



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

### Carrera de Ingeniería Ambiental

**Redes de interacciones entre plantas y aves frugívoras en el Parque  
Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR), Loja,  
Ecuador**

**Trabajo de Integración Curricular,  
previa a la obtención del título de  
Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

Ronaldo Rolando Robles Tandazo

**DIRECTOR:**

Ing. Christian Alberto Mendoza León Mg. Sc

Loja – Ecuador

2024



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

Sistema de Información Académico  
Administrativo y Financiero - SIAAF

## CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **Mendoza Leon Christian Alberto**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Redes de interacciones entre plantas y aves frugívoras en el Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR), Loja, Ecuador**, perteneciente al estudiante **RONALDO ROLANDO ROBLES TANHAZO**, con cédula de identidad N° **1150843710**.

### Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 4 de Marzo de 2024



Firmado electrónicamente por:  
CHRISTIAN  
ALBERTO MENDOZA  
LEON

F) .....  
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN  
CURRICULAR



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000707

1/1  
*Educamos para Transformar*

## **Autoría**

Yo, **Ronaldo Rolando Robles Tandazo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:** 

**Cédula:** 1150843710

**Fecha:** 16 de diciembre de 2024

**Correo electrónico:** ronaldo.robles@unl.edu.ec

**Celular:** 0997108535

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Ronaldo Rolando Robles Tandazo**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular titulado **Redes de interacciones entre plantas y aves frugívoras en el Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR), Loja, Ecuador** como requisito para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los dieciséis días del mes diciembre del dos mil veinte y cuatro.

**Firma:** 

**Autor:** Ronaldo Rolando Robles Tandazo

**Cédula:** 1150843710

**Dirección:** Barrio La Cruz, Catamayo

**Correo electrónico:** ronaldo.robles@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0997108535

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular**

Ing. Christian Alberto Mendoza León Mg. Sc

## **Dedicatoria**

A mis padres Darwin y Gloria por su amor incondicional, paciencia y sabiduría. A mis hermanos y hermanas por sus consejos y apoyo. A mis amigos y amigas por brindándome momentos emotivos en tiempos difíciles.

*Ronaldo Rolando Robles Tandazo*

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer primeramente a Dios, por darme salud y fuerzas para seguir adelante. A mis queridos padres y hermanos por su apoyo incondicional para no rendirme y cumplir con esta etapa de mi vida. A mis amigos de carrera, especialmente a Heidy Mabel y Christel Solange, con quienes compartí experiencias únicas durante los últimos ciclos.

A la Universidad Nacional de Loja y a la planta docente de la carrera de Ingeniería Ambiental, quienes en el transcurso de mi vida universitaria han aportado con sus conocimientos para mi formación académica.

Un agradecimiento especial a mi director el Ing. Christian Alberto Mendoza León, quién desde un inicio me apoyó personal y académicamente durante el proceso y desarrollo del presente trabajo de titulación.

Al Ing. Vinicio Andrés Escudero Armijos, por el apoyo brindado en campo, y por su disposición al resolver mis inquietudes.

Al museo de Zoología de la Universidad Nacional de Loja (LOUNAZ), por facilitarme equipos para la toma de datos en campo.

*Ronaldo Rolando Robles Tandazo*

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>I</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	x
Índice de anexos .....	xi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
4.1 Interacciones ecológicas .....	7
4.2 Interacciones mutualistas .....	7
4.3 Formación de interacciones.....	9
4.4 Redes de interacción.....	10
4.5 Medición de redes de interacción.....	11
4.5.1 Anidamiento .....	12
4.5.2 Conectancia .....	13
4.5.3 Robustez .....	13
4.5.4 Asimetría .....	14
4.5.5 Modularidad .....	14
4.6 Efecto espacio temporal en las redes de interacciones mutualistas .....	14
<b>5. Metodología</b> .....	<b>16</b>
5.1 Área de estudio.....	16
5.2 Métodos .....	17
5.2.1 Selección y ubicación de los puntos de muestreo .....	17
5.2.2 Observaciones focales .....	18
5.2.3 Cámaras trampa.....	18
5.2.4 Identificación de aves y especies botánicas .....	19

5.3 Análisis de datos.....	19
<b>6. Resultados .....</b>	<b>23</b>
6.1 Identificación de especies de plantas y aves frugívoras.....	23
6.2 Evaluación de las redes de interacciones aves frugívoras-planta.....	23
6.2.1 Sub-red planta-aves frugívoras a nivel de cobertura.....	25
<b>7. Discusión .....</b>	<b>30</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>35</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>36</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>37</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>46</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Tipos de interacciones de acuerdo con el balance entre ambas especies. Balances de la interacción: (+) positivo, (-) negativo y (0) neutro.....	7
<b>Tabla 2.</b> Matriz de interacciones cualitativa.....	12
<b>Tabla 3.</b> Matriz de interacciones cuantitativa.....	12
<b>Tabla 4.</b> Índices de la red de interacción a nivel de cobertura vegetal.....	29

