstract

Title: Structure of the mutualistic interaction network between plants and hummingbirds in green areas of the metropolitan area of Bucaramanga *

Author(s): Nicolás Alberto Ardila Díaz**

Key Words: Interaction networks, urbanization, hummingbird, plant, climatic seasons

Description: Mutualistic interaction networks play a vital role in identifying key components within ecosystems and analyzing the relationships between the species that compose them. There are a wide variety of studies of this kind across different types of landscapes; however, few of them focus on green areas immersed in urban landscapes. Therefore, this study aims to characterize the structure of mutualistic interaction networks in green areas that have been affected or isolated as a result of urbanization in the city of Bucaramanga and its metropolitan area, as well as how these networks are influenced by seasonal changes. Through sampling in two locations (Universidad Industrial de Santander and Jardín Botánico Eloy Valenzuela), a total of 794 interactions were recorded, involving seven species of hummingbirds and 16 species of plants. The networks exhibited generalist behavior during both seasons, with low levels (close to 0) of nestedness, specialization, and connectance. The dry season showed greater richness in both birds and plants, as well as a higher presence and use of non-native plant species. The wet season displayed greater nestedness in its network, along with a higher presence and use of native flora. *Amazilia tzacatl* and *Anthracothorax nigricollis* stood out as the key hummingbird species, while *Spathodea campanulata* was the key plant species in both seasons. This study provides crucial information for the conservation of green spaces in urban areas and highlights the importance of preserving these areas due to their role as refuges and observation points for fauna and flora.

* Research internship.

** Faculty of Science. School of Biology. Biology. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo. PhD. in Biological Science. Co-director: Martha Patricia Ramírez Pinilla. PhD. In Biological Science.

Introducción

En el área metropolitana de Bucaramanga (AMB) se registran alrededor de 180 especies de aves, de las cuales 11 corresponden a colibríes (Cediel & Lozano, 2020). Las aves de la familia Trochilidae resultan llamativas por sus habilidades locomotoras y metabólicas (Altshuler & Dudley, 2002), además, resaltan debido a que cumplen una función muy importante en los ecosistemas como polinizadores, llegando a abarcar numerosas comunidades de plantas (Gutiérrez-Zamora, 2008; Medel et al., 2022).

Rojas (2011) registró 92 especies de plantas para la ciudad de Bucaramanga, de las cuales más de la mitad no son nativas del territorio; esta modificación del paisaje junto con su fragmentación son de los principales problemas que trae la urbanización (Angulo Pérez et al., 2018). La introducción de nuevas especies florales hace que estas sean un nuevo recurso del que pueden disponer los polinizadores; el cómo las utilicen, así como la frecuencia con la que les den uso modificará las redes de interacciones previamente existentes (García et al., 2020; Smith et al., 2014).

Plantas y aves tienen una relación muy marcada, la cual logra desarrollar complejas redes de interacción entre estos dos grupos debido al papel que cumplen las aves como polinizadores y dispersores de semillas para las plantas (García, 2016). Palacio (2014) indica que no podríamos entender la importancia de las redes mutualistas investigando a sus componentes por separado, es necesario analizarlos juntos para obtener el panorama completo y entender su dinámica a nivel ecosistémico.

Las redes de interacción mutualistas cumplen un papel vital ayudándonos a identificar los componentes más importantes de un ecosistema (Lara-Rodríguez et al., 2012); así mismo, cumplen una función analítica explicando no solo cómo se relacionan las especies en el medio, sino también aportando datos valiosos sobre los participantes, como describir el rol que desempeñan en el ecosistema (del Val de Gortari, 2022). También podemos obtener información acerca de las características de las redes, por ejemplo, su nivel de conectancia, anidamiento, robustez, solapamiento de nicho, entre otras (Palacio, 2014). Estas redes, además de complejas, también han evidenciado ser propensas a cambios debido a alteraciones en el ambiente (Tylianakis et al., 2010) como la urbanización (McKinney, 2008). La rápida transformación de los entornos urbanos hace necesario investigar el estado de las redes de conexiones, como aquellas que se establecen entre las plantas y sus visitantes, ya que la mayoría de estos visitantes tienen el potencial de actuar como polinizadores (Beal-Neves et al., 2020).

Existen estudios sobre redes de interacción entre plantas y aves en distintos países de América como Chile, Brasil, México y Perú (Angulo Pérez et al., 2018; Ferreira et al., 2018; Medel et al., 2022; Smith et al., 2014; Vitorino et al., 2021). En Colombia podemos encontrar estudios realizados en diversas ciudades y regiones, principalmente en Bogotá y Medellín, así como en la región Andina y la Amazonía (Gómez Zuluaga, 2022; Gutiérrez-Zamora, 2008; Rodríguez-Flores et al., 2012); sin embargo, son pocos los estudios realizados en áreas verdes inmersas en paisajes urbanos (Cotton, 2006) y no existe uno de este tipo para las zonas verdes dentro del AMB.

Este estudio permitirá comprender las dinámicas mutualistas que se desarrollan dentro de las zonas verdes inmersas en paisajes urbanos, facilitando su manejo y cuidado, dándonos pistas

sobre cómo reaccionan ante cambios a su composición vegetal (Gómez Zuluaga, 2022) o a variables climáticas como temporadas secas y húmedas.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Caracterizar la estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y colibríes en zonas verdes de Bucaramanga y su área metropolitana

1.2 Objetivos Específicos

1. Establecer las relaciones mutualistas entre colibríes y plantas del área metropolitana de Bucaramanga durante la temporada seca y húmeda
2. Evaluar las características principales de las redes de interacción en las temporadas
3. Identificar las especies clave en las redes de cada temporada

2. Competencias que Desarrollará el Pasante

1. Identifica taxonómicamente las diferentes especies de aves y plantas de las zonas muestreadas
2. Evidencia eficazmente las interacciones mutualistas entre colibríes y plantas
3. Emplea herramientas bioinformáticas y modelos estadísticos para la exploración y el análisis de los datos obtenidos
4. Escribe un informe en el que registra la información generada sobre la ocupación del sitio

3. Metodología

3.1 Área de estudio

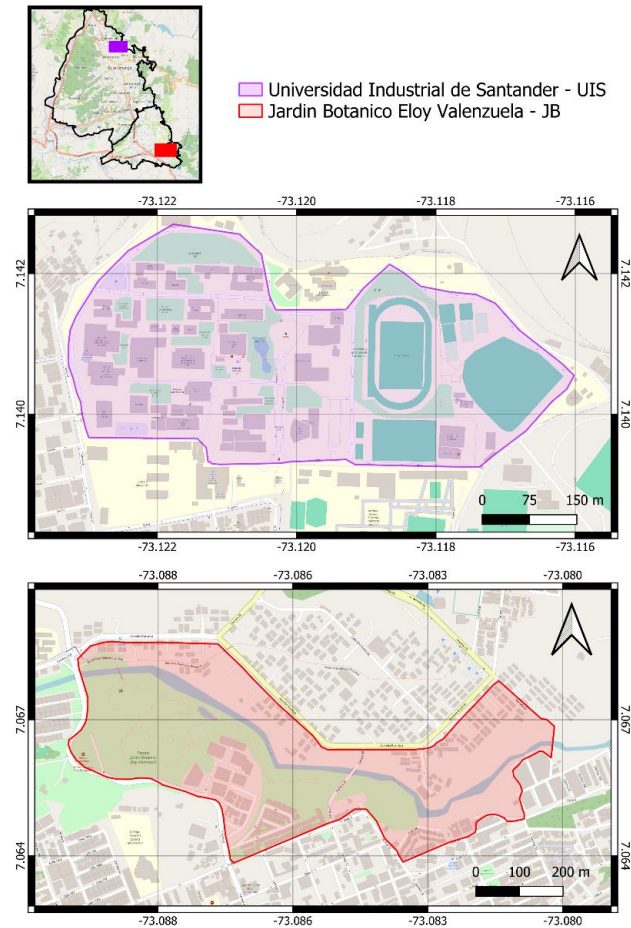
El área metropolitana de Bucaramanga (AMB), conformada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, se encuentra ubicada geográficamente a 7°7'31.4" latitud norte y 73°7.188' longitud oeste en el costado occidental de la Cordillera Oriental en el departamento de Santander, Colombia. Cuenta con varias zonas verdes de diversos tamaños y funciones inmersos en un paisaje urbano, que resultan atractivas para el estudio de las dinámicas mutualistas entre las especies que las ocupan. Dos de estas zonas que poseen un gran tamaño, son de fácil acceso y cuentan con buenas medidas de seguridad (características que se tuvieron en cuenta para su selección) son el campus principal de la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el Jardín Botánico Eloy Valenzuela (JB) (Fig. 1).

3.1.1 Universidad Industrial de Santander - UIS

Se ubica en la zona norte del municipio de Bucaramanga (7.139624, -73.120256). El campus principal de la UIS abarca un área de 25.5 hectáreas, ocupadas por diversas edificaciones, así como una variedad de zonas verdes dispuestas a manera de parches orientados a la decoración y ambientación de los distintos espacios del campus. Su vegetación principal está compuesta por árboles y arbustos, así como diferentes plantas ornamentales; los más comunes de encontrar son *Syzygium malaccense*, *Spathodea campanulata*, *Albizia lebbek* y *Handroanthus chrysanthus* (Garcial et al., 2015)

Figura 1.

