

**Estructura de la red de interacciones entre aves frugívoras y plantas  
en el área metropolitana de Bucaramanga**

**Christian Augusto Rodríguez Briceño**

**Pasantía de investigación presentada como requisito para  
optar al título de Biólogo**

**Director**

**Víctor Hugo Serrano Cardozo**

**Doctor en Ciencias Biológicas**

**Codirectora**

**Martha Patricia Ramírez Pinilla**

**Doctora en Ciencias Biológicas**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela de Biología**

**Bucaramanga**

**2024**

### **Dedicatoria**

Dedico mi trabajo de grado a mi familia, pero especialmente a mis papás y mi hermanito. Las palabras sobran para expresar lo que significan para mí. Han sido un pilar fundamental en mi vida, y sin ellos nada de esto sería posible. Espero poder dedicarles más triunfos en el futuro, ya que todo se los debo a ellos. Deseo seguir disfrutando de más momentos así en su compañía.

### **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional. A mis padres, que me han guiado y formado para ser la persona que soy hoy, les debo todo mi crecimiento y fortaleza. A mis tíos y mi nonita, quienes me vieron crecer y contribuyeron significativamente a forjar mi carácter y personalidad, les agradezco profundamente. No podría ser quien soy sin su amor y dedicación.

Quisiera agradecer también al Laboratorio de Ecología por haberme recibido y ser parte fundamental en mi proceso académico. En especial, quisiera agradecerle al Profesor Víctor Hugo por ser tan atento y especial, tanto como tutor como persona, y a la profesora Martha por estar siempre ahí para corregirnos y apoyarnos. Su guía y paciencia han sido invaluable para el desarrollo de mi investigación.

Muchas gracias a mis amigos y colegas que me han acompañado desde el primer semestre. Con ellos viví innumerables experiencias que hoy atesoro en mi corazón. Cada una de las salidas de campo, los laboratorios y demás espacios compartidos fueron para mí verdaderos días maravillosos. Un especial agradecimiento a mis amigos más cercanos; no es necesario mencionarlos, ya que cada uno de ellos sabe mis sentimientos y lo que significan para mí

**Tabla de contenido**

Introducción.....13

1. Objetivos..... 15

    1.1 Objetivo general..... 15

    1.2 Objetivos específicos ..... 15

2. Competencias de la pasantía ..... 16

3. Metodología ..... 16

    3.1 Área de estudio ..... 16

    3.2 Identificación de especies de aves y especies frutales ..... 19

    3.3 Interacciones mutualistas ..... 19

    3.4 Redes mutualistas y métricas de red ..... 20

4. Resultados..... 23

    4.1 Redes de interacción mutualista..... 24

        4.1.1 Temporada seca ..... 24

        4.1.2 Temporada húmeda..... 26

    4.2 Métricas de red..... 28

        4.2.1 Métricas de red en temporada seca ..... 28

        4.2.2 Temporada húmeda..... 32

5. Discusión..... 34

6. Conclusiones ..... 37

7. Recomendaciones..... 38

Referencias bibliográficas..... 39

Apéndices.....45

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Métricas de red en temporada seca y húmeda .....28

**Lista de Figuras**

Figura 1. Mapa del área metropolitana de Bucaramanga ..... 18

Figura 2. Curva de acumulación de especies para temporada seca y húmeda.....24

Figura 3. Red de interacciones mutualistas en temporada seca .....25

Figura 4. Red de interacciones mutualistas en temporada húmeda .....27

Figura 5. Centralidad weighted.betweenness de las especies de aves en temporada seca.....30

Figura 6. Extinción gradual de especies en temporada seca.....31

Figura 7. Centralidad weighted.betweenness de las especies de aves en temporada húmeda.....33

Figura 8. Extinción gradual de especies en temporada húmeda .....34

**Lista de apéndices**

Apéndice 1. Proceso de extinción secuencial de especies en temporada seca.....45

Apéndice 2. Proceso de extinción secuencial de especies en temporada húmeda.....46

### **Glosario**

**Interacción ecológica:** relación entre diferentes organismos en un ecosistema que puede incluir la competencia, el depredador-presa, la simbiosis o el mutualismo. Estas interacciones son esenciales para el equilibrio y la dinámica del ecosistema.

**Biodiversidad:** variedad de formas de vida en un ecosistema, incluyendo la diversidad de especies, genes y hábitats. La biodiversidad es crucial para el funcionamiento saludable de los ecosistemas y la estabilidad ambiental.

**Ecosistema:** conjunto de organismos vivos y su entorno físico que interactúan como una unidad funcional. Los ecosistemas incluyen componentes bióticos (como plantas y animales) y abióticos (como agua y suelo), y funcionan a través de ciclos de nutrientes y flujo de energía.

## Resumen

**Título:** Estructura de la red de interacciones entre aves frugívoras y plantas en el área metropolitana de Bucaramanga.

**Autor:** Christian Augusto Rodríguez Briceño

Trabajo de grado.

Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Biología. Director: Víctor Hugo Serrano Cardozo

Título académico: Doctor en ciencias biológicas. Codirector: Martha Patricia Ramírez Pinilla.

Título académico: Doctor en ciencias biológicas

**Palabras clave:** Redes de mutualistas, áreas urbanas, aves frugívoras.

### Descripción:

El estudio examina la estructura de redes de interacciones mutualistas entre aves frugívoras y plantas en 3 zonas del área metropolitana de Bucaramanga, enfocándose en las diferencias entre las temporadas seca y húmeda. A lo largo del estudio, se registraron 821 interacciones entre 20 especies de aves y 18 especies de plantas, observándose un mayor número de eventos durante la temporada seca en comparación con la húmeda. Las redes mutualistas fueron más conectadas y generalistas en la temporada húmeda, mientras que la temporada seca se caracterizó por redes más fragmentadas y especializadas, con subcomunidades formadas por especies dependientes de recursos limitados.

Entre las especies clave destacadas por su alta centralidad se encuentran *Thraupis episcopus*, *Thraupis palmarum* y *Pithecellobium dulce*, que jugaron un papel crucial en ambas temporadas, manteniendo la estabilidad de la red a través de su frecuencia de interacciones. La red demostró una notable capacidad de resistir la pérdida de especies en ambas temporadas, asegurando su estabilidad.

Estos resultados subrayan la importancia de conservar especies nativas clave para mantener la funcionalidad de las redes ecológicas en áreas urbanas fragmentadas como Bucaramanga, demostrando su notable adaptabilidad a condiciones cambiantes.

### **Abstract**

**Title:** Structure of the Network of Interactions Between Frugivorous Birds and Plants in the Metropolitan Area of Bucaramanga.

**Author:** Christian Augusto Rodríguez Briceño

Degree work.

Science faculty. Biology School. Biology. Director: Victor Hugo Serrano Cardozo. Academic degree: PHD in Biological science. Codirector: Martha Patricia Ramírez Pinilla. Academic degree: PHD in Biological science.

**Keywords:** Mutualist webs, urban areas, frugivory birds.

### **Description:**

This study examines the structure of mutualistic interaction networks between frugivorous birds and plants in the metropolitan area of Bucaramanga, focusing on the differences between dry and wet seasons. A total of 821 interaction events were recorded involving 20 bird species and 18 plant species, with more events observed during the dry season compared to the wet season. The mutualistic networks were more connected and generalist in the wet season, while the dry season networks were more fragmented and specialist, with subcommunities formed by species dependent on limited resources.

Key species such as *Thraupis episcopus*, *Thraupis palmarum*, and *Pithecellobium dulce* stood out due to their high centrality, playing a crucial role in both seasons by maintaining network stability through their frequent interactions. The network showed a notable capacity to withstand species loss in both seasons, ensuring its overall resilience.

These findings highlight the importance of conserving key native species to maintain the functionality and stability of ecological networks in fragmented urban areas like Bucaramanga, demonstrating the network's adaptability to changing conditions.

## Introducción

Colombia se destaca dentro de los países más diversos del mundo, ocupando el tercer lugar en el índice global de diversidad (Nash, 2022). El país lidera la lista de países con mayor diversidad de aves (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2024), orquídeas y mariposas. A lo largo del país, la región Andina, reconocida por su gran variedad de ecosistemas y diversidad de especies, alberga 26.500 especies de plantas y 1.850 especies de aves (Rangel, 2005). Dentro de la región Andina, Santander se posiciona como el segundo departamento más diverso de Colombia, concentrando alrededor del 25% de las plantas del país y el 40% del total de especies de aves (Santander, 2024). En Bucaramanga, su principal ciudad, habitan aproximadamente 474 especies de aves y 1.221 especies de plantas (SiB Colombia, 2022).

Las aves desempeñan un rol crucial al contribuir a la regeneración de los bosques y la dispersión de especies vegetales, ingiriendo frutos y dispersando sus semillas a través de sus excrementos o regurgitaciones (Amico y Aizen, 2004). Al proporcionar servicios ecosistémicos como la dispersión de semillas, las aves contribuyen directamente en la conservación de la diversidad vegetal y, en consecuencia, en el mantenimiento del ecosistema (Iñiguez, 2021; Acevedo y González, 2019). Sin embargo, no todas las interacciones entre aves y plantas son mutualistas. Algunas aves, aunque se alimentan de frutos, actúan como depredadoras de semillas, limitando su dispersión (Berlanga, 2021).

