



**Universidad del Azuay**

**Departamento de Posgrados**

*Estructura de las interacciones planta – ave como servicio  
ecosistémico de la biodiversidad en ecosistemas de Páramo*

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
MAGÍSTER EN ESTUDIOS SOCIOAMBIENTALES,  
MENCIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO, SUSTENTABILIDAD Y  
DESARROLLO**

**Autor: Blgo. Xavier Patricio Iñiguez Vela**

**Director: Blgo. Juan Manuel Aguilar Ullauri, Mtr.**

**Cuenca, Ecuador  
2021**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a Gina Vela Regalado, tu esfuerzo, cariño y motivación fueron la fuerza para realizarlo.

Te amo mamá.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer de forma especial a Gina Vela Regalado, Dolores Romo Dávila y Vanessa Capelo Vela, mamá, esposa y hermana, quienes desde el inicio me motivaron en este viaje, con su apoyo incondicional y amoroso. Sus palabras de aliento y confianza estarán siempre conmigo.

A mi pana, colega y director de tesis, Juan Manuel Aguilar, su apoyo constante, enseñanza, crítica y conversación, hicieron de este trabajo no solo mucho más de lo que me había propuesto, sino una experiencia completamente enriquecedora, profesional y personal.

A mis hijas Camila, Ema y Bruna, y mi nieto Caetano, son el motor que me mueve en el día a día. A mis papás Javier y Patricio, mi hermana y hermanos Renata, Jimmy, Diego y Joao, sus palabras siempre llegaron en el momento adecuado. A Mis amigos Pedro, William, Steve, Felipe, Reinaldo y Paúl, sus opiniones y consejos siempre fueron apropiados.

A mis compañeros de clase y profesores de los distintos módulos, los debates en el aula siempre fueron llenos de aprendizaje. Al Parque Nacional Cajas por su biodiversidad única y paisajes. A ELECAUSTRO, por su compromiso con la conservación de los ecosistemas de páramo. A los profesores, amigos y miembros del tribunal, Boris Tinoco y Antonio Crespo, por sus comentarios acertados. A la Universidad del Azuay, departamento de Posgrados y su programa de Maestría en Estudios Socioambientales.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN.....	viii
PRÓLOGO.....	10
CAPÍTULO 1 .....	12
ESTRUCTURA DE LAS INTERACCIONES PLANTA – AVE EN TRES LOCALIDADES DE PÁRAMO EN LA PROVINCIA DEL AZUAY .....	
12	
1.1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.2. METODOLOGÍA .....	15
1.2.1. Área de Estudio .....	15
1.2.1.1. Localidad Toreadora .....	16
1.2.1.2. Localidad Soldados .....	17
1.2.1.2. Localidad Chanlud .....	18
1.2.2. Tabulación de Datos y Análisis Estadístico .....	19
1.3. RESULTADOS .....	22
1.3.1. Localidad Toreadora .....	22
1.3.2. Localidad Soldados .....	26
1.3.3. Localidad Chanlud .....	30
1.3.4. Análisis global del área de estudio.....	34
1.3.5. Curvas de acumulación de interacciones .....	38
1.4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN .....	40
1.5. BIBLIOGRAFÍA .....	44
CAPÍTULO 2 .....	50

CIENCIA CIUDADANA E INTERACCIONES ENTRE AVES NECTARÍVORAS Y PLANTAS DE PÁRAMO EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS .....	50
2.1. INTRODUCCIÓN .....	50
2.2. METODOLOGÍA .....	51
2.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	54
2.4. BIBLIOGRAFÍA .....	57
CAPÍTULOS 3 Y 4.....	63
CAPÍTULO 3 .....	64
PICOESPINA DORSIAZUL <i>Chalcostigma stanleyi</i> , ALIMENTACIÓN.....	64
3.1. INTRODUCCIÓN .....	64
3.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	65
3.3. BIBLIOGRAFÍA .....	66
CAPÍTULO 4 .....	68
AVES NO NECTARÍVORAS Y SU RELACIÓN CON LOS AGUARONGOS, <i>Puya</i> spp. (BROMELIACEAE).....	68
4.1. INTRODUCCIÓN .....	68
4.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	68
4.3. BIBLIOGRAFÍA .....	71

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

### Índice de Tablas

Tabla 1. Frecuencia de interacciones, localidad Toreadora. ....	22
Tabla 2. Índices a nivel de especie, aves, localidad Toreadora.....	25
Tabla 3. Índices a nivel de especie, plantas, localidad Toreadora. ....	25
Tabla 4. Frecuencia de interacciones, localidad Soldados. ....	26
Tabla 5. Índices a nivel de especie, aves, localidad Soldados. ....	29
Tabla 6. Índices a nivel de especie, plantas, localidad Soldados. ....	29
Tabla 7. Frecuencia de interacciones, localidad Chanlud. ....	30
Tabla 8. Índices a nivel de especie, aves, localidad Chanlud. ....	33
Tabla 9. Índices a nivel de especie, plantas, localidad Chanlud. ....	33
Tabla 10. Índices a nivel de especie, aves, análisis global.....	36
Tabla 11. Índices a nivel de especie, plantas, análisis global. ....	37
Tabla 12. Links de la plataforma eBird utilizados. ....	52
Tabla 13. Índices a nivel de especie, aves.....	55

## Índice de Figuras

Figura 1. Localidades de estudio.....	15
Figura 2. Localidad Toreadora.....	17
Figura 3. Localidad Soldados.....	18
Figura 4. Localidad Chanlud.....	19
Figura 5. Red de interacciones, localidad Toreadora.....	24
Figura 6. Red de interacciones, localidad Soldados.....	28
Figura 7. Red de interacciones, localidad Chanlud.....	32
Figura 8. Red de interacciones, análisis global.....	35
Figura 9. Curva de acumulación de interacciones, localidades Toreadora y Soldados. .....	38
Figura 10. Curva de acumulación de interacciones, localidad Chanlud y análisis global.....	39
Figura 11. Registro de perturbaciones antropogénicas, localidad Soldados.....	41
Figura 12. Red de interacciones entre aves nectarívoras y plantas, páramo del PNC, con base en registros de ciencia ciudadana (eBird). ....	54
Figura 13. Picoespina Dorsiazul <i>Chalcostigma stanleyi</i> interactuando con cuatro géneros de plantas, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: <i>Gynoxys</i> , <i>Pentacalia</i> , <i>Disterigma</i> y <i>Ribes</i> .....	65
Figura 14. Picocono Gigante <i>Conirostrum binghami</i> forrajeando en un Aguarongo ( <i>Puya</i> aff. <i>Clava-herculis</i> ) en el Parque Nacional Cajas.....	69

## RESUMEN

Este trabajo nos acerca al conocimiento sobre las interacciones entre aves y plantas en ecosistemas de páramo al sur del Ecuador. Las localidades de estudio fueron Toreadora y Soldados en el Parque Nacional Cajas, y Chanlud en el Bosque Protector Machángara Tomebamba. Se recopiló información mediante observación directa, binoculares y fotografías. Se construyeron curvas de acumulación de interacciones, redes de interacciones por localidad y de forma global, y se calcularon índices a nivel de red y especie. Se encontró que los valores de conectancia y modularidad parecen indicar una estabilidad de las localidades, aunque las redes resultaron no ser anidadas de forma individual pero si de forma global. El índice de Shannon mostró una diversidad alta en todos los análisis. Tres especies de aves, el colibrí endémico Metalura Gorjivioleta *Metallura baroni*, el Picoespina Dorsiazul *Chalcostigma stanleyi* y el Tijeral Andino *Leptasthenura andicola*, y, el género *Gynoxys*, los Aguarongos y el grupo “páramo herbáceo, almohadilla”, entre las plantas, resultaron las especies más importantes según el número de interacciones e índices, resultados que son más notorios en el análisis global.

**Palabras clave:** curvas de acumulación, especies clave, índices estructurales, páramo, redes de interacción.

## ABSTRACT

This research pretends to bring knowledge about the interactions between birds and plants at paramo ecosystems, southern, Ecuador. Study localities were Toreadora and Soldados at Cajas National Park, and Chanlud at Machangara Tomebamba Protected Forest. Information was collected through direct observation, binoculars, and photographs. Interaction accumulation curves and interaction networks were constructed for each locality and globally, and indices were calculated at the network and species level. It was found that connectance and modularity values show a stability of localities, although the networks turned out not to be nested individually but globally. The Shannon index shows a high diversity around all the analyses. Three bird species, the endemic hummingbird Violet-throated Metaltail *Metallura baroni*, Blue-mantled Thornbill *Chalcostigma stanleyi*, and Andean Tit-Spintail *Leptasthenura andicola*, and *Gynoxys* genus, Aguarongos, and the “paramo herbaceo, almohadilla” group, between plants, they turned out the more important species according interactions number and indices, with a major notoriety on global analyses.

**Key words:** accumulation curves, interaction networks, key species, paramo, structural indices.

Translated by



Xavier Iñiguez Vela, Blg

## PRÓLOGO

Uno de los problemas más graves que enfrenta la sociedad en la actualidad, que va de la mano con temas tan relevantes como el cambio climático y el acceso y disponibilidad a un agua de calidad, es la pérdida de biodiversidad, y con esto, la pérdida de los beneficios que los ecosistemas nos brindan de forma directa o indirecta. Los servicios de la biodiversidad no se consideran entre los servicios comúnmente conocidos de servicios ecosistémicos, como la captura de carbono o la producción de madera y otros materiales, y es por esto que pasan por alto para la mayoría de las personas.

Las interacciones entre aves y plantas en un ecosistema determinado son consideradas servicios de soporte, forman parte de todo su funcionamiento complejo, contribuyendo al mantenimiento y conservación de poblaciones de plantas, el crecimiento de los bosques, su fauna, la resiliencia de los ecosistemas y sus funciones indirectas, como la captura de carbono y, en el caso específico de los páramos, la regulación, mantenimiento y calidad del agua; así, su estudio contribuye no solo a la generación de conocimiento ecológico, sino que se convierte en un aporte importante para la gestión y manejo de los bienes y servicios ecosistémicos.

Cuando generamos información y conocimiento ecológico generamos una herramienta de gestión, que con la vinculación y uso adecuado, es esencial para el mantenimiento de nuestro bienestar, y nuestra salud física y mental, de esta manera, los estudios ecológicos y todo estudio que sea un aporte para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, tienen que ser tratados con base en sus objetivos integrales: ecológicos, sociales y ambientales, debido a que benefician a todo el entorno socioambiental en donde están inmersos.

¿Por qué nos interesan los páramos y por qué la decisión de realizar este estudio, con un enfoque ecológico, como parte de un programa de maestría en estudios socioambientales con mención en cambio climático? Para la ciudad de Cuenca y el Parque Nacional Cajas, la biodiversidad paramera y el funcionamiento equilibrado de los ecosistemas de páramo, y en consecuencia una adecuada regulación hídrica, son parte de los responsables de tener un acceso constante a un agua de calidad. El conocimiento integral de los ecosistemas de páramo, y su conservación, son primordiales para mantener este servicio ambiental.

A pocos meses de llevarse a cabo la 15va Conferencia de las Partes (COP 15) del Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, la Revista Internacional de Ciencia Nature, publicó un artículo en donde recalca la necesidad de un papel más importante por parte del panel científico mundial sobre biodiversidad, mencionando la alarmante pérdida de especies de animales y plantas, la importancia de la biodiversidad para los sistemas de sustento de la vida de la Tierra, y la relación y dependencia de los seres humanos con los servicios que brinda la naturaleza, concluyendo que una voz unificada es poderosa, y si los científicos pueden presentar un frente unido, los responsables de la formulación de políticas tendrán menos excusas para continuar con las cosas como de costumbre (Nature, 2021).

Entonces, es primordial continuar generando este tipo de estudios y que sus resultados sean difundidos, vinculados con la sociedad, con el fin de que esta conozca, se empodere, se encariñe con los ecosistemas y servicios que nos prestan beneficios. Es necesario entender que la conservación de la naturaleza tiene que ser un trabajo conjunto entre la academia, la sociedad y los representantes políticos y tomadores de decisiones. Si comenzamos a respetar nuestro entorno natural, con base en estudios que nos acerquen a entender y comprender el por qué necesitamos cuidarlo, la conservación puede llegar a convertirse en una tarea fácil.

*...lo que se conoce se ama y lo que se ama se conserva (Autor desconocido)...*

## **CAPÍTULO 1**

### **ESTRUCTURA DE LAS INTERACCIONES PLANTA – AVE EN TRES LOCALIDADES DE PÁRAMO EN LA PROVINCIA DEL AZUAY**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La conservación de la biodiversidad, su riqueza y diversidad de funciones e interacciones ecológicas, es esencial para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, su resiliencia y los servicios ecosistémicos de los que depende el bienestar humano (Bibby, 2002; Martín-López et al., 2007; Mindell, 2009; Chivian & Bernstein, 2010; Alho, 2012; Ghazoul, 2015; Naeem et al., 2016). Los servicios de los ecosistemas se definen como el conjunto de beneficios que proporciona la naturaleza y son aprovechados por la sociedad de forma directa o indirecta para su bienestar, siendo producto de las interacciones o la dinámica que existe entre los componentes de los ecosistemas, donde solamente un conocimiento sólido de su importancia y distribución espacial pueden generar estrategias efectivas para su conservación al corto y largo plazo (Balvanera et al., 2011; Pacha, 2014; Rodríguez García et al., 2016; Sosenski & Domínguez, 2018).

Las zonas de páramo y sus ecosistemas altoandinos terrestres y acuáticos asociados tienen funciones especiales que los hacen de vital importancia para las zonas urbanas y comunidades rurales que se encuentran cercanas o en las zonas bajas de sus cuencas hidrográficas, destacando entre estas el almacenamiento y distribución de agua para el consumo, riego y generación eléctrica, además de ser hábitat de especies de flora y fauna nativa, en algunos casos de distribución limitada (Buytaert et al., 2006; Mena & Hofstede, 2006; Célleri & Feyen, 2009; Wigmore & Gao, 2014).

Las interacciones entre animales y plantas, la polinización, dispersión y otras funciones como relaciones mutualistas, son procesos ecológicos básicos de la dinámica de un ecosistema, consideradas como importantes servicios ecosistémicos de apoyo y provisión de los ecosistemas ya que contribuyen al crecimiento y conservación de bosques y las poblaciones de plantas, y sus beneficios indirectos a la sociedad como la captura de carbono, el control de la erosión, y la calidad y cantidad de agua superficial (Montagnini & Jordan, 2005; Loiselle et al., 2007; Aizen & Chacoff, 2009; Céleri & Feyen, 2009; Ghazoul, 2015; Sosenski & Domínguez, 2018).

Las aves en los ecosistemas son uno de los grupos vertebrados más importantes en relación al mantenimiento, resiliencia y funcionamiento de los bosques, contribuyendo con la sucesión ecológica y el crecimiento poblacional de plantas (Bibby, 2002; Carlo et al., 2007; Loiselle et al., 2007; Sodhi et al., 2011; Sosenski & Domínguez, 2018), a través de funciones, por ejemplo, como la polinización, la dispersión de semillas, el reciclaje de materia orgánica, el control de plagas principalmente en ecosistemas urbanos, y su papel en la cadena trófica y la transferencia de energía entre organismos.

Aunque la avifauna de los altos Andes probablemente se constituye en el grupo de fauna más conocido en temas de taxonomía e historia natural, el conocimiento de sus interacciones es todavía insuficiente (Rojas-Nossa, 2007; Herzog & Kattan, 2012; Aguilar & Tinoco, 2017). Un aporte importante en su estudio es el conocimiento de las redes de interacciones entre las especies de plantas y aves que interactúan en los páramos, identificar las especies que influyen en la supervivencia de las comunidades ecológicas en estos ecosistemas, su dinámica, servicios, y en consecuencia, su conservación (Carlo et al., 2007; Loiselle et al., 2007; Allesina & Pascual, 2009; Alho, 2012; Aguilar & Tinoco, 2017).

En este contexto, el interés de estudiar las interacciones planta – ave en los ecosistemas naturales de páramo se basa en la importancia de contribuir con la

generación de conocimientos que influyen en el funcionamiento y conservación de los ecosistemas y que resultan en los servicios ecosistémicos que generan bienestar en la sociedad, además, se debe recalcar que el entender la estructura de redes de interacciones se convierte en una herramienta importante de gestión al momento de proponer y establecer programas de conservación de hábitats y especies, reforestación y rehabilitación de ecosistemas, incluso al momento de definir el presupuesto público, ya que, si conocemos las especies que juegan un rol importante en el funcionamiento de estos ecosistemas, los esfuerzos e inversión económica en recursos humanos, técnicos y científicos, pueden estar mejor dirigidos hacia la consecución de objetivos al corto y largo plazo.

El objetivo general de este estudio es conocer cómo se estructuran las redes de interacciones planta – ave en ecosistemas de páramo de dos localidades en la provincia del Azuay: Toreadora en la subcuenca del río Tomebamba y Soldados en la subcuenca del río Yanuncay, y una localidad ubicada entre las provincias del Azuay y Cañar: Chanlud en la subcuenca del río Machángara.