Puntos de muestreo (UIS y JB) dentro del área metropolitana de Bucaramanga



3.1.2 Jardín Botánico Eloy Valenzuela - JB

El jardín botánico Eloy Valenzuela se sitúa en la parte suroriental de la AMB, en el municipio de Floridablanca (7.068454, -73.089856). Cubre una superficie de aproximadamente 7.5 hectáreas compuestas en su totalidad por una zona verde. Está conformado en su mayoría por especies de plantas nativas de todo tipo, desde gimnospermas y angiospermas hasta varias especies

de palmas. Algunas de las plantas que podemos encontrar son *Heliconia bihai*, *Heliconia rostrata*, *Melaleuca citrina* y *Bolusanthus speciosus*

3.2 Muestreos

La colecta de datos se realizó mediante recorridos de un observador en las dos localidades, siguiendo los senderos y caminos ya existentes, usando observaciones puntuales y *ad libitum*, con escaneos cortos de aproximadamente tres minutos. El muestreo se llevó a cabo en dos momentos durante el año 2024, el primero correspondió a la temporada seca y se realizó en los meses de febrero y marzo; el segundo correspondió a la temporada húmeda y fue realizada en los meses de abril y mayo. Para la determinación de las temporadas se tuvo en cuenta el registro de precipitación en el área de estudio, se consideró temporada seca los meses que tuvieran valores de precipitación menores a la media histórica de precipitación anual (160 mm mensuales) y temporada húmeda aquellos con valores superiores a esta media. El registro de precipitación se consultó mediante la aplicación CHELSEA (2024). Los recorridos se realizaron de lunes a viernes únicamente en las mañanas de 7:00 a 11:00h.

Para asegurar que los muestreos representaran de manera adecuada la diversidad real tanto de colibríes como de plantas, se utilizó el programa iNext (Chao et al., 2016) en su versión online, obteniendo así curvas de saturación con datos de rarefacción y extrapolación.

3.2.1 Muestreo aves

Para el muestreo de aves se utilizó binoculares Vortex crossfire HD 10x42® para la observación detallada de los colibríes, tratando de mantener un mínimo de 5 m de distancia para evitar perturbaciones. Se siguió la metodología de Emlen (1971) con las modificaciones propuestas

por Ortiz-Pulido y Díaz (2001), que consiste en prestar especial atención a las agregaciones florales que presenten características de ser polinizadas por colibríes (presentar colores llamativos y tener corolas tubulares, entre otros).

En cada uno de los recorridos, se registró el número de veces que se efectuó una interacción entre colibríes y la planta identificada. Se consideró como polinizador a los colibríes que introdujeron su pico en la corola de las flores, estando en contacto con las partes reproductivas de la flor, para que se evidenciara una interacción de tipo mutualista.

Para la identificación de la especie del colibríes en campo, por medio de observaciones con binoculares, se identificaron características morfológicas diferenciales de cada uno de los colibríes para luego corroborar tanto con libros guía como con claves taxonómicas, usando como guía principal el libro “Guía ilustrada de la avifauna colombiana” de Ayerbe-Quñones (2019).

3.2.2 Muestreo de plantas

Para cada una de las especies de plantas, se tomó registro fotográfico de características morfológicas tales como forma y tamaño de las hojas, flores, hábito, entre otras; a su vez, se registraron otros datos como la fecha y época del año en que fueron observadas siendo parte de las interacciones. La identificación se realizó mediante comparaciones con catálogos de plantas tales como “*Tropical Flowering Plants: A guide to identification and cultivation*” (Albrecht, 2003), “*Flora UIS. Catalogo Ilustrado*” (Garcia et al., 2015) y “*Flora Urbana Del Área Metropolitana De Bucaramanga*” (Rojas, 2017).

3.3 Red bipartita

Todos los registros obtenidos se organizaron en dos listas separadas a manera de tabla, una para cada temporada (seca y húmeda). Las listas incluían los datos de fecha, especie de ave observada, especie de planta con la que interactuó, hora en la que se registró la interacción y localidad. Con estos datos se generaron dos matrices también correspondientes a las dos temporadas.

En estas matrices, las filas representaron las especies de colibríes, que se encuentran en el nivel trófico superior, mientras que las columnas representaron las unidades taxonómicas de plantas, que pertenecen al nivel trófico inferior; los valores en las celdas representan el número de veces que se vieron interacciones entre los individuos de los dos niveles tróficos.

Una vez elaboradas las matrices de interacción entre las especies de colibríes y las especies de plantas por temporada, se construyeron dos tipos de redes de interacción con ayuda de R studio (Rstudio team, 2022) utilizando el paquete “bipartite” 2.18 (Dormann et al., 2024).

El primer tipo de red fue una red de presencia-ausencia, la cual indica si existe o no una interacción entre los individuos de los niveles tróficos representando esta interacción con una línea sin grosor diferencial. El segundo tipo de red, la red de frecuencias, no solo demuestra la existencia de interacciones, sino también la periodicidad con la que se registraron que se representan con líneas de unión entre los dos niveles tróficos con diferente grosor. A mayor repetición de interacción, mayor es el grosor de la línea que los une.

3.3.1 *Análisis a nivel de red*

Una vez obtenida la red de interacción de cada temporada, se realizó un análisis para obtener valores de índices que nos hablan sobre las características de esta red. Estos índices fueron: Conectancia, especialización H2, robustez, solapamiento de nicho y anidamiento.

El índice de **conectancia** varía entre valores de 0 a 1, es la proporción de enlaces realizados respecto a todos los posibles en la red (si cada ave visitara cada planta en la red, el valor de conectancia sería de 1). **H2**, es una medida de especialización, obtiene valores de 0 (sin especialización) a 1 (especialización completa); mide si los nodos en la red tienden a interactuar con pocos nodos específicos o con muchos nodos de manera más general. **Robustez**, nos habla sobre la resistencia de la red a posibles pérdidas de nodos o enlaces; puede obtener valores de 0 a 1 los cuales son el área bajo la curva de extinción, un valor de 1 corresponde a una curva que disminuye levemente hasta que todas las especies están extintas, es decir, un sistema robusto; los valores de 0 corresponden a una curva que desciende bruscamente al momento de perder cualquier especie, representando así un sistema frágil. Finalmente, el **solapamiento de nicho** mide de qué manera diferentes nodos compiten por los mismos recursos; puede obtener valores entre 0 (patrones de interacción completamente diferentes) y 1 (patrones de interacción idénticos).

Para el **anidamiento** se evaluó la anidación entre unidades de paisaje de acuerdo con Atmar y Patterson (1995). Este procedimiento evalúa el orden y desorden del patrón de distribución de especies a través del paisaje mediante análisis de temperatura de entropía (Atmar y Patterson 1995). Los análisis de temperatura se llevaron a cabo de acuerdo con el programa Nestedness Temperature Calculator (Atmar y Patterson 1995), en el que se obtiene un valor de temperatura

observado (T_{obs}) y se compara con valores T determinados aleatoriamente (T_{rand}) mediante un proceso de simulación de Monte Carlo. Valores de T significativamente más bajos que los esperados por casualidad indican anidamiento (Atmar y Patterson 1995).

3.3.2 Análisis a nivel de especies

Como parte final, se realizaron análisis a nivel de especies para identificar cuáles de estos componentes son los taxones clave en las redes, es decir, aquellos que tienen un impacto considerable en la estructura y funcionamiento de la red. Para su identificación se obtuvieron los valores de tres índices, intermediación, cercanía y grado (González et al., 2010).

El índice de **intermediación** describe la importancia de un nodo como conector entre distintas partes de la red. El índice de **cercanía** mide la proximidad de un nodo a todos los demás nodos de la comunidad. El índice de **grado** nos indica el número de enlaces que tiene un nodo, a mayor cantidad de enlaces, mayor importancia del nodo en la red.

La obtención de la redes bipartitas, los análisis a nivel de especie y los índices de conectancia, especialización h_2 , robustez y solapamiento de nicho se obtuvieron con el paquete bipartite 2.18 (Dormann et al., 2024).