Comprender cómo se estructuran las interacciones entre aves y plantas es fundamental para entender las dinámicas ecológicas de los ecosistemas (Bascompte y Jordano, 2007). El análisis de redes mutualistas es una herramienta útil para representar la complejidad de las relaciones entre

las especies a partir de datos de interacción de pares de especies ave-planta. En una red bipartita, existen dos tipos de nodos bien definidos que, por ejemplo, podrían representar por un lado a las especies de aves y el otro a las plantas con las que interactúan. De tal modo que los enlaces solo pueden establecerse entre aves y plantas, y no entre nodos del mismo tipo (García, 2016). Así mismo, en redes ponderadas los enlaces entre los nodos describen las frecuencias de las interacciones (Newman, 2004). Las métricas de red son empleadas para identificar la manera en que se distribuyen las relaciones entre las especies, contribuyendo a la comprensión de los patrones generales que explican las interacciones (García, 2016).

La fragmentación de hábitat, como resultado de la intervención antropogénica (Bernal, 2017) ha afectado directamente las redes de interacción planta-ave, llevando incluso a la desaparición de especies dispersoras claves (Palacio, 2014). En ciudades como Bucaramanga, la urbanización ha reducido drásticamente las zonas de vegetación natural causando así que las áreas de bosque se encuentren reducidas a parches o zonas fragmentadas (McKinney, 2002; Vecchi et al., 2006). Sumado a esto, la variabilidad en los patrones fenológicos de las especies vegetales hace indispensable analizar estas interacciones a largo plazo, permitiendo comprender el comportamiento de las aves y del recurso alimenticio disponible en diferentes condiciones climáticas, de una manera más completa (Sullivan et al., 2024). Aun así, las aves han demostrado una notable capacidad de adaptación a ambientes urbanos, explotando los recursos vegetales disponibles (Lerman y Warren, 2011). Estas adaptaciones resultan en cambios dinámicos en las interacciones planta-ave, incluyendo la aparición, desaparición o reforzamiento de interacciones entre plantas y animales (Medel et al., 2009). Dichos cambios, pueden resultar en diferencias significantes en la estructura y funcionamiento ecológico de los ecosistemas urbanos.

Comprender los patrones de interacción entre aves y plantas es fundamental para entender las estrategias ecológicas que estarían desarrollando las especies en áreas urbanizadas (Aronson et al., 2007). Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras en zonas verdes inmersas en paisajes urbanos, incluyendo periodos secos y húmedos, lo que permitirá definir el rol ecológico y la importancia de cada especie en el ecosistema, aportando información relevante en la propuesta de proyectos de restauración y conservación ambiental (de Gortari, 2022).

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Caracterizar la estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras en distintas temporadas climáticas del área metropolitana de Bucaramanga, Santander

### **1.2 Objetivos específicos**

Identificar relaciones mutualistas en las redes de interacción planta-ave en temporada seca y húmeda en el área metropolitana de Bucaramanga.

Comparar los patrones estructurales de las redes mutualistas planta-ave en temporada seca y húmeda en el área metropolitana de Bucaramanga.

Evaluar métricas de red para redes mutualistas planta-ave durante la temporada seca y húmeda del área metropolitana de Bucaramanga.

## 2. Competencias de la pasantía

1. Adquiere destreza en la identificación de aves mediante observación detallada y registro de características morfológicas.
2. Identifica especies vegetales mediante recursos bibliográficos y comparación con especímenes de herbario.
3. Analiza los datos recolectados mediante lenguaje de programación R.
4. Identifica patrones ecológicos a través del análisis de redes mutualistas empleando el paquete *bipartite*, desarrollando habilidades que permiten construir matrices de interacción, calcular diversos índices y visualizar tanto cuantitativa como cualitativamente.

## 3. Metodología

### 3.1 Área de estudio

Para los registros sobre las interacciones entre ave y planta, se designaron tres sitios de muestreo en el área metropolitana de Bucaramanga, ubicados entre 900 y 1100 metros sobre el nivel del mar. Estas zonas fueron seleccionadas debido a la presencia de especies vegetales que proveen alimento a las especies frugívoras, así como por su fácil acceso, lo que permite un estudio continuo a lo largo del año. Así mismo, estas brindan un mejor entendimiento de la manera en la que las aves interactúan en diferentes lugares en el área metropolitana de Bucaramanga, proporcionando datos relevantes para la conservación y gestión en zonas urbanas.

El primer sitio de muestreo fue el campus central de la Universidad Industrial de Santander (UIS), caracterizado por ser una zona intervenida que combina fragmentos de vegetación y áreas comunes antropogénicas con camino y edificaciones. La presencia de especies frutales nativas

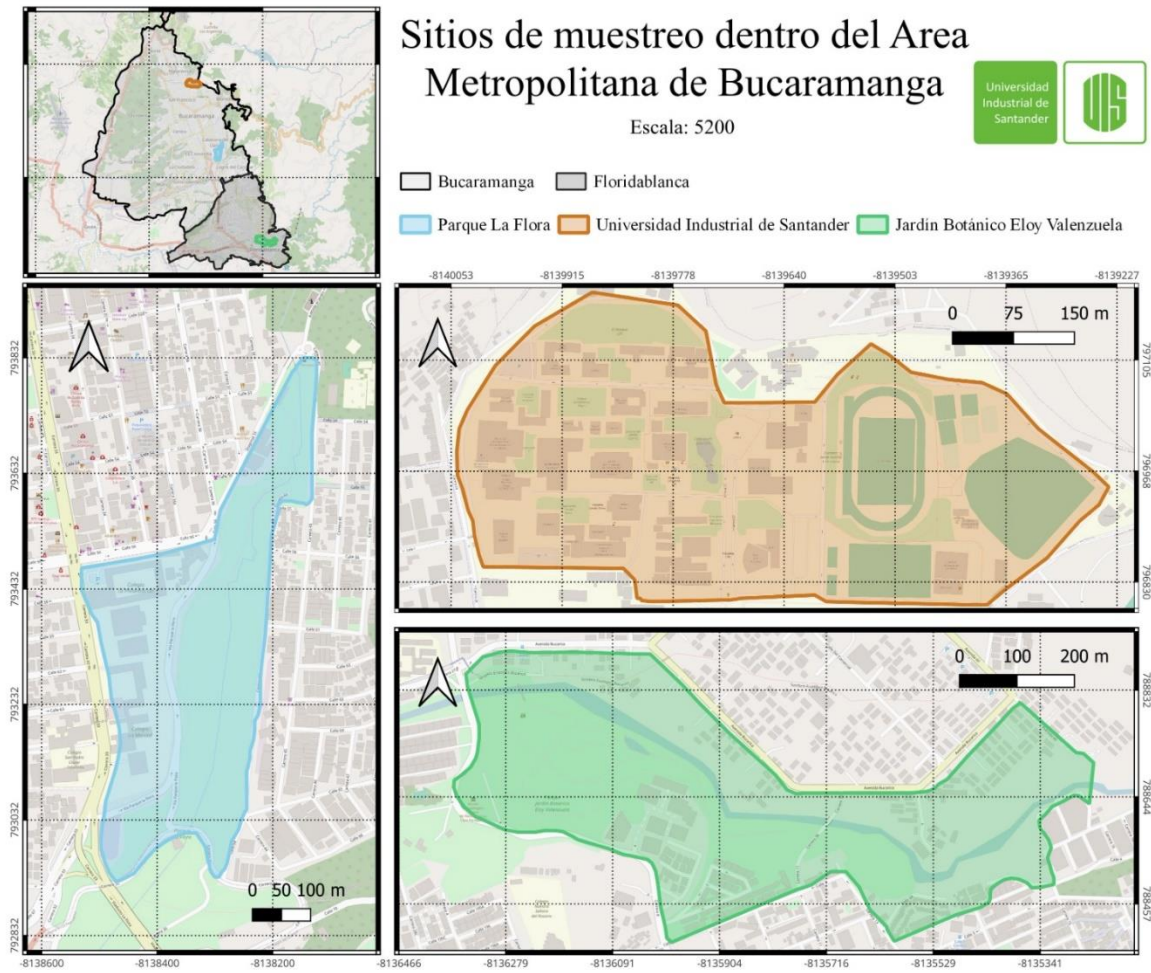
como el gallinero (*Pithecellobium dulce*) y el guayabo (*Psidium guajava*), junto con especies introducidas como el pomarroso (*Syzygium jambos*), convierte a este espacio único para el estudio de la adaptación de las aves a ambientes urbanizados.

El segundo sitio elegido fue el parque “La Flora”, un parque y sendero ecológico situado en medio de la urbanización. Según Cediell y Lozano (2020), este espacio presenta un paisaje heterogéneo compuesto principalmente por especies nativas como *Erythrina fusca* y *Pithecellobium dulce*, junto con especies introducidas como *Syzygium jambos*. En consecuencia, este sitio facilita la observación de una amplia variedad de especies de aves, tanto residentes como migratorias (Cediell y Lozano, 2020).