Los objetivos específicos del estudio son:

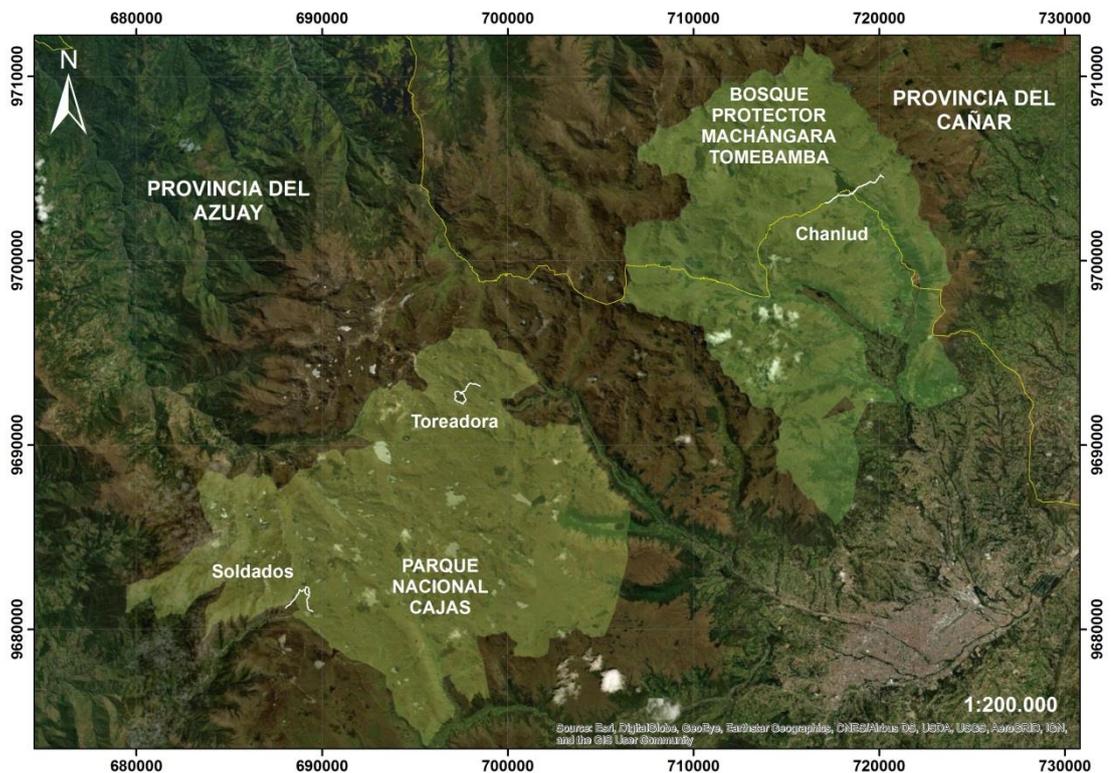
- Conocer como se conforman las redes de interacciones entre especies de aves y plantas para cada localidad y de forma global.
- Construir curvas de acumulación de interacciones por localidad con el fin de representar la robustez del esfuerzo de muestreo.
- Calcular índices estructurales de la red interacciones para cada localidad y de forma global.
- Identificar las especies clave y complementarias en las redes de interacciones.
- Divulgar, con el uso redes sociales, la importancia y resultados más relevantes del estudio, con la edición de videos y/o fotografías.

## 1.2. METODOLOGÍA

### 1.2.1. Área de Estudio

El área de estudio estuvo definida en los ecosistemas de páramo de tres localidades (Figura 1): Toreadora en la subcuenca del río Tomebamba y Soldados en la subcuenca del río Yanuncay, en la provincia del Azuay, y Chanlud en la subcuenca del río Machángara, entre las provincias del Azuay y Cañar, con recorridos de observación directa realizados entre páramo abierto y bordes de bosque, separadas entre ellas, en línea recta, por aproximadamente 13 km entre Soldados y Toreadora, y 22 km aproximadamente entre Toreadora y Chanlud. Estos ecosistemas forman parte de las cuencas altas de tres de los ríos que atraviesan el cantón Cuenca.

Figura 1. Localidades de estudio.



Fuente: ArcGIS 10.4.1., Xavier Iñiguez Vela.

Los registros se realizaron mediante recorridos de observación directa, por la ventaja de recorrer distancias mayores y observar no solo en lugares en donde se piense habrá mayores registros (p. ej., sitios con abundancia de flores). Los recorridos para la toma de datos de interacciones se realizaron en horas de la mañana y tarde, entre las 6:00 a.m., y las 14:00 p.m., entre agosto de 2020 y mayo de 2021, cubriendo bordes de bosque y páramo abierto. Se realizaron tres salidas de campo a cada localidad completando un esfuerzo de observación de 24 horas para cada una. Las observaciones se realizaron siempre entre dos observadores, para al final de cada salida juntar lo registrado. Las listas de aves fueron subidas a la plataforma eBird buscando que queden registradas en la web.

Las observaciones se hicieron con binoculares marca BUSHNELL WATERPROOF 10x42, cámara digital marca NIKON P1000 (100x de zoom óptico), y cámara digital marca PANASONIC LUMIX FZ70 (60x de zoom óptico). Los recorridos fueron registrados con GPS Garmin eTrex 30. Tomando en cuenta las limitaciones de movilidad y restricciones de ingreso debido a la pandemia, durante la fase de campo, la experiencia y conocimiento de estos ecosistemas por parte de los observadores fue muy relevante al momento de levantar la información, principalmente en la identificación de aves, dada la rapidez con que se mueven algunas especies.

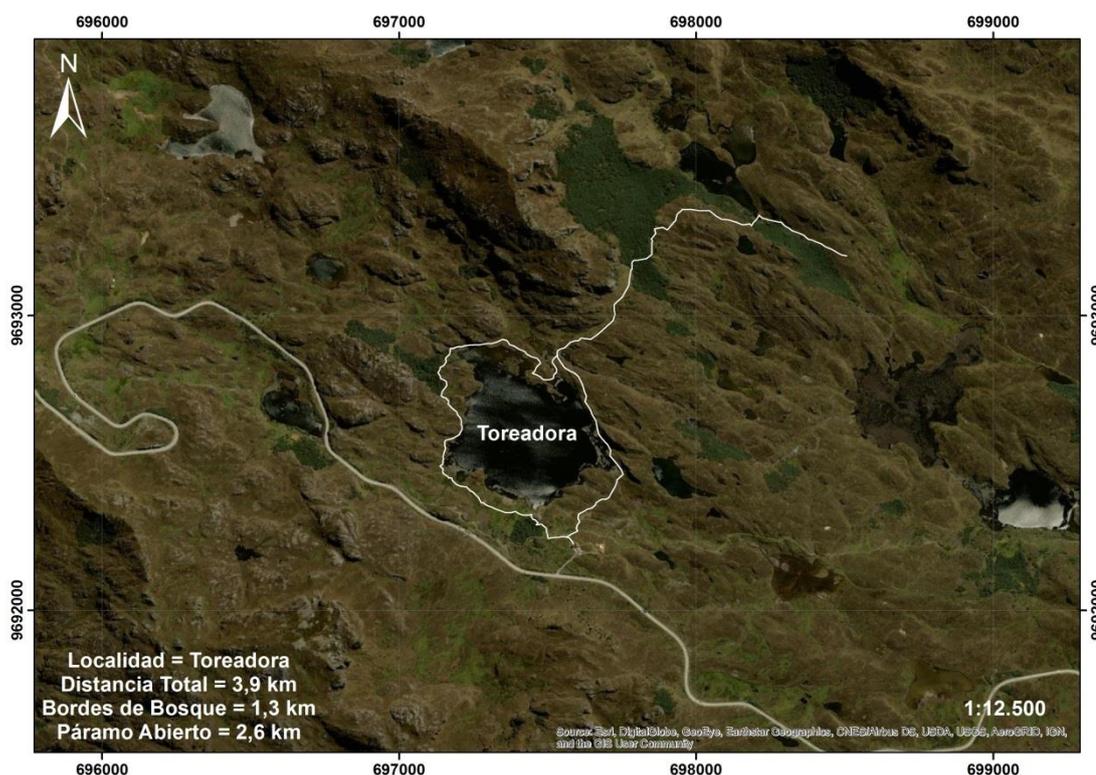
A continuación se muestra la localización específica de cada localidad, rangos de altura, así como la distancia recorrida en cada sitio y por cada salida de campo.

#### **1.2.1.1. Localidad Toreadora**

La localidad Toreadora se ubica en el Parque Nacional Cajas (PNC), provincia del Azuay, caracterizada por ser uno de los sectores dentro del PNC con mayor afluencia de visitantes, nacionales y extranjeros, a lo largo del año. En esta localidad podemos encontrar un centro de interpretación y restaurante como estructuras, y la laguna

Toreadora como el principal atractivo. Los recorridos de observación se hicieron en un rango de altura de 3840 – 3950 m s.n.m. La distancia total recorrida fue de 3,9 km, dividida en 1,3 km en bordes de bosque y 2,6 km en páramo abierto (Figura 2).

Figura 2. Localidad Toreadora.



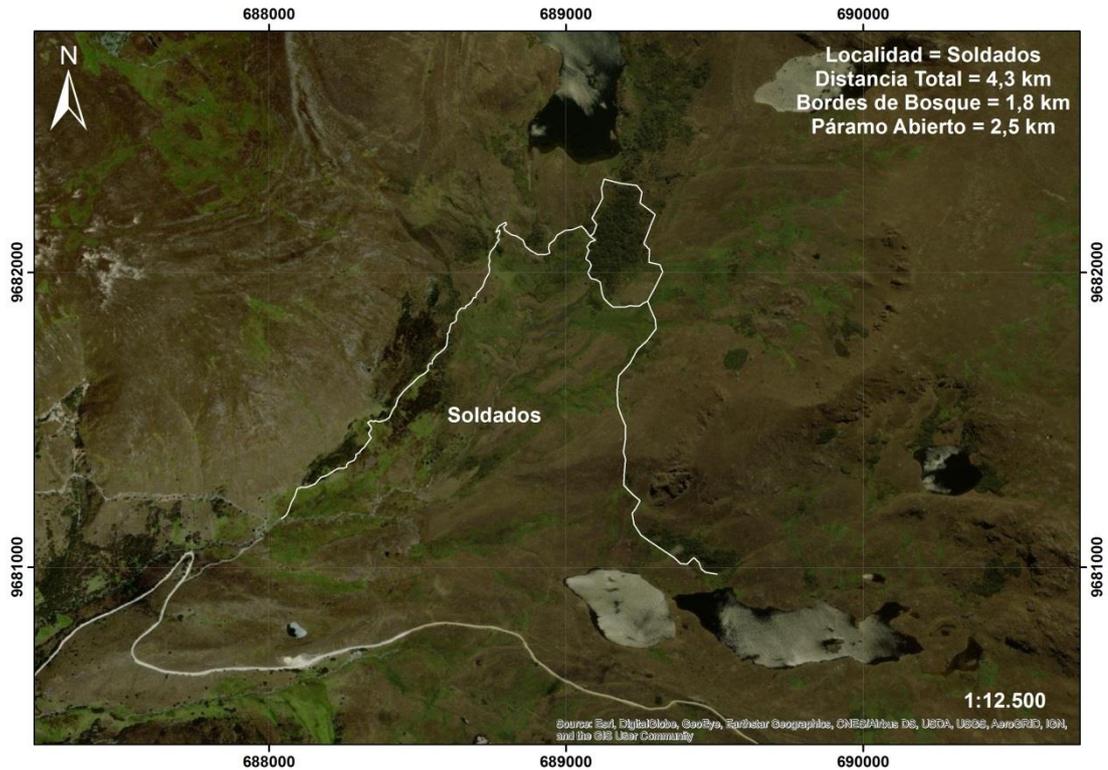
Fuente: ArcGIS 10.4.1., Xavier Iñiguez Vela.

### 1.2.1.2. Localidad Soldados

La localidad Soldados se ubica también en el PNC, provincia del Azuay. No es un sector en donde se observe personas con frecuencia, pero se observan comúnmente caballos y vacas recorriendo el páramo abierto y utilizando los parches de bosque tal vez en las noches para protegerse del frío, ya que se pudieron observar huellas de presencia entre los parches, principalmente heces. Los recorridos de observación se hicieron en un rango de altura de 3810 – 3960 m s.n.m. La distancia total recorrida

fue de 4,3 km, dividida en 1,8 km en bordes de bosque y 2,5 km en páramo abierto (Figura 3).

Figura 3. Localidad Soldados.

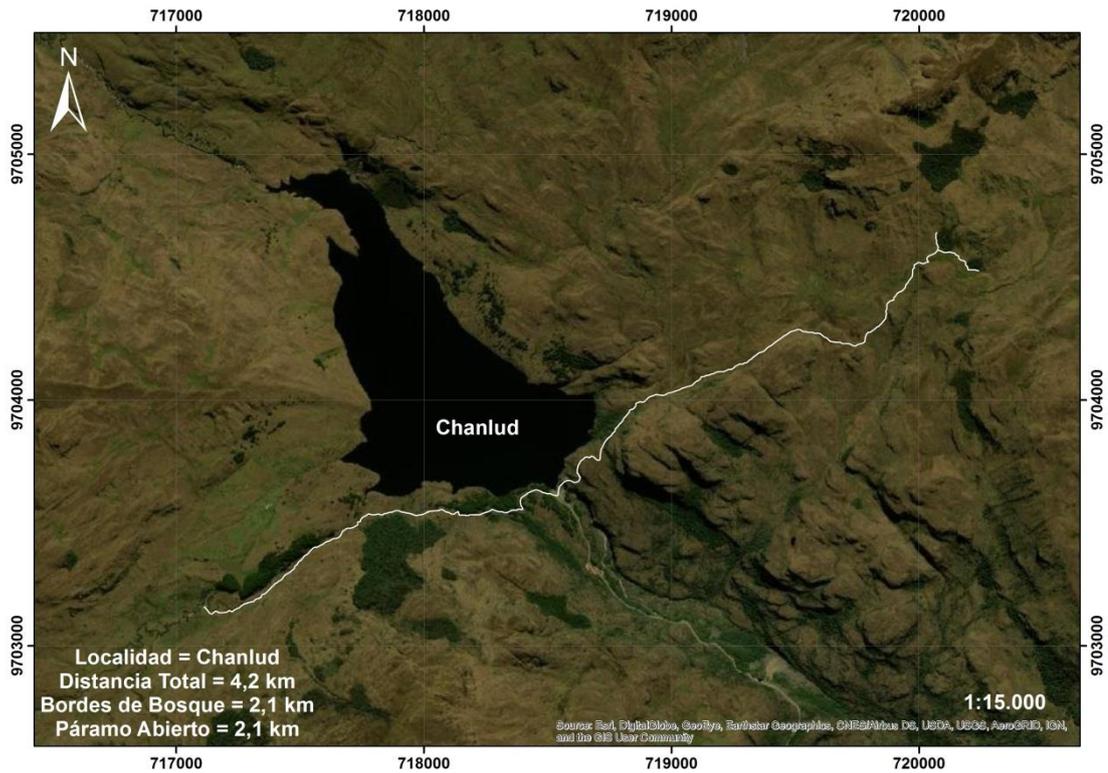


Fuente: ArcGIS 10.4.1., Xavier Iñiguez Vela.

### 1.2.1.2. Localidad Chanlud

La localidad Chanlud se ubica en el Bosque Protector Machángara Tomebamba, entre las provincias del Azuay y Cañar, localidad manejada por ELECAUSTRO debido a los proyectos hidroeléctricos Chanlud y El Labrado. En este sector el ingreso es restringido a las personas. Los recorridos de observación se hicieron en un rango de altura de 3530 – 3730 m s.n.m. La distancia total recorrida fue de 4,2 km, dividida en 2,1 km en bordes de bosque y 2,1 km en páramo abierto (Figura 4).

Figura 4. Localidad Chanlud.



Fuente: ArcGIS 10.4.1., Xavier Iñiguez Vela.

### 1.2.2. Tabulación de Datos y Análisis Estadístico

Se conformaron listas de especies de aves y plantas, interacciones entre ellas, y la parte vegetativa con que se observó la interacción. En este estudio se consideró como interacción solamente cuando existió contacto con la parte vegetativa por parte del ave con el uso del pico, no se registraron como interacciones aquellas observaciones en que el ave estuvo perchada, o en el caso de los colibríes, suspendidos en vuelo junto a las plantas. Las interacciones con especies de *Gynoxys*, con excepción de *G. miniphylla* (Familia: Asteraceae), se tabularon hasta nivel de género debido a la complejidad en su identificación (Tinoco et al., 2013), así como con las especies de *Polylepis* (Familia: Rosaceae), para conformar las redes de interacciones.

Durante los recorridos pudimos observar que una interacción de varias especies se da en el suelo del páramo, y que este se compone de una variedad de hierbas y rosetas pequeñas con flores, siendo al mismo tiempo hospedero de artrópodos, sin embargo, debido a la rapidez con que interactúan las aves y la dificultad de asegurar con qué planta interactuaban ya que al acercarnos, estas se alejaban, se decidió considerar este hábitat como un todo, “páramo herbáceo, almohadilla”, e incluirlo en la red con este nombre.

Se procesaron cuatro redes de interacciones, una por localidad y una global, utilizando el paquete Bipartite Version 2.16: Analysis of bipartite ecological webs, en el software R (R Development Core Team, 2012), RStudio Version 1.4.1106. Este proceso incluyó la generación gráfica de las redes y el cálculo de índices a nivel de red y especie, considerando a las aves como el nivel trófico superior y a las plantas como el inferior (columnas y filas respectivamente), generando tablas en el software Excel, con las especies de ambos grupos colocadas en orden decreciente de interacciones, y grabándolas en formato txt para utilizarlas en R. Las redes gráficas resultan de forma horizontal con las aves en la parte superior, sin embargo para facilitar su visualización, se giraron 90° quedando las plantas al lado izquierdo y las aves al lado derecho.

