

Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y colibríes en la vereda Esparta,

Santa Bárbara, Santander

Marlly Valentina Mendez Blanco

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

Bióloga

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

Biología

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mis padres Sol Janneth Blanco Portilla y William Mendez Romero, y, mi hermana Daniela Mendez Blanco, y el resto de mi familia que siempre me apoyaron en cada momento, creyeron en mí y nunca desconfiaron en cada paso que daba.

Al profesor Víctor Hugo Serrano Cardozo, quien me brindó un espacio en su laboratorio para poder realizar esta pasantía y por supuesto, mi codirectora Martha Patricia Ramírez Pinilla por brindarme apoyo en el proyecto.

A mis amigos, quienes son el pilar que evitó que me derrumbara. Diego Villabona, por siempre darme ánimos para seguir adelante, por mostrarme luz en la oscuridad y por siempre estar ahí cuando más lo necesité. A Nicolas Ardila, por brindarme su amistad y ser la más longeva en esta etapa tan importante. A Nathalia G. Diaz, por ser la mejor amiga del mundo, con quien nos hemos visto crecer y estoy muy orgullosa. A Carlos Diaz, por ser mi ruta de escape cuando me siento sin idea de qué hacer. A las chicas del 741.

A todos mis demás amigos que llevo en el corazón.

Finalmente, a mi gato, Sekki.

Agradecimientos

Al profesor Víctor Hugo Serrano Cardozo, por darme la oportunidad de estar en esta pasantía en su grupo de laboratorio.

A la profesora Martha Patricia Ramírez Pinilla por brindarme su apoyo y guiarme en cada detalle para mis ideas fueran legibles.

A los señores Arelis y Robinson, que me brindaron un espacio en sus tierras para poder realizar este proyecto.

Y a cada persona que estuvo ahí cuando mi mundo se derrumbaba y recomponía.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Competencias	14
3. Metodología	14
3.1 Área de estudio	14
3.2 Muestreo	15
3.2.1 Muestreo de aves.....	16
3.2.2 Muestreo de plantas	16
3.3 Análisis de las redes.....	17
4. Resultados	19
4.1 Red de interacciones	21
4.2 Época seca.....	27
4.3 Época lluviosa.....	31
4.4 Relación pico-corola	35
5. Discusión.....	39
5.1 Redes de interacción	39
5.1.1. Índice de especialización de la red total	39
5.1.2 Conectancia.....	40
5.1.3 Solapamiento de nicho	40

5.1.4 Anidamiento.....	41
5.1.5 Robustez.....	42
5.1.6 Diversidad de Shannon	42
5.1.7 Otros Recursos	43
5.2 Estacionalidad	43
5.3 Relación largo pico de colibrí y corola	44
6. Conclusiones	45
7. Recomendaciones	46
Referencias.....	47
Apéndices.....	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Especies encontradas en el estudio y las épocas en las que fueron vistas</i>	20
Tabla 2 <i>Índices de la red de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara</i>	23
Tabla 3 <i>Índices de especialización de los géneros de plantas</i>	24
Tabla 4 <i>Índices de especialización de las especies de colibríes</i>	25
Tabla 5 <i>Cobertura del muestreo y riqueza de especies para plantas y colibríes en ambas épocas</i>	26
Tabla 6 <i>Índices de la red de interacciones en época seca</i>	29
Tabla 7 <i>Índices de especialización de las especies de plantas en la época seca</i>	30
Tabla 8 <i>Índices de especialización de las especies de colibríes en la época seca</i>	31
Tabla 9 <i>Índices de la red de interacciones en época lluviosa</i>	33
Tabla 10 <i>Índices de especialización de las especies de plantas en época lluviosa</i>	34
Tabla 11 <i>Índices de especialización de las especies de colibríes en la época lluviosa</i>	35
Tabla 12 <i>Medida de las longitudes de pico de colibríes, corola de las flores y el valor del delta de acople</i>	35

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Precipitación a lo largo del año y época climática</i>	15
Figura 2 <i>Frecuencia de uso de plantas introducidas y nativas</i>	21
Figura 3 <i>Red del total de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara</i>	22
Figura 4 <i>Distribución anidamiento NODF</i>	24
Figura 5 <i>Curva de rarefacción y extrapolación en colibríes</i>	25
Figura 6 <i>Curva de rarefacción y extrapolación en plantas</i>	26
Figura 7 <i>Red de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara para época seca</i>	28
Figura 8 <i>Distribución anidamiento NODF</i>	30
Figura 9 <i>Red de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara para época lluviosa</i>	32
Figura 10 <i>Distribución anidamiento NODF en época lluviosa</i>	34
Figura 11 <i>Gráfico de dispersión entre la longitud de la corola y la longitud del pico de los colibríes</i>	38

Glosario

Beneficio mutuo: interacción de especies en la cual todos los organismos involucrados se benefician.

Deforestación: es la disminución en la superficie cubierta de bosque causada principalmente por actividades humanas que dan otro tipo de uso de la tierra.

Especialista: son especies que solo pueden prosperar en un rango estrecho de condiciones ambientales y tienen una dieta limitada

Generalista: son especies que pueden prosperar en una gran variedad de condiciones ambientales y utilizar una amplia gama de recursos (ej. fuentes de alimentación).

Interacción: es la relación o relaciones que se establecen entre individuos de una misma comunidad, ya sean de la misma o diferente especie.

Mutualismo: interacción entre dos especies en la cual hay un beneficio mutuo y aumentan su fitness.

Polinización: proceso en el cual se transfieren de los granos de polen desde las anteras hasta el estigma de una flor.

Red: herramienta analítica que describe la relación entre dos grupos.

Resumen

Título: Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara, Santander*

Autor: Marilly Valentina Mendez Blanco*

Palabras Clave: Especialista, Generalista, Interacciones, Mutualismo

Descripción: Las redes de interacción desempeñan un papel importante en la identificación de componentes en el ecosistema, así como también permiten reconocer patrones y el rol que desempeñan las especies frente a los recursos que utilizan. Numerosos estudios de las redes de interacción planta – animal han permitido entender la manera en que aves como los colibríes efectúan las interacciones mutualistas, y recientemente, en relación con el efecto de los cambios antropogénicos sobre el paisaje y sus ajustes a las nuevas condiciones y recursos, sin embargo, para bosques subandinos como en la vereda Esparta, Santa Bárbara, Santander, no se encuentra mucha información. Se caracterizó la estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y se analizaron posibles variaciones asociadas a estaciones climáticas. Las redes encontradas muestran un comportamiento generalista, los colibríes interactúan con distintas especies de plantas, incluidas especies introducidas. Se trata de redes robustas que presentan alto nivel de diversidad de especies, un nivel medio para el solapamiento de nicho, diversidad y anidamiento, y bajos niveles de especialización y conectancia. *Chlorostilbon poortmani* destaca como especie clave para el caso de los colibríes y el género *Hibiscus* para el caso de las plantas. Se encontraron diferencias estacionales en las que la época seca presenta un mayor valor en el número de especies de plantas disponibles y en índices como anidamiento y robustez.

* Trabajo de Grado

** 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

Abstract

Title: Structure of network of mutualistic interactions between plants and hummingbirds in Esparta, Santa Bárbara, Santander*

Author: Marlyly Valentina Mendez Blanco**

Key Words: Generalist, Interactions, Mutualism, Specialist

Description: Interaction networks play an important role in identifying components in the ecosystem and recognizing patterns and species' roles concerning the resources they use. Numerous studies of plant-animal interaction networks provide insight into how birds such as hummingbirds perform mutualistic interactions. Recently, this relationship has been the subject of studies due to changes in the ecosystem brought about by anthropogenic actions, evaluating how these interactions adjust to new conditions and resources, however, for subandean forests such as in Esparta, Santa Bárbara, Santander, there's not much information. This research focuses on characterizing the structure of the network of mutualistic interactions between plants and hummingbirds and analyzing the differences due to climatic seasons. The results show that the networks have a generalist behavior, hummingbird species interact with various plants, including introduced species. They are robust networks with high level of species diversity, medium level of niche overlap, diversity and nestedness, low levels of specialization and connectance. *Chlorostilbon poortmani* is a keystone species for hummingbirds and the genus *Hibiscus* for plants. Seasonal differences were found, the dry season has the highest number of available plant species, and index such as nestedness and robustness.

* Degree Work

** Faculty of Sciences. School of Biology. Biology. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo. Ph.D. in Biological Sciences. Co-director: Martha Patricia Ramírez Pinilla. Ph.D. in Biological Sciences.

Introducción

En las comunidades biológicas, las interacciones entre organismos se constituyen de interacciones tanto interespecíficas (ocurren en individuos de distintas especies como la competencia, depredación, mutualismo, facilitación y parasitismos) como intraespecíficas (en individuos de una misma especie como la competencia y cooperación) (Lidicker Jr, 1979). Las interacciones pueden ser representadas mediante redes de interacción, siendo los nodos las especies y los enlaces las interacciones entre ellos (Newman, 2003; Zhou et al., 2007). Las interacciones mutualistas son del tipo interespecífica y se refieren a relaciones que favorecen a cada grupo involucrado (Bascompte, 2009). Registrar las interacciones entre plantas y colibríes, y realizar caracterización de sus redes de interacción permite visualizar cómo se están efectuando las relaciones entre especies y el rol que desempeñan en el ecosistema (Rodríguez-Flores & Ornelas, 2019). Las redes de interacción permiten obtener información acerca de la conexión entre especies como el nivel de conectancia, anidamiento, robustez, solapamiento de nicho, entre otras (Díaz et al., 2021; Gonzalez y Loiselle, 2016; Ramírez-Burbano et al., 2017).

Existen estudios sobre redes de interacción entre plantas y animales, en Colombia se han estudiado en ecosistemas de las cordilleras de los Andes (Díaz et al., 2021; Gonzalez y Loiselle, 2016; Ramírez-Burbano et al., 2017b), así como en la Amazonía (Cotton, 1998). Estos estudios han evidenciado la importancia del conocimiento de las relaciones mutualistas y su relevancia para la conservación al destacar el papel de cada una de las especies en la red.