El tercer lugar de muestreo fue el jardín botánico “Eloy Valenzuela”, que posee una extensión estimada de 11.585 hectáreas y es atravesado por el río Frío. El jardín botánico con su amplia variedad de plantas organizadas en diferentes grupos (Cycadales, Orquídeas, Frutales, Palmas, Búcaros, Bosque húmedo, Bosque Ripario y Bosque Seco) y con la presencia de un cuerpo de agua, constituye un importante refugio para las aves en el área metropolitana de Bucaramanga. La combinación de vegetación y recursos hídricos convierte al jardín botánico en un lugar ideal para la observación y estudio de aves en el área metropolitana de Bucaramanga (Cediell y Lozano, 2020).

**Figura 1**

*Mapa del área metropolitana de Bucaramanga*



*Nota.* El gráfico representa los sitios de muestreo, ubicados en los municipios de Bucaramanga (La Flora y La Universidad Industrial de Santander, en azul y naranja, respectivamente) y Floridablanca (Jardín Botánico Eloy Valenzuela, en verde).

Para observar la variación climática entre temporadas, se tuvo en cuenta el histórico anual registrado en *CHELSA (2014)*. Basado en los datos de precipitación anual, se identificaron los

meses pertenecientes a las temporadas seca y húmeda, designando como temporada húmeda aquellos meses por encima de la media (133.4 mm) y seca a los situados por debajo de la misma.

### **3.2 Identificación de especies de aves y especies frutales**

Para la identificación de especies de aves, se realizaron registros *ad libitum* sobre caracteres morfológicos relevantes para la identificación taxonómica. Complementario a esto y cuando fue posible, se realizaron algunos registros fotográficos de los individuos avistados. Posteriormente, se utilizó la guía “*Birds of Colombia*” (Hilty, 2021) para corroborar la determinación taxonómica de las aves avistadas.

Teniendo en cuenta los puntos de muestreo definidos, se hizo un conteo e identificación de las especies frutales dentro del rango dispuesto. Se tomaron registros fotográficos de caracteres morfológicos como frutos, hojas y otros caracteres relevantes. Posteriormente se usó la guía de campo de “*Diversidad de flora nativa y foránea en el campus central de la Universidad Industrial de Santander. In Semana Internacional de la Ciencia: Retos para el siglo XXI*.” (Pinzón et al., 2018), Y “*Flora Urbana Del Área Metropolitana De Bucaramanga*” (Rojas, 2017) para corroborar taxonómicamente las especies de plantas registradas. Adicionalmente, se compararon algunos registros fotográficos con especímenes conservados en el herbario UIS.

### **3.3 Interacciones mutualistas**

Los registros sobre las interacciones entre aves y plantas tuvieron lugar en el mes de febrero (temporada seca) y marzo (temporada húmeda). Durante cada semana de muestreo, se realizaron dos visitas a parque “La Flora” y dos al campus universitario de la UIS, mientras que los fines de semana se dedicaron al Jardín Botánico “Eloy Valenzuela”, permitiendo así un muestreo

intercalado. Para el registro de datos, se utilizó el método “*Point Count Method*” (Hutto et al., 1986), que consistió en definir puntos focales de muestreo en los sitios de estudio, todo esto con base en los árboles que se encontraran en fructificación. En cada punto focal, desde la primera hora posterior al amanecer (6:00 a.m.) hasta las 11 a.m., y durante 10 minutos se registraron todas las especies de aves observadas en un radio de 25 metros utilizando binoculares. Se realizó un conteo de las especies de aves observadas (riqueza) y la cantidad de individuos por cada especie (abundancia) registrada alimentándose del fruto.

### 3.4 Redes mutualistas y métricas de red

En primer lugar, se construyó una matriz de datos con base en los registros de interacción entre las plantas frutales y las aves frugívoras, donde las especies de aves están organizadas en filas y las especies de plantas en columnas. Haciendo uso del *software* estadístico R (R Core Team, 2020) y mediante el paquete “bipartite” en su versión 2.18, posteriormente se visualizaron gráficamente la red de interacciones mutualistas según la temporada climática. Los nodos representan las distintas especies de aves y plantas y los enlaces entre ellos representan las interacciones. Adicionalmente y a través del mismo *software* estadístico y el mismo paquete se estimaron cinco métricas de red (Centralidad, Conectividad, Anidamiento, Modularidad y Robustez) que permitieron caracterizar la estructura de la red de interacción en cada temporada (Asratian, 1998; Dormann et al., 2008).

En segundo lugar, se calcularon dos índices de **centralidad**, que miden la importancia de las especies (nodos) dentro de la red de interacción. La centralidad *Degree* refleja cuántas conexiones tiene cada especie y su posición relativa en la red. La centralidad de intermediación (*weighted.betweenness*) cuantifica las veces en que una especie actúa como intermediaria en el

camino más corto entre dos especies. Una alta centralidad indica que una especie juega un papel crucial en la red, ya sea por tener muchas interacciones directas con otras especies o por conectar diferentes partes de la red, influenciando significativamente la dinámica y estructura de la comunidad (Almeida-Neto et al., 2008).

Seguidamente, se calculó el índice de **conectividad**. Este índice permite evaluar la complejidad de la red teniendo en cuenta la riqueza de especies en cada comunidad y el tamaño de esta. La conectividad se calcula como la proporción de interacciones observadas con base en el número total de interacciones posibles en la red. Una alta conectividad indica una red densamente interconectada, mientras que una baja conectividad sugiere una red con muchas especies especializadas que interactúan poco con las demás. Este índice es fundamental para comprender cómo se estructuran las interacciones dentro de la comunidad (Lara-Rodríguez et al., 2012).

Posteriormente, se calculó el índice de **anidamiento NODF**, que analiza cómo especies con diferentes grados de especialización interactúan y coexisten en la misma red. Un alto grado de anidamiento representa que especies con pocas interacciones tienden a interactuar con un subconjunto de las especies con un mayor número de interacciones. Esto puede proporcionar información sobre la estabilidad y la robustez de la red, ya que las especies altamente conectadas pueden servir como un pilar que sostiene la red ante la pérdida de especies menos conectadas (Almeida-Neto et al., 2008; Joppa et al., 2010).

Una vez hecho lo anterior, se calculó el índice de **especialización H2**, este valor refleja el grado de especialización de toda la red de polinización, donde un valor de 1 indica una red completamente especializada, y un valor de 0 representa una red en la que las especies no muestran especialización (Manrique, 2022).

Seguidamente se halló el índice de **modularidad**, el cual identifica grupos o módulos de especies en la red que tienen más interacciones entre sí que con otras especies fuera del módulo. Estos módulos pueden representar subcomunidades dentro de la red más grande, donde las especies tienen una alta dependencia entre sí. Una alta modularidad indica una estructura de red dividida en varias comunidades especializadas, lo cual puede ser indicativo de una mayor estabilidad y resiliencia, ya que cada módulo por su cuenta tiene cierta independencia de la red en general (Almeida-Neto et al., 2008; Lara-Rodríguez et al., 2012).

Finalmente, se calculó la **robustez**, la cual mide la capacidad de la red para mantener su estructura y funcionalidad ante la pérdida de especies. Este índice, se evalúa eliminando sistemáticamente especies y observando el efecto en la red. Una red robusta podrá soportar la pérdida de varias especies sin sufrir cambios abruptos en su estructura o funcionalidad. Este índice es crucial para entender la estabilidad y resiliencia de las redes ecológicas, especialmente en el contexto de perturbaciones ambientales y cambios en la biodiversidad (Almeida-Neto et al., 2008; Lara-Rodríguez et al., 2012).

#### 4. Resultados

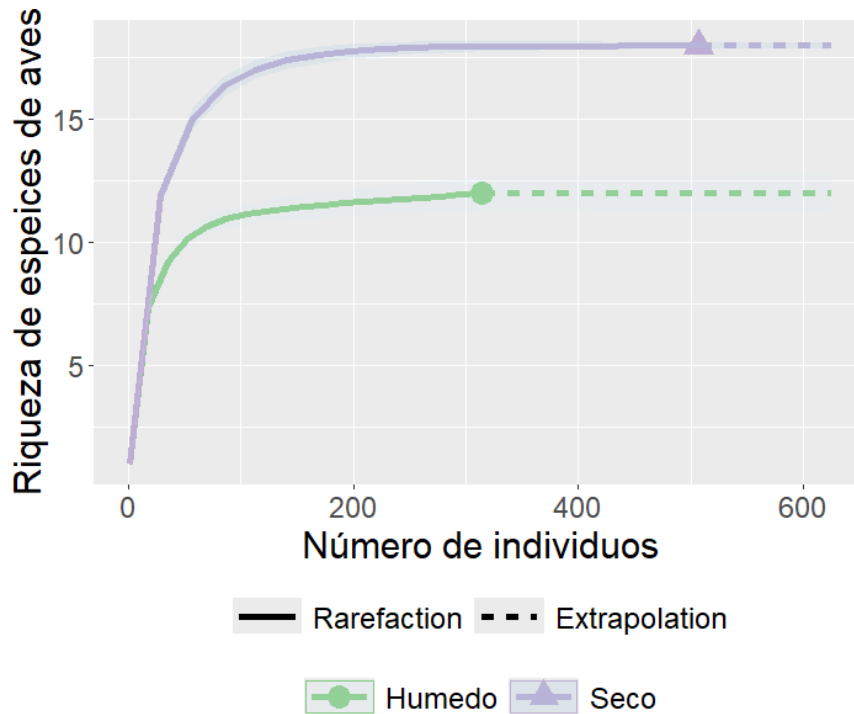
Se registró un total de 821 eventos de interacción entre 20 especies de aves y 18 especies de plantas, con una mayor frecuencia de eventos durante la temporada seca (507) en el mes de febrero, en comparación con la temporada húmeda (314) en el mes de marzo. Se estimó la representatividad del muestreo según el parámetro de riqueza  $q=0$  (*Figura 3*) utilizando el paquete *Inext* del *software* estadístico R (R Core Team, 2020), indicando que el esfuerzo de muestreo ha capturado de manera efectiva la diversidad de especies en ambas temporadas, seca y húmeda (SC=1).