Las tablas incluyeron la frecuencia de las interacciones, definiendo la frecuencia en este estudio como la repetición de la interacción en cada salida, es decir, si una interacción se observó siempre, tuvo una frecuencia máxima de tres por localidad, o de nueve de forma global. Este ajuste se realizó debido a que lo que se buscó en este estudio fue conocer las plantas que las aves utilizan en la búsqueda de algún recurso alimenticio, de forma general, no de forma más específica como por ejemplo una red de polinizadores y flores, o una red de predadores y presas, de esta manera, las observaciones repetidas de una interacción se interpretan como la preferencia de una especie por otra, probablemente debido a una mayor presencia de recursos, o como la confirmación de su ocurrencia.

Se calcularon índices a nivel de red, comando “networklevel”, y a nivel de especie, comando “specieslevel”. Estos índices se utilizan para describir la topología de una red de interacciones (Dormann et al., 2008; Martínez-Falcón et al., 2019). A nivel de red se analizaron los índices Conectancia (Connectance, C), Anidamiento Ponderado (Weighted NODF, W-NODF), Especialización (H2) y Diversidad de Shannon (Shannon diversity, S), índices que se calculan a partir de datos cuantitativos. El índice de conectancia hace referencia a la proporción entre las interacciones observadas y el total posible dentro de la red (como se cita en Ramírez, 2013 y Martínez-Falcón et al., 2019). El anidamiento ponderado hace relación a las interacciones entre especies generalistas cuando aquellas especialistas también interactúan con las generalistas (como se cita en Martínez-Falcón et al., 2019), con valores entre 0, para una distribución aleatoria, y 100 para un perfecto anidamiento. H2 es una medida de especialización a nivel de red y se utiliza para compararla entre redes bipartitas, pudiendo ser sensible al tamaño de la red (como se cita en Martínez-Falcón et al., 2019), con valores entre 0, para una red sin especialización, y 1 para una red completamente especializada. La Diversidad de Shannon al igual que en un estudio de diversidad de especies, hace referencia a la diversidad de interacciones (como se cita en Martínez-Falcón et al., 2019). Todos los índices se analizaron para las cuatro redes, con excepción de H2 que no se analizó para la red global.

A nivel de especie, para ambos grupos tróficos, se analizaron los índices Grado (Degree, D), Fuerza de Conexión de Especies (Species Strength, SS) y el Índice de Diferencias Pareadas (Paired Differences Index, PDI). El grado expresa el número de interacciones que tiene cada especie, la fuerza de conexión de especies mide la relevancia de una especie de un nivel trófico para las especies del otro nivel trófico, y el índice de diferencias pareadas que mide la intensidad de la interacción entre una especie con el resto, calculando su grado de especialización, con valores entre 0 para mostrar generalismo, y 1 para especialismo (como se cita en Ramírez, 2013 y Martínez-Falcón et al., 2019).

La representatividad del muestreo se evaluó con la elaboración de curvas de acumulación de interacciones, método de rarefacción, utilizando también el software

R a través del paquete Vegan (Jordano et al., 2009; Fernández, 2019). Las especies fueron identificadas utilizando las guías Aves del Ecuador (Ridgely & Greenfield, 2006), Birds of Ecuador (Freile & Restall, 2018), y Flora del Páramo del Cajas (Minga et al., 2019). Para mejor visualización de la red gráfica los nombres de las aves fueron simplificados, género solo la primera letra en mayúscula, seguido por el nombre específico en minúsculas.

### 1.3. RESULTADOS

#### 1.3.1. Localidad Toreadora

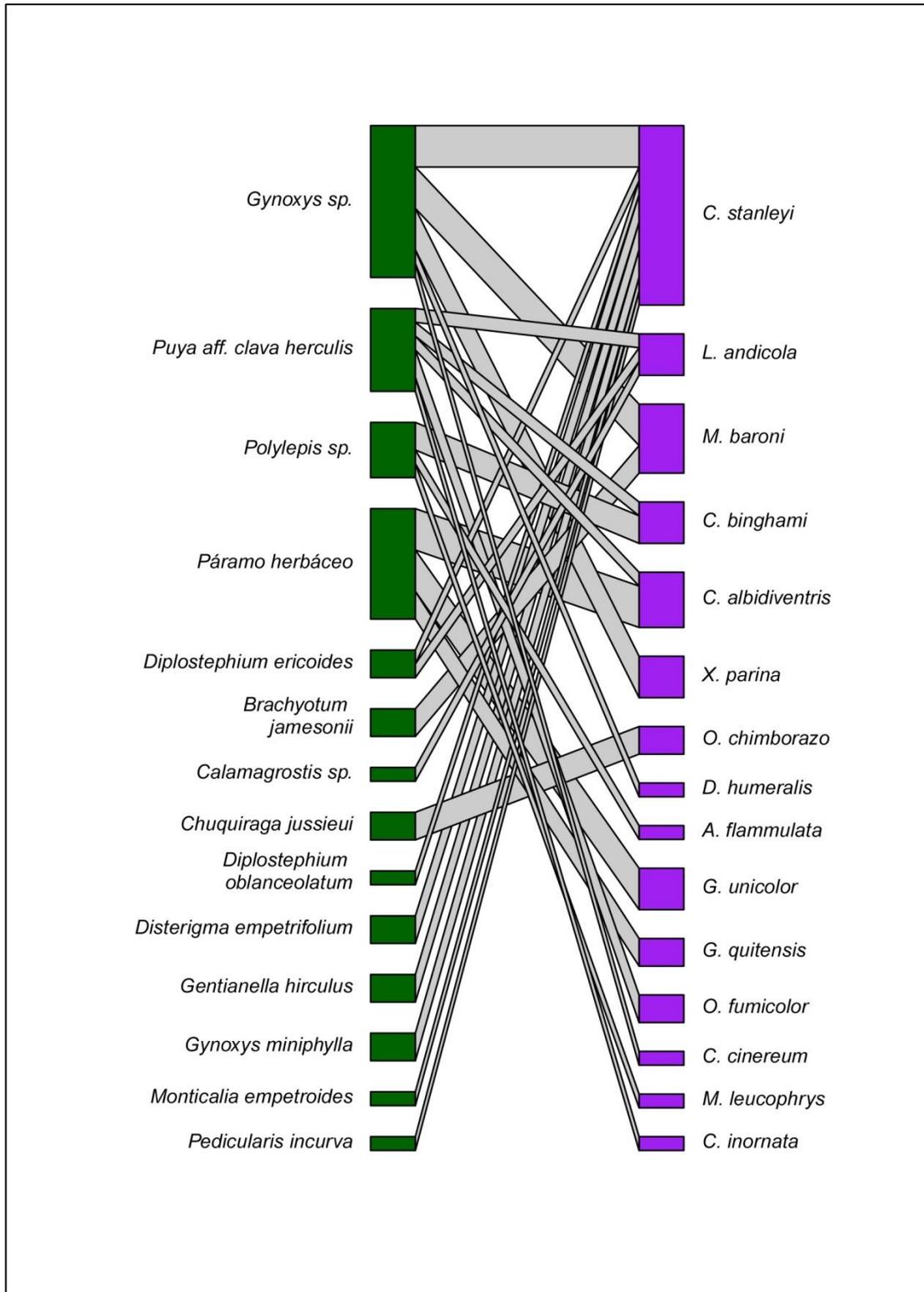
Se identificaron 15 especies de aves y 14 especies de plantas interactuando en esta localidad. De las 210 interacciones posibles se registraron 45, resultando en una conectancia  $C = 0,129$ . Solamente cinco especies de aves tuvieron la frecuencia máxima de observaciones, el colibrí endémico Metalura Gorjivioleta *Metallura baroni*, Picoespina Dorsizaul *Chalcostigma stanleyi* y el Azulito Altoandino *Xenodacnis parina*, todos con el género *Gynoxys*, el Cinclodes Alifranjeado *Cinclodes albidiventris* y el Frigilo Plomizo *Geospizopsis unicolor*, ambos con el grupo páramo herbáceo, almohadilla (Tabla 1, Figura 5).

Tabla 1. Frecuencia de interacciones, localidad Toreadora.

Ave: Nombre Científico	Planta: Nombre Científico	Frecuencia
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	3
<i>Metallura baroni</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	3
<i>Cinclodes albidiventris</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	3
<i>Xenodacnis parina</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	3
<i>Geospizopsis unicolor</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	3
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Gynoxys miniphylla</i>	2
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Disterigma empetrifolium</i>	2
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Gentianella hirculus</i>	2
<i>Metallura baroni</i>	<i>Brachyotum jamesonii</i>	2
<i>Conirostrum binghami</i>	<i>Polylepis</i> sp.	2

<b>Ave: Nombre Científico</b>	<b>Planta: Nombre Científico</b>	<b>Frecuencia</b>
<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	<i>Chuquiraga jussieui</i>	2
<i>Grallaria quitensis</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	2
<i>Ochthoeca fumicolor</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	2
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Pedicularis incurva</i>	1
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Diplostephium oblanceolatum</i>	1
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Diplostephium ericoides</i>	1
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Monticalia empetroides</i>	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Calamagrostis</i> sp.	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Diplostephium ericoides</i>	1
<i>Conirostrum binghami</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Cinclodes albidiventris</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Diglossa humeralis</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Asthenes flammulata</i>	<i>Polylepis</i> sp.	1
<i>Catamenia inornata</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Conirostrum cinereum</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Mecocerculus leucophrys</i>	<i>Polylepis</i> sp.	1

Figura 5. Red de interacciones, localidad Toreadora.



Los índices a nivel de red resultaron en:  $W\text{-NODF} = 7,398$ ;  $H2 = 0,456$  y  $S = 3,19$ . A nivel de especie, entre las aves, *C. stanleyi* mostró un mayor generalismo y fuerza de

conexión, así como con un mayor grado  $D = 8$ , seguida por *L. andicola*, *M. baroni*. Aunque *C. binghami* y *C. albidiventris* tuvieron el mismo valor de  $D$  que *M. baroni*, sus  $SS$  resultaron notoriamente menores y sus  $PDI$  mayores (Tabla 2). Entre las plantas fue *Gynoxys* sp., y *Puya* aff. *clava herculis* las que resultaron con un mayor grado  $D = 5$  para ambas, un mayor generalismo y fuerza de conexión, seguidas por *Polylepis* sp., y el grupo “Páramo herbáceo, almohadilla” (Tabla 3).

Tabla 2. Índices a nivel de especie, aves, localidad Toreadora.

Aves Nectarívoras	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	8	6,773	0,744
<i>Leptasthenura andicola</i>	3	1,667	0,846
<i>Metallura baroni</i>	2	1,273	0,949
<i>Conirostrum binghami</i>	2	0,667	0,962
<i>Cinclodes albidiventris</i>	2	0,542	0,974
<i>Xenodacnis parina</i>	1	0,273	1,000
<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	1	1,000	1,000
<i>Diglossa humeralis</i>	1	0,091	1,000
<i>Asthenes flammulata</i>	1	0,250	1,000
<i>Geospizopsis unicolor</i>	1	0,375	1,000
<i>Grallaria quitensis</i>	1	0,250	1,000
<i>Ochthoeca fumicolor</i>	1	0,333	1,000
<i>Coniristrum cinereum</i>	1	0,091	1,000
<i>Mecocerculus leucophrys</i>	1	0,250	1,000
<i>Catamenia inornata</i>	1	0,167	1,000

Tabla 3. Índices a nivel de especie, plantas, localidad Toreadora.

Plantas	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Gynoxys</i> sp.	5	3,831	0,810
<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	5	2,917	0,857
<i>Polylepis</i> sp.	3	2,667	0,929
Páramo herbáceo, almohadilla	3	2,750	0,881
<i>Diplostephium ericoides</i>	2	0,410	0,929
<i>Brachyotum jamesonii</i>	1	0,400	1,000
<i>Calamagrostis</i> sp.	1	0,333	1,000
<i>Chuquiraga jussieui</i>	1	1,000	1,000
<i>Diplostephium oblanceolatum</i>	1	0,077	1,000

Plantas	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Disterigma empetrifolium</i>	1	0,154	1,000
<i>Gentianella hirculus</i>	1	0,154	1,000
<i>Gynoxys miniphylla</i>	1	0,154	1,000
<i>Monticalia empetroides</i>	1	0,077	1,000
<i>Pedicularis incurva</i>	1	0,077	1,000

### 1.3.2. Localidad Soldados

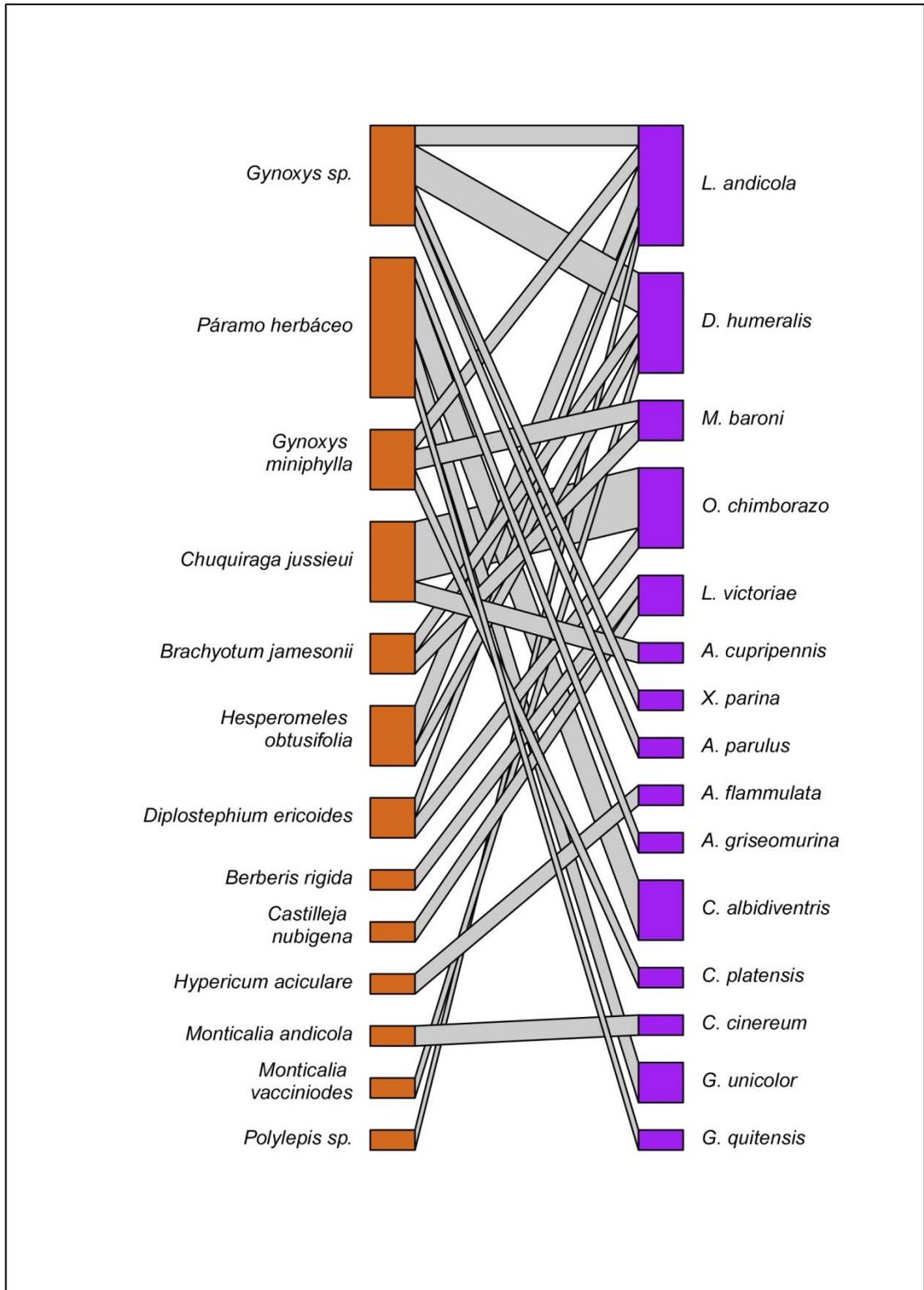
Se identificaron 15 especies de aves interactuando con 13 especies de plantas en esta localidad. De las 195 interacciones posibles se registraron 32, resultando en una conectancia  $C = 0,128$ . Solamente dos especies de aves tuvieron la frecuencia máxima de observaciones, la Estrella Ecuatoriana *Oreotrochilus chimborazo* con la Chuquiragua *Chuquiraga jussieui*, y el Cinclodes Alifranjeado *Cinclodes albidiventris*, ambos con el grupo “páramo herbáceo, almohadilla” (Tabla 4, Figura 6).

Tabla 4. Frecuencia de interacciones, localidad Soldados.