En bosques andinos, como el bosque robledal de la Cordillera Oriental de los Andes (departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Huila, Norte de Santander, Santander y Tolima) se producen cambios en el hábitat debido a la alta deforestación por procesos antropogénicos como ganadería, cultivos, apertura de vías, quemas y sobreexplotación de recursos (Quintero et al.,

2017). Estos cambios afectan la estructura de los ecosistemas como entre muchos trabajos lo muestran Yáñez y Estupiñán (2016), quienes encuentran que acciones antropogénicas han afectado la herpetofauna neotropical. Toby Kiers et al. (2010) demuestran que la degradación ambiental puede alterar las interacciones mutualistas en distintos escenarios generando un cambio hacia nuevos recursos. En particular, se ha encontrado que la introducción o cambio de los recursos alimentarios puede desestabilizar las relaciones ecológicas entre plantas y colibríes que dependen de ellas para la polinización y/o alimentación, reduciendo la diversidad de especies (du Plessis et al., 2021). Un ejemplo del cambio hacia un nuevo recurso lo muestran Morrison y Mendenhall (2020), quienes han propuesto la formación en cultivos de café de nuevas comunidades biológicas entre colibríes, lo que provoca un aumento de la abundancia de algunas especies de colibríes y una menor riqueza de especies comparada con la de hábitats forestales (du Plessis et al., 2021).

El cambio hacia otros recursos provoca que los colibríes tomen un carácter más oportunista y, por tanto, prefieran recursos de fácil acceso como flores introducidas (Abrahamczyk y Kessler, 2010), cultivos, bebedores artificiales, así como un recurso natural encontrado en los bosques de roble *Quercus humboldtii*, el mielato de *Stigmacoccus asper* (Hemiptera: Stigmacoccidae), un recurso interesante para los colibríes por su cantidad de miel accesible. Este recurso se encuentra en los troncos de los robles y se trata de una secreción de los insectos fitófagos del orden Hemiptera al consumir grandes cantidades de savia (Chamorro et al., 2013) y provee alimento de manera rápida y accesible al estar disponible a lo largo del año como se reporta en Cortés et al. (2024). La variación de recursos a los que acceden los colibríes puede darse también por épocas de floración, al respecto, van Dulmen (2001) y Sritongchuay et al. (2019) encontraron una correlación entre menor disponibilidad floral y mayor índice de especialización o preferencia específica hacia un

recurso. Sumado a esto, las precipitaciones, junto con la época de floración, se han correlacionado con la riqueza y abundancia de colibríes (Cotton, 2007).

Este estudio se realizó en la Cordillera Oriental en un bosque de robles intervenido. Se determinaron las interacciones entre los colibríes y plantas de la vereda Esparta en el municipio de Santa Bárbara, Santander, evaluando especies clave y estableciendo el índice de especialización. Además, se indagó si existen diferencias en las interacciones encontradas en relación con las estaciones lluviosa o seca.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Caracterizar la estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar las interacciones mutualistas entre plantas y colibríes en la vereda Esparta.

Evaluar si existe especialización por parte de los colibríes hacia un recurso floral.

Determinar la conectancia, el grado de anidamiento, robustez y solapamiento de nicho en la red de interacciones mutualistas.

Identificar las diferencias en la red de interacciones planta-colibrí entre época lluviosa y seca.

2. Competencias

Adquire habilidad en la identificación de las diferentes especies de colibríes.

Adquire habilidad en la identificación taxonómica de las especies de plantas que son utilizadas por los colibríes.

Aplica herramientas para la construcción de redes de interacción mutualistas.

Ejecuta análisis del estado de las redes de interacción a través de distintos índices.

Elabora de forma concisa, coherente y legible informes con carácter científico.

3. Metodología

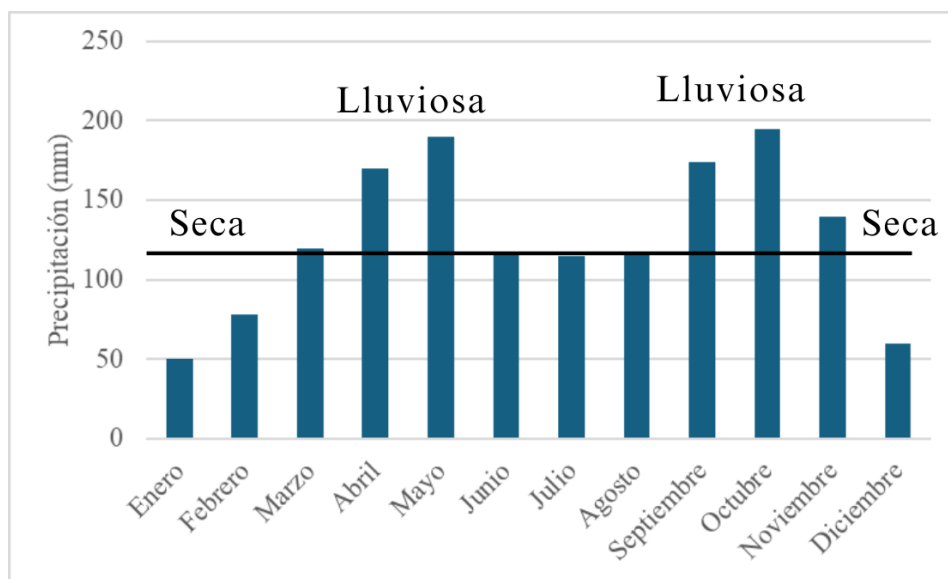
3.1 Área de estudio

La vereda Esparta se encuentra ubicada geográficamente a 7°00'56.9'' latitud norte y 72°53'49.6'' longitud oeste en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental de los Andes, municipio Santa Bárbara del departamento de Santander. Con altitud de 2300 msnm, precipitación anual promedio de 110 mm y una temperatura media de 18°C. Entre diciembre y febrero se encuentra época seca (Figura 1), con precipitación media de 50mm y una temperatura media de 20°C, mientras que entre marzo a mayo y septiembre a noviembre época lluviosa, con precipitación media de 145mm y una temperatura media de 19°C (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], s.f.). En esta zona predomina la vegetación que se considera como bosque andino, con presencia de robles (*Quercus humboldtii*), y vegetación de sotobosque (Quintero et al., 2017). Se presentan sectores deforestados para beneficio antropogénico como cultivos de mora, pasifloras, y ganadería, además de encontrarse plantas ornamentales o de jardín, como los géneros *Hibiscus* (Malvaceae), *Callianthe* (Malvaceae), *Canna*

(Cannaceae), *Crocsmia* (Iridaceae) y *Pelargonium* (Geraniaceae). Árboles de los géneros *Calycolpus* (Myrtaceae) y *Handroanthus* (Bignoniaceae). Plantas arbustivas como *Psammisia* (Ericaceae), *Fuchsia* (Onagraceae), *Bomarea* (Alstroemeriaceae) y *Vaccinium* (Ericaceae) (Instituto Humboldt, 2019).

Figura 1

Precipitación a lo largo del año y época climática



3.2 Muestreo

La colecta de datos se realizó mediante recorridos en 3 transectos de 1 km cada uno. Las observaciones fueron puntuales y *ad libitum*. El muestreo se realizó en 5 salidas de 4 días cada una, entre diciembre y mayo de 2023, 3 para el período de diciembre a febrero y 2 para marzo a mayo. Los muestreos se realizaron en horas de mayor actividad entre 6:00 am a 12:00 am y 3:00 pm a 5:00 pm en períodos de 1 hora en cada transecto y alternando las horas de observación.

3.2.1 Muestreo de aves

Para el muestreo de aves, se utilizaron binoculares Bushnell Falcon 10x50 y registro fotográfico en algunas especies. Se siguió la metodología propuesta por Emlen (1971) con modificaciones propuestas por Ortiz-Pulido y Díaz (2001), en la que se mantiene una distancia de 1 metro para evitar la perturbación en las interacciones (Aguado et al., 2019), enfocando en aquellas agregaciones con características ornitófilas como flores tubulares y colores llamativos (Grant y Grant, 1968).

En cada uno de los recorridos, se identificaron las características principales de los colibríes para determinar su especie con ayuda de libros guía como la “Guía ilustrada de la avifauna colombiana” (Ayerbe-Quñones, 2019) así como claves taxonómicas. Se registró el número de veces en el que hubo una interacción, es decir, cuando un colibrí inserta su pico en la planta identificada. Adicionalmente, se utilizó información acerca del culmen total del pico de los colibríes colectada por el grupo de Biodiversidad UIS, con el fin de realizar una correlación entre esta longitud y la longitud total de la corola de las especies de plantas (Rodríguez-Flores y Stiles, 2005).

3.2.2 Muestreo de plantas

Para las especies de plantas, se tomó registro fotográfico y datos relevantes como fecha y época del año. La identificación de cada especie se efectuó a través de comparaciones con bibliografía disponible como la plataforma PlantNet, iNaturalist y registros anteriores de la zona dados por el proyecto Santander Bio 2019.

Adicionalmente, se recolectaron datos en campo de la longitud total de la corola para las especies de plantas utilizadas por los colibríes utilizando un calibrador de precisión 0.2 mm (Apéndice 1).

3.3 Análisis de las redes

Con el registro de las interacciones encontradas, se realizó una matriz de interacciones teniendo como nivel superior (columnas) las especies de colibríes, y como nivel inferior (filas) las especies de plantas con las que interactuaron.

Se realizaron 3 matrices, siendo estas una para la temporada lluviosa, una para la temporada seca y una matriz general que junta los datos de las 2 temporadas. Con cada una de las matrices se realizó una red de interacciones, por medio del paquete “bipartite” para poder visualizar las relaciones a través de la función `plotweb`, estimar su estructura a través de índices con la función `networklevel` y posibles especies clave de cada grupo. En una red de interacción las especies claves son aquellas que más contribuyen en las relaciones, obteniendo un mayor número de enlaces dado que interactúan con varias especies. Además, gracias a esta red generada, se ejecutaron análisis de índices de conectancia, especialización, anidamiento, robustez y solapamiento de nicho por medio del paquete *bipartite* 2.0 en el entorno y lenguaje de programación R v. 3.2 (Dormann et al., 2008).

Para construir la red de interacciones se calcularon los siguientes índices: el nivel de **especialización H2**, valores más cercanos a 0 indicarían una red más generalista, en la que los colibríes utilizan un gran número de recursos, y cercanos a 1, una red de carácter especialista (Fründ et al., 2010). El nivel de **conectancia**, el cual indica el grado de asociación entre especies, es decir, la proporción de enlaces que las especies efectúan, en el que valores cercanos a 1 indican mayor número de enlaces (Bascompte y Jordano, 2007). La **robustez**, el grado de persistencia de

la red ante perturbaciones como podría ser la deforestación o introducción de especies, presentar valores cercanos a 0, indica que se trata de una red frágil y cercanos a 1, una red que mantiene sus interacciones a pesar de los cambios (Solé & Montoya, 2001). El **anidamiento** NODF (Nestedness metric based on Overlap and Decreasing Fill) desarrollado por Almeida-neto y Ulrich (2011), que permite conocer qué tan conectada está la red, valores cercanos a 100, indican redes en la que las especies interactúan entre sí pese a su grado de especialización. Por el contrario, valores cercanos a 0, indican que se trata de una red en la cual especies especialistas solo interactúan entre ellas, así como las generalistas (Bascompte et al., 2003).