Las especies de aves registradas se distribuyen en 10 familias y 17 géneros. En temporada seca se registró un mayor número de especies de aves (20), en comparación con la temporada húmeda (10). El género *Thraupis* representa la mayoría de los eventos de interacción durante ambas temporadas, seca y húmeda. En temporada seca, para la especie *T. episcopus* se registraron 145 eventos, y para *T. palmarum* 130. En temporada húmeda, para la especie *T. episcopus* se registraron 88 eventos, y para *T. palmarum* 90. Entre las especies observadas, solo *Piranga rubra* es un ave migratoria.

Las especies de plantas registradas pertenecen a 9 familias y 17 géneros. Representando en mayor número las especies introducidas (10), frente a las especies nativas (8). La totalidad de las especies registradas fueron observadas en la temporada seca. En contraste, solo 12 de las especies totales fueron observadas en temporada húmeda.

**Figura 2**

*Curva de acumulación de especies para temporada seca y húmeda*



*Nota.* La gráfica representa la cobertura del muestreo con base en el número de individuos y su riqueza, en temporada seca la rarefacción fue de 507, mientras que en la húmeda fue de 314. Por otro lado, la extrapolación indica que no habría cambios al realizar un muestreo más extenso.

## 4.1 Redes de interacción mutualista

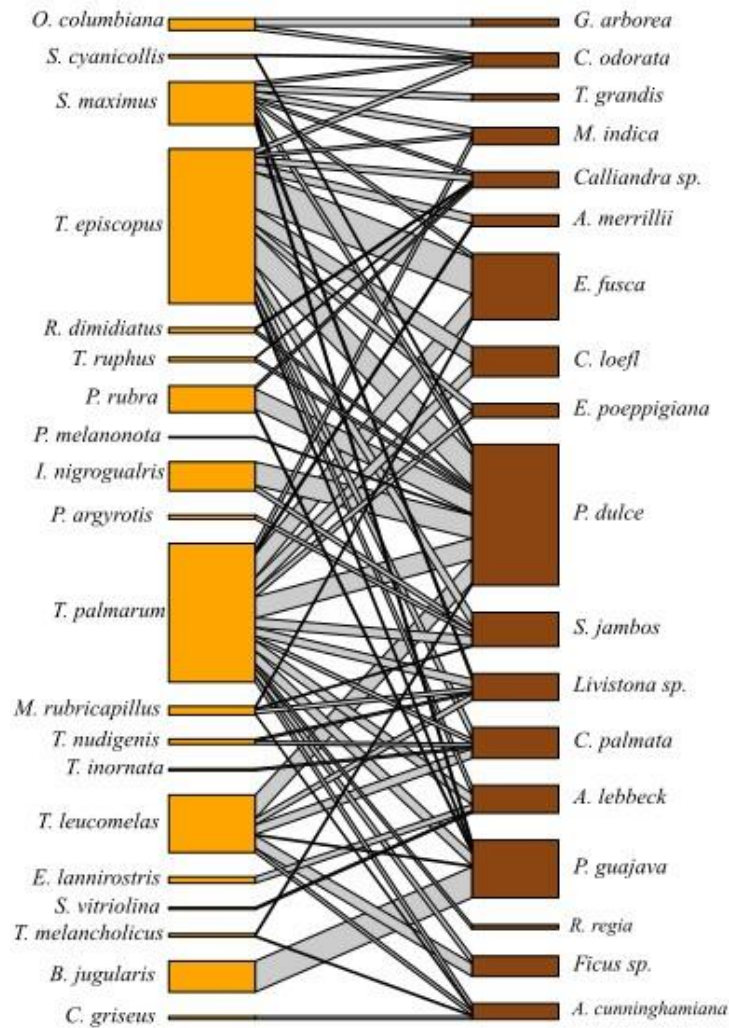
### 4.1.1 Temporada seca

Durante la temporada seca correspondiente al mes de febrero, se evidenció una precipitación aproximada de 118 mm y un promedio de temperatura de 22 °C (CHELSA). La figura 4 ilustra la red de interacciones correspondiente a la temporada seca, compuesta por un total

de 20 especies de aves frugívoras, entre las cuales solo una de ellas es migratoria (*P. rubra*); y 18 especies de plantas, entre las cuales solo 8 son nativas. Entre las aves, *Thraupis episcopus* y *Thraupis palmarum* destacaron por tener una mayor cantidad de interacciones en comparación con las demás especies (145 y 130 respectivamente). En cuanto a las plantas, la especie nativa *Pithecellobium dulce* representó el mayor número de interacciones (132).

**Figura 3**

*Red de interacciones mutualistas en temporada seca*



*Nota.* La gráfica representa las relaciones mutualistas entre especies de aves (naranja) y plantas frutales (marrón). El tamaño de cada caja es proporcional al número de interacciones correspondientes a cada

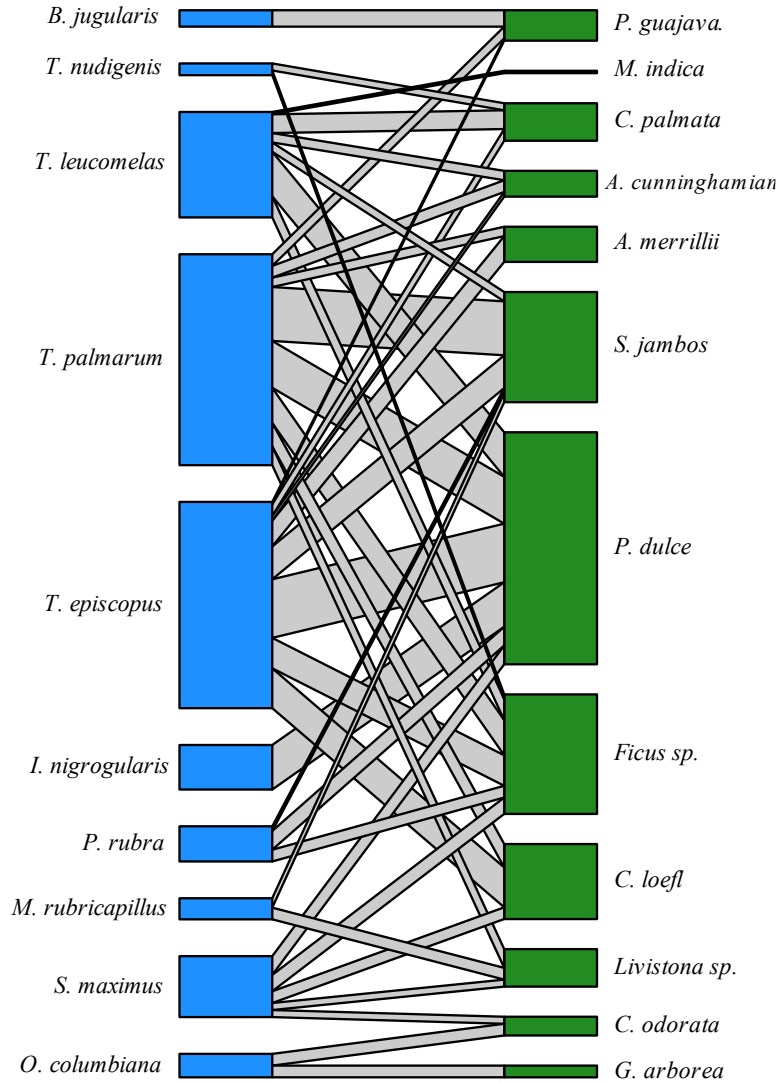
especie y el grosor de los enlaces son proporcionales a las interacciones específicas con cada uno de los nodos.

#### **4.1.2 Temporada húmeda**

Durante la temporada húmeda correspondiente al mes de marzo, se evidenció una precipitación aproximada de 156 mm y una temperatura de 23.2 °C (CHELSA). La *figura 5* ilustra la red de interacción mutualista para la temporada húmeda, compuesta por un total de 10 especies de aves frugívoras y 12 especies de plantas frutales. Entre las aves frugívoras, *Thraupis episcopus* y *Thraupis palmarum* se destacaron notablemente debido a un mayor número de interacciones en comparación con las otras especies (88 y 90 respectivamente). En cuanto a las especies de plantas, la especie nativa *P. dulce* se destacó por tener el mayor número de interacciones (99). Adicionalmente, para las especies *Ficus sp* y *S. jambos* se evidenció un mayor número de interacciones, respecto a la temporada seca (51 y 47 respectivamente).