Ave: Nombre Científico	Planta: Nombre Científico	Frecuencia
<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	<i>Chuquiraga jussieui</i>	3
<i>Cinclodes albidiventris</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	3
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	2
<i>Diglossa humeralis</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	2
<i>Geospizopsis unicolor</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	2
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Diplostephium ericoides</i>	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Polylepis</i> sp.	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Gynoxys miniphylla</i>	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Diglossa humeralis</i>	<i>Monticalia vacciniodes</i>	1
<i>Diglossa humeralis</i>	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	1
<i>Diglossa humeralis</i>	<i>Brachyotum jamesonii</i>	1
<i>Metallura baroni</i>	<i>Brachyotum jamesonii</i>	1
<i>Metallura baroni</i>	<i>Gynoxys miniphylla</i>	1
<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	<i>Diplostephium ericoides</i>	1
<i>Lesbia victoriae</i>	<i>Castilleja nubigena</i>	1

<b>Ave: Nombre Científico</b>	<b>Planta: Nombre Científico</b>	<b>Frecuencia</b>
<i>Lesbia victoriae</i>	<i>Berberis rigida</i>	1
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	<i>Chuquiraga jussieui</i>	1
<i>Xenodacnis parina</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Anairetes parulus</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Asthenes flammulata</i>	<i>Hypericum aciculare</i>	1
<i>Asthenes griseomurina</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	1
<i>Cistothorus platensis</i>	<i>Gynoxys miniphylla</i>	1
<i>Conirostrum cinereum</i>	<i>Monticalia andicola</i>	1
<i>Grallaria quitensis</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	1

Figura 6. Red de interacciones, localidad Soldados.



Los índices a nivel de red resultaron en: W-NODF = 3,415; H2 = 0,338 y S = 3,13. A nivel de especie, entre las aves, *L. andicola* y *D. humeralis* mostraron un mayor

generalismo y fuerza de conexión, así como con un mayor grado (D = 5, D = 4, respectivamente) seguidas por *M. baroni*, *O. chimborazo* y *L. victoriae* con un D = 2. Entre estas tres especies, aunque obtuvieron valores similares de PDI, sus SS tuvieron diferencias notorias (Tabla 5). Entre las plantas fue *Gynoxys* sp., “Páramo herbáceo, almohadilla” y la única especie que se identificó de *Gynoxys*, *G. miniphylla*, las que resultaron con mayores valores de grado (D = 4, D = 4 y D = 3, respectivamente). Si bien sus valores de PDI fueron similares, mostrando un mayor generalismo, sus SS tuvieron una diferencia notable. *Chuquiraga jussieui* obtuvo un valor de grado D = 2, sin embargo su SS fue mayor que *G. miniphylla* con un D = 3 (Tabla 6).

Tabla 5. Índices a nivel de especie, aves, localidad Soldados.

Aves	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Leptasthenura andicola</i>	5	2,700	0,833
<i>Diglossa humeralis</i>	4	2,233	0,875
<i>Metallura baroni</i>	2	0,833	0,917
<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	2	1,250	0,972
<i>Lesbia victoriae</i>	2	2,000	0,917
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	1	0,250	1,000
<i>Xenodacnis parina</i>	1	0,200	1,000
<i>Anairetes parulus</i>	1	0,200	1,000
<i>Asthenes flammulata</i>	1	1,000	1,000
<i>Asthenes griseomurina</i>	1	0,143	1,000
<i>Cinclodes albidiventris</i>	1	0,429	1,000
<i>Cistothorus platensis</i>	1	0,333	1,000
<i>Conirostrum cinereum</i>	1	1,000	1,000
<i>Geospizopsis unicolor</i>	1	0,286	1,000
<i>Grallaria quitensis</i>	1	0,143	1,000

Tabla 6. Índices a nivel de especie, plantas, localidad Soldados.

Plantas	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Gynoxys</i> sp.	4	2,567	0,893
Páramo herbáceo, almohadilla	4	4,000	0,905
<i>Gynoxys miniphylla</i>	3	1,667	0,857

Plantas	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Chuquiraga jussieui</i>	2	1,750	0,976
<i>Brachyotum jamesonii</i>	2	0,700	0,929
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	2	0,533	0,964
<i>Diplostephium ericoides</i>	2	0,417	0,929
<i>Berberis rigida</i>	1	0,500	1,000
<i>Castilleja nubigena</i>	1	0,500	1,000
<i>Hypericum aciculare</i>	1	1,000	1,000
<i>Monticalia andicola</i>	1	1,000	1,000
<i>Monticalia vacciniodes</i>	1	0,200	1,000
<i>Polylepis</i> sp.	1	0,167	1,000

### 1.3.3. Localidad Chanlud

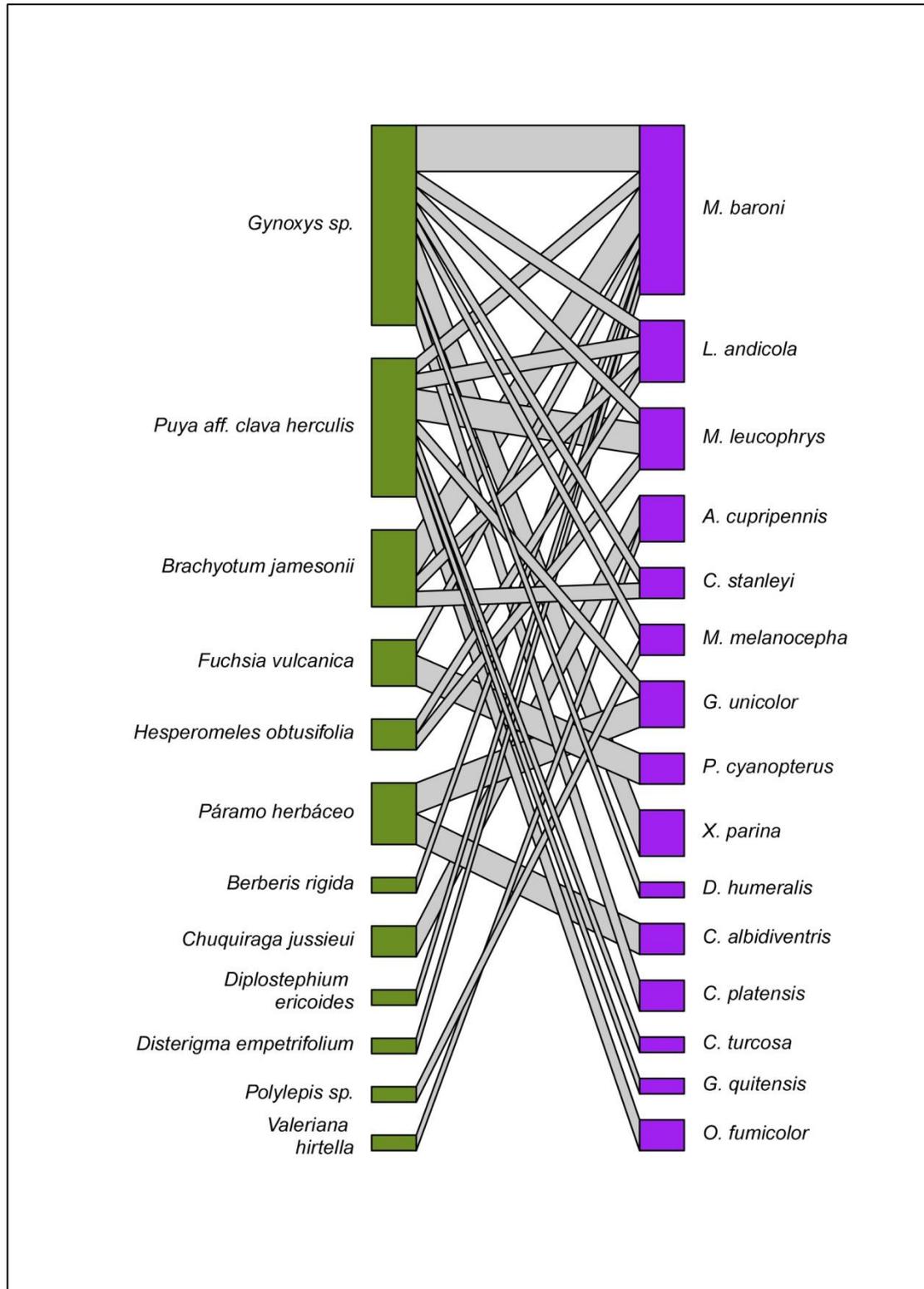
Se identificaron 15 especies de aves y 12 especies de plantas interactuando en esta localidad. De las 180 interacciones posibles se registraron 42, resultando en una conectancia  $C = 0,167$ . Solamente el colibrí endémico *Metallura baroni* y el Azulito Altoandino *Xenodacnis parina* mostraron la máxima frecuencia, ambos con el grupo *Gynoxys* sp., y en el caso de *M. baroni* también con la Zarza *Brachyotum jamesonii* (Tabla 7, Figura 7).

Tabla 7. Frecuencia de interacciones, localidad Chanlud.

Ave: Nombre Científico	Planta: Nombre Científico	Frecuencia
<i>Metallura baroni</i>	<i>Brachyotum jamesonii</i>	3
<i>Metallura baroni</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	3
<i>Xenodacnis parina</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	3
<i>Mecocerculus leucophrys</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	2
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	<i>Chuquiraga jussieui</i>	2
<i>Geospizopsis unicolor</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	2
<i>Pterophanes cyanopterus</i>	<i>Fuchsia vulcanica</i>	2
<i>Cinclodes albidiventris</i>	Páramo herbáceo, almohadilla	2
<i>Cistothorus platensis</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	2
<i>Ochthoeca fumicolor</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	2
<i>Metallura baroni</i>	<i>Berberis rigida</i>	1
<i>Metallura baroni</i>	<i>Disterigma empetrifolium</i>	1
<i>Metallura baroni</i>	<i>Diplostephium ericoides</i>	1

<b>Ave: Nombre Científico</b>	<b>Planta: Nombre Científico</b>	<b>Frecuencia</b>
<i>Metallura baroni</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Metallura baroni</i>	<i>Fuchsia vulcanica</i>	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	1
<i>Leptasthenura andicola</i>	<i>Brachyotum jamesonii</i>	1
<i>Mecocerculus leucophrys</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Mecocerculus leucophrys</i>	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	1
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	<i>Valeriana hirtella</i>	1
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Brachyotum jamesonii</i>	1
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Myioborus melanocephalus</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Myioborus melanocephalus</i>	<i>Polylepis</i> sp.	1
<i>Geospizopsis unicolor</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Diglossa humeralis</i>	<i>Gynoxys</i> sp.	1
<i>Cyanolyca turcosa</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1
<i>Grallaria quitensis</i>	<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	1

Figura 7. Red de interacciones, localidad Chanlud.



Los índices a nivel de red resultaron en: W-NODF = 8,466; H2 = 0,309 y S = 3,31. A nivel de especie, entre las aves, *M. baroni* mostró un mayor generalismo y fuerza de

conexión (Tabla 8), así como con un mayor grado ( $D = 7$ ). *L. andicola* siguió en grado  $D = 4$ , mostrando también generalismo, aunque su fuerza de conexión fue menor que otras especies que tuvieron un menor grado. *M. leucophrys*, resultó con un  $D = 3$  y siguió a las dos anteriores en generalismo, aunque así como *L. andicola*, resultó con un SS menor a otras que obtuvieron menor D. Entre las plantas fue *Gynoxys* sp., y *Puya* aff. *clava herculis* las que resultaron con mayores valores de grado ( $D = 8$  y  $D = 7$ , respectivamente), aunque sus valores de SS y PDI resultaron menores que otras con un D menor (Tabla 9).

Tabla 8. Índices a nivel de especie, aves, localidad Chanlud.

Aves	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Metallura baroni</i>	7	4,275	0,758
<i>Leptasthenura andicola</i>	4	0,888	0,727
<i>Mecocerculus leucophrys</i>	3	0,799	0,909
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	2	2,000	0,955
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	2	0,277	0,909
<i>Myioborus melanocephalus</i>	2	1,077	0,909
<i>Geospizopsis unicolor</i>	2	0,611	0,955
<i>Pterophanes cyanopterus</i>	1	0,667	1,000
<i>Xenodacnis parina</i>	1	0,231	1,000
<i>Diglossa humeralis</i>	1	0,077	1,000
<i>Cinclodes albidiventris</i>	1	0,500	1,000
<i>Cistothorus platensis</i>	1	0,154	1,000
<i>Cyanolyca turcosa</i>	1	0,111	1,000
<i>Grallaria quitensis</i>	1	0,111	1,000
<i>Ochthoeca fumicolor</i>	1	0,222	1,000

Tabla 9. Índices a nivel de especie, plantas, localidad Chanlud.

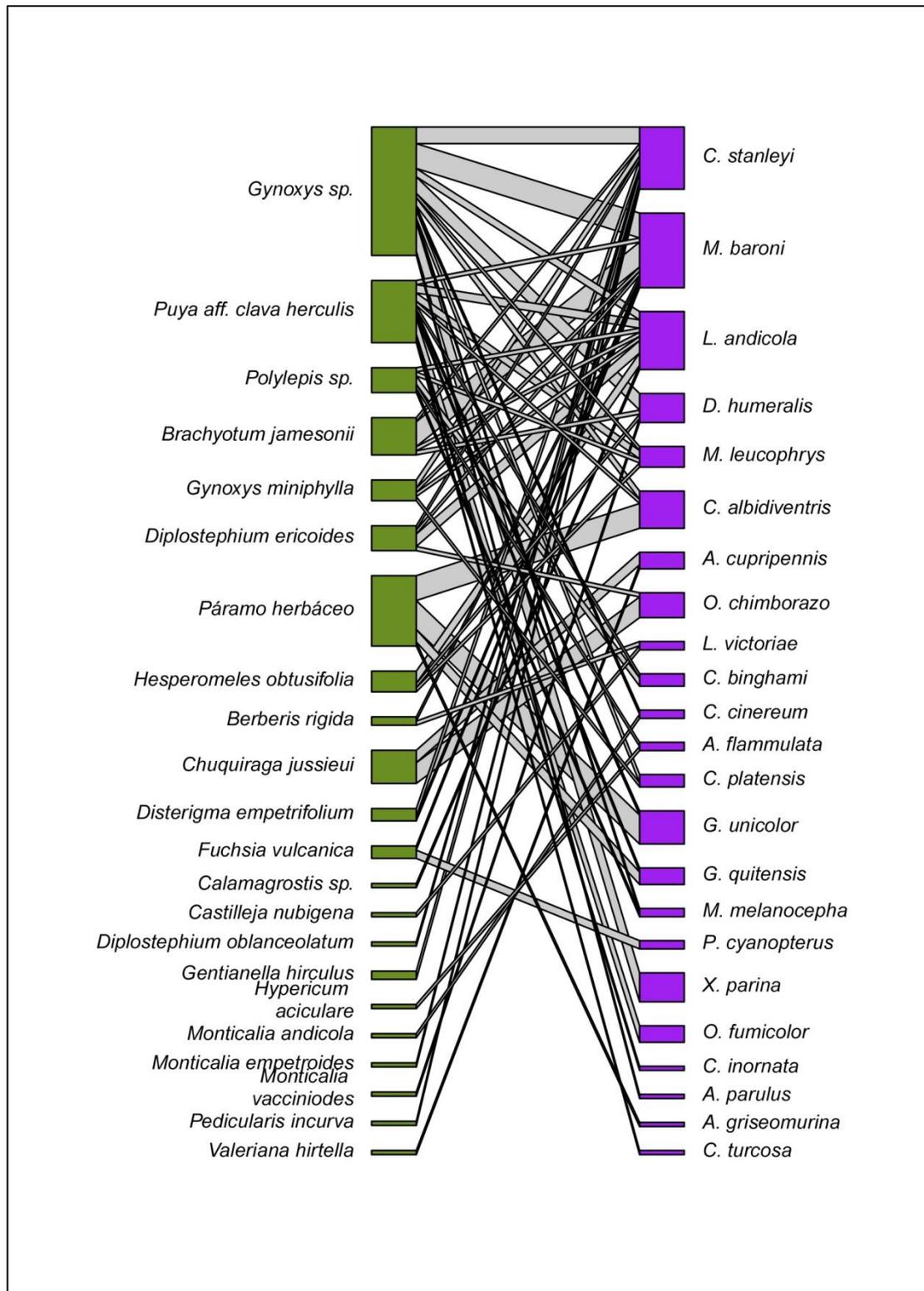
Plantas	Degree (D)	Species Strength (SS)	Paired Differences Index (PDI)
<i>Gynoxys</i> sp.	8	4,773	0,762
<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	7	4,174	0,750
<i>Brachyotum jamesonii</i>	3	1,023	0,952
<i>Fuchsia vulcanica</i>	2	1,091	0,964
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	2	0,500	0,929
Páramo herbáceo, almohadilla	2	1,667	0,929

<b>Plantas</b>	<b>Degree (D)</b>	<b>Species Strength (SS)</b>	<b>Paired Differences Index (PDI)</b>
<i>Berberis rigida</i>	1	0,091	1,000
<i>Chuquiraga jussieui</i>	1	0,667	1,000
<i>Diplostephium ericoides</i>	1	0,091	1,000
<i>Disterigma empetrifolium</i>	1	0,091	1,000
<i>Polylepis</i> sp.	1	0,500	1,000
<i>Valeriana hirtella</i>	1	0,333	1,000

#### **1.3.4. Análisis global del área de estudio**

Tomando en cuenta las tres localidades, como un todo, se identificaron 23 especies de aves y 22 especies de plantas interactuando. De las 506 interacciones posibles se registraron 62 (Figura 8), resultando en una conectancia  $C = 0,125$ . Ninguna de las especies mostró una frecuencia máxima. Solamente las interacciones del colibrí endémico *M. baroni* con la Zarza *B. jamesonii*, las del Azulito Altoandino *X. parina* y el Pinchaflor Negro *Diglossa humeralis* con el grupo *Gynoxys*, y las del Cinclodes Alifranjeado *C. albidiventris* y el Frigilo Plomizo *G. unicolor* con el grupo páramo herbáceo, almohadilla, fueron registradas en las tres localidades.