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Tipos de interacción según el número de especies interactuantes. A) de uno a uno; B) una especie de planta con varias especies; y C) redes de interacciones tróficas.....	9
<b>Figura 2A.</b> Diagrama de una red unipartita y bipartita anidada. 2B. Diagrama de una red bipartita con las especies (nodos; diferentes especies de árboles/aves) conectados por eventos de interacción (vínculos; la anchura del vínculo proporcional a la frecuencia de interacción). .....	11
<b>Figura 3.</b> Topología de redes de interacciones bipartitas de acuerdo con su estructura: red anidada. ....	13
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica del área de estudio "PUEAR" en la provincia y cantón Loja. Tipos de cobertura vegetal del Parque Universitario. ....	17
<b>Figura 5.</b> Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel general del PUEAR .....	24
<b>Figura 6.</b> Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel del bosque natural.....	26
<b>Figura 7.</b> Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel de las plantaciones forestales ...	27
<b>Figura 8.</b> Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel del matorral-páramo .....	28

## **Índice de anexos**

<b>Anexo 1.</b> Hoja de campo.....	47
<b>Anexo 2.</b> Especies de aves frugívoras y plantas identificadas en el PUEAR .....	49
<b>Anexo 3.</b> Matriz de interacción cuantitativa aves frugívoras-planta, por cobertura vegetal....	50
<b>Anexo 4.</b> Fotografías de aves frugívoras del PUEAR .....	51
<b>Anexo 5.</b> Certificación de traducción del resumen (Abstract).....	53

## **1. Título**

Redes de interacciones entre plantas y aves frugívoras en el Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR), Loja, Ecuador

## 2. Resumen

Las interacciones ecológicas entre plantas-animales son la base fundamental para comprender la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas. La relación mutua entre aves frugívoras y plantas favorece la regeneración natural de los ecosistemas mediante la dispersión de semillas; sin embargo, este servicio que brindan las aves puede verse afectado por la fragmentación y cambios en el entorno, a causa de actividades antrópicas. El presente estudio se centró en conocer y evaluar la estructura de las redes de interacción plantas-aves frugívoras en tres tipos de cobertura vegetal en el PUEAR: bosque natural, plantaciones forestales y matorral-páramo. Para el registro de interacciones se utilizaron árboles focales de observación (en fructificación) en cada tipo de cobertura vegetal. Con los datos colectados se construyeron las redes de interacción mediante una matriz cuantitativa. Se calcularon cinco índices de la red de cada cobertura vegetal: anidamiento, conectancia, modularidad, robustez y asimetría. El índice de conectancia fue mayor en matorral-páramo (0,50) frente a otras coberturas. El anidamiento y robustez fueron bajos para las tres coberturas; sin embargo, el bosque natural presentó el valor más alto para los dos índices (0,30 y 0,38 respectivamente). La modularidad fue mayor en las plantaciones forestales (0,53). En cuanto a la asimetría, fue positivo para los tres tipos de coberturas vegetales. Aunque los índices no variaron ampliamente en cada tipo de cobertura vegetal, la poca diferencia se atribuye a la disponibilidad de plantas en fructificación y el mayor número de interacciones entre las dos especies, permitiendo que el bosque natural sea más resistente frente a perturbaciones.

**Palabras clave:** aves frugívoras, cobertura vegetal, interacciones mutualistas, redes de interacción.

## **Abstract**

Plant-animal ecological interactions are the fundamental basis for understanding the dynamics and functioning of ecosystems. The mutual relationship between frugivorous birds and plants favors natural regeneration of ecosystems through seed dispersal; however, this service provided by birds may be affected by fragmentation and changes in the environment, due to anthropic activities. The present study focused on understanding and evaluating the structure of the interaction networks between plants and frugivorous birds in three types of vegetation cover in PUEAR: natural forest, forest plantations and scrub-moor. For the record of interactions, focal observation trees (in fruiting) were used on each type of plant cover. The data collected were used to construct interaction networks using a quantitative matrix. Five indices of the network of each plant cover were calculated: nesting, connectance, modularity, robustness and asymmetry. The connectance index was higher in scrub-paramo (0.50) compared to other coverages. Nesting and robustness were low for all three coverages; however, natural forest presented the highest value for both indices (0.30 and 0.38 respectively). Modularity was higher in forest plantations (0.53). As for asymmetry, it was positive for all three types of plant cover. Although the rates did not vary widely in each type of plant cover, the small difference is attributed to the availability of plants in fruiting and the greater number of interactions between the two species, enabling natural forest to be more resilient to disturbance.

**Keywords:** frugivorous birds, plant cover, mutual interactions, interaction networks.

### 3. Introducción

Las interacciones ecológicas son sistemas idóneos para evaluar la importancia de la biodiversidad en la naturaleza (Schleuning et al., 2015). Las relaciones mutualistas entre plantas y animales desempeñan un papel crucial en la evolución, diversidad y funcionamiento de los ecosistemas de nuestro planeta (Bascompte y Jordano, 2007). Entre el 40 y el 60 % de las especies de arbustos (Wenny et al., 2016) y más del 90 % de las especies de plantas en bosques tropicales dependen de los animales para completar sus ciclos de vida mediante la dispersión de sus semillas (Jordano, 2000); y aproximadamente entre el 20 y el 50 % de las aves y mamíferos se alimentan de frutas durante al menos una parte del año (Fleming et al., 1987). La relación mutua entre animales frugívoros y plantas es clave para la estructura, dinámica y preservación de la diversidad en las comunidades naturales. Las plantas ofrecen recursos esenciales a los frugívoros, mientras que, estos animales ofrecen servicios importantes como la dispersión de semillas que son vitales para el ciclo de vida de las plantas (Wang y Smith, 2002) favoreciendo la regeneración natural de los ecosistemas (Kim et al., 2022).