**Figura 4**

*Red de interacciones mutualistas en temporada húmeda*



*Nota.* La gráfica representa las relaciones mutualistas entre especies de aves (azul) y plantas frutales (verde). El tamaño de caja es proporcional al número de interacciones registradas para cada especie y el grosor de los enlaces es proporcional al número de interacciones específicas con cada nodo.

## 4.2 Métricas de red

La Tabla 1 presenta las métricas de red calculadas para las interacciones entre aves frugívoras y plantas durante las temporadas seca y húmeda. Estas métricas proporcionan una visión general de la estructura y organización de la red, en donde se evaluaron aspectos como la densidad de conexiones (conectividad), la organización jerárquica de las interacciones (anidamiento NODF), la importancia relativa de las especies dentro de la red (centralidad), la tendencia de las interacciones a formar comunidades (modularidad) y la resistencia de la red frente a la pérdida de especies (robustez).

**Tabla 1**

*Métricas de red temporada seca y húmeda*

	Conectividad	Anidamiento NODF	Modularidad	Especialización H2	Robustez LL
<b>Seca</b>	0.188	27.66	0.358	0.36	0.711
<b>Húmeda</b>	0.316	32.70	0.267	0.30	0.637

Nota: Los valores de centralidad se mencionan dentro de las respectivas temporadas. Robustez

LL corresponde a la resiliencia de las aves ante la pérdida de especies vegetales.

### 4.2.1 Métricas de red en temporada seca

El valor de la **conectividad** de la red en la temporada seca (0.188) refleja una baja densidad de conexiones en relación con el número total de interacciones posibles. Este valor sugiere una distribución desigual en las interacciones, donde algunas especies tienen pocas interacciones, mientras que otras presentan una mayor frecuencia de conexiones. En consecuencia, la red muestra una estructura representada en mayor medida por especies especializadas, con interacciones limitadas a un número reducido de especies.

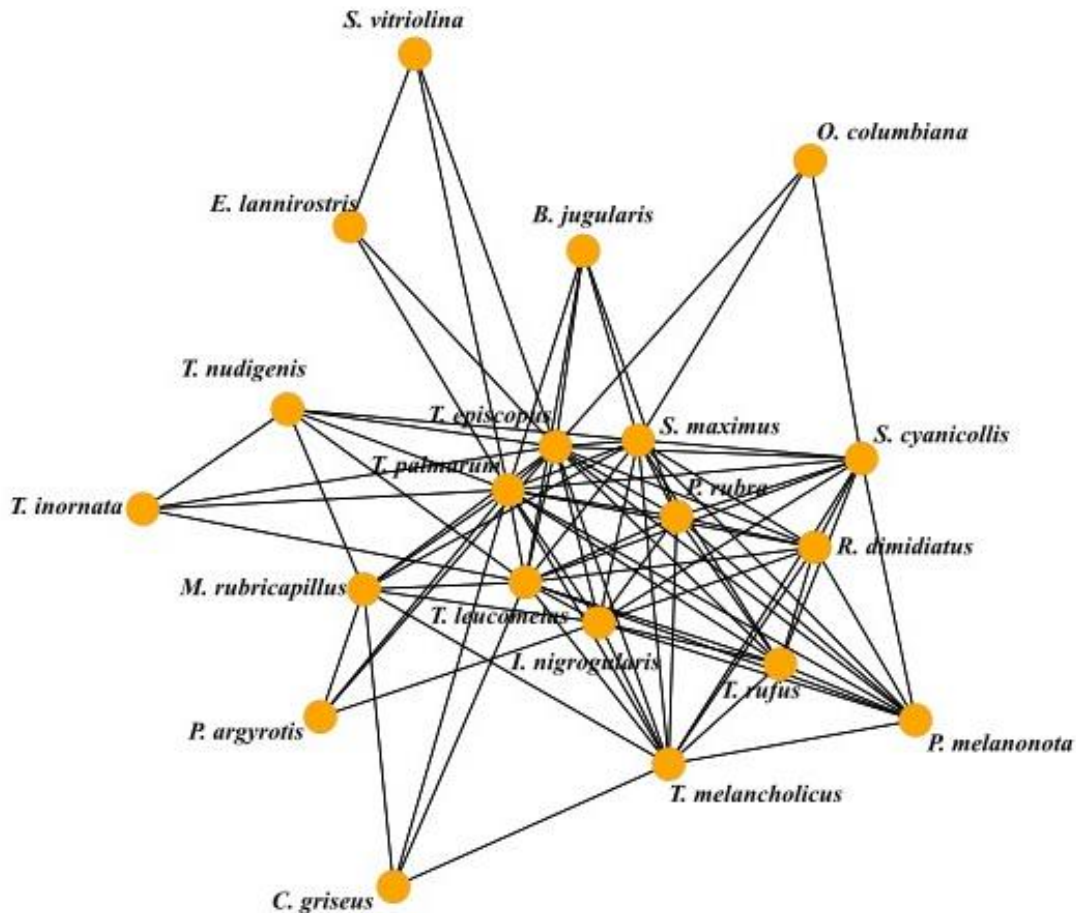
El **índice de anidamiento NODF** con un valor de 27.66 para la temporada seca, indica que las especies con pocas interacciones no están estrechamente conectadas a un subconjunto de especies más generalistas o con mayores interacciones. Representando una red no anidada.

El índice de **especialización H2** para la temporada seca es de 0.36, lo que evidencia una tendencia hacia la generalización en las interacciones entre las especies, en lugar de especialización. Esto resulta en interacciones más variadas y menos específicas entre las aves y las plantas durante esta temporada.

La **centralidad** muestra el grado de conectividad de cada especie con base en la frecuencia de sus eventos de interacción. En la temporada seca, las especies *T. episcopus*, *T. palmarum* y *P. dulce* se destacan como nodos clave. Estas especies tienen valores de **centralidad de intermediación** (*weighted.betweenness*) de 0.55, 0.40 y 0.77. La *figura 6* representa las conexiones entre las especies de aves según la centralidad *weighted.betweenness*. Los valores de **centralidad de grado** (*Degree*) de estas especies también destacan por valores de valores de 12, 14 y 11, respectivamente. Esto indica que estas especies desempeñan un papel crucial al conectar diferentes partes de la red, facilitando así el flujo de interacciones entre otras especies.

**Figura 5**

*Centralidad weighted.betweenness de las especies de aves en temporada seca*



Nota: Los nodos representan las especies de aves registradas, y su centralidad en la red está determinada por el número de interacciones con otras especies. Las especies con mayor centralidad corresponden a aquellas con un mayor número de interacciones, lo que indica un comportamiento más generalista.

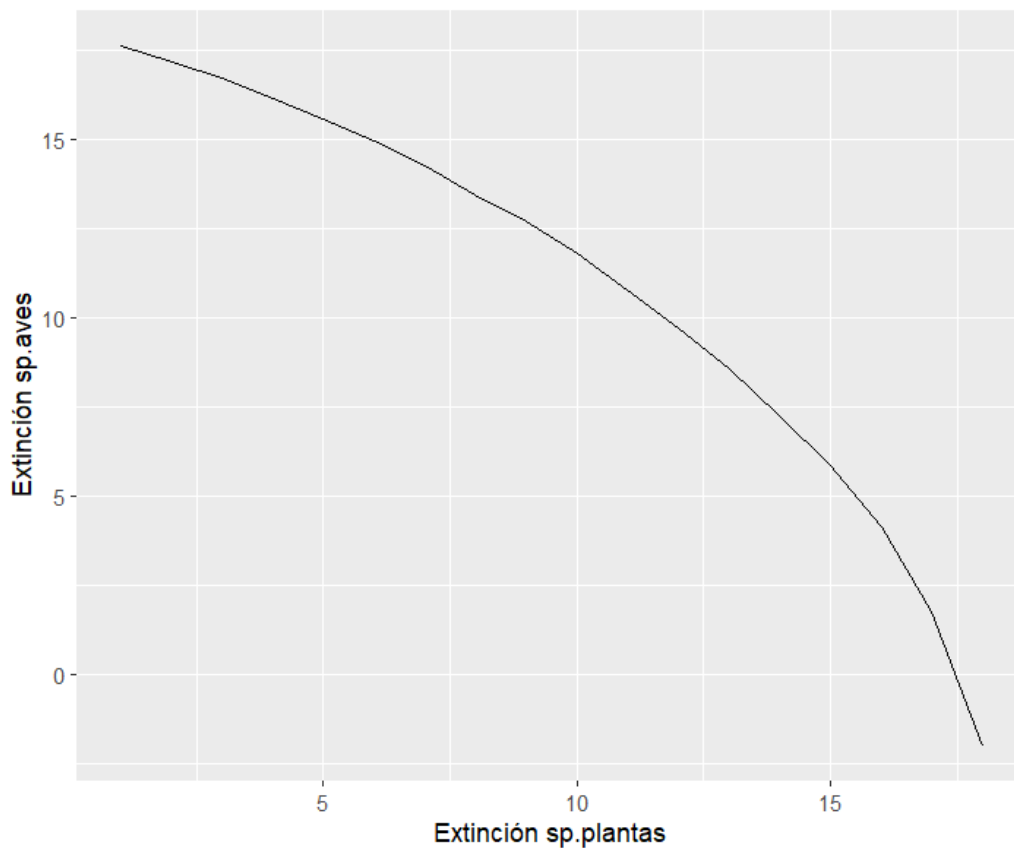
La **modularidad** de la red fue de 0.363, lo que indica que la red está formada por módulos o subgrupos de especies que interactúan más frecuentemente entre sí que con especies de otros módulos, reflejando una estructura más fragmentada.