Se realizaron análisis adicionales con el fin de conocer más acerca de la red, a través de la plataforma iNEXT se analizó el **esfuerzo de muestreo** SC. Se realizó un análisis del índice de **diversidad de Shannon**, el cual mide la diversidad, así como el nivel de equidad entre especies de la red. Los valores de la diversidad de Shannon se dividen según su rango. Valores inferiores a 2 indican baja equidad y superiores a 3, altos en equidad (Carmona & Carmona, 2013; Margalef, 1972). **Riqueza Total de Especies** de especies, una medida del número de especies únicas en una comunidad, esto se evaluó a través de rarefacción y extrapolación (q0) de las muestras en la plataforma iNEXT (Jost, 2006).

Con el fin de evaluar la relación entre largo de pico y corola, se realizaron dos análisis, un análisis del **acople**, el cual evalúa si las medidas de los rasgos fenotípicos son similares, en tanto, calcula la diferencia entre la longitud de la corola de cada especie de planta con la longitud del pico del colibrí que interactúa con ella (Burbano, 2012; Pardo, 2019), valores del delta de acople cercanos a 0, representa un mayor acople, en cambio, mientras más grande sea la diferencia, es decir, los valores de alejen de 0, hay menos acople (Palacios y Tinoco, 2023). Un análisis de **correlación de Spearman**, tomando en cuenta como hipótesis nula H0 que no existe relación

significativa entre las longitudes de las corolas y los picos. El coeficiente de correlación (ρ) permite conocer la relación entre las dos variables en los que valores cercanos a 0 indican poca relación monotónica, es decir, las dos variables aumentan o disminuyen de manera consistente con la otra (Medel et al., 2007). Valores cercanos a 1 indicarían una relación monotónica positiva, en una variable aumenta con la otra; valores cercanos a -1, relación monotónica negativa en la que cuando una variable aumenta, esta disminuye. El p-valor indica la significancia estadística de la relación, $p < 0.05$ indica la existencia de correlación y $p \geq 0.05$ que no hay suficiente evidencia para sugerir que existe relación (Temeles et al., 2002).

4. Resultados

Se encontraron un total de 188 interacciones y con estas se construyeron tres redes de interacción, la primera red (Fig. 1) muestra el total de interacciones observadas en la vereda Esparta, Santa Bárbara, Santander. La segunda y tercera red (Fig. 3 y 4) representan las interacciones en las dos distintas épocas del año, época lluviosa y seca, respectivamente.

Para la red total, se registraron catorce especies de colibríes, para el caso de las plantas fueron registradas diez especies.

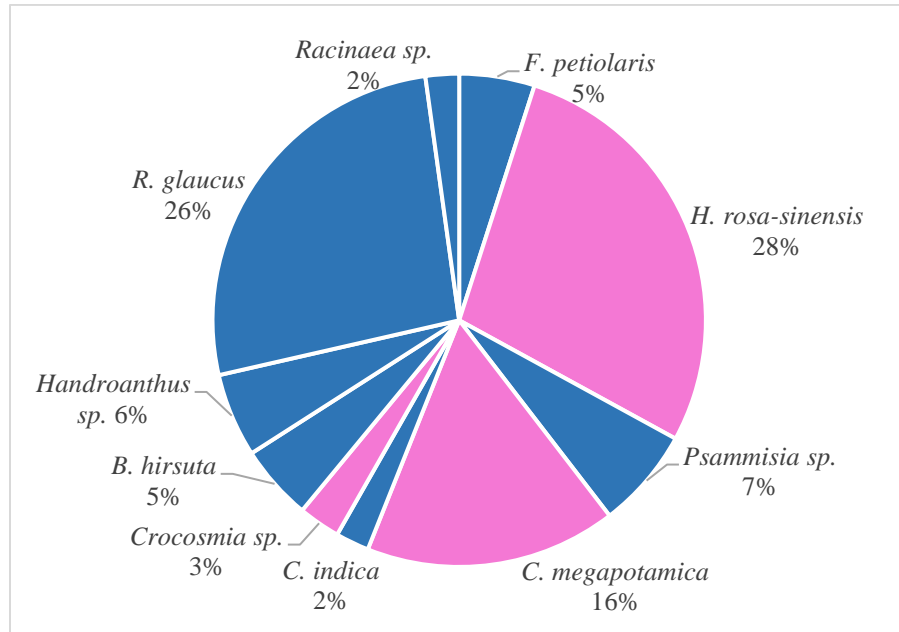
Tabla 1*Especies encontradas en el estudio y las épocas en las que fueron vistas*

Colibríes	Seca	Lluviosa	Plantas	Seca	Lluviosa
<i>A. melanogenys</i>	X	X	<i>B. hirsuta</i>	X	
<i>A. kingii</i>	X	X	<i>C. megapotamica</i>	X	
<i>C. coruscans</i>	X		<i>C. indica</i>	X	X
<i>C. coeligena</i>	X		<i>Cavendishia sp.</i>	X	X
<i>C. cyanotus</i>	X	X	<i>Crocasmia sp.</i>	X	
<i>C. heliodor</i>	X		<i>F. petiolaris</i>	X	X
<i>C. poortmani</i>	X	X	<i>Handroanthus sp.</i>		
<i>D. ludovicae</i>	X		<i>H. rosa-sinensis</i>	X	X
<i>H. clarisse</i>	X	X	<i>Racinaea sp.</i>		X
<i>H. jacula</i>	X		<i>R. glaucus</i>	X	X
<i>M. tyrianthina</i>	X				
<i>O. underwoodi</i>	X	X			
<i>P. syrmatophorus</i>		X			
<i>U. franciae</i>	X	X			

De las especies de plantas registradas, la flora nativa representó un 53% de las interacciones con 7 especies, en cambio, la flora introducida representó un 47% con un total de 3 especies. Los porcentajes de cada especie y su tipo introducida o nativa se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Frecuencia de uso de plantas introducidas y nativas



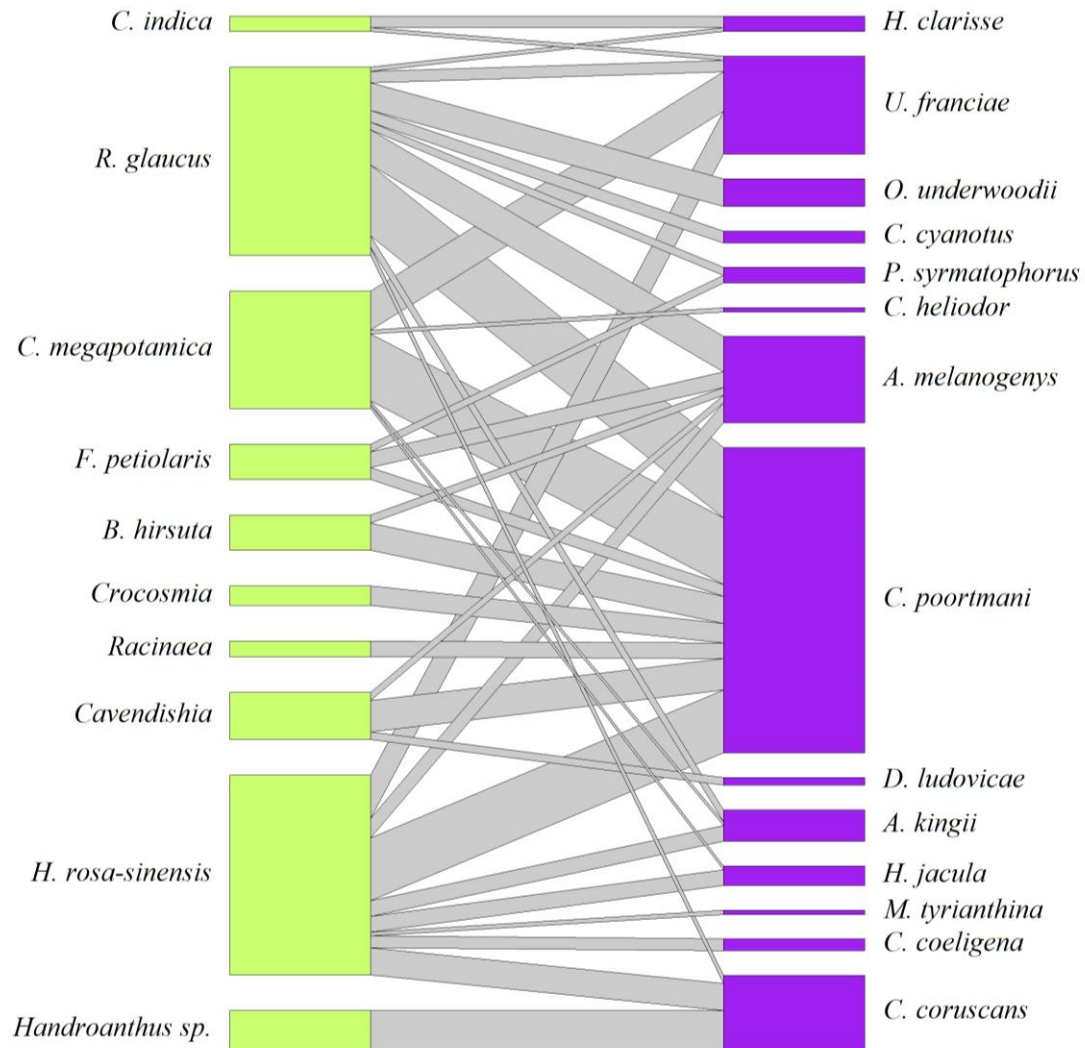
Nota. En rosa se muestran las plantas introducidas y en azul las plantas nativas de la zona.

4.1 Red de interacciones

Para la red total de interacciones (Fig. 1), el colibrí *Chlorostilbon poortmani* es la especie con mayor número de interacciones (78). Para el caso de las plantas, las especies *Hibiscus rosa-sinensis* (51) y *Rubus glaucus* (48) obtuvieron el mayor número de interacciones.

Figura 3

Red del total de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara



Nota. El grosor del enlace demuestra la cantidad de interacciones, las cajas representan las especies de colibríes (magenta) y plantas (verde).