Las interacciones mutualistas se ven influenciadas en gran medida por las necesidades del entorno natural, y por la capacidad de aprovechar los recursos disponibles en diferentes tipos de paisajes (Vargas-Cárdenas et al., 2022). Por ejemplo, en los bosques naturales, las aves frugívoras dependen de una alta diversidad de frutas para su supervivencia (Carlo et al., 2022); sin embargo, en paisajes alterados, estas aves dependen de un número limitado de especies frutales y se adaptan a una dieta de semillas y granos (Schneiberg et al., 2022).

No obstante, también pueden sufrir impactos negativos debido a la fragmentación y cambios en el entorno (Galetti et al., 2006), que incluyen el uso del suelo, la deforestación, la agricultura intensiva, la urbanización y el cambio climático (Hagen et al., 2012). Esta situación provoca un decrecimiento acelerado de especies (Negret et al., 2021) y limita la capacidad de las semillas para dispersarse, incluso a distancias cortas desde los fragmentos de bosque (Camargo et al., 2020). Esto se debe, en parte, a la escasez de especies frugívoras que pueden llevar a cabo la interacción con las plantas y alimentarse de frutos tanto en áreas abiertas como en bosques (Carlo y Morales, 2016), lo que, en última instancia, tiene consecuencias para la reproducción exitosa de nuevas plantas (Galetti et al., 2006).

Es importante reconocer el rol que desempeñan las aves frugívoras en las redes de interacción, ya que se encuentran en la mayoría de los ecosistemas terrestres (García, 2016) y poseen características especiales, como la capacidad de movimiento, abundancia y diversidad (Traveset y Richardson, 2006). Estas características las convierten en organismos eficientes en la provisión de servicios ecosistémicos para las personas (Sekercioglu et al., 2016). Entre estos servicios, destaca la regulación, especialmente en lo que se refiere a la dispersión de semillas en ecosistemas templados y tropicales (Michel et al., 2020). Las aves que se alimentan de frutas contribuyen a mover las semillas lejos de la planta de origen, lo que promueve la variabilidad genética y la dinámica poblacional en hábitats naturales, así como la recuperación de la vegetación en zonas degradadas (Kremen et al., 2007).

En los alrededores de la ciudad de Loja, se ha producido una alteración casi completa de la vegetación, quedando solo unos pocos remanentes de bosques. El Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR), a pesar de su pequeño tamaño, cuenta con una notable variedad de ecosistemas, los cuales se diferencian entre sí por su composición, estructura y función. Esta diversidad permite que sea el hogar de 137 especies de plantas (Aguirre y Yaguana, 2014) y 112 especies de aves (Ordóñez-Delgado et al., 2022). No obstante, en los últimos años, la zona de estudio ha enfrentado importantes impactos que han alterado su estructura. Entre estos factores se incluyen los incendios forestales, que han provocado una fragmentación en los diferentes tipos de cobertura vegetal, especialmente en el páramo antrópico y el matorral alto y bajo, lo que ha resultado en pérdidas importantes de especies de flora y de fauna (Aguirre y Yaguana, 2014).

Las interacciones entre aves frugívoras-plantas, así como la estructura de la red que éstas generan, se deben a la capacidad de las aves para interactuar selectivamente con diferentes especies de plantas y establecer relaciones mutualistas. Esto conduce a una variabilidad en la frecuencia e identidad de las interacciones frugívoro-planta (Dehling et al., 2016; Olsen et al., 2011). Las redes de interacción en áreas conservadas suelen ser más complejas y diversas. Esta diversidad de interacciones contribuye a mantener la estabilidad y la salud de los ecosistemas, lo que permite una mayor resiliencia frente a perturbaciones futuras (Tylianakis et al., 2010). En contraste, en áreas fragmentadas, las redes ecológicas son más sensibles y menos complejas; la perturbación puede intensificar ciertas interacciones en la red, como la depredación y la competencia, debido a la disminución de recursos disponibles (Hagen et al., 2012).

Con base en lo mencionado, es de gran importancia conocer si las redes de interacción entre plantas y aves frugívoras dentro del PUEAR podrían estar generando cambios en los servicios ecológicos, debido a los problemas referidos anteriormente. Ante ello se genera la siguiente pregunta ¿El tipo de cobertura vegetal en un área de conservación periurbana puede incidir en las redes de interacciones mutualistas entre plantas-aves frugívoras?

Para ello, en el presente trabajo se planteó como objetivo general conocer las redes de interacción entre plantas y aves frugívoras en el Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR). Y como objetivos específicos:

- Identificar las especies de plantas y aves frugívoras que interactúan en los distintos tipos de coberturas vegetales presentes en el PUEAR;
- Evaluar las redes de interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras que interactúan en los distintos tipos de coberturas vegetales presentes en el PUEAR.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Interacciones ecológicas

Las interacciones ecológicas entre plantas y animales son sistemas idóneos para entender la relevancia de la biodiversidad en el equilibrio de los ecosistemas (Schleuning et al., 2015). Las redes de interacciones entre distintas especies también han sido reconocidas como una herramienta útil para comprender los efectos de la diversidad de flora y fauna en las funciones tróficas (Thompson et al., 2012).