Figura 8. Red de interacciones, análisis global.



Los índices a nivel de red resultaron en: W-NODF = 10,668 y S = 3,88. A nivel de especie, entre las aves, *C. stanleyi*, *M. baroni* y *L. andicola* mostraron un mayor

generalismo y fuerza de conexión, así como con un mayor grado (D = 9, D = 8 y D = 8, respectivamente). *D. humeralis* y *M. leucophrys* siguieron en valores de D (4 para ambas), sin embargo, aunque mostraron PDI similares, sus SS tuvieron una diferencia notable (Tabla 10). En el caso de *M. leucophrys* su valor de SS resultó menor que otras especies con un D menor. Entre las plantas fue *Gynoxys* sp., y *Puya* aff. *clava herculis* las que resultaron con mayores valores de grado (D = 11 y D = 10, respectivamente), mostrando valores de SS mayores a otras especies y valores de PDI menores, con esto su mayor fuerza de conexión con las especies del otro grupo trófico y un mayor generalismo (Tabla 11).

Tabla 10. Índices a nivel de especie, aves, análisis global.

<b>Aves</b>	<b>Degree (D)</b>	<b>Species Strength (SS)</b>	<b>Paired Differences Index (PDI)</b>
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	9	5,473	0,869
<i>Metallura baroni</i>	8	2,460	0,905
<i>Leptasthenura andicola</i>	8	2,776	0,825
<i>Diglossa humeralis</i>	4	1,440	0,964
<i>Mecocerculus leucophrys</i>	4	0,532	0,929
<i>Cinclodes albidiventris</i>	3	0,484	0,976
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	2	1,375	0,984
<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	2	0,792	0,990
<i>Lesbia victoriae</i>	2	1,500	0,952
<i>Conirostrum binghami</i>	2	0,400	0,976
<i>Conirostrum cinereum</i>	2	1,032	0,952
<i>Asthenes flammulata</i>	2	1,167	0,952
<i>Cistothorus platensis</i>	2	0,265	0,976
<i>Geospizopsis unicolor</i>	2	0,478	0,993
<i>Grallaria quitensis</i>	2	0,243	0,984
<i>Myioborus melanocephalus</i>	2	0,199	0,952
<i>Pterophanes cyanopterus</i>	1	0,667	1,000
<i>Xenodacnis parina</i>	1	0,226	1,000
<i>Ochthoeca fumicolor</i>	1	0,267	1,000
<i>Catamenia inornata</i>	1	0,067	1,000
<i>Anairetes parulus</i>	1	0,032	1,000
<i>Asthenes griseomurina</i>	1	0,059	1,000
<i>Cyanolyca turcosa</i>	1	0,067	1,000

Tabla 11. Índices a nivel de especie, plantas, análisis global.

<b>Plantas</b>	<b>Degree (D)</b>	<b>Species Strength (SS)</b>	<b>Paired Differences Index (PDI)</b>
<i>Gynoxys</i> sp.	11	5,403	0,844
<i>Puya</i> aff. <i>clava herculis</i>	10	4,418	0,875
<i>Polylepis</i> sp.	5	1,938	0,909
<i>Brachyotum jamesonii</i>	4	0,614	0,977
<i>Gynoxys miniphylla</i>	4	0,594	0,932
<i>Diplostephium ericoides</i>	4	0,503	0,955
Páramo herbáceo, almohadilla	4	3,292	0,935
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	3	0,557	0,970
<i>Berberis rigida</i>	2	0,556	0,955
<i>Chuquiraga jussieui</i>	2	1,583	0,973
<i>Disterigma empetrifolium</i>	2	0,189	0,977
<i>Fuchsia vulcanica</i>	2	1,056	0,977
<i>Calamagrostis</i> sp.	1	0,071	1,000
<i>Castilleja nubigena</i>	1	0,500	1,000
<i>Diplostephium oblanceolatum</i>	1	0,067	1,000
<i>Gentianella hirculus</i>	1	0,133	1,000
<i>Hypericum aciculare</i>	1	0,500	1,000
<i>Monticalia andicola</i>	1	0,500	1,000
<i>Monticalia empetroides</i>	1	0,067	1,000
<i>Monticalia vacciniodes</i>	1	0,143	1,000
<i>Pedicularis incurva</i>	1	0,067	1,000
<i>Valeriana hirtella</i>	1	0,250	1,000

### 1.3.5. Curvas de acumulación de interacciones

Figura 9. Curva de acumulación de interacciones, localidades Toreadora y Soldados.

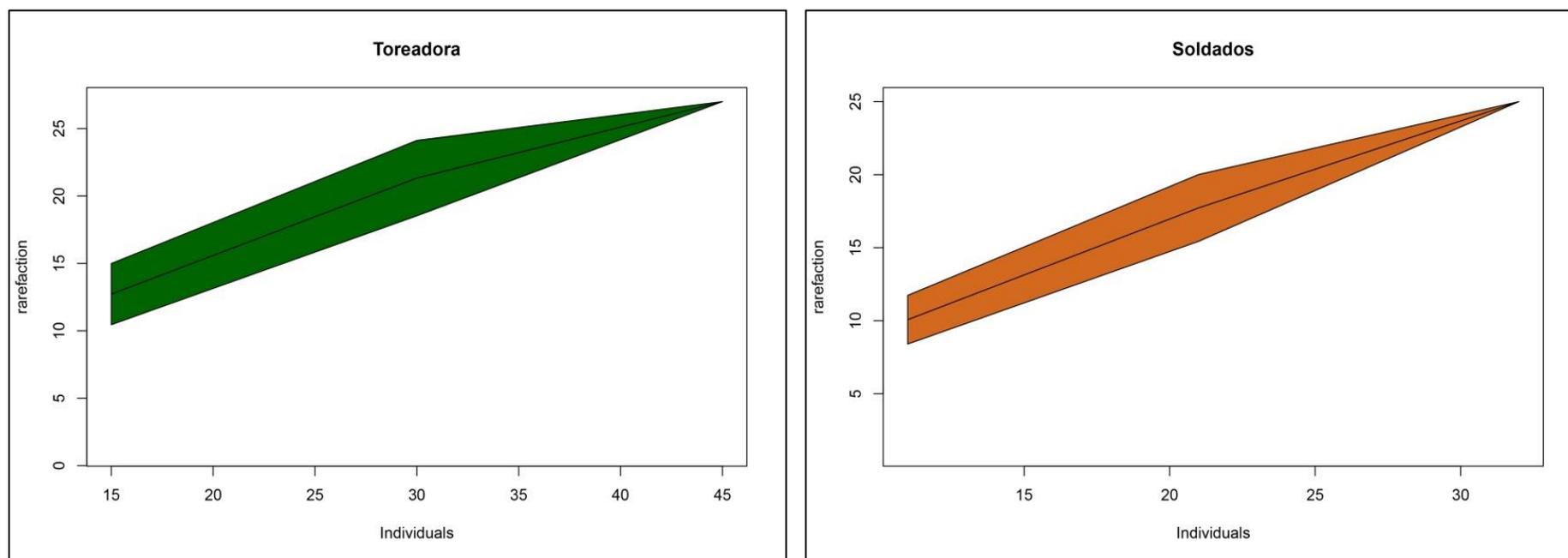
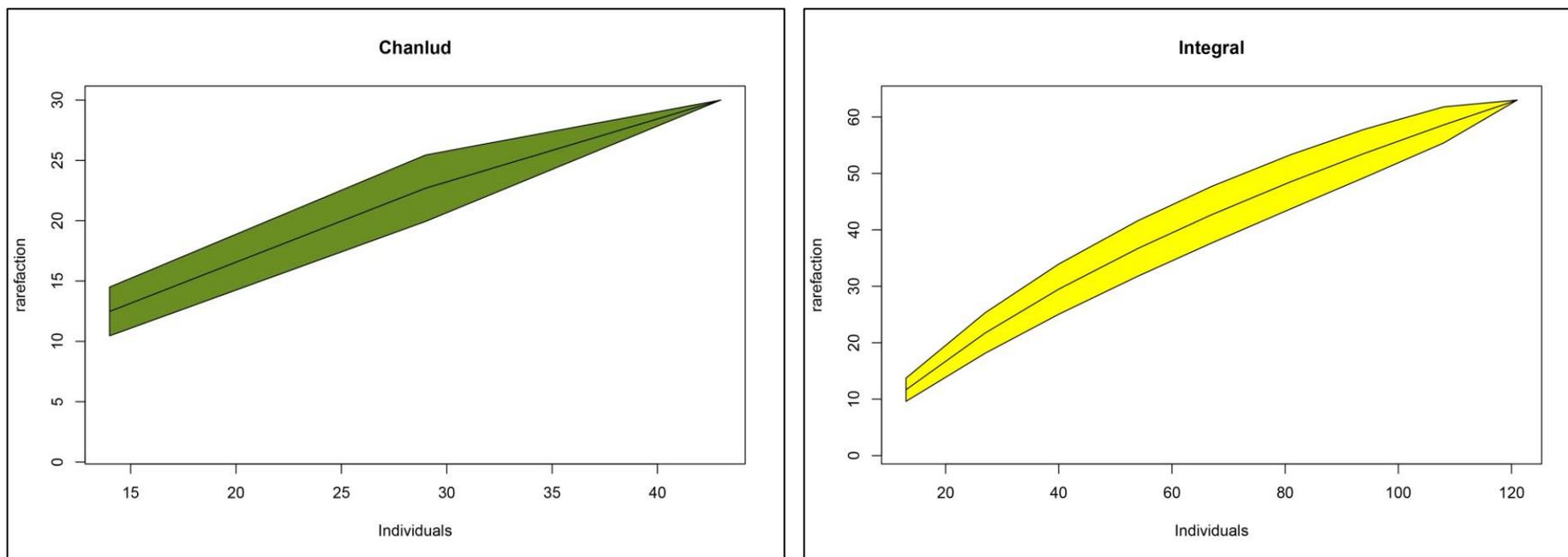


Figura 10. Curva de acumulación de interacciones, localidad Chanlud y análisis global.



## 1.4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Este estudio nos acerca al conocimiento sobre las interacciones entre aves y plantas en el ecosistema páramo, al sur del Ecuador. Estudios de este tipo en este ecosistema no han sido desarrollados y expuestos formalmente, hasta el momento. El siguiente capítulo de este trabajo trata también sobre interacciones en el páramo del PNC, utilizando información de ciencia ciudadana a través de la plataforma eBird. En esta sección se cotejarán de forma directa ambos resultados.

Las curvas de acumulación para las tres localidades, aunque contienen puntos de inflexión que podrían sugerir una tendencia hacia la estabilidad de la curva, muestran que el esfuerzo de muestreo, el trabajo de campo, hace falta intensificar. Sin embargo, los resultados obtenidos sobre la estructura de las redes, índices, y el generalismo de las especies, tanto aves como plantas, son resultados interesantes en cuanto al conocimiento de este ecosistema debido a su importancia como herramienta de gestión, pudiendo servir como base para continuar con estudios del mismo tipo, o más específicos y dirigidos hacia las especies que se muestran importantes dentro de las redes, por ejemplo, estudios que identifiquen las especies vegetales importantes para la conservación de hábitats y la fauna silvestre, con el fin de proponer y establecer programas de propagación y siembra, reforestación y rehabilitación de hábitats, identificación de plantas madre, y, que al mismo tiempo, pueden dirigir los esfuerzos de viveros comunitarios o programas universitarios de propagación de especies.

El índice de conectancia fue similar entre Toreadora, Soldados y la red general, pero superior en Chanlud, aunque no de forma significativa. Heleno et al. (2012) concluye que el valor de la conectancia no puede usarse como un indicador del valor de conservación por sí solo; Martínez-Falcón et al. (2019) cita que valores bajos de conectancia pueden reflejar una alta estabilidad en la red de interacciones incluso en el caso de extinciones puntuales; Díaz Valenzuela (2016) cita que los sitios que muestran un mayor grado de perturbación tienen valores más altos de conectancia.

Entonces, se puede sugerir que los ecosistemas estudiados presentan una estabilidad en las redes de interacción, ya que en todos los casos el valor de la conectancia fue menor a 0,2, considerando que el rango de este índice varía entre 0 y 1; sin embargo, en este contexto y con los resultados encontrados, la conclusión completa sería que fue la localidad de Soldados la que se encuentra en mejores condiciones de estabilidad, pero, la observación directa de señales de perturbación en esta localidad, caballos, vacas, heces de estos animales, áreas apisonadas por su tránsito, y huellas de vehículos (Figura 11), al contrario de lo observado en Chanlud y Toreadora, no permiten hacer esta aseveración. Con lo mencionado y lo encontrado en este estudio, se puede sugerir que la conclusión de Heleno et al. (2012) debe ser considerada con prioridad en los ecosistemas de páramo en el sur del Ecuador, para futuras investigaciones.

Figura 11. Registro de perturbaciones antropogénicas, localidad Soldados.



Fuente: Xavier Iñiguez Vela.

Los resultados del índice de anidamiento ponderado (W-NODF) resultaron en valores bajos en todos los casos, considerando su rango, mostrando una distribución aleatoria. El análisis global muestra un valor de 10,6 mientras que por localidad todos son menores a 10. Según lo citado por Gonzales et al. (2019), este índice se considera como un indicador de la resistencia de las comunidades a la perturbación. Entre los resultados del programa R se encuentra además que en la red global la modularidad es igual a 1, en Chanlud y Toreadora es igual a 2, mientras que en Soldados es igual a 5. Estos resultados diferentes a 1 se presentan cuando hay grupos de interacciones dentro de la red (Ramírez, 2013; Martínez-Falcón et al., 2019), y estos patrones aparentemente ayudan a incrementar la estabilidad de una red de interacciones en sitios disturbados (Tylianakis et al., 2010; como se cita en Ramon-Robles et al., (2018), aunque estudios sobre la importancia de esta modularidad todavía son pocos (Tylianakis et al., 2010). Estos resultados, junto con lo mencionado en el párrafo anterior, parecen ser adecuados para entender cómo se estructuran las redes de interacción en los ecosistemas estudiados, aunque tenemos que considerar la necesidad de generar más estudios y lo mucho que queda por entender sobre estos ecosistemas.

Los resultados del índice H2 sugieren que las redes en cada localidad tienden a no ser especializadas sino con un patrón generalista (Martínez-Falcón et al., 2019), lo cual en un enfoque funcional, puede resultar en un mantenimiento adecuado de los ecosistemas, ya que redes completamente especialistas pueden sufrir extinciones locales de forma más rápida. Luna et al. (2016) mencionan el riesgo de utilizar este índice con redes de interacción pequeñas, sin embargo las redes generadas en este estudio parecen tener un tamaño adecuado si se toma en cuenta que la crítica de Luna et al. (2016) es a un escrito con matrices de 4 x 2, cuatro especies de ectoparásitos y dos especies de murciélagos. Los valores del índice de Shannon fueron similares en todos los casos y superiores a 3, si consideramos lo citado por Tirira & Boada (2009), todas las localidades y de forma global se ubican en una categoría de diversidad alta.

En el capítulo 2 de este trabajo se realizó un estudio paralelo utilizando información de ciencia ciudadana a través de la plataforma eBird en el PNC, en el cual los resultados fueron similares (Figura 12, Tabla 13): *M. baroni*, *C. stanleyi* y *Gynoxys* sp., fueron las especies con un mayor número de conexiones, mostrando al igual que en este capítulo, su importancia en la red de interacciones al interactuar cada una con varias especies, y su poca especificidad hacia el uso de recursos.

Es importante concluir que una de las especies principales en el uso general de recursos resultó el colibrí endémico *M. baroni*, especie que se distribuye entre las provincias del Azuay y Cañar, en los Andes sur del Ecuador, siendo sus principales amenazas su distribución limitada, y, al igual que para otras especies, la pérdida de hábitat; entre las plantas los Aguarongos, plantas muy conspicuas, y las especies de *Gynoxys*, género importante para la presencia y abundancia de varias aves (Tinoco et al., 2013), mostraron también su relevancia en la red; pero resulta necesario señalar los resultados del Azulito Altoandino *X. parina*, especie muy conspicua de los páramos, abundante en ciertos sectores, especie clave en la victoria hace pocos meses para evitar la construcción de una infraestructura dentro del PNC, pero que, luego de más de 10 años de ser estudiada por los observadores de este trabajo, continúa siendo una especie rara e intrigante, con interacciones prácticamente limitadas al néctar extra floral que produce *Gynoxys* en el envés de sus hojas (Aguilar & Iñiguez, 2015), sin develar hasta el momento esta relación costo – beneficio.

Los programas de reforestación con plantas del género *Polylepis* spp., han cobrado importancia en los altos Andes (Tinoco et al., 2013). Si tomamos en cuenta la relevancia de *Gynoxys* en este estudio, es recomendable que se considere su propagación y siembra en estos ecosistemas, así como la conservación de parches de bosque nativo que incluyen estas y otras especies. Incluir la información resultante de estudios de interacciones entre animales y plantas, es esencial para el diseño y gestión de programas de conservación y rehabilitación de ecosistemas, debido a su importancia para la conservación de la biodiversidad, hábitats, y sus servicios ecosistémicos.