La **robustez** de la red en la temporada seca, con un índice de 0.711, sugiere que la red tiene una alta capacidad para soportar la pérdida de varias especies sin sufrir un colapso estructural instantáneo. Esto se refuerza al analizar el proceso de extinción secuencial de plantas

(*second.extinct*). En cada interacción, al eliminar una especie de planta, se observa que un número de especies de aves también desaparecen, acumulando un total de 20 especies de aves afectadas. Este patrón sugiere que, aunque algunas aves dependen fuertemente de ciertas plantas, la red en general muestra resiliencia, siendo capaz de soportar la pérdida gradual de especies vegetales, lo que refleja una estructura robusta frente a la desaparición progresiva de recursos alimenticios.

### Figura 6

*Extinción gradual de especies en temporada seca*



Nota: En la figura se muestra cómo al eliminar gradualmente especies de plantas, se ven extinciones en las especies de aves.

#### 4.2.2 Temporada húmeda

La **conectividad** de la red en la temporada húmeda fue de 0.316, lo que indica una densidad de conexiones mayor respecto a la temporada seca. Esto sugiere una distribución más equilibrada de las interacciones, donde están presentes tanto especies con pocas interacciones como aquellas con una mayor frecuencia de interacciones. La red muestra una estructura en la que hay una combinación de especies generalistas y especializadas, con una mayor conectividad general en comparación con la temporada húmeda.

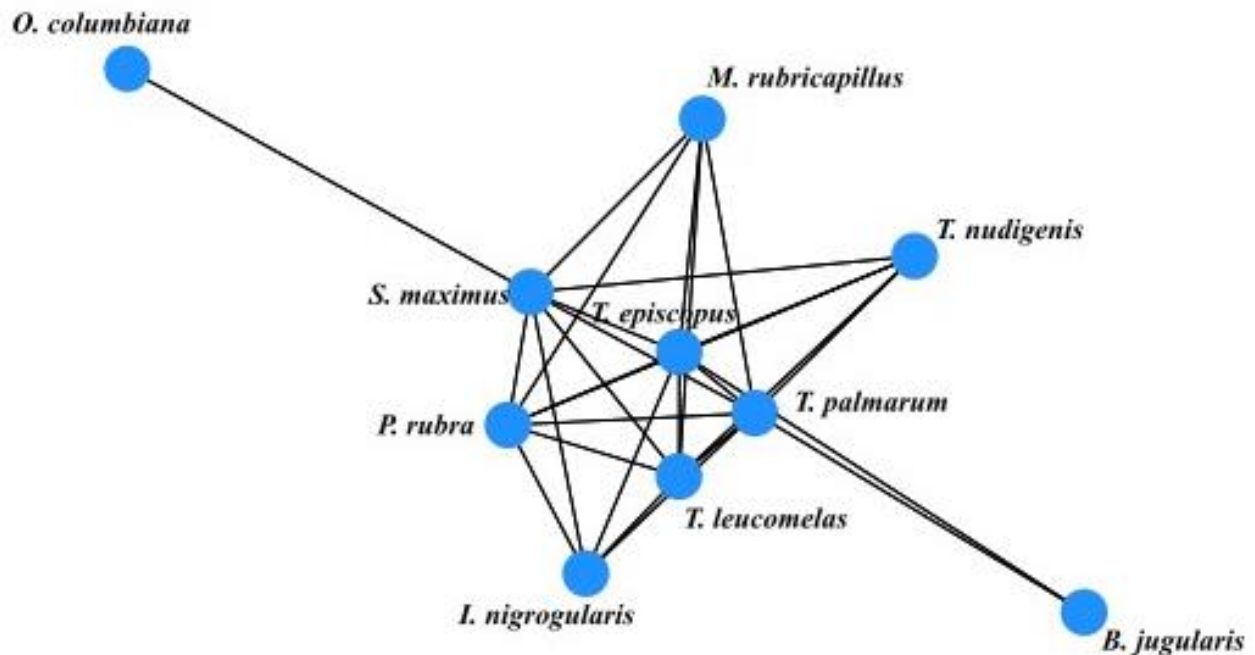
El índice de **anidamiento NODF** para la temporada húmeda fue de 32.70, lo que indica que las especies con pocas interacciones tienden a estar conectadas a un subconjunto de especies más generalistas o con muchas interacciones, reflejando una red más cohesiva.

Para la temporada húmeda, la **especialización H2** es menor a la temporada seca, siendo este 0.30, pero evidenciando un comportamiento similar a la temporada seca. Con tendencias hacia comportamientos más generalistas que especialistas.

En la temporada húmeda, El índice de **centralidad** de los nodos muestra el grado de conectividad de cada especie basado en el número de interacciones registradas. En la temporada húmeda, las especies *T. episcopus*, *T. palmarum* y *P. dulce* se destacan como nodos clave, con valores de centralidad de intermediación (weighted.betweenness) de 0.28, 0.46 y 0.64, y valores de centralidad de grado (degree) de 8, 8 y 6, respectivamente. Estas especies tienen un alto número de interacciones y desempeñan un papel importante al conectar diferentes partes de la red, facilitando el flujo de interacciones entre otras especies.

**Figura 7**

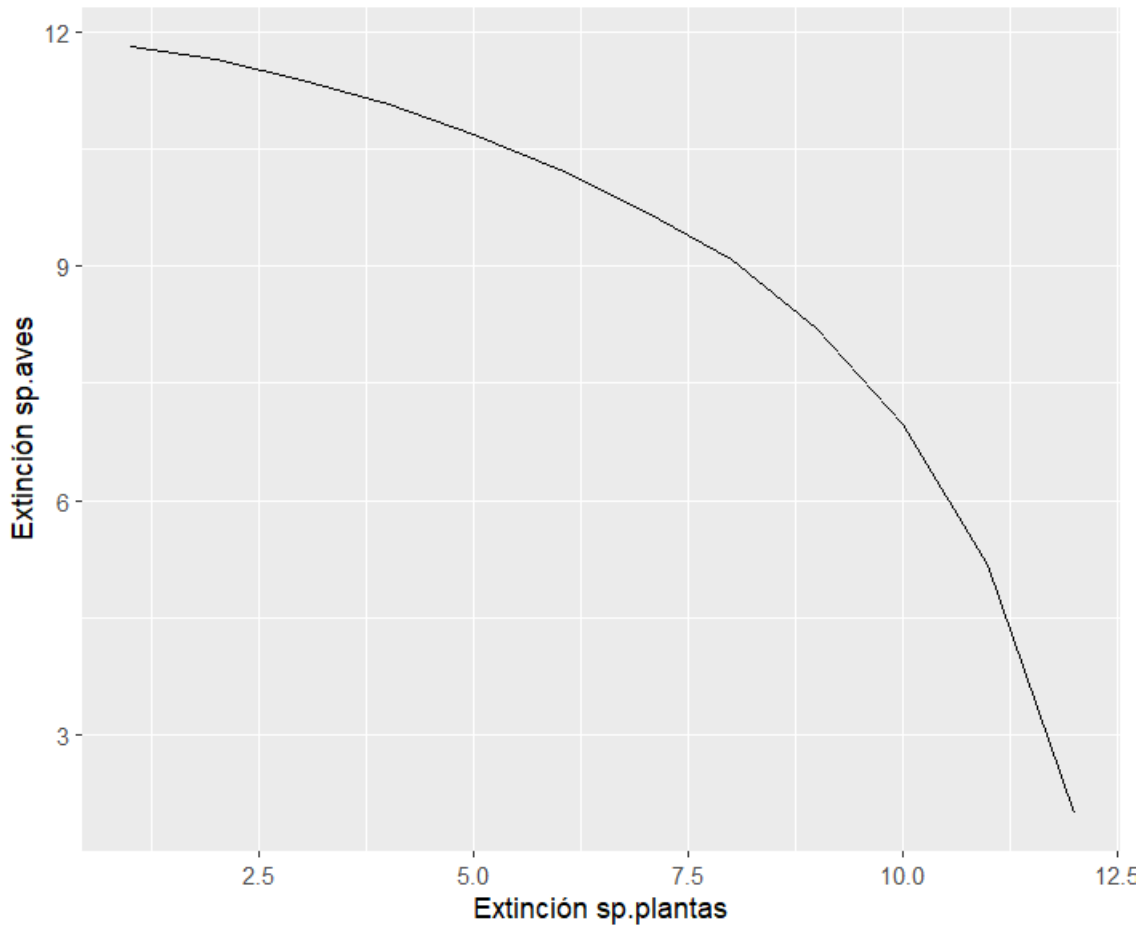
*Centralidad weighted.betweenness de las especies de aves en temporada húmeda*



Nota. Los nodos representan las especies de aves registradas y su centralidad con respecto a las demás.

La **modularidad** de la red en la temporada húmeda fue de 0.267, lo que sugiere que la red está formada por módulos o subgrupos de especies que interactúan más frecuentemente entre sí que con especies externas a estos conglomerados.