Las interacciones ecológicas se pueden clasificar según el balance que tienen las dos especies que se encuentran involucradas. Las interacciones se consideran positivas (+) cuando hay un beneficio para ambas especies involucradas. Por el contrario, las interacciones se consideran negativas (-) cuando una especie se ve perjudicada por la interacción. Por último, las interacciones neutras (0) son aquellas que no tienen efectos notables resultado de la interacción con la otra especie (Tabla. 1) (Martínez-Falcón et al., 2019).

**Tabla 1.** Tipos de interacciones de acuerdo con el balance entre ambas especies. Balances de la interacción: (+) positivo, (-) negativo y (0) neutro.

Interacción	Balance	Ejemplo
Mutualismo	(+, +)	Polinización, defensa de hormigas y nectarios extraflorales, dispersión de semillas.
Comensalismo	(+, 0)	Plantas epífitas y forofitos, aves que nidifican en las ramas.
Depredación	(+, -)	Arañas saltarinas y moscas, avispa gavilán y tarántulas, león y gacela.
Parasitismo	(+, -)	Amebas y humanos, garrapatas y ganado.
Competencia	(-, -)	Leones y hienas por cierta presa, las plantas por luz y espacio.
Amensalismo	(-, 0)	El hongo <i>Penicillium</i> y las bacterias.

**Fuente:** Martínez-Falcón et al., 2019.

### 4.2 Interacciones mutualistas

Las interacciones mutualistas son relaciones beneficiosas que ocurren entre diferentes especies en un ecosistema. En una red mutualista, las diferentes especies interactúan entre sí de manera que ambas obtienen algún beneficio, como la polinización de plantas y la dispersión de semillas por parte de animales, o la protección de plantas por parte de otras especies que las defienden de herbívoros (Bascompte y Jordano, 2006). Estas relaciones pueden tener un

impacto importante en la evolución y dinámica de las poblaciones de plantas, incluyendo la abundancia, distribución y viabilidad de estas (Aguilar et al., 2009).

Estas interacciones son fundamentales para el correcto funcionamiento de muchos ecosistemas, ya que muchas especies de plantas dependen de animales para su reproducción y reclutamiento (Jordano et al., 2009). La relación mutua entre los animales frugívoros y las plantas es un proceso ecológico crucial que afecta la estructura, dinámica y conservación de la diversidad en las comunidades naturales (Wang y Smith, 2002), son clave en etapas específicas del ciclo de vida de las plantas, como la floración y la fructificación, donde los propágulos de las plantas necesitan ser dispersados y cualquier colapso en estos procesos puede tener consecuencias negativas para las especies (Bascompte y Jordano, 2006).

Las interacciones mutualistas son altamente influenciadas por las necesidades de su entorno natural y su habilidad para aprovechar los recursos disponibles en diferentes paisajes (Vargas-Cárdenas et al., 2022). Las especies frugívoras tienen un impacto significativo en la capacidad reproductiva de las plantas, ya que pueden eliminar grandes fracciones de la cosecha de frutos y transportar las semillas a micrositios con altas probabilidades de establecimiento de prole. La eliminación de frutos de la planta madre conduce a una mayor cantidad de descendencia dispersada lejos de la planta madre y reduce la probabilidad de que las semillas mueran bajo el dosel de la planta, pero también puede tener efectos retardados que dependen de la calidad del lugar (Bascompte y Jordano, 2013).

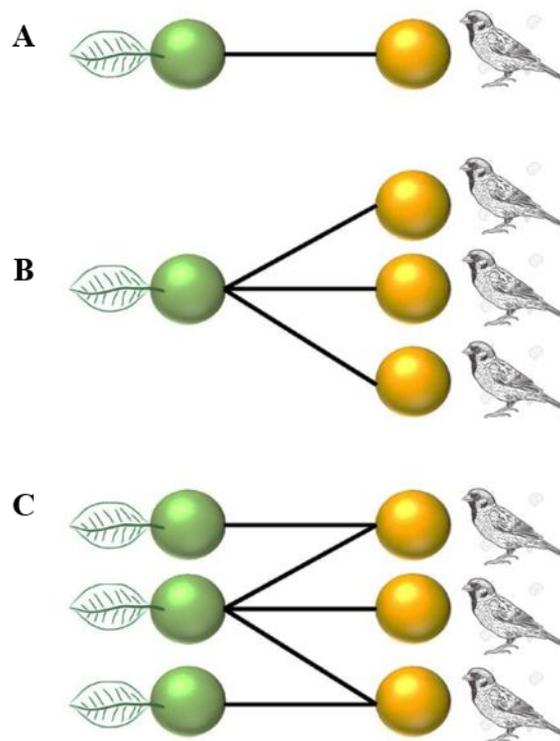
Las interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras juegan un papel crucial en el proceso de dispersión, ya que al ingerir las semillas junto con la pulpa de los frutos pueden transportarlas a diferentes áreas a través de sus deposiciones (Amico y Aizen, 2005). Sin embargo, no todas las aves pueden realizarlo de la misma forma, existen aves especialistas que dependen completamente de los recursos que se encuentran dentro de los bosques, mientras que, las aves adaptadas a perturbaciones son las que tienen una mayor capacidad para desplazarse en áreas modificadas y encontrar alimentos (Vargas-Cárdenas et al., 2022).