Es necesario continuar desarrollando estudios en estos ecosistemas, vitales para la generación de los servicios ecosistémicos que nos benefician. Lo observado en Soldados nos alerta, tal vez tempranamente, sobre la necesidad de implementar estudios de monitoreo, tanto de especies como de interacciones, de largo plazo, con el fin de mantener información actualizada y evitar, como menciona Haines-Young (2009) “las transformaciones humanas de la cobertura y el uso de la tierra son un factor clave en la pérdida de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas”.

## 1.5. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, J. M., & Iñiguez, X. (2015). Hábitos alimentarios de *Xenodacnis* (*Xenodacnis parina*) en los páramos del sur del Ecuador. *Ornitología Neotropical*, 26(2), 211–217. URL: <http://journals.sfu.ca/ornneo/index.php/ornneo/article/view/29>

Aguilar, J. M., & Tinoco, B. A. (2017). Ecología de polinización de *Axinaea meriania* en los altos Andes del sur del Ecuador: Características de su néctar y aves polinizadoras. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 9(15), 61–65. DOI: <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v9i15.757>

Aizen, M., & Chacoff, N. (2009). Las interacciones planta-animal como servicio ecosistémico: el caso del mutualismo de polinización. En: Medel, R., Aizen, M., & Zamora, R. (Eds.). *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones*. (Pp. 313–327). Santiago de Chile, Chile: Talleres de Salesianos Impresores. S. A.

Alho, C. (2012). The importance of biodiversity to human health: an ecological perspective. *Estudios avanzados*, 26, 151–165. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142012000100011>

Allesina, S. & Pascual, M. (2009). Googling food webs: Can an eigenvector measure species' importance for coextinctions? *PLOS Computational Biology*, 5, e1000494. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000494>

Balvanera, P., Castillo, A., Lazos, E., Caballero, K., Quijas, S., Flores, A., Galicia, C., Martínez, L., Saldaña, A., Sánchez, M., Mass, M., Ávila, P., Martínez, Y., Galindo, M. & Sarukhán, J. (2011). Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina. En: Laterra, P., Jobbagy, E. & Paruelo, J. (Eds.). *Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. (Pp. 39–67). Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA.

Bibby, C. (2002). ¿Why conserve bird diversity? En: Norris, K. & Pain, D. (Eds.). *Conserving bird biodiversity. General principles and their application*. (Pp. 20–33). New York, USA: Cambridge University Press.

Buytaert, W., Célleri, R., de Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53 – 72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>

Carlo, T. A., Aukema, J. E. & Morales, J. M. (2007). Plant–Frugivore interactions as spatially explicit networks: integrating frugivore foraging with fruiting plant spatial patterns. En: Dennis, A. J., Schupp, E. W., Green, R. A. & Westcott, D. A. *Seed dispersal Theory and its application in a changing world*. (Pp. 369 – 390). London, United Kingdom: CAB International.

Célleri, R. & Feyen, J. (2009). The hydrology of Tropical Andean ecosystems: importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research Development*, 29(4), 350–355. DOI: <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>

Chivian, E. & Bernstein, A. (2010). *How our health depends on biodiversity*. Cambridge, USA: Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School.

Díaz Valenzuela, R. (2016). *Historia natural, ecología, y análisis de la interacción planta-colibrí en un paisaje mexicano, bajo dos aproximaciones teóricas: escalamiento en ecología y redes de interacciones complejas* (Tesis doctoral). San Vicente del Raspeig, España: Universidad de Alicante.

Fernández, D. S. (2019). *Análisis de Biodiversidad con vegan y Biodiversity R*. URL: <https://rpubs.com/dsfernandez/468964>

Freile, J. & Restall, R. (2018). *Birds of Ecuador*. Londres, Reino Unido: Helm Field Guides.

Ghazoul, J. (2015). Forest goods and services. En: Ghazoul, J. *Forests a very short introduction*. (Pp. 92–116). New York, USA: Oxford University Press.

Gonzalez, O., Díaz, C. & Britto, B. (2019). Assemblage of nectarivorous birds and their floral resources in an Elfin Forest of the Central Andes of Peru. *Ecología Aplicada*, 18(1), 21–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1302>

Haines-Young, R. (2009). Land use and biodiversity relationships. *Land Use Policy*, 26, S178-S186. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.009>

Heleno, R., Devoto, M. & Pocock, M. (2012). Connectance of species interaction networks and conservation value: Is it any good to be well connected? *Ecological Indicators*, 14, 7–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.032>

Herzog, S. & Kattan, G. (2012). Patrones de diversidad y endemismo en las aves de los Andes tropicales. En: Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P. & Tiessen, H. (Eds.). *Cambio climático y biodiversidad en los Andes tropicales*. (Pp. 287–305). París, Francia: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Sao José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).

Jordano, P., Vázquez, D. & Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal. En: Medel, R., Aizen, M. & Zamora, R. (Eds.). *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones*. (Pp. 17–41). Santiago de Chile, Chile: Talleres de Salesianos Impresores S. A.

Loiselle, B. A., Blendinger, P. G., Blake, J. G. & Ryder, T. B. (2007). Ecological redundancy in seed dispersal systems: a comparison between Manakins (Aves: Pipridae) in two tropical forests. En: Dennis, A. J., Schupp, E. W., Green, R. A. & Westcott, D. A. *Seed dispersal Theory and its application in a changing world*. (Pp. 178–195). London, United Kingdom: CAB International.

Loiseau, N., Mouquet, N., Casajus, N., Grenié, M., Guéguen, M., Maitner, B., Mouillot, D., Ostling, A., Renaud, J., Tucker, C., Velez, L., Thuiller, W., & Violle, C. (2020). Global distribution and conservation status of ecologically rare mammal and

bird species. *Nature Communications*, 11:5071. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18779-w>

Luna, P., Corro, E. J., Ahuatzin-Flores, D. A., Antoniazzi-Jr, R. L., Barrozo, N, Chávez, E., Morales-Trejo, J. J. & Dáttilo, W. (2017). The risk of use small matrices to measure specialization in host–parasite interaction networks: a comment to Rivera-García et al., (2016). *Parasitology*, 144(8), 1102–1106. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0031182017000361>

Martínez-Falcón, A. P., Martínez-Adriano, C. A., & Dáttilo, W. (2019). Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. En: Moreno, C. E. (Ed.). *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. (Pp. 265–283). Ciudad de México, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex.

Martín-López, B., González, J., Díaz, S., Castro, I. & García-Llorente, M. (2007). Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, 16, 69–80. URL: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/94>

Mena, P. & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 91–109. URL: <https://beisa.au.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>

Mindell, D. (2009). Humans need biodiversity. *Science*, 323, 1562–1563. DOI: 10.1126/science.1170526

Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa Ulloa, C. (2016). *Flora del páramo del Cajas, Ecuador*. Cuenca, Ecuador: Imprenta Don Bosco.

Montagnini, F. & Jordan, C. (2005). Characteristics of tropical forests. En: Montagnini, F. & Jordan, C. *Tropical forest ecology*. (Pp. 18–73). Heidelberg, Germany: Springer.

Mouillot, D., Bellwood, D. R., Baraloto, C., Chave, J., Galzin, R., Harmelin-Vivien, M., Kulbicki, M., Lavergne, S., Lavorel, S., Mouquet, N., Timothy Paine, C. E., Renaud, J., & Thuiller, W. (2013). Rare species support vulnerable functions in high-

diversity ecosystems. *PLoS Biol*, 11(5), e1001569. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001569>

Naeem, S., Chazdon, R., Duffy, E., Prager, C. & Worm, B. (2016). Biodiversity and human well-being: an essential link for sustainable development. *Proceedings of the Royal Society B*, 283: 20162091. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2091>

Nature. (2021). The world's scientific panel on biodiversity needs a bigger role. *Nature*, 597, 7–8. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02339-3>

Pacha, M. J. (2014). *Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía*. Brasilia, Brasil: WWF Iniciativa Amazonía Viva.

R Development Core Team. (2012). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.R-project.org/>

Ramírez, M. B. (2013). *Redes de interacción mutualista colibrí-flor en el Parque Nacional Natural Munchique: ¿La pérdida de un colibrí endémico y en peligro crítico de extinción, acarrea el colapso del sistema?* (Tesis de magíster). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Ramon-Robles, M., Andresen, E. & Díaz-Castelazo, C. (2018). Modularity and robustness of a plant-frugivore interaction network in a disturbed tropical forest. *Écoscience*, 25(3), 209–222. DOI: <https://doi.org/10.1080/11956860.2018.1446284>

Ridgely, R. & Greenfield, P. (2006). *Aves del Ecuador*. Quito, Ecuador: Colibrí Digital, Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, Fundación de Conservación Jocotoco.

Rodríguez García, L., Curetti, G., Garegnani, G., Grilli, G., Pastorella, F. & Paletto, A. (2016). La valoración de los servicios ecosistémicos en los ecosistemas forestales: un caso de estudio en Los Alpes Italianos. *Bosque*, 37(1), 41–52. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000100005>

Rojas-Nossa, S. (2007). Estrategias de extracción de néctar por Pinchaflores (*Aves: Diglossa y Diglossopsis*) y sus efectos sobre la polinización de plantas de los altos

Andes. *Ornitología Colombiana*, 5, 21–39. URL: <http://asociacioncolombianadeornitologia.org/wp-content/uploads/revista/oc5/pinchaflor21-39.pdf>

Sodhi, N., Sekercoiglu, C., Barlow, J. & Robinson, S. (2011). Ecological functions of birds in the tropics. En: Sodhi, N., Sekercoiglu, C., Barlow, J. & Robinson, S. *Conservation of tropical birds*. (Pp. 27–44). United Kingdom: Wiley- Blackwell.

Sosenski, P. & Domínguez, C. (2018). El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 961–970. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2168>

Tinoco, B. A., Astudillo, P. X., Latta, S., C., Strubbe, D., & Graham, C. H. (2013). Influence of Patch Factors and Connectivity on the Avifauna of Fragmented Polylepis Forest in the Ecuadorian Andes. *Biotropica*, 45(5), 602–611. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12047>

Tirira, D. G. & Boada, C. E. (2009). Diversidad de mamíferos en bosques de Ceja Andina alta del nororiente de la provincia de Carchi, Ecuador. *Boletín Técnico 8, Serie Zoológica*, 4-5, 1–24. URL: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1412>

Tylianakis, J. M., Laliberté, E., Nielsen, A. & Bascompte, J. (2010). Conservation of species interaction networks. *Biological Conservation*, 143, 2270–2279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.004>

Wigmore, O. & Gao, J. (2014). Spatiotemporal Dynamics of a Páramo Ecosystem in the Northern Ecuadorian Andes 1988-2007. *Journal of Mountain Science*, 11(3), 708–716. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2365-6>

## **CAPÍTULO 2**

### **CIENCIA CIUDADANA E INTERACCIONES ENTRE AVES NECTARÍVORAS Y PLANTAS DE PÁRAMO EN EL PARQUE NACIONAL CAJAS**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

La ciencia ciudadana tiene como objetivo el involucramiento de la sociedad para generar datos en varias ramas de la investigación. Entre estas están los estudios ecológicos y de biodiversidad procedentes de grupos de colaboradores, expertos voluntarios o aquellos que disfrutan de la observación directa de la naturaleza. Estos grupos depositan sus observaciones en plataformas web generando información sobre presencia de especies en lugares inusuales. Esta información puede ayudar a la creación de mapas de distribución de especies, migración, o cambios en la distribución, y así contribuir al conocimiento y la conservación de la biodiversidad (Betancur & Cañón, 2016; Borsellino, 2017, Pocock et al., 2017; Tejeda & Medrano, 2018a).

La plataforma eBird del Laboratorio de Ornitología de la Universidad de Cornell, es una de las más utilizadas para la ciencia ciudadana ornitológica. La plataforma permite a cualquier observador registrar aves durante todo el año y en cualquier lugar del mundo para compartirlas a través de listados, fotos, audio y video, con científicos y otros miembros de la comunidad (Betancur & Cañón, 2016; Tejeda & Medrano, 2018b; eBird, 2021). Sin embargo, los aportes de los observadores están enfocados a registros de presencia, dejando en segundo plano información detallada sobre la ecología de las especies, por ejemplo las interacciones con plantas.

Las interacciones entre los elementos de un ecosistema ayudan al planteamiento de estrategias de conservación ya que abarcan el sistema global en el que se encuentra, y su funcionamiento (Mouillot et al., 2013; Owen et al., 2019; Runge et al., 2019). Entre estas, la polinización realizada por animales es un servicio ecológico ya que contribuye al crecimiento de bosques y poblaciones de plantas, e indirectamente a la captura de carbono, calidad y cantidad de agua (Montagnini & Jordan, 2005; Aizen & Chacoff, 2009; Ghazoul, 2015; Sosenski & Domínguez, 2018).

Los altos Andes albergan especies raras, adaptadas a las condiciones del páramo como bajas temperaturas y vientos constantes (Cruden, 1972; Dellinger et al., 2014). Existe una amplia revisión en términos de su taxonomía y distribución, pero el conocimiento de sus interacciones: generalismo y especialismo, es todavía insuficiente (Rojas-Nossa, 2007; Herzog & Kattan, 2012; Aguilar & Tinoco, 2017). Las interacciones de polinización de la comunidad de colibríes han sido analizadas en términos de estructura y funcionalidad (Tinoco et al., 2016), sin embargo, aún queda mucho por comprender sobre las funciones de otras aves nectarívoras en estos ecosistemas complejos y amenazados (Aguilar & Iñiguez, 2015; Aguilar & Tinoco, 2017).

El objetivo general en este trabajo fue conocer la estructura de las interacciones entre las aves nectarívoras y plantas de páramo del Parque Nacional Cajas (PNC), resaltando la importancia de colaborar en plataformas de libre acceso. Se exploró la topología de la red utilizando registros de la plataforma de ciencia ciudadana eBird, con la revisión de fotos y videos (Tabla 12), con la finalidad de contribuir y entender esta estructura.

## **2.2. METODOLOGÍA**

El PNC es un sistema de montañas ubicado a 35 km al oeste de la ciudad de Cuenca, en la provincia del Azuay, entre los 3160 m s.n.m y 4450 m s.n.m. Su biodiversidad

incluye 157 especies de aves, una muestra representativa para los ecosistemas Altoandinos que lo convierte en un destino para aficionados e investigadores (Astudillo et al., 2015). Para definir la estructura de la red aves nectarívoras y plantas del páramo del PNC se recopiló información de la plataforma eBird entre agosto 2020 y julio 2021 (Tabla 12), tomando en cuenta aquellas fotografías y videos en que se pudo identificar tanto el ave como la planta con la que interactúa, considerando registros desde los 3650 m s.n.m., en adelante. La búsqueda estuvo enfocada en el registro de la interacción considerando como tal a la primera fotografía o video en donde se la identificó, si una interacción se repitió entre observadores, se consideró sólo como una interacción.

Tabla 12. Links de la plataforma eBird utilizados para la revisión de archivos fotográficos o de video en los que se registraron las interacciones entre aves nectarívoras y plantas de páramo, en el Parque Nacional Cajas, Azuay.