La **robustez** de la red en temporada húmeda, con un índice de 0.637, indica la capacidad de esta para soportar la pérdida de varias especies sin un colapso estructural inmediato. Este resultado se corrobora con el análisis del proceso de extinción secuencial de plantas. Si bien algunas aves dependen de plantas específicas, son capaces de soportar la pérdida de varias y mantener su estructura y funcionamiento, similar al patrón observado en temporada seca.

**Figura 8***Extinción gradual de especies en temporada húmeda*

Nota: La figura representa la extinción progresiva de especies de aves en la medida en que desaparecen especies de plantas.

## 5. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio revelan diferencias notables en la estructura de la red de interacciones entre plantas y aves frugívoras durante las temporadas seca y húmeda. Se observó que la red en temporada húmeda presenta una mayor conectividad (0.316) en comparación

con la red de temporada seca (0.188). Aunque estos valores son relativamente bajos, podrían estar asociados a un comportamiento más generalista de las especies, similar a lo reportado por Biesmeijer et al. (2005) para redes de abejas con valores entre 0.19 y 0.28. Esta mayor conectividad sugiere una distribución más equilibrada de las interacciones entre las especies, lo que podría estar asociado con una disponibilidad de recursos alimenticios más uniforme en temporada húmeda. Como se ha documentado en estudios previos, la fenología de las plantas influye significativamente en las interacciones mutualistas, ya que la oferta de frutos tiende a variar a lo largo del año (Morellato et al., 2013; Richardson et al., 2013; Hernández Schmidt, 2020).

Un aspecto clave de la red es el papel que desempeñan ciertas especies de aves y plantas con alta centralidad, como *Thraupis episcopus*, *Thraupis palmarum* en aves y *Pithecellobium dulce* en plantas. La presencia de estas aves podría deberse a su adaptabilidad a ambientes antropogénicos como se evidencia en estudios realizados por Rodríguez et al. (2009) y Blancas et al. (2020) para *T. episcopus* y por Monteleone et al. (2010) para *T. Palmarum*. Por su parte, *P. dulce* destaca por ser una planta de rápido crecimiento con poca exigencia y alta adaptabilidad, que a su vez provee fruto a lo largo del año como lo exponen Datiles y Acevedo (2022). Para Ronzón (2009), estas especies actúan como nodos centrales en ambas temporadas, manteniendo la conectividad y facilitando el flujo de interacciones dentro de la red. Este hallazgo es consistente con estudios previos que destacan la importancia de las especies "nodo" o "clave" en la estabilidad de las redes ecológicas (Jordano et al., 2009). Así pues, la desaparición de estas especies podría generar un efecto en cascada, afectando a varias otras especies que dependen de ellas para la obtención de recursos o dispersión de semillas.

La mayor modularidad observada en la temporada seca (0.358 frente a 0.267 en la temporada húmeda) sugiere la presencia de subcomunidades más especializadas dentro de la red,

lo cual es consistente con lo encontrado por Palacio (2014), quien reportó un valor de 0.28 para la modularidad en su estudio. En este contexto, algunas especies de aves parecen depender de un conjunto limitado de plantas, y al respecto, Karr (1976) sugiere que este patrón podría reflejar una adaptación a la menor disponibilidad de recursos durante un periodo específico, que en este caso correspondería a los meses secos. Esta especialización podría hacer que las redes en la temporada seca sean más vulnerables a perturbaciones como la pérdida de especies clave (Nguyen et al., 2021). Sin embargo, en concordancia con Mello (2011), la alta robustez observada en ambas temporadas indica que, a pesar de estas diferencias estructurales, la red tiene una capacidad considerable para mantener su funcionalidad ante la pérdida de algunas especies.

La estructura más fragmentada de la red en la temporada seca, reflejada en una conectividad más baja y una mayor modularidad, podría deberse a la menor diversidad de frutos disponibles en esta época del año (Hernández, 2010). La reducción en la oferta de recursos probablemente fuerza a las aves a interactuar con un subconjunto limitado de plantas, lo que incrementa la especialización y reduce la redundancia de interacciones dentro de la red. Esto concuerda con lo observado por Malanotte (2019), quien encontró que la especialización dietaria y los rasgos de las plantas, como la productividad y la calidad nutricional de los frutos, influyen en los roles de red de las aves frugívoras. En cambio, la mayor conectividad y menor modularidad en la temporada húmeda sugiere que las aves pueden acceder a una mayor diversidad de plantas, promoviendo una red más interconectada y generalista (Mello, 2011).

Finalmente, los resultados de robustez en ambas temporadas (0.711 en la temporada seca y 0.637 en la temporada húmeda) sugieren que, a pesar de las diferencias en la estructura de la red, ambas presentan una alta resiliencia ante la pérdida de especies. Esto es coherente con lo observado por Mello (2011), quien reportó valores de robustez de 0.60 y 0.54 en redes de dispersión de

semillas, destacando también una alta resiliencia en redes frugívoras de murciélagos y aves. Indicando que la red de interacciones planta-ave en el área metropolitana de Bucaramanga está bien adaptada a la variabilidad estacional, lo que es crucial para la estabilidad y conservación de estas interacciones en ecosistemas urbanos fragmentados (Guerra-Martinez et al., 2020).

## 6. Conclusiones

El análisis de la red de interacciones planta-ave en Bucaramanga reveló patrones contrastantes entre las temporadas seca y húmeda. Durante la temporada seca, la red mostró una mayor especialización y fragmentación, con especies clave que actuaron como nodos centrales para mantener la conectividad en momentos de menor disponibilidad de recursos. En la temporada húmeda, la red fue más generalista y conectada, evidenciando una mayor interdependencia entre especies debido a la abundancia de frutos.

Especies como *Thraupis episcopus*, *Thraupis palmarum* y *Pithecellobium dulce* jugaron un papel fundamental en ambas temporadas, actuando como nodos centrales. Esto subraya la importancia de estas especies para la estabilidad y resiliencia de la red ante perturbaciones. La mayor conectividad observada en la temporada húmeda sugiere que la variabilidad en la oferta de frutos influye directamente en la estructura de las interacciones mutualistas.

Estos resultados resaltan la importancia de la conservación de especies nativas con roles clave dentro de la red para asegurar la funcionalidad y estabilidad de los ecosistemas urbanos. La resiliencia observada en ambas temporadas sugiere que estas redes tienen una alta capacidad de adaptación, lo cual es crucial para su conservación en paisajes fragmentados como Bucaramanga.

## 7. Recomendaciones

Para obtener una comprensión más completa de la dinámica de la red de interacciones, se recomienda que futuros estudios consideren la inclusión de otros factores ambientales clave. Específicamente, la intervención antropogénica y la composición de la vegetación. La recopilación continua y detallada de datos permitirá una mejor comprensión de las dinámicas ecosistémicas en cada temporada del año y facilitará la identificación de patrones y cambios en las interacciones entre las especies. Esto contribuirá a una evaluación más precisa de los impactos ambientales y proporcionará un mejor entendimiento para la gestión y conservación de los ecosistemas.

Con el objetivo de mantener una red de interacciones más robusta y resiliente, se recomienda priorizar la plantación de árboles que proporcionen frutos, asegurando una fuente constante de alimento para las aves frugívoras durante todo el año. A pesar de que las especies introducidas predominan en la red de interacciones, es crucial priorizar la recuperación de especies nativas en el área de estudio. Las especies nativas no solo contribuyen a la restauración del equilibrio ecológico, sino que también ofrecen recursos alimenticios vitales para las especies locales. La integración de estas especies nativas en los hábitats puede fomentar una mayor diversidad biológica y fortalecer las interacciones ecológicas en la región. Por lo tanto, se recomienda implementar estrategias de restauración y conservación que incluyan la reintroducción y el manejo de especies nativas, promoviendo así la resiliencia y la sostenibilidad del ecosistema local.

### Referencias bibliográficas

- Acevedo Guerrero, M. A., & González Moreno, J. T. (2019). Red de interacciones entre plantas y aves del género *Tangara* (Passeriformes: Thaupidae) presentes en el Parque Natural Los Tunos, San Antonio del Tequendama, Cundinamarca-Colombia.
- Almeida-Neto, M., Guimarães, P., Guimarães Jr, P. R., Loyola, R. D., Ulrich, W., & Loyola, R. D. (2008). A consistent metric for nestedness analysis in ecological systems: Reconciling concept and measurement. *Oikos*, 117(8), 1227–1239. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2008.16644.x>
- Amico, G. C., & Aizen, M. A. (2005). Dispersión de semillas por aves en un bosque templado de Sudamérica austral: ¿Quién dispersa a quién? *Ecología Austral*, 15(1), 89-100.
- Aronson, M. F., Handel, S. N., & Clemants, S. E. (2007). Fruit type, life form and origin determine the success of woody plant invaders in an urban landscape. *Biological Invasions*, 9, 465-475.
- Asratian, A. S., Denley, T. M., & Häggkvist, R. (1998). *Bipartite graphs and their applications* (Vol. 131). Cambridge University Press.
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 38(1), 567-593.
- Bernal Toro, J. A. (2017). Relaciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras y nectarívoras en el sector sur del Parque Ecológico Distrital de Montaña Cerro la Conejera en la Ciudad de Bogotá.
- Berlanga Martos, J. A. (2021). El papel de las redes de interacciones planta-dispersante en la dinámica de reclutamiento de plantas en el sur de España.