Sin embargo, dentro de las redes de interacción entre plantas y aves frugívoras, no siempre va existir un beneficio mutuo entre las dos especies, debido a que las aves tienen diferentes formas de procesar frutas carnosas. Existen especies que pueden ingerir frutas completas y luego eliminar las semillas viables a través de la defecación o regurgitación, lo que

las convierte en dispersores legítimos de semillas, así mismo, otras especies pueden picotear las frutas para acceder a su pulpa o a las semillas, considerándose depredadoras (Ortiz-Pulido et al., 2000).

### 4.3 Formación de interacciones

Aunque a menudo se piensa que las interacciones son mayormente de uno a uno y que involucran solo a unas pocas especies, en realidad es común que estas interacciones no se den en aislamiento, y que se presenten en un gradiente, donde una de las especies interactuantes resulta ser más afectada que la otra (Figura 1A). Esto se debe a que un organismo puede interactuar directa o indirectamente con varias especies a lo largo de su ciclo de vida lo que puede resultar en interacciones entre varias especies (Figura 1B), o incluso pueden presentarse en una red compleja de interacciones (Figura 1C; Martínez-Falcón et al., 2019).



**Figura 1.** Tipos de interacción según el número de especies interactuantes. A) de uno a uno; B) una especie de planta con varias especies; y C) redes de interacciones tróficas.

Modificado de Martínez-Falcón et al., 2019.

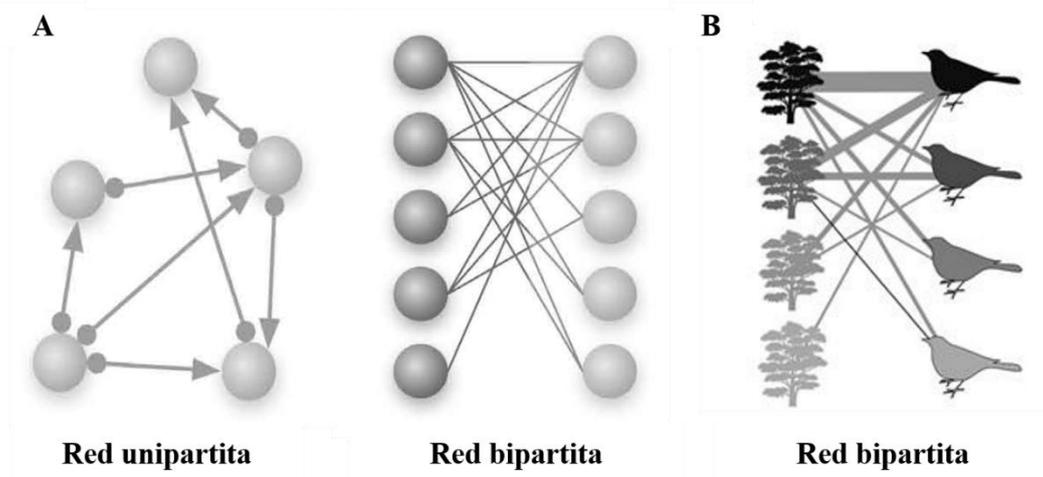
#### **4.4 Redes de interacción**

Las redes de interacciones son la base del ensamblaje comunitario (Jordano, 2009), estudiar las redes permite comprender cómo se estructuran y funcionan los ecosistemas, los procesos evolutivos, el mantenimiento de la biodiversidad e incluso llevar a simulaciones de extinción de especies en las redes para determinar la resiliencia o robustez de las comunidades frente a la pérdida de biodiversidad (Martínez-Falcón et al., 2019).

Las redes están compuestas por relaciones entre especies que pueden presentar una gran diversidad de patrones y resultados (Newman, 2006 citado en Jordano et al., 2009). En las comunidades naturales, es común que las especies y sus interacciones se encuentren organizadas en redes con patrones distintivos y repetidos. Las redes de interacciones en una comunidad pueden contener estructuras definidas y especies clave que mantienen la estabilidad de la comunidad de interactuantes frente a presiones como eventos climáticos e intervención humana (Martínez-Falcón et al., 2019).

La estructura general de toda red está representada por diferentes tipos de grafos: redes unipartitas y bipartitas (Figura. 2). Las redes unipartitas permiten establecer enlaces entre cualquier nodo de la red (depredadores en una comunidad), por el contrario, las redes bipartitas ilustran las conexiones entre nodos de dos grupos diferentes, sin existir conexiones entre nodos del mismo grupo (planta-ave) (Newman, 2006 citado en Jordano et al., 2009).

De acuerdo con Palacio (2014), las redes de interacciones mutualistas planta-animal son redes bipartitas. Las interacciones se establecen entre parejas de especies de cada grupo de nodos y representan un vínculo que implica una reciprocidad. La topología de la red indica cómo se distribuyen los vínculos o enlaces entre las especies, lo que se conoce como distribución de grado o de conectividad. La conectividad indica la densidad de vínculos entre los vértices de la red y es una medida importante de la cohesión entre los nodos.



**Figura 2A.** Diagrama de una red unipartita y bipartita anidada. 2B. Diagrama de una red bipartita con las especies (nodos; diferentes especies de árboles/aves) conectados por eventos de interacción (vínculos; la anchura del vínculo proporcional a la frecuencia de interacción).