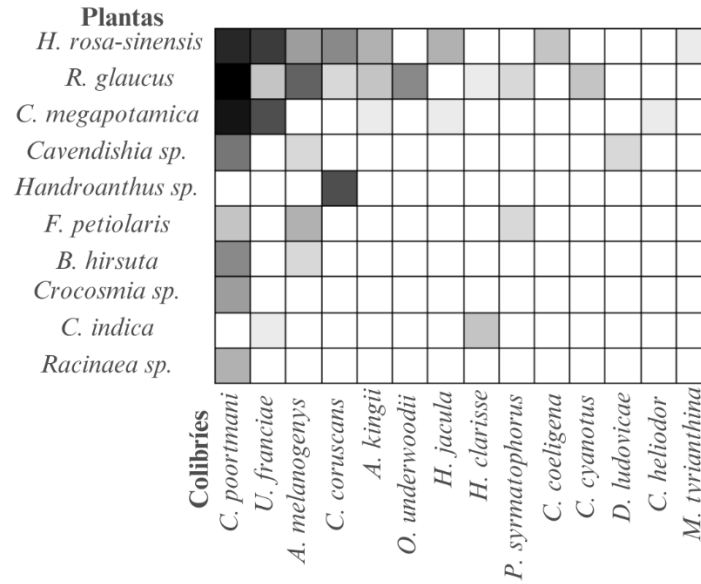
Tabla 2*Índices de la red de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara*

Índice	Valor	Interpretación
Anidamiento NODF	54.6	Cerca de 0: anidamiento bajo Cerca de 100: anidamiento alto
Nivel de especialización H2	0.33	Cerca de 0: especialización baja Cerca de 1: especialización alta
Robustez Colibríes	0.65	Cerca de 0: robustez baja
Robustez Plantas	0.55	Cerca de 1: robustez alta
Solapamiento nicho Colibríes	0.31	Cerca de 0: solapamiento bajo
Solapamiento nicho Plantas	0.47	Cerca de 1: solapamiento alto
Conectancia	0.24	Cerca de 0: conectancia baja Cerca de 1: conectancia alta
Diversidad de Shannon	3.28	<2: diversidad baja 2 – 3.5: diversidad media >3.5: diversidad alta

Nota. En la tabla se muestran los valores encontrados, así como la interpretación de cada índice

Figura 4

Distribución anidamiento NODF



El nivel de especialización se calculó a su vez a nivel de cada especie para identificar si las especies presentan interacciones especialistas o por su parte, realizan interacciones generalistas. En las tablas 2 y 3 se muestran los índices de especialización más altos y bajos encontrados. En el caso de las plantas, las especies *Canna indica* y *Handroanthus sp.* presentaron el mayor número, y *Heliangelus clarisse* para el caso de los colibríes.

Tabla 3

Índices de especialización de los géneros de plantas

Plantas	Índice de especialización d'
<i>Canna indica</i>	0.72
<i>Bomarea hirsuta</i>	0.13
<i>Handroanthus sp.</i>	0.76

Tabla 4

Índices de especialización de las especies de colibríes

Especies de colibríes	Índice de especialización d'
<i>Chlorostilbon poortmani</i>	0.17
<i>Heliangelus clarisse</i>	0.65
<i>Metallura tyrianthina</i>	0.00

Como especies clave (Fig. 1) de plantas, las especies *Hibiscus rosa-sinensis* y *Rubus glaucus*, tienen la mayoría de los enlaces con los colibríes con 10 y 9 enlaces, respectivamente. El colibrí *Chlorostilbon poortmani* realiza la mayor parte de las interacciones con un total de 10 enlaces.

Las diferencias entre rarefacción y extrapolación en las dos épocas se muestran en las figuras 2 y 3.

Figura 5

Curva de rarefacción y extrapolación en colibríes

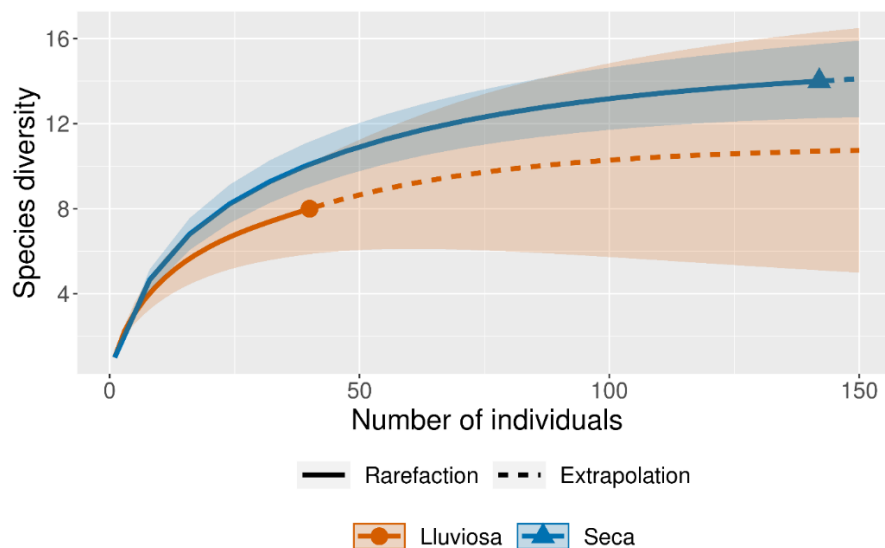
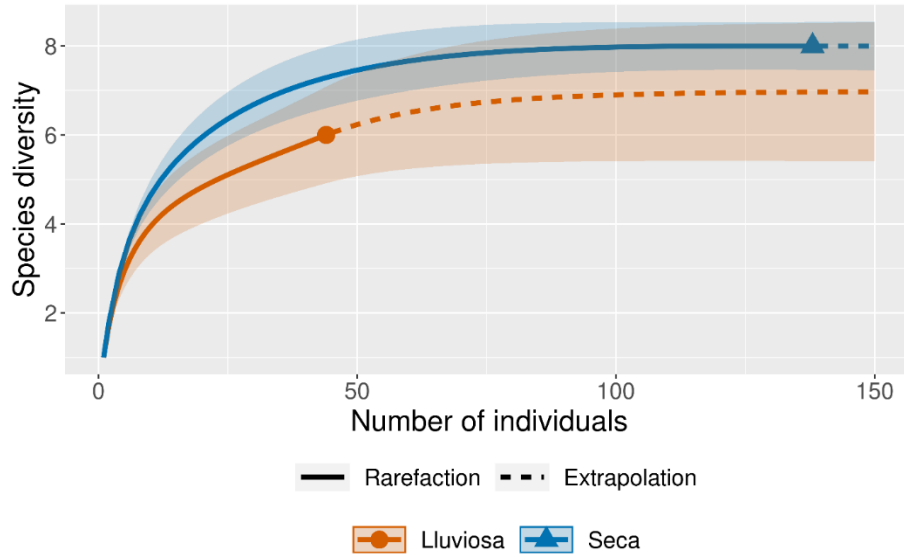


Figura 6

Curva de rarefacción y extrapolación en plantas



En la tabla 5 pueden verse las diferencias entre la riqueza de especies y la cobertura de cada muestreo.

Tabla 5

Cobertura del muestreo y riqueza de especies para plantas y colibríes en ambas épocas

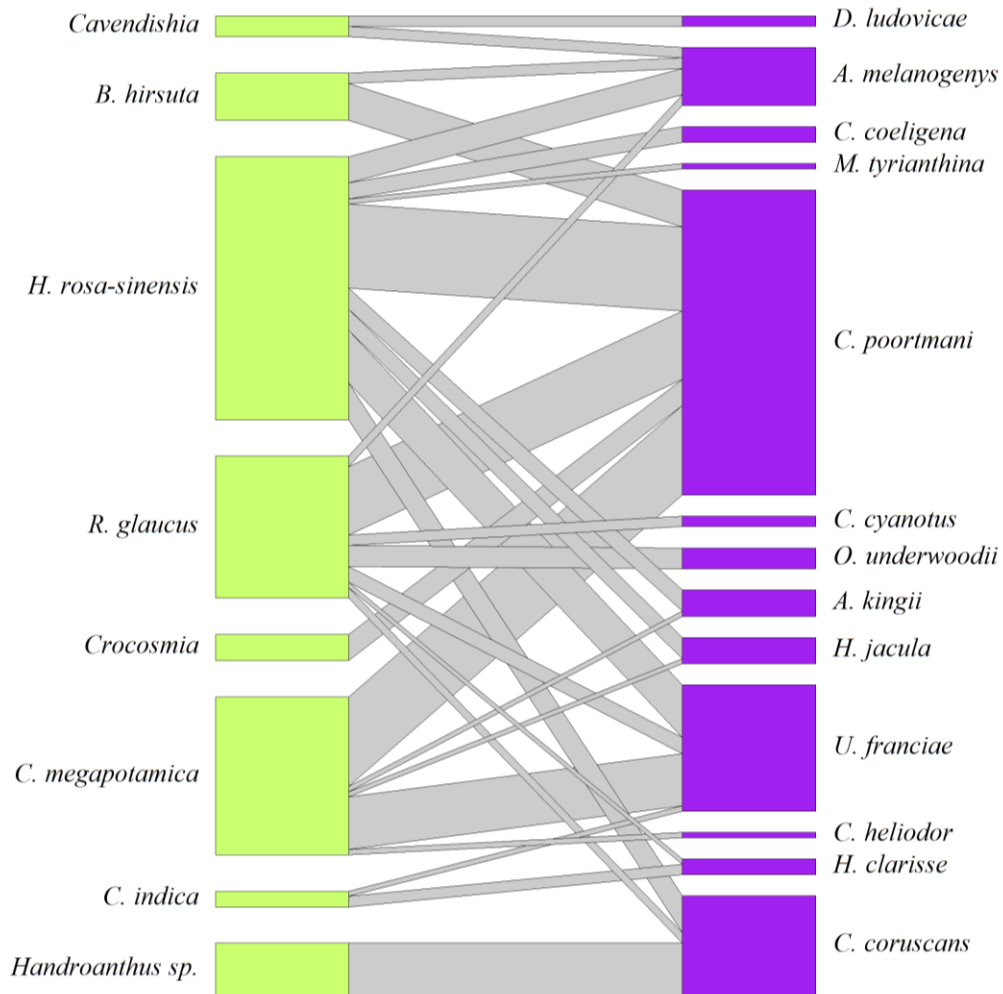
	q0 Seca	q0 Lluviosa	SC Seca	SC Lluviosa
Colibríes	14	8	0.98	0.92
Plantas	8	6	1	0.95

4.2 Época seca

Para la época seca, fueron registradas trece especies de colibríes, para el caso de las plantas fueron registradas nueve especies (Tabla 1). Las especies de colibrí *Chlorostilbon poortmani* y *Adelomyia melanogeys* presentaron enlaces con cinco especies de plantas (Figura 7), siendo el mayor número presentado en la red. Para el caso de las plantas, la especie *Hibiscus rosa-sinesis* obtuvo diez enlaces, seguida de *Callianthe megapotamica* y *Rubus glaucus* que presentaron siete enlaces para la red.

Figura 7

Red de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara para época seca



Nota. El grosor del enlace demuestra la cantidad de interacciones, las cajas representan las especies de colibríes (magenta) y plantas (verde).