4. Resultados

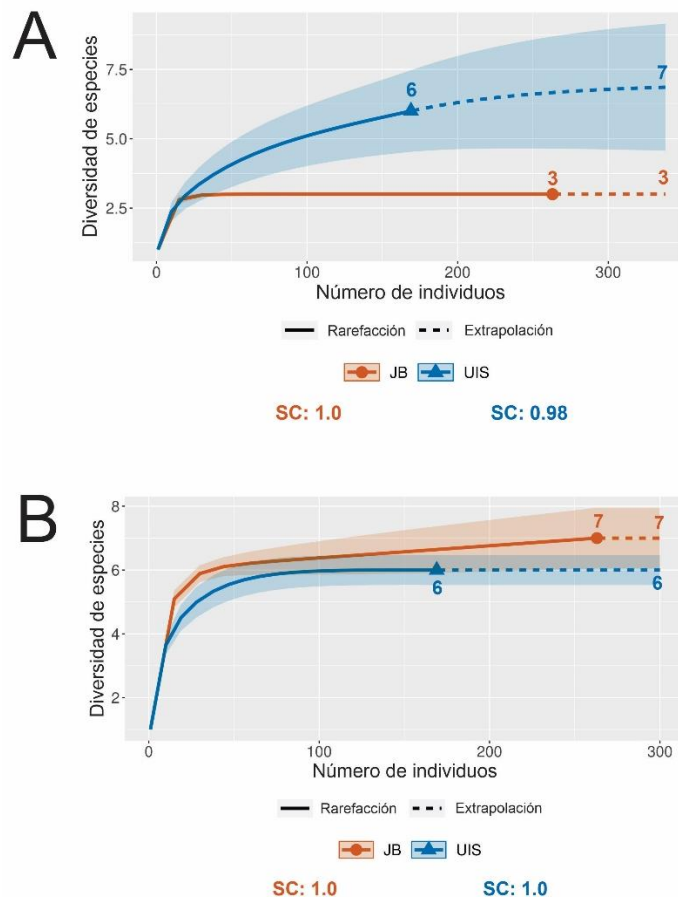
4.1 Temporada seca

Para la temporada seca se registraron 432 interacciones, las cuales estuvieron conformadas por 6 especies de colibríes (*Amazilia tzacatl*, *Anthracothorax nigricollis*, *Florisuga mellivora*,

Chalybura buffonii, *Saucerottia castaneiventris* y *Saucerottia cyanifrons*) y 12 especies de plantas (*Spathodea campanulata*, *Melaleuca citrina*, *Alpinia purpurata*, *Heliconia rostrata*, *Handroanthus chrysanthus*, *Syzygium malaccense*, *Albizia guachapele*, *Alpinia zerumbet*, *Petrea volubilis*, *Megaskepasma erythrochlamys*, *Pachystachys lutea* y *Heliconia bihai*). Se obtuvo que el muestreo de aves en la UIS y en el JB tuvo una completitud del 98% (SC = 0.98) y 100% (SC = 1) respectivamente. Para las plantas se obtuvo un valor del 100% (SC = 1) en ambas zonas de muestreo. (Fig. 2)

Figura 2.

Curvas de saturación de especies para la temporada seca

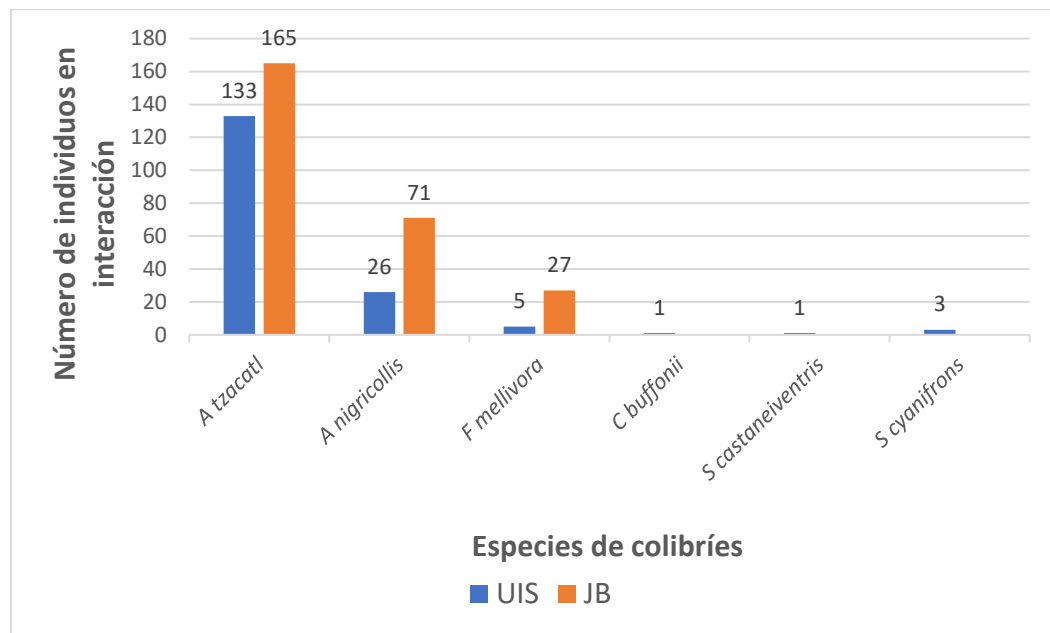


Nota: Los gráficos nos muestran las curvas de saturación de especies de aves (A) y plantas (B) durante la temporada seca.

Amazilia tzacatl fue el colibrí más abundante en las interacciones en las dos localidades durante la temporada seca, seguido de *A. nigricollis* y *F. mellivora*; estas fueron también las tres especies que se pudieron encontrar en ambas localidades (Fig. 3). *C. buffonii*, *S. castaneiventris* y *S. cyanifrons* solo fueron observados en la UIS. Los colibríes de los que menos registros se tuvo fueron *S. cyanifrons* con tres registros, *S. castaneiventris* y *C. buffonii* con un solo registro cada una (Fig. 3).

Figura 3.

Abundancia de las especies de colibríes durante la temporada seca

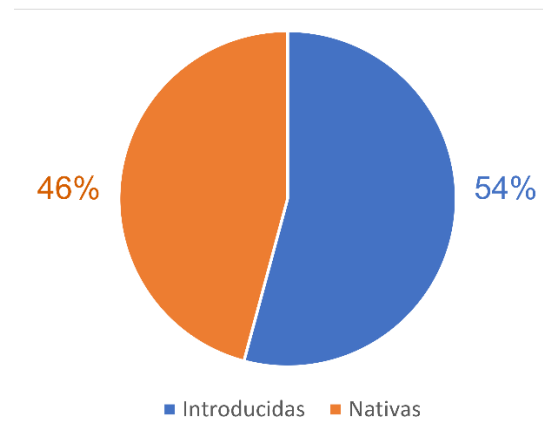


De las 12 especies de plantas registradas en las interacciones, cinco corresponden a especies nativas y siete a especies introducidas. La flora nativa representó un 46% de las interacciones

registradas durante la temporada seca (Fig. 4). La especie más utilizada fue *H. bihai*, una especie nativa, con 113 registros, seguida de *S. malaccense*, una especie introducida, con 95 registros.

Figura 4.

Frecuencia de uso de plantas introducidas y nativas durante la temporada seca.

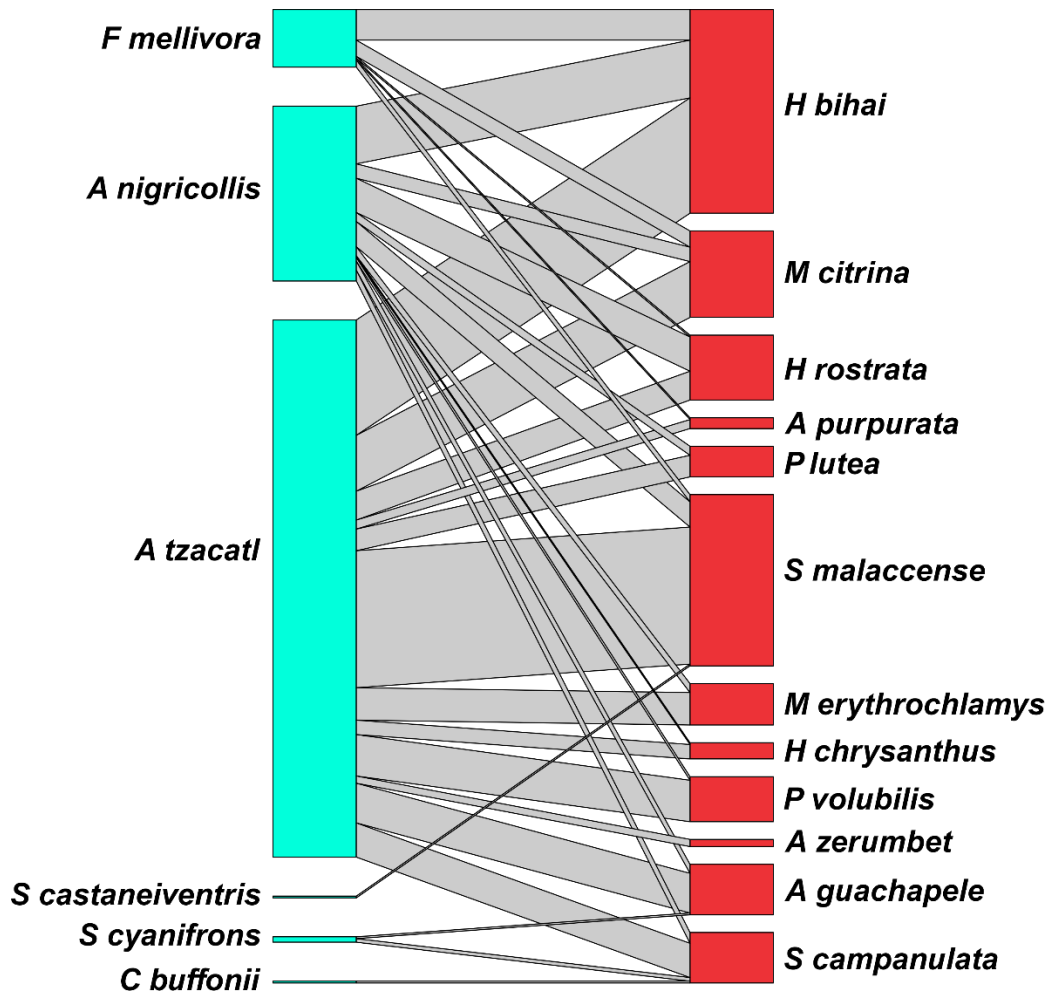


El análisis de las observaciones permitió la construcción de las redes de interacción mutualista entre colibríes y plantas en la temporada seca. Se detectaron 31 interacciones en la red de presencia-ausencia (Apéndice A). También fue posible generar la red de interacciones con los datos de frecuencias (Fig. 5), representando así el número de interacciones registradas entre cada especie de colibrí con cada especie de planta.