- Biesmeijer, J. C., Slaa, E. J., Castro, M. S. D., Viana, B. F., Kleinert, A. D. M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2005). Connectance of Brazilian social bee: food plant networks is influenced by habitat, but not by latitude, altitude or network size. *Biota Neotropica*, 5, 85-93.
- Blancas-Calva, E., Castro-Gutiérrez, S. B., & Contreras-Rodríguez, A. I. (2020). First nesting record of the Blue-gray Tanager (*Thraupis episcopus*) in Guerrero, Mexico. *Huitzil*, 21(1).
- Cediel, F., & Lozano-Flórez, A. J. (2021). Aves urbanas en zonas verdes del área metropolitana de Bucaramanga, Santander, Colombia: Urban birds in green zones of the metropolitan area of Bucaramanga, Santander, Colombia. *Ornitología Colombiana*, (18), 1–20.
- de Gortari, E. D. V. (2022). Redes de interacciones para el estudio de la biodiversidad. *Redes*, 23(2).
- Datiles, M., & Acevedo-Rodríguez, P. (2022). *Pithecellobium dulce* (Manila tamarind).
- Dormann, C. F., Gruber, B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite package: Analysing ecological networks. *Interaction*, 1(0.2413793), 8–11.
- García, D. (2016). Birds in ecological networks: Insights from bird-plant mutualistic interactions. *Ardeola*, 63(1), 151–180.
- Guerra-Martínez, F., García-Romero, A., & Martínez-Morales, M. A. (2020). Evaluación de la resiliencia ecológica de los bosques tropicales secos: una aproximación multiescalar. *Madera y Bosques*, 26(3).
- Hernández Schmidt, M. (2020). Sobre la floración, fructificación, brote y caída de hojas de las plantas del departamento de Atlántico (Colombia). *Naturalista CO*.

<https://colombia.inaturalist.org/posts/44874-sobre-la-floracion-fructificacion-brote-y-caida-de-hojas-de-las-plantas-del-departamento-de-atlantico-colombia#comments>

Hilty, S. (2021). *Birds of Colombia*. Lynx Edicions.

Hutto, R. L., Pletschet, S. M., & Hendricks, P. (1986). A fixed-radius point count method for nonbreeding and breeding season use. *The Auk*, 103(3), 593–602.

Iñiguez Vela, X. P. (2021). Estructura de las interacciones planta–ave como servicio ecosistémico de la biodiversidad en ecosistemas de páramo (Master's thesis, Universidad del Azuay).

Joppa, L. N., Montoya, J. M., Solé, R., Sanderson, J., & Pimm, S. L. (2010). On nestedness in ecological networks.

Jordano, P., Vázquez, D., & Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. In Editorial Universitaria (Ed.), *Ecología y evolución de las interacciones planta animal: conceptos y aplicaciones*. pp.: 17-41.

Karr, J. R. (1976). Seasonality, resource availability, and community diversity in tropical bird communities. *The American Naturalist*, 110(976), 973-994.

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. In *Revista Mexicana de Biodiversidad* (Vol. 83).

Lerman, S. B., & Warren, P. S. (2011). The conservation value of residential yards: linking birds and people. *Ecological applications*, 21(4), 1327-1339.

- Malanotte, M. L., Machado-de-Souza, T., Campos, R. P., Petkowicz, C. L., & Varassin, I. G. (2019). How do fruit productivity, fruit traits and dietary specialization affect the role of birds in a mutualistic network?. *Journal of Tropical Ecology*, 35(5), 213-222.
- Manrique Garzón, L. M. (2022). Red de polinización para los páramos andinos: Un caso de estudio en el páramo de Matarredonda.
- McKinney, M. L. (2002). Urbanization, biodiversity, and conservation: the impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *Bioscience*, 52(10), 883-890.
- Mello, M. A. R., Marquitti, F. M. D., Guimarães, P. R., Kalko, E. K. V., Jordano, P., & de Aguiar, M. A. M. (2011). The modularity of seed dispersal: differences in structure and robustness between bat–and bird–fruit networks. *Oecologia*, 167, 131-140.
- Medel, R., & Zamora, R. (2009). Ecología y evolución de interacciones planta-animal. M. A. Aizen (Ed.). Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Ministerio de Comercio Industria y Turismo. (2024). Colombia se prepara para liderar el conteo de especies de aves más grande del mundo. <https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/turismo/colombia-se-prepara-para-global-big-day-2024>
- Monteleone, D., Areta, J. I., Roesler, I., Bodrati, A., & Grilli, P. (2010). Primer registro documentado y nuevos datos del Chogüí Oliváceo (*Thraupis palmarum*) en Argentina. *Nuestras Aves*, (55), 25-28.

- Morellato, L. P. C., Camargo, M. G. G., & Gressler, E. (2013). A review of plant phenology in South and Central America. *Phenology: an integrative environmental science*, 91-113.
- Nash, M. H. (2022). The 201 Most (& Least) Biodiverse Countries. The Swiftest. <https://theswiftest.com/biodiversity-index/>
- Newman, M. (2004). Analysis of weighted networks. *Physical Review. E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 70, 56131. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.70.056131>
- Nguyen, Q., Vu, T. V., Dinh, H. D., Cassi, D., Scotognella, F., Alfieri, R., & Bellingeri, M. (2021). Modularity affects the robustness of scale-free model and real-world social networks under betweenness and degree-based node attack. *Applied Network Science*, 6(1), 1–21.
- Palacio, R. D. (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. *Ornitología Colombiana*, (14).
- Pinzón, H. E. G., Chacón, P. A. Q., & Pacheco, M. A. H. (2018, September). Diversidad de flora nativa y foránea en el campus central de la Universidad Industrial de Santander. In *Semana Internacional de la Ciencia: Retos para el siglo XXI*.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rangel, J. O. (2005). La biodiversidad de Colombia. *Palimpsestvs*, (5). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/palimpsestvs/article/view/8083>
- Richardson, A. D., Keenan, T. F., Migliavacca, M., Ryu, Y., Sonnentag, O., & Toomey, M. (2013). Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 169, 156–173.

- Rodríguez-Ruíz, E. R., Garza-Torres, H. A., Ríos-Muñoz, C. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2011). The geographical distribution of the blue-gray tanager (*Thraupis episcopus*) through anthropogenically modified habitats in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 989–996.
- Rojas, A. (2017). Flora urbana del área metropolitana de Bucaramanga. *Innovaciencia*, 5(1 S1), 13-13.
- Ronzón Rodríguez, R. (2009). Desempeño de indicadores de especie clave para evaluar perturbaciones en ecosistemas arrecifales (Doctoral dissertation).
- Santander, S. E. G. (2024, 27 mayo). Santander, segundo departamento de Colombia en biodiversidad, celebra el Día Internacional de la Diversidad Biológica. Sede Electrónica Gobernación de Santander. <https://santander.gov.co/publicaciones/10191/santander-celebra-dia-de-la-biodiversidad/>
- SiB Colombia. (s.f.). Biodiversidad en cifras. <https://cifras.biodiversidad.co/santander/bucaramanga>
- Sullivan, M. K., Fayolle, A., Bush, E., Ofosu-Bamfo, B., Vleminckx, J., Metz, M. R., & Queenborough, S. A. (2024). Cascading effects of climate change: New advances in drivers and shifts of tropical reproductive phenology. *Plant Ecology*, 225(3), 175-187.
- Vecchi, G. A., Soden, B. J., Wittenberg, A. T., Held, I. M., Leetmaa, A., & Harrison, M. J. (2006). Weakening of tropical Pacific atmospheric circulation due to anthropogenic forcing. *Nature*, 441(7089), 73-76.

## Apéndices

### Apéndice 1

*Proceso de extinción secuencial de especies en temporada seca*

No. de extinciones de plantas	No. de extinciones de aves
[1]	0.38
[2]	0.419
[3]	0.501
[4]	0.501
[5]	0.612
[6]	0.657
[7]	0.646
[8]	0.724
[9]	0.823
[10]	0.908
[11]	0.913
[12]	1.122
[13]	1.154
[14]	1.269
[15]	1.506
[16]	1.835
[17]	2.28
[18]	3.75

Nota: Los valores a la izquierda representan el número de plantas que desaparecen desde 1 hasta 18. La derecha representa la cantidad de especies de ave que se pierden con cada iteración, la sumatoria de todas resulta en la desaparición de todas las especies.

**Apéndice 2***Proceso de extinción secuencial de especies en temporada húmeda*

<b>No. de extinciones de plantas</b>	<b>No. de extinciones de aves</b>
[1]	0.165
[2]	0.197
[3]	0.267
[4]	0.313
[5]	0.396
[6]	0.446
[7]	0.549
[8]	0.662
[9]	0.859
[10]	1.163
[11]	1.822
[12]	3.161

Nota: Los valores a la izquierda representan el número de plantas que desaparecen desde 1 hasta 12. La derecha representa la cantidad de especies de ave que se pierden con cada iteración, la sumatoria de todas resulta en la desaparición de todas las especies.