Tabla 6*Índices de la red de interacciones en época seca*

Índice	Valor	Interpretación
Anidamiento NODF	48.8	Cerca de 0: anidamiento bajo Cerca de 100: anidamiento alto
Nivel de especialización H2	0.37	Cerca de 0: especialización baja Cerca de 1: especialización alta
Robustez Colibríes	0.6	Cerca de 0: robustez baja
Robustez Plantas	0.56	Cerca de 1: robustez alta
Solapamiento nicho Colibríes	0.32	Cerca de 0: solapamiento bajo
Solapamiento nicho Plantas	0.28	Cerca de 1: solapamiento alto
Conectancia	0.24	Cerca de 0: conectancia baja Cerca de 1: conectancia alta

Nota. En la tabla se muestran los valores encontrados, así como la interpretación de cada índice

Los niveles de especialización más bajos y altos tanto para el caso de las especies de plantas como de colibríes se muestran en las tablas 5 y 6. Los índices de especialización más altos fueron en las especies de los géneros *Canna*, *Cavendishia* y *Handroanthus* para el caso de las plantas, y *Doryfera ludovicæ* para el caso de los colibríes.

Figura 8

Distribución anidamiento NODF en época seca

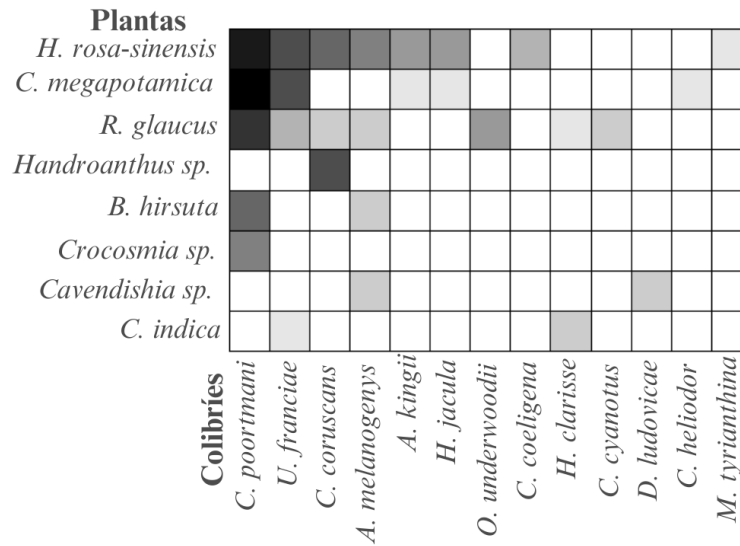


Tabla 7

Índices de especialización de las especies de plantas en la época seca

Plantas	Índice de especialización d'
<i>Cavendishia sp.</i>	0.67
<i>Canna indica</i>	0.63
<i>Crocosmia sp.</i>	0.19
<i>Handroanthus sp.</i>	0.73

Tabla 8*Índices de especialización de las especies de colibríes en la época seca*

Especies de colibríes	Índice de especialización d'
<i>Doryfera ludovicae</i>	0.81
<i>Heliangelus clarisse</i>	0.61
<i>Metallura tyrianthina</i>	0.00

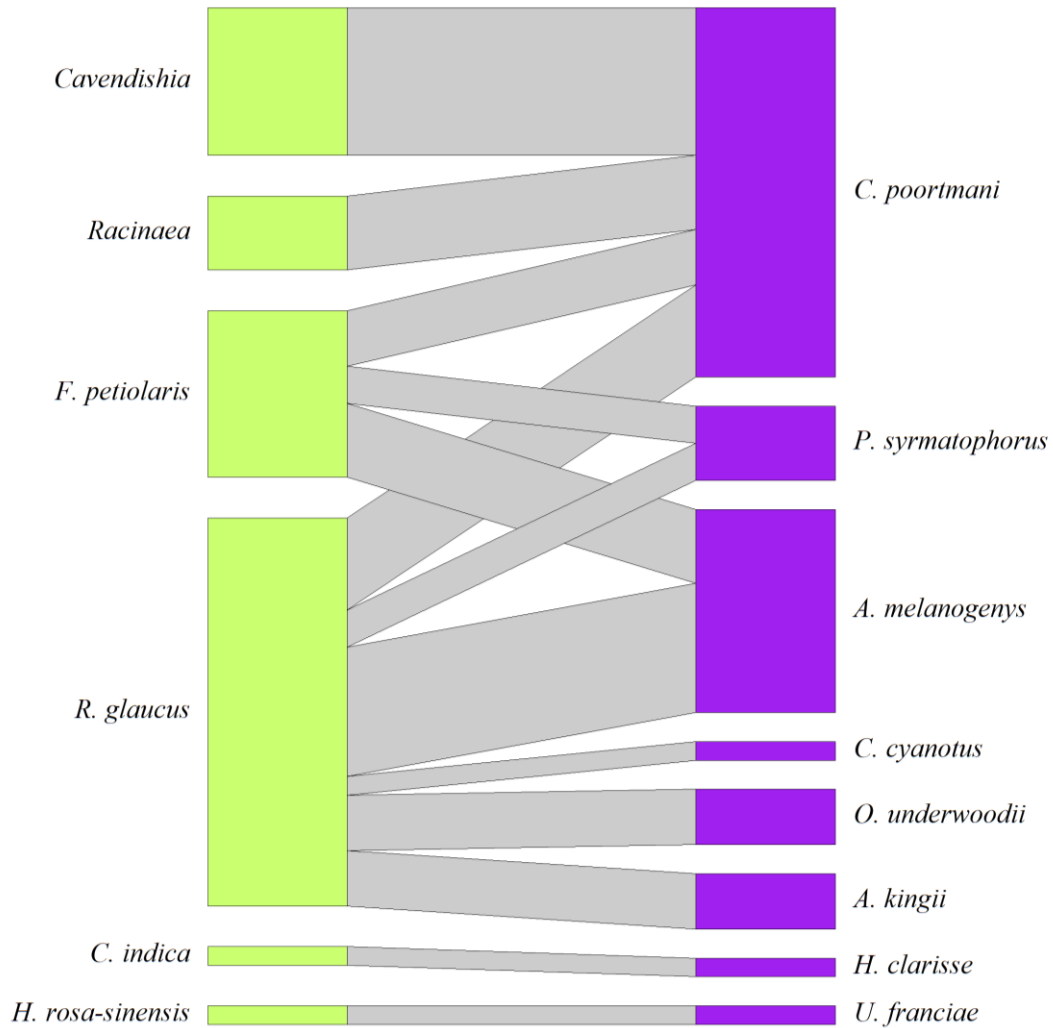
Como especies clave (Fig. 2) las especies *Hibiscus rosa-sinensis* y *Callianthe megapotamica* obtienen la mayoría de los enlaces con los colibríes. *Chlorostilbon poortmani* realiza la mayor parte de las interacciones de la red con diferentes géneros de plantas en el área.

4.3 Época lluviosa

Para la red total de frecuencias para la época lluviosa, fueron registradas ocho especies de colibríes, para el caso de las plantas fueron registradas seis especies (Tabla 1). El colibrí *Chlorostilbon poortmani* obtuvo cuatro enlaces, el mayor para esta red. Para el caso de las plantas, la especie *Rubus glaucus* obtuvo seis enlaces, el mayor número de la red (Figura 9).

Figura 9

Red de interacciones entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara para época lluviosa



Nota. El grosor del enlace demuestra la cantidad de interacciones, las cajas representan las especies de colibríes (magenta) y plantas (verde).

En la red de época lluviosa, se encontraron índices con valores mostrados en la tabla 9.

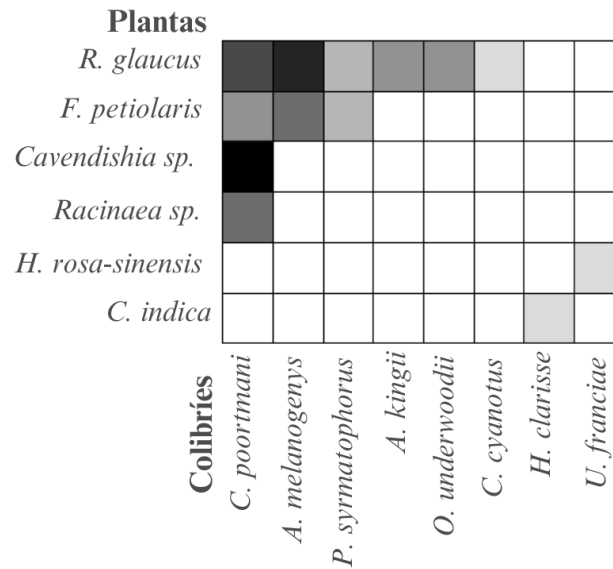
Tabla 9*Índices de la red de interacciones en época lluviosa*

Índice	Valor	Interpretación
Anidamiento NODF	32.55	Cerca de 0: anidamiento bajo Cerca de 100: anidamiento alto
Nivel de especialización H2	0.41	Cerca de 0: especialización baja Cerca de 1: especialización alta
Robustez Colibríes	0.49	Cerca de 0: robustez baja
Robustez Plantas	0.4	Cerca de 1: robustez alta
Solapamiento nicho Colibríes	0.38	Cerca de 0: solapamiento bajo
Solapamiento nicho Plantas	0.25	Cerca de 1: solapamiento alto
Conectancia	0.25	Cerca de 0: conectancia baja Cerca de 1: conectancia alta

Nota. En la tabla se muestran los valores encontrados, así como la interpretación de cada índice

Figura 10

Distribución anidamiento NODF en época lluviosa



Los niveles de especialización más bajos y altos tanto para el caso de las especies de plantas como de colibríes se muestran en las tablas 8 y 9. Los índices de especialización más altos de especialización fueron en las especies *Hibiscus rosa-sinensis* y *Canna indica* para el caso de las plantas, y *Heliangelus clarisse* para el caso de los colibríes.

Tabla 10

Índices de especialización de las especies de plantas en época lluviosa

Plantas	Nivel de especialización d'
<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	1.00
<i>Canna indica</i>	1.00
<i>Rubus glaucus</i>	0.34

Tabla 11

Índices de especialización de las especies de colibríes en la época lluviosa

Especies de colibríes	Índice de especialización d'
<i>Chlorostilbon poortmani</i>	0.35
<i>Colibri cyanotus</i>	0.00
<i>Heliangelus clarisse</i>	1.00

Como especies clave (Fig. 3) las especies *Hibiscus rosa-sinensis* y *Rubus glaucus* obtienen la mayoría de las interacciones o enlaces con los colibríes. *Chlorostilbon poortmani* realiza la mayor parte de las interacciones de la red con diferentes géneros de plantas en el área.