En la red de frecuencias (Fig. 5) podemos observar que los colibríes con mayor número de interacciones fueron *A. tzacatl* en primer lugar, seguido de *A. nigricollis* y *F. mellivora*. Las plantas con mayor número de interacciones fueron *H. bihai* y *S. malaccense*.

Figura 5.

Red de interacciones de frecuencia de visitas de colibríes a plantas durante la temporada seca.



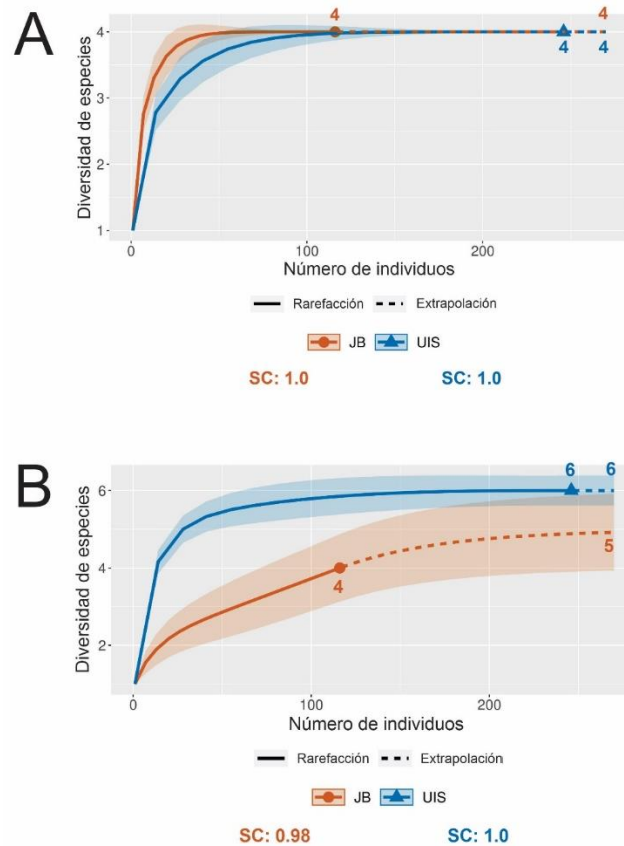
Nota. Las cajas representan a las especies de colibríes (celeste) y plantas (rojo). El tamaño de las cajas demuestra la proporción de interacciones presentes. El grosor de las líneas muestra qué tan frecuentemente se dio la interacción entre los dos individuos conectados.

4.2 Temporada húmeda

Para la temporada húmeda se registraron 362 interacciones, las cuales estuvieron conformadas por cinco especies de colibríes (*Amazilia tzacatl*, *Anthracothorax nigricollis*, *Florisuga mellivora*, *Saucerottia cyanifrons* y *Threnetes ruckeri*) y 10 especies de plantas (*Spathodea campanulata*, *Melaleuca citrina*, *Heliconia psittacorum*, *Lantana cámara*, *Heliconia rostrata*, *Handroanthus chrysanthus*, *Alpinia zerumbet*, *Heliconia bihai*, *Stachytarpheta sp.* y *Tabebuia rosea*). En esta temporada la completitud del muestreo de aves en las dos zonas de muestreo fue del 100% (SC = 1). Para las plantas, en la UIS el muestreo obtuvo un valor del 100% (SC = 1) y en el JB fue del 98% (SC = 0.98) (Fig. 6).

Figura 6.

Curva de acumulación de especies durante la temporada húmeda

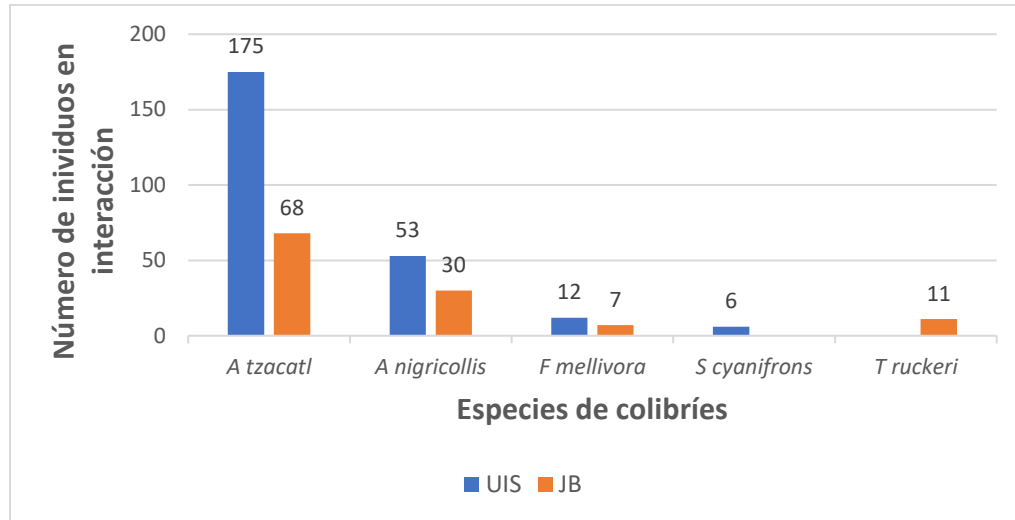


Nota. Los gráficos nos muestran las curvas de saturación de especies de aves (A) y plantas (B) durante la temporada seca.

Durante la temporada húmeda las especies más comunes fueron *A. tzacatl*, y *A. nigricollis*, estando estas presentes en las dos localidades muestreadas junto con *F. mellivora* pero teniendo esta última menos registros (Fig. 7). *S. cyanifrons* y *T ruckeri* fueron las especies con menos registros durante la temporada húmeda, teniendo estos seis y 11 registros respetivamente (Fig. 7); *S cyanifrons* solo fue registrado en la UIS mientras que *T ruckeri* solo se registró en el JB.

Figura 7.

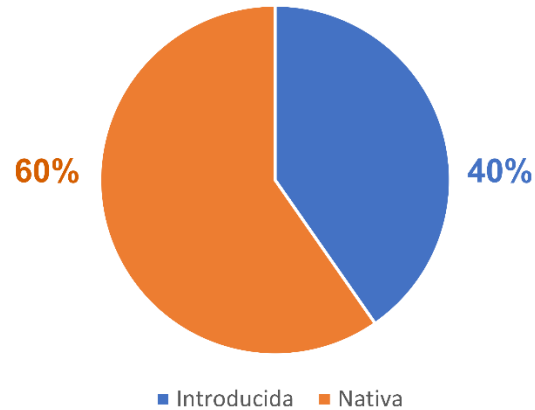
Abundancia de las cinco especies de colibríes que interactúan durante la temporada húmeda



De las 10 especies de plantas registradas, siete corresponden a especies nativas y tres a especies introducidas. Durante la temporada húmeda, los colibríes se alimentaron mayormente de flora nativa, la cual representó el 60% de las interacciones registradas (Fig. 8); sin embargo, la especie más utilizada fue *S. campanulata*, una especie introducida, con 128 registros, seguida por *H. bihai*, una especie nativa, con 105 registros.

Figura 8.