Adaptado de Jordano et al., 2009; García, 2016.

#### 4.5 Medición de redes de interacción

Los datos que sustentan las redes mutualistas entre aves y plantas se enfocan en "quién (pájaro) come o dispersa qué (planta)". Estos datos se organizan en celdas que se representan en una matriz de interacción especie-especie, la cual contiene información sobre la ocurrencia en un formato binario (García, 2016). La matriz está compuesta por dos vectores: filas y columnas. Las columnas corresponden a las especies de plantas con frutos carnosos, mientras que las filas corresponden a las especies de aves frugívoras que interactúan con las plantas (Jordano, 2009).

La matriz de interacción puede ser de dos tipos: cualitativa o cuantitativa. La cualitativa (Tabla 2) registra la presencia o ausencia de una especie frugívora (F) consumiendo frutos o visitando una especie de planta (P), lo que se denota con 1 si hay presencia y con 0 si no hay presencia de la interacción. Por otro lado, la matriz cuantitativa (Tabla 3) registra el número de veces que se produjo la interacción (Jordano, 2009).

**Tabla 2.** Matriz de interacciones cualitativa

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
F1	1	1	1	1	1	0	1
F2	1	1	0	1	1	1	0
F3	1	1	1	0	0	0	0
F4	0	1	1	0	0	0	0

**Tabla 3.** Matriz de interacciones cuantitativa

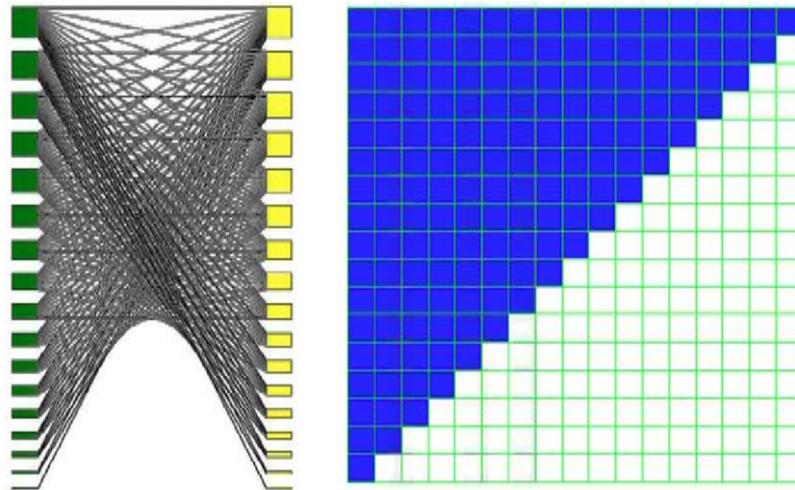
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
F1	1	23	10	4	0	0	15
F2	11	0	13	3	1	1	0
F3	0	1	41	0	52	27	13
F4	6	17	1	29	0	0	69

Nota: F: aves frugívoras P: plantas

Para el análisis de los datos recopilados en la matriz se usan los siguientes índices de interacción: anidamiento, conectancia, robustez, asimetría y modularidad. A continuación, se explica lo que significa cada uno de éstos:

#### 4.5.1 Anidamiento

El NODF (métrica de anidamiento basada en superposición y relleno decreciente) de una red de interacción identifica las especies con un nivel más alto de interacciones dentro del hábitat (Lara-Rodríguez et al., 2012). Las redes anidadas se distinguen porque el núcleo de las especies generalistas (aquellas con muchas interacciones) interactúan entre sí, y además por la interacción entre especies altamente especialistas (aquellas con pocas interacciones) que interactúan con las especies generalistas. Esto resulta en una red con muchas asimetrías, donde las especies generalistas se vinculan con otras especies generalistas, y a su vez, las especies especialistas se conectan con este conjunto de generalistas (Figura 3) (Martínez-Falcón et al., 2019).



**Figura 3.** Topología de redes de interacciones bipartitas de acuerdo con su estructura: red anidada. (Martínez-Falcón et al., 2019).

#### 4.5.2 Conectancia

La conectancia de la red calcula el número de interacciones totales de especies observadas en una comunidad (Jordano et al., 2009). Es un parámetro que mide el porcentaje de enlaces que se observan en relación al número total de enlaces posibles que podrían existir dentro de la red. Los valores cercanos a 0 muestran que la red posee mayor diversidad de especies que a su vez muestran un mayor número de interacciones en su estructura (Palacio, 2014). A medida que aumenta la cantidad de especies en una comunidad, también se incrementa el número de interacciones registradas, no obstante, la conectancia disminuye exponencialmente (Jordano, 1987).

#### 4.5.3 Robustez

Este índice permite entender cuán robustas son las redes de interacciones ante la pérdida de especies. La robustez se calcula mediante pruebas teóricas de simulación de extinción de especies dentro de la red (Memmott et al., 2004). Con este índice se puede determinar qué tan bien una red de interacciones puede resistir la pérdida de especies y cómo esto puede afectar su capacidad para mantener la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema (Donoso et al., 2017).

En redes de interacción en las que se presentan diferentes especies conectadas, los generalistas podrían mostrar mayor resistencia ante las perturbaciones en comparación con los especialistas, lo cual conferiría más robustez a la red (Jordano et al., 2009).