4.4 Relación pico-corola

Las medidas de las especies que interactúan en la red se muestran en la tabla 10, así como el delta del acople entre las dos medidas.

Tabla 12

Medida de las longitudes de pico de colibríes, corola de las flores y el valor del delta de acople

Colibríes	L. pico (mm)	Plantas	L. corola (mm)	Delta acople
<i>A. melanogenys</i>	16.96	<i>F. petiolaris</i>	21	4.04
		<i>H. rosa-sinensis</i>	20	3.04
.		<i>Cavendishia sp.</i>	20	3.04

		<i>B. hirsuta</i>	23	6.04
		<i>Rubus glaucus</i>	0.4	-16.56
<i>C. poortmani</i>	16.75	<i>F. petiolaris</i>	21	4.25
		<i>H. rosa-sinensis</i>	20	3.25
		<i>Cavendishia sp.</i>	20	3.25
		<i>C. megapotamica</i>	39	22.25
		<i>Crocoshia</i>	36	19.25
		<i>R. glaucus</i>	0.4	-16.35
<i>A. kingii</i>	17.26	<i>H. rosa-sinensis</i>	20	2.74
		<i>C. megapotamica</i>	39	21.74
		<i>R. glaucus</i>	0.4	-16.86
<i>C. coruscans</i>	23.85	<i>H. rosa-sinensis</i>	20	-3.85
<i>C. coeligena</i>	31.5	<i>H. rosa-sinensis</i>	20	-11.5
<i>M. tyrianthina</i>	16.5	<i>H. rosa-sinensis</i>	20	3.5
<i>C. heliodor</i>	17.4	<i>C. megapotamica</i>	39	21.6
<i>U. francaiae</i>	24.9	<i>C. megapotamica</i>	39	14.1
		<i>R. glaucus</i>	0.4	-24.5
<i>H. clarisse</i>	18.6	<i>Canna indica</i>	48	29.4
		<i>R. glaucus</i>	0.4	-18.2
<i>C. cyanotus</i>	23.85	<i>R. glaucus</i>	0.4	-23.45
		<i>Handroanthus sp.</i>	18	-5.85
<i>P. syrmatophorus</i>	42.63	<i>R. glaucus</i>	0.4	-42.23

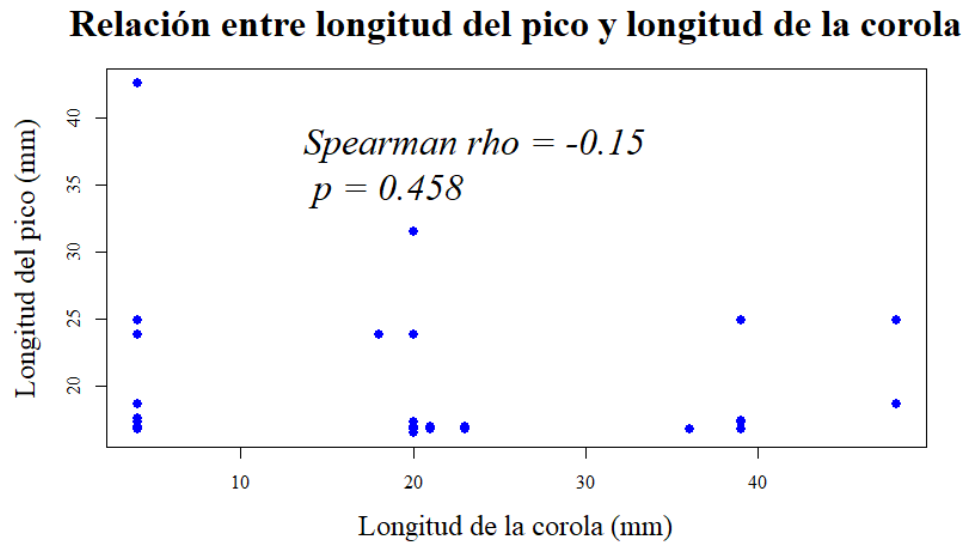
<i>O. underwoodii</i>	17.6	<i>R. glaucus</i>	0.4	-17.2
-----------------------	------	-------------------	-----	-------

El menor valor del delta de acople se encontró en el colibrí *Aglaiocercus kingii* con la interacción con *Hibiscus rosa-sinensis* (2.74 mm). Seguido del colibrí *Adelomyia melanogeys* con las plantas *Hibiscus rosa-sinensis* y *Cavendishia sp.* (3.04 mm) y *Chlorostilbon poortmani* con la planta *Hibiscus rosa-sinensis* (3.25 mm). El mayor número de delta de acople fue encontrado entre las especies *Phaetornis sylvanophilus* y *Rubus glaucus* (42.23 mm).

El análisis de correlación entre las longitudes del pico de colibrí y la corola de las flores se muestra en la figura 11 y tabla 12. Un valor del coeficiente de correlación (ρ) de -0.14 que indica que no hay relación monotónica entre estas dos longitudes. Además, una probabilidad p de valor 0.45 que sugiere poca evidencia para afirmar que hay una relación entre la longitud del pico de los colibríes y la corola floral.

Figura 11

Gráfico de dispersión entre la longitud de la corola y la longitud del pico de los colibríes



Nota. El gráfico representa la dispersión entre la del pico con respecto a la longitud de la corola de las flores que polinizan. Un valor de r cercano a 0 indica poca relación en las dos variables. Un valor $p > 0.05$ indica que no hay evidencia estadística para afirmar la hipótesis nula.

4.5 Presencia de otros recursos

En campo se observó un recurso adicional, el mielato de *Stigmacoccus asper* (Hemiptera: Stigmacoccidae) recurso que se encuentra ampliamente distribuido. Al analizar con detenimiento este recurso, se visualizó que los colibríes hacen uso de este como parte de su dieta.

5. Discusión

Este trabajo permite conocer la relación entre plantas y colibríes en la vereda Esparta, Santa Bárbara, Santander. Esta zona hace parte de la Cordillera Oriental de los Andes, presentando tanto bosques de robles *Quercus humboldtii* así como vegetación de sotobosque y plantas introducidas. La introducción de plantas como las de jardín o cultivos ofrece una mayor variedad recursos que pueden utilizar los colibríes de la zona. En la Figura 2 puede observarse que a pesar de que hay una mayor frecuencia de uso para plantas nativas, las plantas introducidas obtuvieron un alto porcentaje de uso con tan solo 3 especies, siendo entre estas *Hibiscus rosa-sinensis* la especie con más número de interacciones y enlaces (Maruyama et al., 2016).

5.1 Redes de interacción

5.1.1. Índice de especialización de la red total

La red de interacciones encontrada en la vereda Esparta se caracteriza por ser generalista, presentando un índice de especialización H_2 del 33 % (Tabla 2) en las que los colibríes interactúan con diferentes especies de plantas (Fig. 1). En cuanto al análisis por especies, la mayoría presentan niveles de especialización d' con bajos valores (Tablas 3 y 4), sin embargo, especies como *Heliangelus clarisse* y *Canna indica* (valores de 0.67 y 0.72 respectivamente), sugieren un comportamiento especialista (Rodríguez-Flores y Ornelas, 2019). El uso de distintos recursos y un carácter generalista de la red corresponde con lo encontrado por Morrison & Mendenhall (2020), así como estudios en otras redes mutualistas como esfíngido-flor por Ortegón (2023), en los que las especies serían más generalistas u oportunistas en hábitats perturbados.

5.1.2 Conectancia

El nivel de conectancia permite conocer qué tanto interactúan las especies. Un alto nivel de conectancia indica que las interacciones tienen una densidad de enlaces similar a lo esperado por el número de especies. Baja conectancia por su contrario, indica que si bien, existe interacción entre las especies, se esperaba obtener un mayor número de enlaces. Según estudios anteriores, se esperaba un valor alto para redes bipartitas debido al grado de correlación entre especies (Poisot & Gravel, 2014), sin embargo, en este estudio se encontró un índice bajo para la red, lo que indica que el número de enlaces encontrado es menor respecto al valor máximo de enlaces posibles. Este resultado indica que a pesar de que hay una variedad de recursos, no todas las especies interactúan todas entre sí, lo cual puede estar provocado por la variedad en la disponibilidad de recursos (Bascompte et al., 2003).

5.1.3 Solapamiento de nicho

El solapamiento de nicho está altamente relacionado con la especialización de las especies, en tanto que las especies que tengan un alto índice de especialización tendrán un bajo índice de solapamiento de nicho (de Oliveira et al., 2021). Si bien, en este trabajo se encontró que las especies en su mayoría son generalistas, el solapamiento de nicho obtuvo un valor bajo. Se plantea que este resultado se deba a la gran variedad en la oferta de recursos, evidenciando un carácter generalista de las especies, siendo flexibles en el uso de recursos, pero no necesariamente utilizando las mismas especies (Abrahamczyk & Kessler, 2010). En tanto, la mayoría de las especies de colibríes no interactúan con todas las plantas registradas, sino que, utilizan solo algunas especies (Fig. 1). Un ejemplo de esto lo daría el colibrí *Adelomyia melanogenys* que, a pesar de tener un carácter generalista e interactuar con cinco plantas de la red, no usa en su totalidad los

recursos utilizados por *Chlorostilbon poortmani* quien utiliza tres especies más que este (*Racinaea sp.*, *Crocsmia sp.* y *Callianthe megapotamica*). A su vez, se encontró que *Chlorostilbon poortmani* no interactúa con plantas como *Canna indica* y *Handroanthus sp.* especies con las que interactúan colibríes con más de un enlace como *Colibri coruscans* y *Heliangelus clarisse*.

5.1.4 Anidamiento

El anidamiento permite determinar el grado en que se dan las interacciones, enfocando en que las especies interactúen entre sí sin considerar si hacen parte de un subconjunto de especies con carácter generalista o especialista. Se encontró que la red presenta un patrón medianamente anidado (Fig. 4), en el que las interacciones se concentran hacia especies generalistas, este patrón es dado tanto en especies generalistas como en especialistas. La mayoría de las interacciones encontradas se dan hacia plantas arbustivas generalistas *Hibiscus rosa-sinensis* con 9 enlaces y *Callianthe megapotamica* con 6 enlaces y de cultivo como *Rubus glaucus* con 9 enlaces. Este grado de anidamiento indica que especies con pocos enlaces o especialistas, hacen uso de estas plantas, esto puede verse en la figura 3, en la que colibríes con pocos enlaces como *Coeligena coeligena* (1 enlace), *Metallura tyrianthina* (1 enlace), *Heliodoxa jacula* (2 enlaces) y *Chalybura buffoni* (2 enlaces) interactúan con *Hibiscus rosa-sinensis* de carácter generalista. Por su parte para el caso de *Callianthe megapotamica* especies como *Chalybura buffoni* (2 enlaces) y *Heliodoxa jacula* (2 enlaces). *Rubus glaucus* con especies como *Phaetornis syrmatorphorus* (2 enlaces) y *Heliangelus clarisse* (2 enlaces). La presencia de plantas introducidas como pueden ser las de cultivo como *Rubus glaucus* en este estudio, pueden afectar la dinámica de las redes, en tanto se ha encontrado que su presencia aumenta los niveles de anidamiento en lugares perturbados al generar mayor cantidad de enlaces (Infante & Arizmendi, 2020).