<b>Links eBird</b>	
<a href="https://ebird.org/checklist/S91765292">https://ebird.org/checklist/S91765292</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S7997623">https://ebird.org/checklist/S7997623</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S78185766">https://ebird.org/checklist/S78185766</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S72108145">https://ebird.org/checklist/S72108145</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S73631256">https://ebird.org/checklist/S73631256</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S7344323">https://ebird.org/checklist/S7344323</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S87868194">https://ebird.org/checklist/S87868194</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S40903418">https://ebird.org/checklist/S40903418</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S62650470">https://ebird.org/checklist/S62650470</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S78185766">https://ebird.org/checklist/S78185766</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S61806609">https://ebird.org/checklist/S61806609</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S55868579">https://ebird.org/checklist/S55868579</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S59193928">https://ebird.org/checklist/S59193928</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S61691392">https://ebird.org/checklist/S61691392</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S65126228">https://ebird.org/checklist/S65126228</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S40197885">https://ebird.org/checklist/S40197885</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S31313272">https://ebird.org/checklist/S31313272</a>	<a href="https://ebird.org/qc/checklist/S54186589">https://ebird.org/qc/checklist/S54186589</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S65382486">https://ebird.org/checklist/S65382486</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S50046859">https://ebird.org/checklist/S50046859</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S72263692">https://ebird.org/checklist/S72263692</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S65382486">https://ebird.org/checklist/S65382486</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S64978494">https://ebird.org/checklist/S64978494</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S7997623">https://ebird.org/checklist/S7997623</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S72108145">https://ebird.org/checklist/S72108145</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S72172813">https://ebird.org/checklist/S72172813</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S34622332">https://ebird.org/checklist/S34622332</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S82538445">https://ebird.org/checklist/S82538445</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S50046859">https://ebird.org/checklist/S50046859</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S58832540">https://ebird.org/checklist/S58832540</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S59193928">https://ebird.org/checklist/S59193928</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S67570629">https://ebird.org/checklist/S67570629</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S34407583">https://ebird.org/checklist/S34407583</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S68783162">https://ebird.org/checklist/S68783162</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S71471660">https://ebird.org/checklist/S71471660</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S31313272">https://ebird.org/checklist/S31313272</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S31343070">https://ebird.org/checklist/S31343070</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S31313315">https://ebird.org/checklist/S31313315</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S36850087">https://ebird.org/checklist/S36850087</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S58782458">https://ebird.org/checklist/S58782458</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S65144195">https://ebird.org/checklist/S65144195</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S65131622">https://ebird.org/checklist/S65131622</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S77400347">https://ebird.org/checklist/S77400347</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S40903418">https://ebird.org/checklist/S40903418</a>

<a href="https://ebird.org/checklist/S62404444">https://ebird.org/checklist/S62404444</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S36987302">https://ebird.org/checklist/S36987302</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S60351219">https://ebird.org/checklist/S60351219</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S40037162">https://ebird.org/checklist/S40037162</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S65131615">https://ebird.org/checklist/S65131615</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S41041296">https://ebird.org/checklist/S41041296</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S64599396">https://ebird.org/checklist/S64599396</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S49708897">https://ebird.org/checklist/S49708897</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S58782458">https://ebird.org/checklist/S58782458</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S36877152">https://ebird.org/checklist/S36877152</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S31343135">https://ebird.org/checklist/S31343135</a>	<a href="https://ebird.org/checklist/S62650470">https://ebird.org/checklist/S62650470</a>
<a href="https://ebird.org/checklist/S53198394">https://ebird.org/checklist/S53198394</a>	

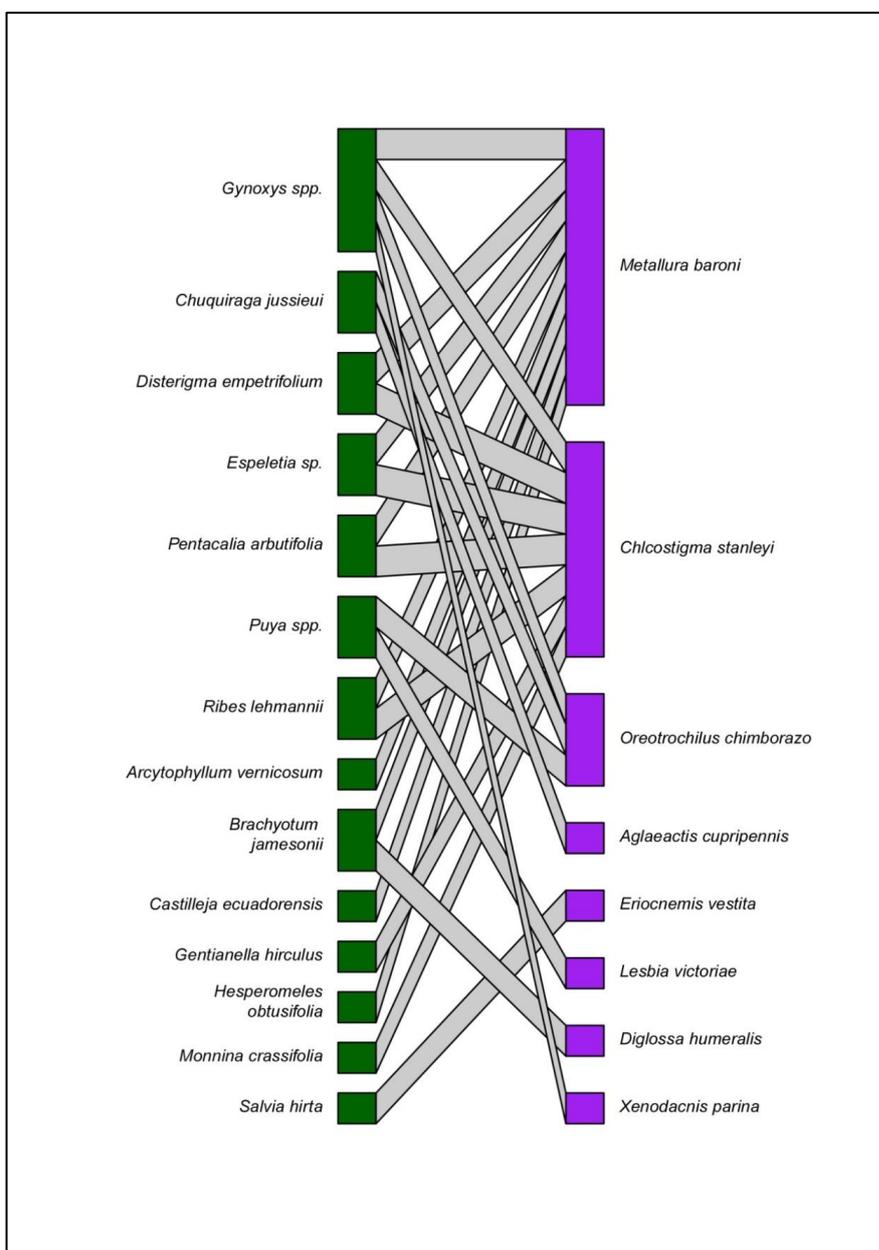
Se depuraron las observaciones considerando las especies que se observan en este ecosistema, basándonos en Astudillo et al. (2015) y la experiencia de los autores, y seleccionando aquellas que por su hábito alimenticio se consideran nectarívoras. Dada la dificultad de identificación en los archivos revisados, las interacciones con especies de *Puya* (Bromeliaceae) y *Gynoxys* (Asteraceae) se integraron en dos grupos genéricos frente a la comunidad de aves nectarívoras, es decir, agrupando las especies que pertenecen a cada uno de estos géneros. Estos géneros tienen reportados en el PNC tres y cuatro especies, respectivamente (Minga et al., 2016).

La red de interacciones se procesó en el software R (R Development Core Team, 2012), RStudio Version 1.4.1106, con el paquete bipartite Version 2.16: Analysis of bipartite ecological webs, paquete que incluye funciones para visualizar redes con dos niveles tróficos, e índices que calculan la estructura topológica de la red y la contribución de las especies (Dormann et al., 2008). La red se generó tomando en cuenta solamente la presencia o ausencia de la interacción (1 o 0, respectivamente), colocando en columnas las especies del nivel trófico superior (aves nectarívoras) y en filas aquellas del nivel trófico inferior (plantas) (Dormann et al., 2008; Dormann et al., 2021). Tratándose de un análisis exploratorio, cualitativo, se calculó solamente el índice de conectancia (Connectance, C), a nivel de red, y el índice grado (Degree, D) a nivel de especie. La conectancia mide la relación entre las interacciones observadas y el total posible dentro de la red. El grado es el número de interacciones que tiene cada especie (Ramírez, 2013; Martínez-Falcón et al., 2019).

### 2.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En total se identificaron ocho especies de aves nectarívoras, seis colibríes (familia: Trochilidae) y dos Tráupidos, interactuando con 12 especies de plantas y los dos grupos genéricos *Puya* y *Gynoxys* mencionados (Figura 12). De las 112 interacciones posibles se registraron 24, resultando en una conectancia  $C = 0,21$ .

Figura 12. Red de interacciones entre aves nectarívoras y plantas de páramo en el PNC, basada en registros de ciencia ciudadana (eBird).



Dos especies de colibríes, *M. baroni* y *C. stanleyi*, y el grupo genérico *Gynoxys*, mostraron una mayor cantidad de enlaces (grado), con una diferencia marcada hacia las otras especies (Figura 12; Tabla 13).

Tabla 13. Índice calculado a nivel de especie. Grado (Degree por su nombre en inglés): número de interacciones que tiene cada especie.

<b>Aves Nectarívoras</b>	<b>Degree (D)</b>
<i>Metallura baroni</i>	9
<i>Chalcostigma stanleyi</i>	7
<i>Oreotrochilus chimborazo</i>	3
<i>Aglaeactis cupripennis</i>	1
<i>Eriocnemis vestita</i>	1
<i>Lesbia victoriae</i>	1
<i>Diglossa humeralis</i>	1
<i>Xenodacnis parina</i>	1

Este es el primer acercamiento, con el uso de ciencia ciudadana, para identificar interacciones entre plantas de páramo y aves nectarívoras en el PNC. Si bien el cálculo del valor de conectancia puede estar influenciado por el esfuerzo de muestreo y el tamaño de la red en riqueza de especies (Banasek-Richter et al., 2009; Heleno et al., 2012; Ramírez, 2013), el valor encontrado en este estudio ( $C = 0,21$ ) fue cercano a lo encontrado por Ramírez en 2013 ( $C = 0,17$ ) en el Parque Nacional Natural (PNN) Munchique, Colombia, entre los 2200 m s.n.m. y 2500 m s.n.m. (Ramírez, 2013), aunque diferente a lo encontrado por Córdova y Fajardo en 2018, en las localidades El Gullán, entre 2900 m s.n.m. y 3100 m s.n.m., y La Merced, entre 2200 m s.n.m. y 3940 m s.n.m., en la provincia del Azuay, Ecuador, quienes encontraron valores de  $C = 0,533$  y  $C = 0,375$ , respectivamente, considerando los valores correspondientes a sus parcelas de control y pre-tratamiento (Córdova & Fajardo, 2018); así como con lo encontrado por Gonzalez et al. (2019) en un bosque achaparrado de los Andes centrales peruanos ( $C = 0,385$ ), a 3800 m s.n.m, en su red observada (Gonzalez et al., 2019).

Es probable que el cálculo de este índice necesite información de frecuencias para poder cotejarlo de una manera más precisa. Los dos primeros estudios calculan la conectancia con una red cuantitativa (Ramírez, 2013; Córdova & Fajardo, 2018), mientras que el tercero compara una red teórica con una red observada, convirtiendo la red observada cuantitativa en una cualitativa (Gonzalez et al., 2019). Sin embargo, la conectancia en este estudio resultó similar a lo encontrado por Pelayo et al. (2021) en el páramo de Piedras Blancas, en el Parque Nacional La Culata, Venezuela, en alturas superiores a los 4000 m s.n.m (Pelayo et al., 2021). En este se calculó el índice para la totalidad de las localidades y por separado, resultando en  $C = 0,17$ ;  $C = 0,20$ ;  $C = 0,20$ ; y  $C = 0,34$ , respectivamente (Pelayo et al., 2021).

Los resultados, en relación al número de plantas con que interactúan, sugieren que el colibrí endémico Metalura Gorjivioleta *M. baroni* y el Picoespina Dorsizaul *C. stanleyi* pueden ser especies importantes en la red de interacciones del PNC, resultados importantes a tomar en cuenta para futuras investigaciones que estén enfocadas en generar estrategias de conservación y rehabilitación de ecosistemas de páramo en el PNC.

Las interacciones entre aves y *Gynoxys* fueron con las hojas y flores. Este género es un factor importante para la presencia y abundancia de varias especies de aves (Tinoco et al., 2013), siendo una fuente de recursos significativa para la avifauna de los páramos en el PNC (Tinoco et al., 2013; Aguilar & Iñiguez, 2015). Cuatro especies de aves interactuaron con *Gynoxys* (Figura 12) mostrando su importancia en el presente estudio. Como mencionan Tinoco et al. (2013), si bien los programas de reforestación con plantas del género *Polylepis* spp., han cobrado importancia en los altos Andes (Tinoco et al., 2013), resultados como los encontrados en este estudio para el género *Gynoxys*, sugieren un mayor esfuerzo futuro para generar conocimiento sobre especies de plantas que puedan ser parte importante de estos programas, y que probablemente puedan llegar a jugar un rol esencial en el mantenimiento y conservación de los ecosistemas de páramo.

La ciencia ciudadana a través de la plataforma eBird puede considerarse una fuente importante de información facilitando registros de presencia de las especies, interacciones con plantas y otras características ecológicas. La información compartida por los observadores a través de fotos, audio o videos puede ayudar a generar conocimiento y crear herramientas para la conservación de hábitats y especies. En este estudio se recopiló información importante, generando conocimiento indispensable para la comunidad de aves en el páramo del PNC, recalcando el aporte a la ecología del colibrí endémico *Metalura Gorjivioleta M. baroni*.

En conclusión, la contribución de los usuarios de eBird genera mucha información en todo el mundo, con datos a nivel de comunidad, especie e individuos. Analizar toda esta información es una tarea importante, siendo necesarias más propuestas que involucren factores como parámetros climáticos, estacionalidad, uso de suelo e intervenciones antrópicas, que pueden influir en las comunidades de aves y ecosistemas. Profundizar en estos estudios puede ser una contribución muy importante en objetivos de conservación de hábitats, especies, funcionalidad ecológica y servicios ecosistémicos.

Es recomendable que los programas de monitoreo e investigación en torno a las aves, y la biodiversidad en general, tengan como protocolo permitir la accesibilidad a la información que generan a través del uso de plataformas de libre acceso, con el fin de que los datos adicionales que se observan, como las interacciones ecológicas o comportamientos inusuales, puedan ser analizados a mayor detalle.

## 2.4. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, J. M., & Iñiguez, X. (2015). Hábitos alimentarios de *Xenodacnis* (*Xenodacnis parina*) en los páramos del sur del Ecuador. *Ornitología Neotropical*, 26(2), 211–217. URL: <http://journals.sfu.ca/ornneo/index.php/ornneo/article/view/29>

Aguilar, J. M., & Tinoco, B. A. (2017). Ecología de polinización de *Axinaea meriania* en los altos Andes del sur del Ecuador: Características de su néctar y aves polinizadoras. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 9(15), 61–65. DOI: <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v9i15.757>

Aizen, M., & Chacoff, N. (2009). Las interacciones planta-animal como servicio ecosistémico: el caso del mutualismo de polinización. En: Medel, R., Aizen, M., & Zamora, R. (Eds.). *Ecología y evolución de interacciones planta-animal: conceptos y aplicaciones*. (Pp. 313–327). Santiago de Chile, Chile: Talleres de Salesianos Impresores. S. A.

Astudillo, P. X., Tinoco, B. A., & Siddons, D. C. (2015). The avifauna of Cajas National Park and Mazán Reserve, southern Ecuador, with notes on new records. *Cotinga*, 37, 2–12. URL: [https://www.academia.edu/29266111/The\\_avifauna\\_of\\_Cajas\\_National\\_Park\\_and\\_Maz%C3%A1n\\_Reserve\\_southern\\_Ecuador\\_with\\_notes\\_on\\_new\\_records](https://www.academia.edu/29266111/The_avifauna_of_Cajas_National_Park_and_Maz%C3%A1n_Reserve_southern_Ecuador_with_notes_on_new_records)

Banasek-Richter, C., Bersier, L. F., Cattin, M. F., Baltensperger, R., Gabriel, J. P., Merz, Y., Ulanowicz, R. E., Tavares, A. F., Williams, D. D., De Ruiter, P. C., Winemiller, K. O., & Naisbit, R. E. (2009). Complexity in quantitative food webs. *Ecology*, 90(6), 1470–1477. DOI: <https://doi.org/10.1890/08-2207.1>

Betancur, E., & Cañón, J. E. (2016). La ciencia ciudadana como herramienta de aprendizaje significativo en educación para la conservación de la biodiversidad en Colombia. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad CAS*, 3(2), 1–15. URL: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/323236>

Borsellino, L. (2017). El uso de la fotografía y la Ciencia Ciudadana como herramientas para la conservación de la biodiversidad. *Revista Photo y Documento*, 3. URL: [https://redib.org/Record/oai\\_articulo1254789](https://redib.org/Record/oai_articulo1254789)

Córdoba-Córdoba, S. (2016). Aves en páramos de Colombia: características ecológicas de acuerdo a grupos de dieta y peso corporal. *Biota Colombiana*, 17 (Suplemento 2 - Páramos), 77–102. DOI: <https://dx.doi.org/10.21068/C2016v17s02a05>

- Cruden, R. W. (1972). Pollinators in high-elevation ecosystems: relative effectiveness of birds and bees. *Science*, 176(4042), 1439–1440. DOI: 10.1126/science.176.4042.1439
- Dellinger, A. S., Penneys, D. S., Staedler, Y. M., Fragner, L., Weckwerth, W., & Schönenberger, J. (2014). A specialized bird pollination system with a bellows mechanism for pollen transfer and staminal food body rewards. *Current Biology*, 24(14), 1–5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2014.05.056>
- Dormann, C. F., Fruend, J., & Gruber, B. (2021). *Package 'bipartite'*. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/bipartite/index.html>
- Dormann, C. F., Gruber, B., & Fründ, J. (2008). Introducing the bipartite package: analysing ecological networks. *R News*, 8(2), 8–11. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Introducing-the-bipartite-Package%3A-Analysing-Dormann-Gruber/f23d90643ae91bd7f33650a69069b0221ca13b30>
- eBird. (2021). *Acerca de eBird*. URL: <https://ebird.org/about>
- Ghazoul, J. (2015). Forest goods and services. En: Ghazoul, J. *Forests a very short introduction*. (Pp. 92–116). New York, USA: Oxford University Press.
- Gonzalez, O., Díaz, C., & Britto, B. (2019). Assemblage of nectarivorous birds and their floral resources in an Elfin Forest of the central Andes of Peru. *Ecología Aplicada*, 18(1), 21–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1302>
- Heleno, R., Devotob, M., & Poccock, M. (2012). Connectance of species interaction networks and conservation value: Is it any good to be well connected? *Ecological Indicators*, 14, 7–10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.032>
- Herzog, S., & Kattan, G. (2012). Patrones de diversidad y endemismo en las aves de los Andes tropicales. En: Herzog, S., Martínez, R., Jorgensen, P., & Tiessen, H. (Eds.). *Cambio climático y biodiversidad en los Andes tropicales*. (Pp. 287–305). Paris, Francia: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), São José dos Campos, y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente (SCOPE).

Loiseau, N., Mouquet, N., Casajus, N., Grenié, M., Guéguen, M., Maitner, B., Mouillot, D., Ostling, A., Renaud, J., Tucker, C., Velez, L., Thuiller, W., & Violle, C. (2020). Global distribution and conservation status of ecologically rare mammal and bird species. *Nature Communications*, 11:5071. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18779-w>

Martínez-Falcón, A. P., Martínez-Adriano, C. A., & Dáttilo, W. (2019). Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. En: Moreno, C. E. (Ed.). *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. (Pp. 265–283). Ciudad de México, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex.

Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa Ulloa, C. (2016). *Flora del páramo del Cajás, Ecuador*. Cuenca, Ecuador: Imprenta Don Bosco.

Montagnini, F., & Jordan, C. (2005). Characteristics of tropical forests. En: Montagnini, F., & Jordan, C. *Tropical forest ecology*. (Pp. 18–73). Heidelberg, Germany: Springer.

Mouillot, D., Bellwood, D. R., Baraloto, C., Chave, J., Galzin, R., Harmelin-Vivien, M., Kulbicki, M., Lavergne, S., Lavorel, S., Mouquet, N., Timothy Paine, C. E., Renaud, J., & Thuiller, W. (2013). Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. *PLoS Biol*, 11(5), e1001569. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001569>

Owen, N. R., Gumbs, R., Gray, C. L., & Faith, D. P. (2019). Global conservation of phylogenetic diversity captures more than just functional diversity. *Nature Communications*, 10, 859. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08600-8>

Pelayo, R. C., Llambi, 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*, 9:679045. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.679045>

Pocock, M. J. O., Chandler, M., Bonney, R., Thornhill, I., Albank, A., August, T., Bachman, S., Brown, P. M. J., Fernandes Cunha, D. G., Grez, A., Jackson, C., Peters,

- M., Romer Rabarijaonkk, N., Roy, H. E., Zaviezo, T., & Danielsenk, F. (2018). A vision for global biodiversity monitoring with citizen science. *Advances in Ecological Research*, 59, 169–223. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2018.06.003>
- R Development Core Team. (2012). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL: <http://www.R-project.org/>
- Ramírez, M. B. (2013). *Redes de interacción mutualista colibrí-flor en el Parque Nacional Natural Munchique: ¿La pérdida de un colibrí endémico y en peligro crítico de extinción, acarrea el colapso del sistema?* (Tesis de magíster). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas-Nossa, S. (2007). Estrategias de extracción de néctar por Pinchaflores (Aves: *Diglossa* y *Diglossopsis*) y sus efectos sobre la polinización de plantas de los altos Andes. *Ornitología Colombiana*, 5, 21–39. URL: <https://asociacioncolombianadeornitologia.org/revista-ornitologia-colombiana-5/>
- Runge, C. A., Withey, J. C., Naugle, D. E., Fargione, J. E., Helmstedt, K. J., Larsen, A. E., Martinuzzi, S., & Tack, J. D. (2019). Single species conservation as an umbrella for management of landscape threats. *PLoS ONE*, 14(1), e0209619. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209619>
- Sosenski, P., & Domínguez, C. (2018). El valor de la polinización y los riesgos que enfrenta como servicio ecosistémico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 961–970. URL: <http://revista.ib.unam.mx/index.php/bio/article/view/2168>
- Tejeda, I., & Medrano, F. (2018a). El potencial de la ciencia ciudadana para el estudio de las aves urbanas en Chile. *Revista Diseño Urbano & Paisaje*, 33, 59–66. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6472318>
- Tejeda, I., & Medrano, F. (2018b). eBird como una herramienta para mejorar el conocimiento de las aves de Chile. *Revista Chilena de Ornitología*, 24(2), 85–94. URL: <https://aveschile.cl/revista-chilena-de-ornitologia-volumen-24-numero-1-2018-2/>
- Tinoco, B. A., Astudillo, P. X., Latta, S., C., Strubbe, D., & Graham, C. H. (2013). Influence of Patch Factors and Connectivity on the Avifauna of Fragmented

Polylepis Forest in the Ecuadorian Andes. *Biotropica*, 45(5), 602–611. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12047>

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: 52–60. DOI: <https://doi.org/10.1111/oik.02998>

## CAPÍTULOS 3 Y 4

Los capítulos 3 y 4 se generaron con observaciones durante la fase de campo, más información previa colectada en la misma zona de estudio. Con ambos se buscó contribuir con la Revista Ecuatoriana de Ornitología en su sección **Notas de Campo**, por esta razón los escritos no son producto de una investigación estructurada, sino, como se menciona en las directrices de la revista, observaciones novedosas e interesantes de historia natural, distribución y otras observaciones de campo.

El capítulo 3 ha sido ya aprobado para publicación en la revista, luego de pasar por el proceso de revisión de los dos revisores anónimos, y del Editor de Sección. Se ha enviado la última versión al Editor General, con fecha 14 de septiembre, encontrándose en la fase de Editorial, previo a pasar a la fase de Producción. Esta es la versión que se encuentra en este trabajo de tesis.

El capítulo 4 fue enviado con el mismo objetivo, pero luego de los comentarios recibidos se consideró importante colectar una mayor cantidad de información con el fin de que el escrito aporte mayor conocimiento. A criterio del Editor de Sección no estuvo mal formulado, sin embargo el envío fue retirado, esperando en un futuro cercano complementar observaciones y generar un estudio más completo en relación a las interacciones entre el género *Puya* y las aves no nectarívoras que lo visitan.

## CAPÍTULO 3

### PICOESPINA DORSIAZUL *Chalcostigma stanleyi*, ALIMENTACIÓN

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El Picoespina Dorsiazul *Chalcostigma stanleyi* está presente en los Andes de Ecuador, Perú, Bolivia y el extremo sur de Colombia (Heindl & Boesman, 2020). En Ecuador se distribuye entre 3600 – 4500 m s.n.m., en bordes de bosque, parches de *Polylepis* y páramo herbáceo, entre las provincias de Carchi al Azuay (Freile & Restall, 2018). Pozo & Trujillo (2005) mencionan a *C. stanleyi* como un polinizador de “muchas especies vegetales”, sin especificar ninguna, pero en el Parque Nacional Cajas (PNC), provincia de Azuay, se lo ha documentado previamente alimentándose de plantas del género *Gynoxys* (Asteraceae), tanto en sus flores como del néctar extra floral en el envés de sus hojas (Tinoco et al., 2013; Aguilar & Iñiguez, 2015).

En esta nota presentamos los géneros de plantas que *C. stanleyi* visitó, con base en observaciones casuales en campo entre agosto 2020 – febrero 2021, además de revisión de información fotográfica propia obtenida en los años 2010, 2011, 2015 y 2017 en el PNC, entre 3800 – 4000 m s.n.m. Consideramos visitas solo cuando realmente existió contacto del pico del colibrí con flores u hojas; no tomamos en cuenta la percha o el vuelo en suspensión sin hacer contacto con flores u hojas. Dada la alta especialización a la nectarivoría que tienen los colibríes, con el beneficio de la polinización, estas interacciones pudieron darse para el consumo de néctar, o insectos albergados en la planta como complemento de su dieta (McWhorter & López-Calleja, 2000).

### 3.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Registramos interacciones con flores de ocho géneros: *Pentacalia*, *Diplostephium*, *Monticalia*, *Espeletia* (Asteraceae), *Disterigma* (Ericaceae), *Ribes* (Grossulariaceae), *Gentianella* (Gentianaceae) y *Monnina* (Polygalaceae), y con flores y hojas del género *Gynoxys* (Figura 13). El género *Espeletia* (frailejones) no ha sido reportado con anterioridad en el PNC, pero al parecer ha sido sembrado con fines ornamentales ya que se lo observa en sitios turísticos que limitan con el PNC, donde se registró la visita del colibrí (P, Molina, com. pers., 2020). Los otros ocho géneros florales en los que registramos la visita de *C. stanleyi*, son nativos del PNC y de ellos se han reportado 22 especies (Minga et al. 2016).

Figura 13. Picoespina Dorsiazul *Chalcostigma stanleyi* interactuando con cuatro géneros de plantas, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo: *Gynoxys*, *Pentacalia*, *Disterigma* y *Ribes*.



Fuente: Xavier Iñiguez Vela, Juan Manuel Aguilar Ullauri.

Observamos a *C. stanleyi* visitando las flores de *Disterigma* y *Gentianella* a nivel del suelo (ver además McMullan, 2016), sin embargo, este descenso puede también estar relacionado con consumo de agua o artrópodos. También podría estar visitando otras plantas, más pequeñas, que forman parte del páramo herbáceo en el PNC, debido a que entre los pajonales de *Calamagrostis* y *Festuca* (Poaceae) existen varias otras especies herbáceas con flores y rosetas (Minga et al., 2016).

La abundancia del género *Gynoxys* en el PNC es un factor importante para la presencia de *C. stanleyi* (Tinoco et al., 2013). Nosotros lo registramos interactuando con tres de las cuatro especies presentes en el PNC: *G. cuicochensis*, *G. miniphylla* y *G. buxifolia*, visitando sus flores y hojas (ver además Tinoco et al., 2013; Aguilar & Iñiguez, 2015). Reportamos por primera vez interacciones de *C. stanleyi* con *Pentacalia*, *Disterigma*, *Gentianella*, *Monnina*, *Diplostephium*, *Monticalia* y *Espeletia* (Fig. 1). Previamente se ha reportado interacción con *Ribes*, *Berberis* (Berberidaceae), *Gaultheria* (Ericaceae) y *Gentiana* (Gentianaceae), sin especificación de localidad (Heindl & Boesman, 2020).

Sugerimos que *C. stanleyi* es un ave generalista, importante en su función como polinizador en los páramos del PNC y, consecuentemente, en su conservación. Resulta adecuado considerar estas observaciones como una base para futuras investigaciones respecto a redes de interacción, así como para propuestas de conservación, divulgación y rehabilitación de hábitats en nuestros páramos.

### 3.3. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, J. M., & Iñiguez, X. (2015). Hábitos alimentarios de *Xenodacnis* (*Xenodacnis parina*) en los páramos del sur del Ecuador. *Ornitología Neotropical*, 26(2), 211–217. URL: <http://journals.sfu.ca/ornneo/index.php/ornneo/article/view/29>

Freile, J. & Restall, R. (2018). *Birds of Ecuador*. Londres, Reino Unido: Helm Field Guides.

Heindl, M., & Boesman, P. F. D. (2020). *Blue-mantled Thornbill (Chalcostigma stanleyi)*, version 1.0. En del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D. A., & de Juana, E. (Eds.) *Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA. DOI: <https://doi.org/10.2173/bow.blmtho1.01>

McMullan, M. (2016). *Field guide to the Hummingbirds*. Quito, Ecuador: ratty ediciones.

McWhorter, T. J., & López-Calleja, V. (2000). Integration of diet, physiology, and ecology of nectar-feeding birds. *Revista Chilena de Historia Natural*, 73, 451–460. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2000000300008>

Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa Ulloa, C. (2016). *Flora del páramo del Cajas, Ecuador*. Cuenca, Ecuador: Imprenta Don Bosco.

Pozo, W. E., & Trujillo, F. (2015). Lista anotada de la fauna de la Laguna Loreto, Reserva Ecológica Cayambe Coca, Ecuador. *Boletín Técnico 5, Serie Zoológica*, 1, 29–43. URL: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-serie-zoologica/article/view/1386>

Tinoco, B. A., Astudillo, P. X., Latta, S., C., Strubbe, D., & Graham, C. H. (2013). Influence of Patch Factors and Connectivity on the Avifauna of Fragmented Polylepis Forest in the Ecuadorian Andes. *Biotropica*, 45(5), 602–611. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12047>

## CAPÍTULO 4

### AVES NO NECTARÍVORAS Y SU RELACIÓN CON LOS AGUARONGOS, *Puya* spp. (BROMELIACEAE)

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

Las Bromelias andinas han especializado un síndrome de polinización ornitófilo, propiamente troquilófilo, es decir, muy relacionadas a los colibríes (Kessler et al., 2020). En general las condiciones climáticas andinas restringen la presencia de algunos artrópodos ectotermos y las aves, de sangre caliente, están mejor adaptadas al frío húmedo de los páramos y bosques montanos, remplazando a los insectos en algunas funciones ecológicas (Kessler et al., 2020).

El género *Puya* (Bromeliaceae) con 34 especies en el Ecuador, ocho de ellas endémicas de los páramos ecuatorianos (León-Yáñez et al., 2011: 35, 214), es considerado de gran importancia en estos ecosistemas para las aves principalmente nectarívoras (Salinas et al., 2007; Gonzalez et al., 2019). En el Parque Nacional Cajas (PNC) se registran hasta el momento tres especies *P. cajasensis*, *P. clava-herculis* y *P. compacta* (Minga et al., 2016). El PNC está ubicado al occidente de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, entre los 3160 y 4450 m s.n.m., y es considerado como área de importancia para la conservación de aves IBA desde 2003 (Minga et al., 2016).

#### 4.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En visitas de campo entre agosto de 2020 y enero de 2021 en los páramos del PNC, hemos observado casualmente un variado grupo de aves utilizando las

infrutescencias senescentes de estas plantas conocidas localmente como Aguarongos (*Puya* aff. *clava-herculis*), como fuente de algún recurso. Con un picoteo vigoroso las aves introducen activamente parte de la cabeza en la infrutescencia, removiendo las semillas, probablemente para alcanzar insectos o simplemente para alcanzar algo propio de la planta como bien puede ser la semilla (Figura 14), comportamiento que pudo ser captado en video (<https://youtu.be/WrPkubQCpeU>).

Figura 14. Picocono Gigante *Conirostrum binghami* forrajeando en un Aguarongo (*Puya* aff. *Clava-herculis*) en el Parque Nacional Cajas.



Fuente: Xavier Iñiguez Vela.

Durante el forrajeo del Picocono Gigante *Conirostrum binghami* y el Tijeral Andino *Leptasthenura andicola*, aves insectívoras (Soto-Huairá et al., 2019; Bioweb, 2021), pudimos darnos cuenta que durante su búsqueda aflojan o remueven las semillas de

su fuste central y el viento las transporta distancias mayores, sin embargo, es posible que estas aves estén alimentándose también de las semillas.

Otras aves observadas fueron el Canastero Multilistado *Asthenes flammulata*, Pitajo Dorsipardo *Ochthoeca fumicolor*, Semillero Sencillo *Catamenia inornata*, Frigilo Plomizo *Geospizopsis unicolor* y Cinclodes Alifranjeado *Cinclodes albidiventris*, si bien estas especies no mostraron una búsqueda tan activa y vigorosa como las dos mencionadas anteriormente, estuvieron alimentándose y perchadas en los Aguarongos. Otras aves, aunque se las observó perchadas, fueron el Halcón Aplomado *Falco femoralis*, Gavilán Variable *Geranoaetus polyosoma*, Alinaranja Lomirojiza *Cnemarchus erythropygius* y Arriero Piquinegro *Agriornis montanus*.

Las funciones que cumplen las aves en los páramos tienen características complejas, las especies en este ecosistema son raras y presentan adaptaciones particulares a las condiciones de los altos Andes (Cruden, 1972), cuyas funciones parecen no estar completamente descritas. Lo que se conoce sobre la relación entre bromelias y colibríes (Kessler et al., 2020), más las novedosas interacciones descritas en este trabajo, pueden sugerir una relación de la familia Bromeliaceae con la comunidad de aves alto andinas, combinando mecanismos para el mantenimiento de los ecosistemas, y complementando las funciones de las aves con factores abióticos como en este caso el viento.

Creemos que los Aguarongos del género *Puya* son importantes para las aves de los páramos durante su ciclo fenológico, su floración comprende un recurso para las aves nectarívoras y luego de esta para otros grupos, como los granívoros e insectívoros. Estas observaciones nos acercan a conocer los nichos ecológicos de las especies, para la conservación de las comunidades en estos ecosistemas amenazados.

### 4.3. BIBLIOGRAFÍA

Bioweb. (2021). *Fauna Web Aves*. URL: <https://bioweb.bio/faunaweb/avesweb/home>

Cruden, R. W. (1972). Pollinators in high-elevation ecosystems: relative effectiveness of birds and bees. *Science*, 176(4042), 1439–1440. DOI: 10.1126/science.176.4042.1439

Gonzalez, O., Díaz, C., & Britto, B. (2019). Assemblage of nectarivorous birds and their floral resources in an elfin forest of the central Andes of Peru. *Ecología Aplicada*, 18(1), 21–35. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v18i1.1302>

Kessler, M., Abrahamczyk, S., & Krömer, T. (2020). The role of hummingbirds in the evolution and diversification of Bromeliaceae: unsupported claims and untested hypotheses. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 192(4), 592–608. DOI: <https://doi.org/10.1093/botlinnean/boz100>

León-Yáñez, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa Ulloa, C., & Navarrete, H. (Eds.). (2011). *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador, 2ª edición*. Quito, Ecuador: Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Minga, D., Ansaloni, R., Verdugo, A., & Ulloa Ulloa, C. (2016). *Flora del páramo del Cajas, Ecuador*. Cuenca, Ecuador: Imprenta Don Bosco.

Salinas, L., Arana, C., & Suni, M. (2007). El néctar de especies de *Puya* como recurso para picaflores Altoandinos de Ancash, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 14(1), 129–134. URL: <https://sisbib.unmsm.edu.pe/BVRevistas/biologia/v14n1/contenido.htm>

Soto-Huairá, S. M., Gamarra-Toledo, V., Medina, C. E., & López, E. (2019). Composición de la dieta de las aves de los bosques de queñua (*Polylepis rugulosa*) en Arequipa, suroeste del Perú. *Ornitología Neotropical*, 30, 217–223. URL: <https://journals.sfu.ca/ornneo/index.php/ornneo/article/view/443>