#### **4.5.4 Asimetría**

La asimetría es una propiedad que aumenta la estabilidad a las redes complejas de interacción entre plantas y animales, lo cual permite que coexistan un mayor número de especies al hacerlas más robustas frente a las perturbaciones, como la pérdida de especies. En las redes complejas, la asimetría en la intensidad de interacción puede estar influenciada por propiedades ecológicas de las especies, como su abundancia en el hábitat, la duración de las fenofases, entre otros factores. Estos factores explican la intensidad de la interacción entre especies: mientras más abundante sea una especie mutualista potencial, mayor será su tasa de visita y mayor será el impacto de su interacción (Jordano, 2009).

#### **4.5.5 Modularidad**

La modularidad de una red se refiere a un patrón en la distribución relativa de las interacciones entre especies en una red, teniendo en cuenta las identidades de los socios (García, 2016). Se presenta cuando hay agrupación de las interacciones dentro de una red completa, es decir, cuando ciertas especies interactúan más estrechamente con un grupo de menor tamaño (módulo) que con el resto de las especies de la comunidad (Martínez-Falcón et al., 2019).

#### **4.6 Efecto espacio temporal en las redes de interacciones mutualistas**

Las interacciones mutualistas vinculan a las especies en el espacio y el tiempo para formar comunidades ecológicas. Estas interacciones son clave para la coexistencia de especies, así como para la persistencia y estabilidad de las comunidades (Levine et al., 2017; Alroy, 2018); sin embargo, dependen del contexto en el tiempo ecológico y evolutivo las cuales están influenciadas por una serie de factores como: la época de estación, abundancia de las especies, cambios del paisaje y la disponibilidad de recursos (Chomicki et al., 2019).

La variación en la estructura de una red de interacciones en el espacio y en el tiempo puede afectar su dinámica de manera significativa en los ecosistemas (McCann et al., 2005). Aunque la concepción común del mutualismo es que ambas especies involucradas se benefician de la interacción, la mayoría de los mutualismos no se ajustan a esta idea, por lo que el resultado de estas interacciones puede variar a lo largo del tiempo y el espacio, donde una relación fuerte de mutualismo puede convertirse en una relación de comensalismo, e incluso en relaciones de parasitismo (Herre et al., 1999; Sachs y Simms, 2006).

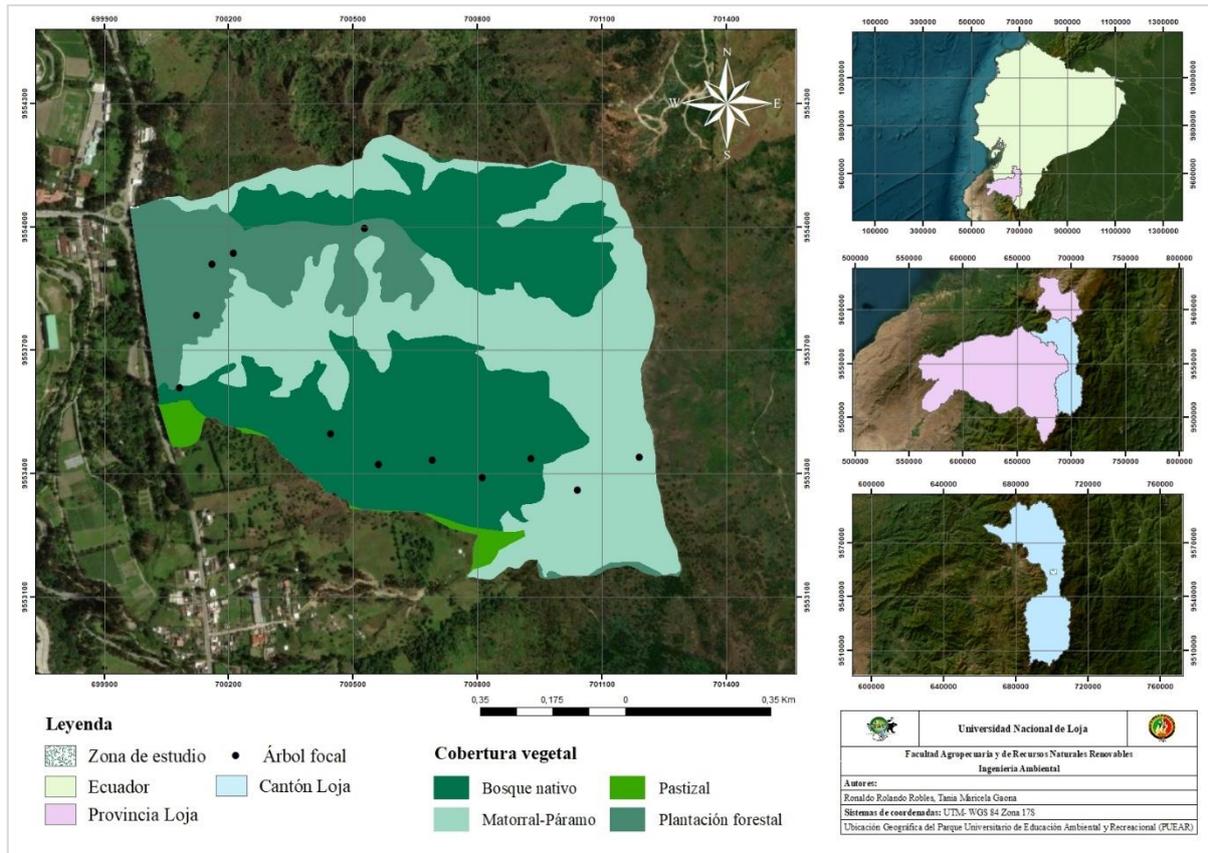
Por ejemplo, en tiempos de floración y fructificación, las redes de interacciones experimentan ventanas temporales sobre la disponibilidad de recursos que pueden variar desde semanas e incluso meses, a las que polinizadores y aves frugívoras deben adaptarse. En época de floración, la composición de polinizadores puede cambiar significativamente según sus calendarios de floración y producción de néctar, así mismo, las redes de dispersión de semillas mediada por aves se ven influenciadas por el desacoplamiento fenológico que se produce por la migración y la estacionalidad durante el invierno (García, 2016).