Porcentaje de tipo de plantas usadas por los colibríes durante la temporada húmeda

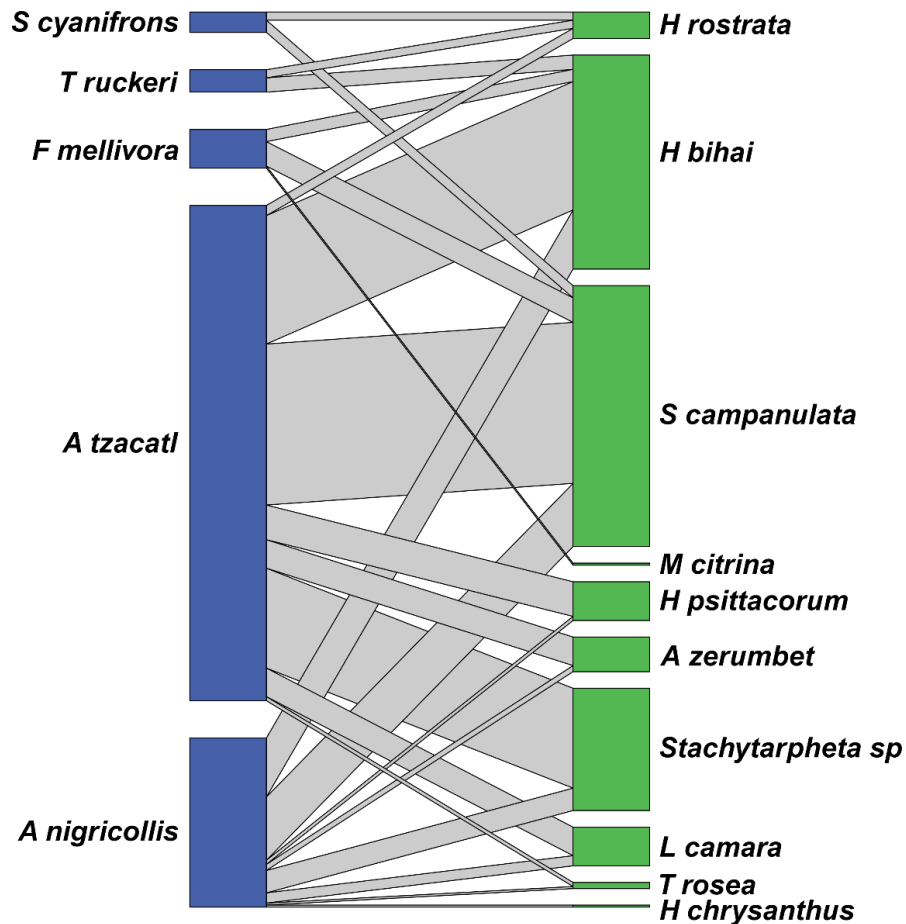


Las observaciones realizadas permitieron la construcción de las redes de interacción mutualistas entre colibríes y plantas durante la temporada húmeda. Se detectaron 23 interacciones en la red de presencia-ausencia (Apéndice B). También fue posible generar la red de interacciones con los datos de frecuencias (Fig. 9), representando así el número de interacciones registradas entre colibríes y plantas.

En la red de frecuencias (Fig. 9) podemos observar que los colibríes con mayor número de interacciones fueron *A. tzacatl* y *A. nigricollis*. Las plantas con mayor número de interacciones fueron *H. bihai* y *S. campannulata*.

Figura 9.

Red de interacciones de frecuencia de visitas de colibrís a plantas durante la temporada húmeda.



Nota. Las cajas representan a las especies de colibrís (Azul y plantas (verde). El tamaño de las cajas demuestra la proporción de interacciones presentes. El grosor de las líneas muestra que tan frecuente se dio la interacción entre los dos individuos conectados

Una vez obtenidas las redes de interacción de ambas temporadas fue posible elaborar análisis tanto a nivel de red como a nivel de especies que las componen para identificar características de las redes, así como sus componentes claves. Las redes muestran un comportamiento generalista con niveles cercanos a 0 en especialización (0,1), junto con niveles medios de robustez y conectancia (Tabla 1). En los análisis a nivel de especie (Apéndice 3) se

pudo identificar los componentes clave de las redes de cada temporada; para la temporada seca los colibríes clave fueron *A. tzacatl* y *A. nigricollis* y las plantas clave fueron *S. campanulata* y *S. malaccense*. Para la temporada húmeda los colibríes clave fueron *A. tzacatl*, *A. nigricollis* y *F. mellivora*; las plantas clave fueron *S. campanulata* y *H. bihai*.

Tabla 1. Índices de las redes de frecuencias de la temporada seca y húmeda

Temporada	Anidamiento			H2	Robustez HL	Robustez LL	S nicho HL	S nicho LL	Conectancia
	T obsv	T rand	P						
Seco	10,29	40,3	0,001	0,12	0,66	0,56	0,92	0,31	0,43
Humedo	16,32	36,49	0,03	0,13	0,71	0,51	0,59	0,61	0,46

Nota: En los índices de robustez y solapamiento de nicho las siglas HL y LL . HL corresponde a “Higher level”, en este caso, colibríes, mientras que LL corresponde a “Lower level”, en este caso, plantas.

5. Discusión

5.1 Comparación por temporadas

El número de colibríes en interacciones con plantas registrados no difiere mucho entre temporadas (seis especies para la temporada seca y cinco especies para la temporada húmeda). Sin embargo, en ambos casos, el número resulta menor al reportado por Cediell y Lozano-Flórez (2020) para las zonas verdes inmersas en paisajes urbanos de la AMB. Esto puede explicarse debido a que ellos utilizaron un número de zonas de muestreo y un esfuerzo de muestreo mayores al de este estudio y además no buscaron específicamente individuos en interacción. La composición de la comunidad era conocida en especies como *A. tzacatl*, *A. nigricollis*, *F. mellivora*, *S. cyanifrons*, *S. castaneiventris* y *C. buffonii* (Cediell y Lozano-Flórez, 2020); sin embargo, se registra una nueva especie, *T. ruckeri*.

Las dos temporadas compartieron gran parte de las especies de colibríes reportados, siendo estos *A. tzacatl*, *A. nigricollis*, *F. mellivora* y *S. cyanifrons*. La temporada seca tuvo dos especies únicas, *S. castaneiventris* y *C. buffonii*; mientras que la temporada húmeda solo tuvo una especie única, *T. ruckeri*. Se resalta la presencia de *S. castaneiventris*, una especie en peligro de extinción, endémica de Colombia (BirLife International, 2019), de la cual solo se tuvo un registro durante la temporada seca en el campus de la UIS. Este registro es interesante porque, aunque la localidad se encuentra dentro del rango de distribución de esta especie, este colibrí es reportado mayormente en la zona del cañón del Chicamocha (Diaz et al., 2021). Su presencia en este estudio resalta la importancia de zonas verdes en los paisajes urbanos, ya que ofrecen una fuente variada de recursos, así como nuevas áreas de avistamientos para especies vulnerables y posibles espacios de conservación.

Cotton (2006) reporta una relación directa entre los patrones de temporadas climáticas y la abundancia de colibríes, indicando que esta es mayor durante las temporadas húmedas o a finales de estas e inicios de las secas; sin embargo, en este estudio durante la temporada húmeda existe una disminución en la abundancia de interacciones en comparación con la temporada seca, acompañada también de una menor riqueza tanto de plantas como de colibríes. Esto puede deberse a la composición floral de las zonas muestreadas, ya que las flores utilizadas por colibríes en ellas tienen sus temporadas de floración en temporadas secas, algunas incluso manteniéndose en flor todo el año como *A. purpurata* y *H. bihai* (Albrecht, 2003). También es necesario tener en cuenta que estas zonas verdes se mantienen bajo cuidado constante, contando con personal destinado al

mantenimiento de la flora y fauna que componen estos espacios, por lo que los efectos que las temporadas climáticas ejercen sobre ellos pueden empezar a verse disminuidos durante el año.

Para el registro de plantas, el número de especies reportados en cada temporada tampoco varió mucho (12 especies para la temporada seca y 10 para la temporada húmeda), sin embargo, las especies que conformaron las redes de cada temporada sí lo hicieron. Entre temporadas compartieron tan solo cinco especies a saber, *S. campanulata*, *M. citrina*, *H. rostrata*, *H. chrysanthus*, *A. zerumbet* y *H. bihai*, siendo esta última la más utilizada durante todo el muestreo. La temporada seca tuvo seis especies únicas, *A. purpurata*, *S. malaccense*, *A. guachapele*, *P. volubilis*, *M. erythrochlamys* y *P. lutea*. La temporada húmeda por su parte tuvo solo cuatro especies únicas, *H. psittacorum*, *L. camara*, *Stachytarpheta sp* y *T. rosea*.

Durante la temporada seca la mayoría de las especies de plantas en interacción registradas correspondían a especies introducidas (siete especies); estas a su vez fueron usadas más frecuentemente que las especies nativas (Fig. 3), sin embargo, resulta curioso que la especie usada más frecuentemente en esa temporada correspondía a una especie nativa, *H. bihai*. Esto sucedió de manera opuesta en la temporada húmeda, donde solo tres de las especies registradas son especies introducidas y la frecuencia de uso de especies nativas fue mayor que el de las introducidas (Fig. 6), sin embargo, la especie usada más frecuentemente fue una especie introducida, *S. campanulata*.

Se resalta que, durante los muestreos de la temporada húmeda, cuando el número de interacciones fue más bajo, durante los muestreos se observó muy seguido la presencia de colibríes suspendidos en el aire, no acercándose a las flores sino perchándose en ramas altas. Se pudo observar que estos colibríes (generalmente *A. nigricollis* y *F. mellivora*) se estaban alimentando de insectos. Esto puede indicar un complemento de su dieta durante estas temporadas de poco florecimiento (Cotton, 2006).