5.1.5 Robustez

La robustez permite conocer cómo se comportan las especies frente a perturbaciones. Un alto grado indica que tanto las especies de un grupo mantienen sus relaciones a pesar de que alguna especie del grupo contrario sea afectada o eliminada de la red. Se encontró un alto grado de anidamiento para las especies de colibríes (Figura 4 y tabla 2), el cual indica que el carácter generalista de estos mismos el cual permite enlaces con distintos tipos de planta representa una ventaja en el caso de eliminación de alguna especie de planta. Por su parte, para el caso de las plantas, se encontró una robustez moderada indicando que si bien, esta red puede mantenerse ante perturbaciones, la eliminación de especies clave como *Chlorostilbon poortmani* conllevaría a una desestabilización debido a especies con pocos enlaces como *Racinaea sp.*, *Crocasmia sp.* y *Bomarea hirsuta*. Estos niveles altos de robustez concuerdan con el bajo nivel de especialización encontrado, que permite conocer que las relaciones no son restringidas, interactuando con cualquier especie de la red y, por tanto, sin depender de una especie en particular. En el estudio de López-Flores et al. (2023), ellos encontraron una relación similar para una red en pastizales, en la que hubo mayor robustez debido a colibríes generalistas.

5.1.6 Índice de Shannon

Se encontró una diversidad de Shannon media para la red de interacciones, lo cual indica que hay equidad entre las especies en la red de interacciones, encontrando que no hay alguna especie que predomine. A su vez, este nivel indica que la red está compuesta por diferentes especies tanto de colibríes como de plantas. Una alta diversidad de recursos como las plantas,

procede a un hábito generalista como se sugiere en Tinoco et al. (2016) y se muestra en el estudio de Ramírez-Burbano et al., (2017) en *Eriocnemis mirabilis* realizado en los Andes Colombianos.

5.1.7 Presencia de otros Recursos

En campo se observó que las especies interactúan con el mielato de *Stigmatococcus asper*, este recurso se encuentra de manera accesible y puede que sea utilizado en gran medida por los colibríes sin tener recorrer grandes distancias para forrajear entre flores (Cortés et al., 2024). El hábito de usar este recurso si bien podría presentar una ventaja para los colibríes, para las plantas es un limitante, en tanto, los colibríes dejarían de visitar ciertas plantas de manera frecuente, evitando la polinización y afectando a la dinámica de las redes mutualistas (Hadley et al., 2018; Sritongchuay et al., 2019).

5.2 Estacionalidad

La red de interacción de la época seca presenta un nivel más alto de riqueza como se muestra en la tabla 5, este resultado coincide con una mayor disponibilidad de las flores como puede verse en otros estudios, en los que se evidenció menor interacción en época lluviosa (Bustamante-Castillo et al., 2018; Escobedo-Kenefic et al., 2020; Feinsinger & Swarm, 1982). De acuerdo con la fenología, en época lluviosa diversas especies no se encuentran en floración, como se registró en campo para *Callianthe megapotamica*, *Bomarea hirsuta* y *Crocasmia*, lo cual afecta al número de interacciones que se podrían registrar (Pelayo et al., 2021; Gonzalez y Loiselle, 2016). Un bajo número de riqueza de especies conlleva a que se presenten pocos enlaces en la red, así como las interacciones puedan verse restringidas. En la época seca se presenta un valor mayor de anidamiento NODF que en época lluviosa (Tablas 6 y 9), lo cual indicaría que las especies

especialistas que interactúan en época lluviosa tienen menos enlaces con especies generalistas. Para el caso de las plantas, especies como *Racinaea sp.*, *Canna indica*, *Cavendishia* e *Hibiscus rosa-sinensis* presentan solo un enlace hacia el grupo de los colibríes, en el que para *Canna indica* e *Hibiscus rosa-sinensis* interactúan con especies de colibrí que solo tienen enlace con estas mismas. Este comportamiento provoca que se encuentre un valor bajo de robustez, el cual indica que, frente a alguna perturbación en el grupo de colibríes, las especies de plantas pueden verse afectadas. Para el caso de los colibríes, se encuentra un valor de 0.49, en el que el caso de desaparición de alguna especie de planta clave, como *Rubus glaucus* en este caso, especies como *Colibri cyanotus*, *Aglaiocercus kingii*, *Ocreathus underwoodii* se verían afectadas. Por su parte, en la época seca se encuentran niveles medios de robustez (Tabla 6). De acuerdo con los demás índices, sus valores fueron similares, encontrando valores bajos de especialización, conectancia y solapamiento nicho (Sentíes et al., 2024). En tanto, la presencia de más especies de plantas en la época seca está ligada a su floración, en la que un mayor número de especies, así como de flores, conlleva a presentar un mayor número de interacciones, así como niveles más altos en índices como riqueza, anidamiento y robustez (Escobedo et al., 2020).

5.3 Relación largo pico de colibrí y corola

Según el síndrome de polinización, las especies especialistas de colibríes solo polinizarían las flores que corresponden al largo de su pico (Tavares et al., 2016). Un valor bajo del delta de acople indicaría que las interacciones se dan gracias a una correspondencia de rasgos morfológicos. Por su parte, una correlación indicaría la manera en que se comportan estos rasgos. Resultados individuales de acople muestran valores cercanos a cero entre especies como en el caso de *Aglaiocercus kingii* y *Hibiscus rosa-sinensis* (Tabla 12). lo cual indica una correspondencia de

rasgos. Sin embargo, los parámetros de la correlación encontrada entre las longitudes de corola y pico de colibríes indican que no existe evidencia para afirmar que hay una relación entre estos dos rasgos morfológicos en la vereda Esparta (Fig. 11). Este resultado coincide con estudios anteriores como se muestra en Rodríguez et al. (2023), en el que la relación de colibríes con gran variedad de plantas que presentan diferentes longitudes de corola, no solo indica que no hay correspondencia de los rasgos, sino que la morfología de las flores analizadas no es indicativa para presentar interacciones o bien, restringirlas (Burbano-Álvarez, 2013; Gonzalez y Loiselee, 2016).

6. Conclusiones

Los colibríes interactúan de mayor manera con plantas introducidas como las especies *Hibiscus rosa-sinensis* y *Callianthe megapotamica*.

Los colibríes tienen carácter generalista. Se destaca la especie *Chlorostilbon poortmani* por ser una especie clave al obtener el mayor número de enlaces e interacciones.

La red de interacciones es robusta, con un nivel medio de anidamiento, bajos niveles de especialización, solapamiento de nicho y conectancia, lo que indica que es sistema flexible, resiliente, moderadamente diverso, en el que las especies pueden adaptarse a cambios en la composición.

La época seca presenta niveles más altos de riqueza, anidamiento y robustez, esto implica que hay condiciones más favorables para la biodiversidad lo cual puede estar dado por la disponibilidad de recursos.

7. Recomendaciones

Recomendamos el seguir el enfoque hacia estas interacciones naturales en bosques andinos para poder tener un más amplio conocimiento sobre ellas y de cómo las especies están interactuando con el fin de proponer estrategias de conservación. Sugerimos complementar con otras técnicas de muestreo, así como ampliar el rango de muestreo para comparar entre años.

Referencias

- Abrahamczyk, S., & Kessler, M. (2010). Hummingbird diversity, food niche characters, and assemblage composition along a latitudinal precipitation gradient in the Bolivian lowlands. *Journal of Ornithology*, *151*(3), 615–625. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0496-x>
- Aguado, D., Gutiérrez-Chacón, C., & Muñoz, M. C. (2019). Estructura funcional y patrones de especialización en las relaciones planta-polinizador de un agroecosistema en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, *24*(2), 331–342. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319060771013>
- Almeida-Neto, M., & Ulrich, W. (2011). A straightforward computational approach for measuring nestedness using quantitative matrices. *Environmental Modelling & Software*, *26*(2), 173–178. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.08.003>
- Bascompte, J. (2009). Mutualistic networks. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *7*(8), 429–436. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/080026>
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, *38*(1), 567–593. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818>
- Bascompte, J., Jordano, P., Melián, C. J., & Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *100*(16), 9383–9387. <https://doi.org/10.1073/pnas.1633576100>
- Blüthgen, N., Menzel, F., & Blüthgen, N. (2006). Measuring specialization in species interaction networks. *BMC Ecology*, *6*, 9, 1–12. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-6-9>

- Burbano-Álvarez, J. E. (2013). ¿Co-evolución morfológica entre los picos de los colibríes y las corolas de las plantas? *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 6. <https://doi.org/10.22201/fesi.20072082.2013.6.76112>
- Burbano-Álvarez, J. E. Evaluación de la hipótesis de co-evolución morfológica pico colibrí-corola planta en un sistema colibrí-flor alto andino en el sur de Colombia (Volcán Galeras), Colombia. 2012; 90 p. *Trabajo de pregrado, Universidad de Nariño, Colombia*.
- Bustamante-Castillo, M., Hernández-Baños, B. E., & Arizmendi, M. D. C. (2018). Hummingbird Diversity and Assemblage Composition in a Disturbed Tropical Dry Forest of Guatemala. *Tropical Conservation Science*, 11, 1940082918793303. <https://doi.org/10.1177/1940082918793303>
- Carmona-Galindo, V. D., & Carmona, T. V. (2013). La Diversidad de los Análisis de Diversidad La Diversidad de los Analisis de Diversidad [The Diversity of Diversity Analyses]. *Bioma*.
- Chamorro, F., Nates-Parra, G., & Kondo, T. (2013). Mielato de *Stigmacoccus asper* (Hemiptera: Stigmacoccidae): recurso melífero de bosques de roble en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(1), 61–70.
- Cortés, I., Igua-Muñoz, J., & Morales, I. (2024). Biology of *Stigmacoccus asper* (Hemiptera: Stigmacoccidae) in Colombian High-Andean Oak Forests. *Entomology and Applied Science Letters*, 11(3), 1–8. <https://doi.org/10.51847/M6zomiHue3>
- Cotton, P. A. (1998). Coevolution in an Amazonian hummingbird-plant community. *Ibis*, 140(4), 639–646. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1998.tb04709.x>
- Cotton, P. A. (2007). Seasonal resource tracking by Amazonian hummingbirds. *Ibis*, 149(1), 135–142. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00619.x>