5.2 Redes de interacción

5.2.1 Análisis a nivel de red

A nivel de red podemos observar diferencias en las estructuras de las redes de interacción en las dos temporadas (Tabla 1). El **anidamiento** en las 2 temporadas obtuvo un valor de temperatura significativamente menor (temporada seca, $T_{\text{obsv}} = 10,29$; $T_{\text{alea}} = 40,3$; $p = 0,001$. Temporada húmeda, $T_{\text{obsv}} = 16,32$; $T_{\text{alea}} = 36,49$; $p = 0,03$), esto nos indica la presencia de anidamiento en la red, es decir, las especies con menos conexiones están contenidas dentro de las interacciones de las especies más conectadas; la temperatura de anidamiento es mayor durante la temporada húmeda indicando que el anidamiento es mayor en esta temporada. La **especialización** obtuvo valores similares en la temporada seca (0,12) y húmeda (0,13) siendo ligeramente mayor durante esta última; estos valores sugieren que las especies tienden a un comportamiento generalista en el cual la gama de recursos que utilizan es amplia y poco selectiva. Para la **robustez** a nivel de colibríes (HL), observamos una mayor robustez en la temporada húmeda (0,71) lo cual sugiere que durante esta temporada la red es más resistente a la pérdida de plantas. A nivel de plantas (LL) se observa una mayor robustez en la temporada seca (0,56) indicando que durante esta temporada la red es más resistente a la pérdida de colibríes. En cuanto al **solapamiento de**

nicho a nivel de aves, se obtiene un mayor valor durante la temporada seca (0,92), lo que indica una mayor coincidencia en el uso de recursos por parte de los colibríes durante esa temporada; para el nivel de plantas (LL) el solapamiento de nicho obtuvo un mayor valor durante la temporada húmeda, indicando que en esta temporada las especies vegetales tienden a depender de mayor manera de los polinizadores. Finalmente, la **conectancia** obtuvo valores similares en las temporadas, siendo mayor durante la temporada húmeda con un valor del 0,46; esto indica que el 46% de las interacciones posibles están presentes en la red durante esa temporada. Estos resultados concuerdan con los propuestos por Marín-Gómez et al. (2022), los cuales reportan redes generalistas con niveles bajos (más cercanos a 0 que a 1) de anidamiento, especialización y conectancia para zonas verdes inmersas en paisajes urbanos.

5.2.2 Análisis a nivel de especie

Durante la temporada seca, el índice de **intermediación** para aves obtuvo un valor de 0 en la mayoría de las especies, indicando que se encuentran vinculadas entre si a través de un solo paso, es decir, no cumplen una función de puentes uniendo otras especies en la red y por esto obtienen valores de 0; *A. tzacatl* y *A. nigricollis* obtienen los valores más altos de este índice en la temporada seca, lo que indica que desempeñan un papel clave como intermediarias o puentes en la red, es decir, la mayoría de los caminos más cortos para vincular otras especies, pasan a través de ellas. Este índice para plantas obtuvo un valor de 0 para todas las especies, indicando nuevamente que se encuentran vinculadas entre si a través de un solo paso. En el índice de **cercanía**, para aves, los mayores valores obtenidos fueron 0,19 el cual corresponde a las especies *A. tzacatl* y *A. nigricollis*, esto indica que son las especies más cercanas a todas las demás en la red, es decir, los caminos para conectar estas 2 especies con todas las demás son los más cortos, lo

que las hace ubicarse en un lugar central de la red, resaltando así su importancia en la estructura de esta; para las plantas, todas las especies obtienen el mismo valor (0,08), lo que indica que las especies se encuentran a la misma distancia unas de otras en la red. Finalmente, el **grado** nos muestra que las especies de aves que más conexiones tuvieron en la red fueron *A. tzacatl* y *A. nigricollis* con 10 y 12 respectivamente; para plantas, las especies con más conexiones fueron *S. campanulata* y *S. malaccense*, ambos con 4.

Durante la temporada húmeda, las especies de aves que tuvieron valores de **intermediación** diferentes de 0 fueron *A. tzacatl*, *A. nigricollis* y *F. mellivora*, los 3 con valor de 0,33; para plantas, *M. citrina*, *H. rostrata* y *H. chrysanthus* obtuvieron valores de 0, indicando que estas no cumplen una función de puente en la red; otras especies como *H. psittacorum* y *L. cámara* tuvieron valores de 0,02, indicando que si cumple una función de puentes en algunos de los recorridos más cortos para unir otras especies; *S. campanulata* y *H. bihai* obtuvieron los valores más altos (0,46), indicando que son las plantas que más cumplen con una función de puente interconectando otras especies en la red. El índice de **cercanía**, 3 especies de aves obtuvieron el valor más alto (0,21), siendo estas *A. tzacatl*, *A. nigricollis* y *F. mellivora*, indicando que estas son las especies que poseen los caminos más cortos para conectarse con las demás; para plantas, *M. citrina* obtuvo el valor más bajo (0,7) indicando que es la especie menos central en la red; los valores más altos (0,11) lo obtuvieron *S. campanulata* y *H. bihai*, indicando que son las especies más centrales, sin embargo las demás especies obtuvieron un valor muy cercano (0,1), indicando que en esta temporada las distancias entre las especies de plantas no son muy marcadas unas de otras. Finalmente, el **grado** nos indica que las aves con más conexiones fueron *A. tzacatl* y *A.*

nigricollis con 8 conexiones, seguidos de *F. mellivora* con 4 conexiones; en plantas, *S. campanulata* y *H. bihai* son las especies con mayor número de conexiones (4).

Spathodea campanulata, siendo una especie introducida, tiene un papel importante similar al de especies nativas en las redes de ambas temporadas, concordando nuevamente con Marín-Gomez et al. (2022) quien reporta contribuciones similares de especies nativas e introducidas a las redes de interacción, indicando que estas últimas ayudan al enriquecimiento de los recursos disponibles y ayudan a regular los efectos negativos de la urbanización sobre la diversidad.

6. Conclusión

La temporada seca presentó mayor número de interacciones junto con mayor abundancia de colibríes y plantas.

Las redes de ambas temporadas demuestran un comportamiento generalista, con niveles de anidamiento, especialización y conectancia bajos. Estos valores son mayores durante la temporada húmeda.

Para la temporada seca, las especies clave de aves son *A. tzacatl* y *A. nigricollis*. Las especies clave de plantas son *S. campanulata* y *S. malaccense*.

Para la temporada húmeda, las especies clave de aves son *A. tzacatl*, *A. nigricollis* y *F. mellivora*. Las especies clave de plantas son *S. campanulata* y *H. bihai*.

7. Recomendación

Para futuros estudios se recomienda ampliar el tiempo de muestreo, pudiendo abarcar una porción mayor del año, así como el utilizar un mayor número de zonas de muestreo para obtener una calidad mayor de datos.

El muestreo de aves puede complementarse con capturas para la colección de muestras de polen, facilitando el registro de las interacciones que no sea posible observar en vivo durante los recorridos.

Finalmente, se sugiere realizar comparaciones entre redes que incluyan únicamente flora nativa y redes que incluyan tanto flora nativa como no nativa. Esto permitirá comprender mejor el papel de la flora no nativa en las zonas verdes inmersas en paisajes urbanos y su influencia en las redes de interacción.

Bibliografía

- Albrecht, K. (2003). *Tropical Flowering Plant: A guide to identification and cultivation*. Timber Press, Portland Oregon, USA
- Altshuler, D. L., & Dudley, R. (2002). The ecological and evolutionary interface of hummingbird flight physiology. *Journal Of Experimental Biology*, 205(16), 2325-2336. <https://doi.org/10.1242/jeb.205.16.2325>
- Palacio Arce, R. (2014). Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras en el bosque nublado de San Antonio -km 18, Valle del Cauca. http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76988/1/palacio_estructura_red_2014.pdf
- Atmar, W. & Patterson, B.D. (1995). The nestedness temperature calculator. In A visual basic program, including 294 presence-absence matrices. University Park, NM: AICS Research Inc.
- Ayerbe-Quiñones, F. (2019). *Guía ilustrada de la avifauna colombiana*. Wildlife Conservation Society. Punto Aparte Bookvertising.
- Beal-Neves, M., Ely, C. V., Esteves, M. W., Blochtein, B., Lahm, R. A., Quadros, E. L., & Ferreira, P. M. A. (2020). The Influence of Urbanization and Fire Disturbance on Plant-floral Visitor Mutualistic Networks. *Diversity*, 12(4), 141. <https://doi.org/10.3390/d12040141>
- BirdLife International. 2019. *Amazilia castaneiventris*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019: e.T22687614A156112287. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T22687614A156112287.en>

- Cediel, F., & Lozano Florez, A. J. (2020). Aves urbanas en zonas verdes del área metropolitana de Bucaramanga, Santander, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 18. <http://asociacioncolombianadeornitologia.org/>
- Chao, A., Ma, K. H., and Hsieh, T.C. (2016) iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/.
- CHELSEA. (2024). *Climate diagrams*. Chelsa climate climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. <https://chelsa-climate.org/>
- Cotton, P. A. (2006). Seasonal resource tracking by Amazonian hummingbirds. *Ibis*, 149(1), 135-142. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2006.00619.x>
- Del Val de Gortari, E. (2022). Redes de interacciones para el estudio de la biodiversidad. *Revista Digital Universitaria*, 23(2). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.9>
- Díaz, G. M. P., Archila-Durán, L., Parra, J., & Carvajal-Cogollo, J. E. (2021). Behavior, ecology, and territory of the chestnut-bellied hummingbird, *Saucerottia castaneiventris*, in the xerophytic vegetation of the Chicamocha canyon of Colombia. *Neotropical Biology and Conservation*, 16(4), 501-520. <https://doi.org/10.3897/neotropical.16.e66094>
- Dormann, C.F., Freund, J., Gruber, B. & Beckett, S. (2024). Visualising Bipartite Networks and Calculating Some (Ecological) Indices (Version 2.20) [Paquete de software]. Recuperado de <https://cran.r-project.org/web/packages/bipartite/bipartite.pdf>
- Emlen, J. T. (1971). Population densities of birds derived from transect counts. *The auk*, 88(2), 323–342. <https://doi.org/10.2307/4083883>

- García, D. (2016). Birds in Ecological Networks: Insights from Bird-Plant Mutualistic Interactions. *Ardeola*, 63(1), 151-180. <https://doi.org/10.13157/arla.63.1.2016.rp7>
- García, H., Duarte, E., & García, C. (2015) *Florauis catálogo ilustrado* (1). Universidad Industrial de Santander
- García, M., Benítez-Vieyra, S., Sérsic, A. N., Pauw, A., Cocucci, A. A., Traveset, A., Sazatornil, F., & Pajaro, V. (2020). Is variation in flower shape and length among native and non-native populations of *Nicotiana glauca* a product of pollinator-mediated selection? *Evolutionary Ecology*, 34(6), 893-913. <https://doi.org/10.1007/s10682-020-10082-w>
- Gomez Zuluaga, V. (2022). Evaluación del uso por las aves de distintas especies de plantas, en un tramo del corredor ecológico de la quebrada La hueso de la ciudad de Medellín [Universidad EIA]. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5286>
- González, A. M. M., Dalsgaard, B., & Olesen, J. M. (2010). Centrality measures and the importance of generalist species in pollination networks. *Ecological Complexity*, 7(1), 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.03.008>
- Gutiérrez-Zamora, A. (2008). Las interacciones ecológicas y estructura de una comunidad altoandina de colibríes y flores en la Cordillera Oriental de Colombia. *Ornitología Colombiana*, 7, 17–42. <https://doi.org/10.59517/oc.e175>
- Lara-Rodríguez, N. Z., Díaz-Valenzuela, R., Martínez-García, V., Mauricio-López, E., Anaid-Díaz, S., Valle, O. I., Fisher-De León, A. D., Lara, C., Ortiz-Pulido, R., Ixtacuixtla, F., & Tlaxcala, M. (2012). Redes de interacción colibrí-planta del centro-este de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 569–577.
- Magalhães, A. F. P., Maruyama, P. K., Tavares, L. A. F., & Martins, R. L. (2018). The relative importance of hummingbirds as pollinators in two bromeliads with contrasting floral

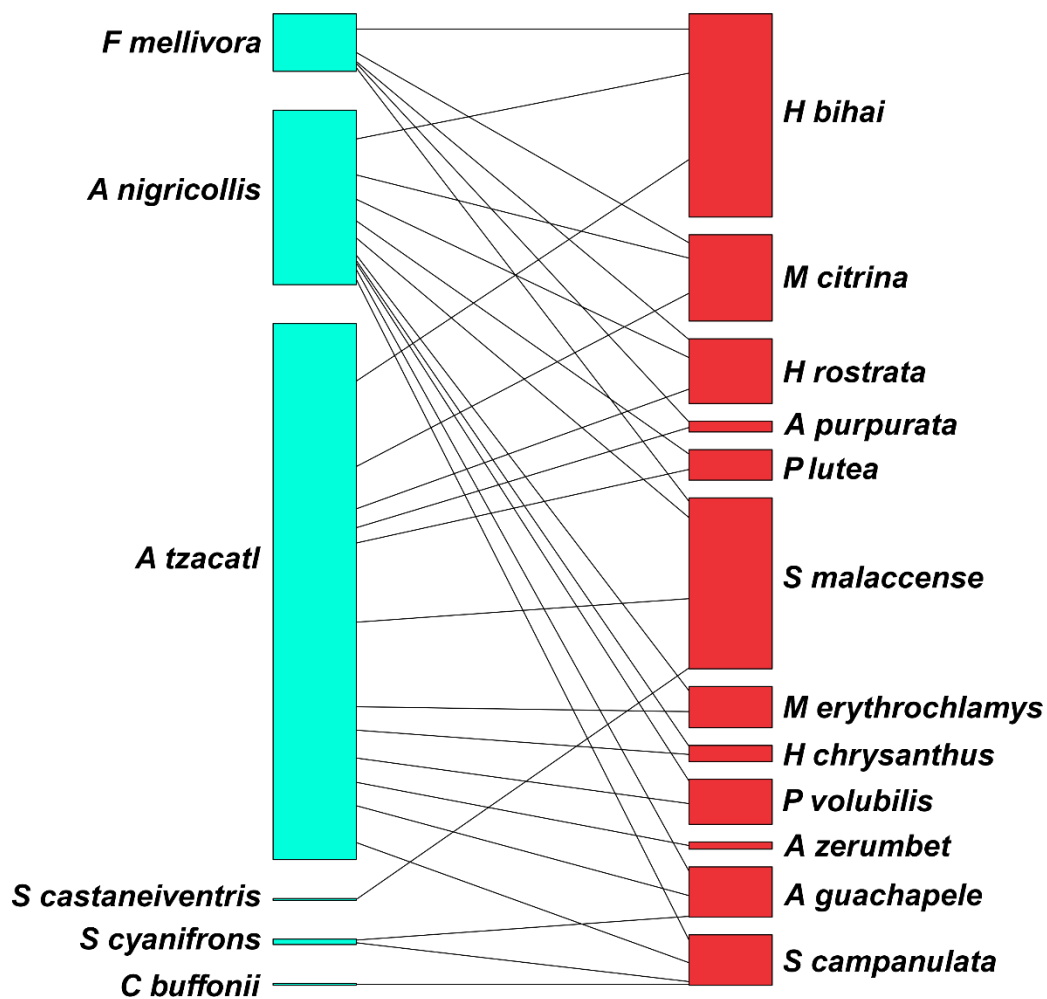
- specializations and breeding systems. *Botanical Journal of the Linnean Society*.
<https://doi.org/10.1093/botlinnean/boy050>
- Marín-Gómez, O. H., Flores, C. R., & Del Coro Arizmendi, M. (2022). Assessing ecological interactions in urban areas using citizen science data: Insights from hummingbird–plant meta-networks in a tropical megacity. *Urban Forestry & Urban Greening*, *74*, 127658. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127658>
- McKinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, *11*(2), 161-176. <https://doi.org/10.1007/s11252-007-0045-4>
- Medel, R., López-Aliste, M., & Fontúrbel, F. E. (2022). Hummingbird-plant interactions in Chile: An ecological review of the available evidence. *Avian Research*, *13*, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.avrs.2022.100051>
- Ortiz-Pulido, R., & Díaz, R. (2001). Distribución de colibríes en la zona baja del centro de Veracruz, México. *Ornitología Neotropical*.
- Pérez, N. C. A., Silva, J. A. A., Gómez, R. Z., & Pérez-Peña, P. E. (2018). Ecología urbana de aves: relación de las plantas, clima y ruido con la biodiversidad de aves en la ciudad de Iquitos, Perú. *Folia Amazónica*, *26*(2), 121-138. <https://doi.org/10.24841/fa.v26i2.427>
- Rodríguez-Flores, C., Gary Stiles, F., María, &, & Del Coro Arizmendi, M. (2012). Pollination network of a hermit hummingbird community (Trochilidae, Phaethornithinae) and their nectar resources in the Colombian amazon. *Ornitología Neotropical*, *23*, 63–78. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211855>
- Rojas A. 2011. *Flora urbana del Área Metropolitana de Bucaramanga*. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB
- RStudio Team. (2016). RStudio: Integrated Development for R. Boston, MA: RStudio, Inc.