- Dalsgaard, B., Martín-González, A. M., Olesen, J. M., Ollerton, J., Timmermann, A., Andersen, L. H., & Tossas, A. G. (2009). Plant–hummingbird interactions in the West Indies: floral specialisation gradients associated with environment and hummingbird size. *Oecologia*, *159*, 757–766. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1255-z>
- de Oliveira Bueno, R., Zanata, T. B., & Varassin, I. G. (2021). Niche partitioning between hummingbirds and well-matched flowers is independent of hummingbird traits. *Journal of Tropical Ecology*, *37*(4), 193-199. <https://doi.org/10.1017/S026646742100033X>
- 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., Gruber, B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite package: analysing ecological networks. *interaction*, *1*(0.2413793), 8-11.
- Du Plessis, M., Seymour, C. L., Spottiswoode, C. N., & Coetzee, A. (2021). Artificial nectar feeders reduce sunbird abundance and plant visitation in Cape Fynbos adjacent to suburban areas. *Global Ecology and Conservation*, *28*, e01706. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01706>
- Escobedo-Kenefic, N., Landaverde-González, P., Theodorou, P., Cardona, E., Dardón, M. J., Martínez, O., & Domínguez, C. A. (2020). Disentangling the effects of local resources, landscape heterogeneity and climatic seasonality on bee diversity and plant-pollinator networks in tropical highlands. *Oecologia*, *194*(3), 333–344. <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04715-8>

- Feinsinger, P., & Swarm, L. A. (1982). "Ecological Release," Seasonal Variation in Food Supply, and the Hummingbird *Amazilia Tobaci* on Trinidad and Tobago. *Ecology*, 63(5), 1574–1587. <https://doi.org/10.2307/1938881>
- Fründ, J., Linsenmair, K. E., & Blüthgen, N. (2010). Pollinator diversity and specialization in relation to flower diversity. *Oikos*, 119(10), 1581–1590. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18450.x>
- Gonzalez, O., & Loiselle, B. A. (2016). Species interactions in an Andean bird–flowering plant network: phenology is more important than abundance or morphology. *PeerJ*, 4. e2789. <https://doi.org/10.7717/peerj.2789>
- Grant, K. A., & Grant, V. (1968). Hummingbirds and their flowers. *Columbia University Press*.
- Hadley, A. S., Frey, S. J. K., Robinson, W. D., & Betts, M. G. (2018). Forest fragmentation and loss reduce richness, availability, and specialization in tropical hummingbird communities. *Biotropica*, 50(1), 74–83. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91114989>
- Infante, S. D., Lara, C., & Arizmendi, M. D. C. (2020). Land-Use Change in a Mexican Dry Forest Promotes Species Turnover and Increases Nestedness in Plant-Hummingbird Networks: Are Exotic Plants Taking Over? *Tropical Conservation Science*, 13, 1940082920978952. <https://doi.org/10.1177/1940082920978952>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2018). Plantas del municipio de Santa Bárbara, Santander - Proyecto Santander BIO. 547 registros, aportados por: Mendoza, H. (Creador del recurso), Borja, K. (Proveedor de metadatos). http://i2d.humboldt.org.co/ceiba/resource.do?r=plantae_santabarbara_san-bio
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363–375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>

- Lidicker Jr., W. Z. (1979). A Clarification of Interactions in Ecological Systems. *BioScience*, 29(8), 475–477. <https://doi.org/10.2307/1307540>
- Margalef, R. (1972). *Homage to Evelyn Hutchinson, or why there is an upper limit to diversity*. Connecticut Academy of Arts and Sciences.
- Maruyama, P. K., Vizentin-Bugoni, J., Sonne, J., Martin Gonzalez, A. M., Schleuning, M., Araujo, A. C., ... & Dalsgaard, B. (2016). The integration of alien plants in mutualistic plant–hummingbird networks across the Americas: the importance of species traits and insularity. *Diversity and Distributions*, 22(6), 672–681. <https://doi.org/10.1111/ddi.12434>
- Medel, R., Valiente, A., Botto-Mahan, C., Carvallo, G., Pérez, F., Pohl, N., & Navarro, L. (2007). The influence of insects and hummingbirds on the geographical variation of the flower phenotype in *Mimulus luteus*. *Ecography*, 30(6), 812–818. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05175.x>
- Morrison, B. M., & Mendenhall, C. D. (2020). Hummingbird–Plant Interactions Are More Specialized in Forest Compared to Coffee Plantations. *Diversity*, 12(4), 126. <https://doi.org/10.3390/d12040126>
- Newman, M. E. (2003). The Structure and Function of Complex Networks. *SIAM Review*, 45(2), 167–256. <https://doi.org/10.1137/S003614450342480>
- Ortegón A., L. *Patrones de Diversidad y de Fenología en las Relaciones Esfíngido-Flor en un Bosque en Regeneración de la Amazonia Colombiana* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Palacios M., G. M. & Tinoco, B. A. (2023). Relación entre la correspondencia de rasgos morfológicos en la frecuencia de visita de una red de interacción planta-colibrí del bosque

montano alto de la provincia del Azuay. *Facultad de Ciencia y Tecnología*.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13259>

Pardo U., C. (2019) ¿Importa la longitud? Acople pico-corola en la eficiencia de forrajeo de tres especies de colibríes en Palacio (PNN Chingaza).

Pelayo, R. C., Llambí, L. D., Gámez, L. E., Barrios, Y. C., Ramirez, L. A., Torres, J. E., & Cuesta, F. (2021). Plant Phenology Dynamics and Pollination Networks in Summits of the High Tropical Andes: A Baseline for Monitoring Climate Change Impacts. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.679045>

Poisot, T., & Gravel, D. (2014). When is an ecological network complex? Connectance drives degree distribution and emerging network properties. *PeerJ*, 2, e251. <https://doi.org/10.7717/peerj.251>

Ramírez-Burbano, M. B., Stiles, F. G., González, C., Amorim, F. W., Dalsgaard, B., & Maruyama, P. K. (2017). The role of the endemic and critically endangered Colorful *Puffleg Eriocnemis mirabilis* in plant-hummingbird networks of the Colombian Andes. *Biotropica*, 49(4), 555–564. <https://doi.org/10.1111/btp.12442>

Rodríguez-Flores, C., & Stiles, F. (2005). Análisis ecomorfológico de una comunidad de colibríes ermitaños (Trochilidae, Phaethorninae) y sus flores en la Amazonia colombiana: Ecomorphological analysis of a community of hermit hummingbirds (Trochilidae, Phaethorninae) and their owers in Colombian Amazonia. *Ornitología Colombiana*, (3), 7–27.

Rodríguez-Flores, C. I., Ornelas, J. F., Wethington S., & Arizmendi, M. D. C. (2019). Are hummingbirds generalists or specialists? Using network analysis to explore the mechanisms influencing their interaction with nectar resources. *PloS one*, 14(2), 1–32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211855>

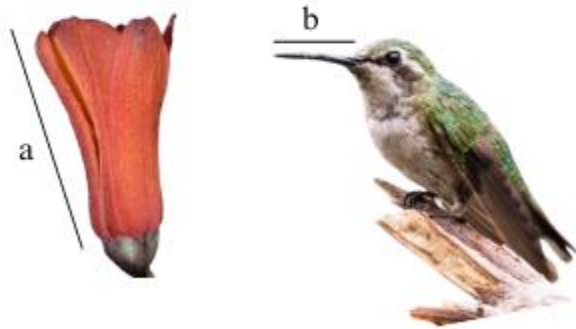
- Rodríguez, P. R., Barrantes, S. B., & Avalos, G. (2023). Efecto de la longitud del pico sobre la especialización de la visitación floral de colibríes de zonas medias y altas de Costa Rica. *Zeledonia*, 27(1), 1-17.
- Sentíes-Aguilar, E. M., Martén-Rodríguez, S., Huerta-Ramos, G., Díaz-Infante, S., López-Segoviano, G., Quesada-Avenidaño, M., Cortés-Flores, J., Aguirre-Jaimes, A., & Arizmendi, M. D. C. (2024). Elevational and Seasonal Patterns of Plant–Hummingbird Interactions in a High Tropical Mountain. *Ecology and Evolution*, 14(10), e70469. <https://doi.org/10.1002/ece3.70469>
- Solé, R. V., & Montoya, M. (2001). Complexity and fragility in ecological networks. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 268(1480), 2039–2045. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1767>
- Sritongchuay, T., Hughes, A. C., & Bumrungsri, S. (2019). The role of bats in pollination networks is influenced by landscape structure. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00702. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00702>
- Tavares, D. C., Freitas, L., & Gaglianone, M. C. (2016). Nectar volume is positively correlated with flower size in hummingbird-visited flowers in the Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Tropical Ecology*, 32(4), 335-339. <https://doi.org/10.1017/S0266467416000250>
- Temeles, E. J., Linhart, Y. B., Masonjones, M., & Masonjones, H. D. (2002). The Role of Flower Width in Hummingbird Bill Length-Flower Length Relationships. *Biotropica*, 34(1), 68–80. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00243.x>
- Tinoco, B. A., Graham, C. H., Aguilar, J. M., & Schleuning, M. (2016). Effects of hummingbird morphology on specialization in pollination networks vary with resource availability. *Oikos*, 126(1), 52–60. <https://doi.org/10.1111/oik.02998>

- Toby Kiers, E., Palmer, T. M., Ives, A. R., Bruno, J. F., & Bronstein, J. L. (2010). Mutualisms in a changing world: an evolutionary perspective. *Ecology Letters*, *13*(12), 1459–1474. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01538.x>
- van Dulmen, A. (2001). Pollination and phenology of flowers in the canopy of two contrasting rain forest types in Amazonia, Colombia. En K. E. Linsenmair, A. J. Davis, B. Fiala, & M. R. Speight (Eds.), *Tropical Forest Canopies: Ecology and Management: Proceedings of ESF Conference, Oxford University, 12–16 December 1998* (pp. 73–85). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3606-0_7
- Yáñez, P., & Estupiñán, S. (2016). Actividades antropogénicas y la dinámica de la Guitridiomycosis como enfermedad infecciosa de anfibios neotropicales. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, *24*, 124–133. <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.10>
- Zhou, T., Ren, J., Medo, M., & Zhang, Y. C. (2007). Bipartite network projection and personal recommendation. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, *76*(4), 046115. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.76.046115>

Apéndices

Apéndice 1

Variables morfológicas consideradas para flores y colibríes en este trabajo.



Nota. En a se muestra la longitud de corola total de una flor de *Bomarea hirsuta*. En b se muestra el culmen total de una hembra de *Chlorostilbon poortmani*.