- Smith, D. M., Finch, D. M., & Stoleson, S. H. (2014). Nest-location and nest-survival of black-chinned hummingbirds in New Mexico: a comparison between rivers with differing levels of regulation and invasion of nonnative plants. *The Southwestern Naturalist*, *59*(2), 193-198. <https://doi.org/10.1894/f06-tel-02.1>
- Tylianakis, J. M., Laliberté, E., Nielsen, A., & Bascompte, J. (2010). Conservation of species interaction networks. *Biological Conservation*, *143*(10), 2270-2279. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.004>
- Vitorino, B. D., Da Frota, A. V. B., & Maruyama, P. K. (2021). Ecological determinants of interactions as key when planning pollinator-friendly urban greening: A plant-hummingbird network example. *Urban Forestry & Urban Greening*, *64*, 127298. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127298>

Apéndices

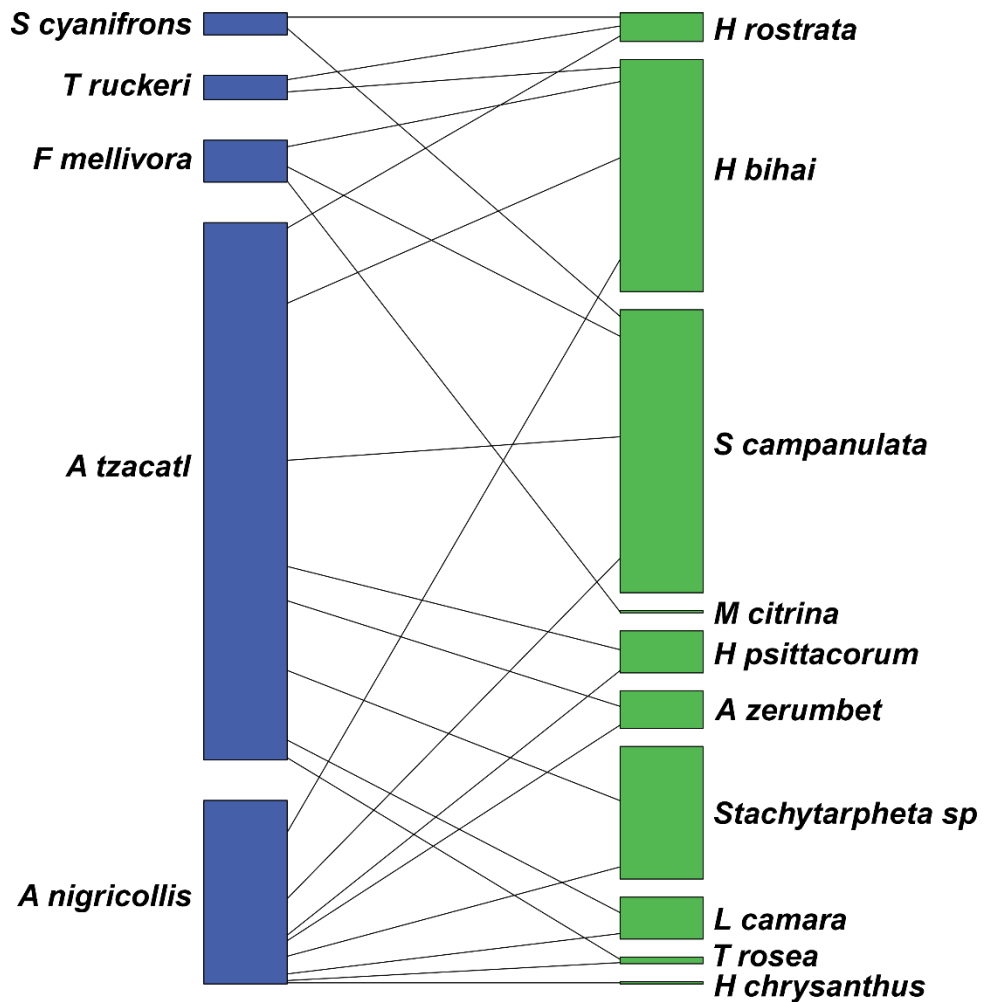
Apéndice A. Red de interacciones de presencia-ausencia entre colibríes y plantas durante la temporada seca.

Las cajas representan a las especies de colibríes (naranjas) y plantas (amarillas). El tamaño de las cajas demuestra la proporción de interacciones presente. Las líneas demuestran la existencia de interacción entre los individuos.



Apendice B. Red de interacciones de presencia-ausencia entre colibríes y plantas durante la temporada húmeda.

Las cajas representan a las especies de colibríes (azul) y plantas (verde). El tamaño de las ajas demuestra la proporción de interacciones presentes. Las líneas demuestran la existencia de interacción entre los individuos.



Apendice C. Índices a nivel de especie de la temporada seca para la identificación de especies clave

Grupo	Especies	Intermediación	Cercanía	Grado
Aves				
	<i>Amazilia tzacatl</i>	0,5	0,19	12
	<i>Anthracothorax nigricollis</i>	0,5	0,19	10
	<i>Florisuga mellivora</i>	0	0,15	5
	<i>Chalybura buffonii</i>	0	0,15	1
	<i>Saucerottia castaneiventris</i>	0	0,15	1
	<i>Saucerottia cyanifrons</i>	0	0,15	2
Plantas				
	<i>Spathodea campanulata</i>	0	0,08	4
	<i>Melaleuca citrina</i>	0	0,08	3
	<i>Alpinia purpurata</i>	0	0,08	2
	<i>Heliconia rostrata</i>	0	0,08	3
	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	0	0,08	2
	<i>Syzygium malaccense</i>	0	0,08	4
	<i>Albizia guachapele</i>	0	0,08	3
	<i>Alpinia zerumbet</i>	0	0,08	1
	<i>Petrea volubilis</i>	0	0,08	2
	<i>Megaskepassa erythrochlamys</i>	0	0,08	2
	<i>Pachystachys lutea</i>	0	0,08	2
	<i>Heliconia bihai</i>	0	0,08	3

Apendice D. Índices a nivel de especie de la temporada húmeda para identificación de especies clave

Grupo	Especies	Intermediación	Cercanía	Grado
Aves				
	<i>Amazilia tzacatl</i>	0,33	0,21	8
	<i>Anthracothorax nigricollis</i>	0,33	0,21	8
	<i>Florisuga mellivora</i>	0,33	0,21	3
	<i>Saucerottia cyanifrons</i>	0	0,18	1
	<i>Threnetes ruckeri</i>	0	0,18	2
Plantas				
	<i>Spathodea campanulata</i>	0,46	0,11	4
	<i>Melaleuca citrina</i>	0	0,07	1
	<i>Heliconia psittacorum</i>	0,02	0,1	2
	<i>Lantana camara</i>	0,02	0,1	2
	<i>Heliconia rostrata</i>	0	0,1	2
	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	0	0,1	1
	<i>Alpinia zerumbet</i>	0,02	0,1	2
	<i>Heliconia bihai</i>	0,46	0,11	4
	<i>Stachytarpheta</i> sp.	0,02	0,1	2
	<i>Tabebuia rosea</i>	0,02	0,1	2

Apendice E. Medidas generales de los colibríes observados

Especie	Tamaño (mm)	Pico (mm)	Ala (mm)	Peso (g)
<i>Amazilia tzacatl</i>	90	20	54,6	4,8
<i>Anthracothorax nigricollis</i>	105	25	68	7
<i>Florisuga mellivora</i>	100	20	70,2	7,4
<i>Chalybura buffonii</i>	110	25	63,4	6,8
<i>Saucerottia castaneiventris</i>	88	20	52	5
<i>Saucerottia cyanifrons</i>	90	18	56	5
<i>Threnetes ruckeri</i>	10	30	56,6	5,2

Nota. Los datos de esta tabla fueron tomados de libros y bases de datos (Ayerbe-Quiñonez, 2019; Tobias et al., 2022)

Apendice F. Medidas generales de las plantas utilizadas en el estudio.

Especie	Origen	Habito	Flor	Uso
<i>Spathodea campanulata</i>	No nativa	Arbol (15 - 35 m)	20 - 40 cm	Ornamental
<i>Melaleuca citrina</i>	No nativa	Arbol o arbusto (4 - 6 m)	-	Ornamental
<i>Heliconia psittacorum</i>	No nativa	Hierba (90 cm)	-	Ornamental
<i>Lantana camara</i>	Nativa	Arbusto (0,5 - 1 m)	-	Ornamental
<i>Alpinia purpurata</i>	No nativa	Herbacea (1,2 - 2,5 m)	30 - 40 cm	Ornamental
<i>Heliconia rostrata</i>	Nativa	Hierba (2 - 6 m)	-	Ornamental

<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Nativa	Arbol (35 m)	3 - 8 cm	Ornamental
<i>Syzygium malaccense</i>	No nativa	Arbol (12 m)	-	Frutal
<i>Albizia guachapele</i>	Nativa	Arbol (20 m)	2 - 5 cm	Ornamental
<i>Alpinia zerumbet</i>	No nativa	Hierba (3 m)	3 - 5 cm	Ornamental
<i>Petrea volubilis</i>	Nativa	Enredadera (9 m)	-	Ornamental / cerca viva
<i>Megaskepasma erythrochlamys</i>	No nativa	Arbusto (2 - 3 m)	-	Ornamental
<i>Pachystachys lutea</i>	Nativa	Arbusto (0,5 - 1 m)	-	Ornamental
<i>Heliconia bihai</i>	Nativa	Hierba (5 m)	-	Ornamental
<i>Stachytarpheta sp.</i>	Nativa	Arbusto o hierba	-	Ornamental / medicinal
<i>Tabebuia rosea</i>	Nativa	Arbol (15 - 30 m)	-	Ornamental, maderable, forrajeo y medicinal

Nota. Los datos morfológicos en esta tabla fueron obtenidos de libros y catálogos de plantas (Albrecht, 2003; Garcia et al., 2015; Rojas, 2017). Los espacios en blanco (-) son datos que no se encontraron.