## 5. Metodología

### 5.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional “Francisco Vivar Castro” (PUEAR), ubicado en el cantón Loja, parroquia Punzara, Ciudadela Universitaria “Guillermo Falconí Espinosa”, a 5 km del centro de la ciudad de Loja (Rojas, 2012). Abarca una extensión de 96 ha y su rango altitudinal varía entre los 2 130 a 2 520 m s.n.m; se localiza entre las coordenadas geográficas: 79° 11' 07'' y 79° 12' 03'' Longitud Oeste; 04° 01' 37'' y 04° 02' 02'' Latitud Sur. Además, posee un clima templado con una temperatura promedio anual de 16,6 °C y una precipitación anual media de 900 mm (Aguirre y Yaguana, 2014).

La cobertura vegetal del PUEAR (Figura 4) se compone principalmente de matorral alto y páramo antrópico con una extensión de 28,4 ha (29,58 %) y 20,58 ha (21,44 %) respectivamente. Así mismo el parque cuenta con 14,27 ha (14,86 %) de matorral bajo, 13,83 ha (14,4 %) de plantaciones forestales, 12,93 ha (13,46 %) de bosque natural y finalmente de pastizales con una extensión de 0,65 ha equivalente un 0,68% del área total del parque universitario (Aguirre y Yaguana, 2014).



**Figura 4.** Ubicación geográfica del área de estudio "PUEAR" en la provincia y cantón Loja. Tipos de cobertura vegetal del Parque Universitario.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, el diseño es aleatorio de tipo no experimental, con un alcance descriptivo, en el cual se pretende identificar la estructura de las redes ecológicas mediante varios índices. Las unidades de muestreo fueron seleccionadas *ad libitum*, es decir, se establecieron árboles focales que se encontraban en fructificación en cada tipo de cobertura vegetal. Se seleccionaron 12 árboles focales (Figura 4), a razón de seis en el bosque natural, cuatro en las plantaciones forestales y dos en el matorral-páramo.

## 5.2 Métodos

### 5.2.1 Selección y ubicación de los puntos de muestreo

Se establecieron árboles focales de observación dentro de cada cobertura vegetal del PUEAR: plantaciones forestales, bosque natural, matorral-páramo, considerando una distancia mínima de 100 m entre árboles focales para garantizar la independencia de las unidades de muestreo.

### **5.2.2 Observaciones focales**

El muestreo de aves frugívoras se realizó en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2023. En cada uno de los árboles seleccionados se observaron las interacciones aves-planta en un tiempo de 15 minutos, en horario de 06:00 am a 09:00 am. Las interacciones se observaron con la ayuda de binoculares 8x42.

En cada observación se registró: la especie de ave y de planta, el tipo de cobertura vegetal, la hora de llegada de las aves, tiempo de permanencia, tipo de interacción y cantidad de frutos manipulados. Los datos fueron registrados en la hoja de campo correspondiente (Anexo 1).

### **5.2.3 Cámaras trampa**

Para incrementar el número de interacciones registradas se utilizaron cuatro cámaras trampa provistas de un sensor de movimiento. Éstas fueron ubicadas en diferentes períodos para cada tipo de cobertura vegetal y permanecieron activas continuamente las 24 horas del día, durante 7 días. Se colocaron dos cámaras trampa en matorral-páramo y cuatro en bosque natural y plantaciones forestales respectivamente. Las mismas, fueron colocadas y aseguradas a una altura adecuada y angulada dependiendo de la cobertura vegetal, de tal manera que el sensor tenga suficiente campo libre para captar las interacciones y minimizar los falsos disparos. Se programaron con una velocidad de disparo máxima de 0,2 segundos y captura de 8 imágenes después de haber detectado el movimiento.

Es importante mencionar los posibles sesgos que pueden surgir al utilizar cámaras trampa. Entre uno de ellos se encuentra la afectación en la cuantificación de frutos consumidos por las aves, causada por la velocidad de disparo de la cámara y el tiempo de que tarda en activarse una vez detectado el movimiento. De igual manera, el campo de visión limitado de las cámaras puede restringir la detección de todas las aves presentes, favoreciendo a aquellas dentro del rango visual. Además, se debe tener en cuenta la ubicación selectiva de las mismas, debido a que no fueron ubicadas en todos los árboles en fructificación. Por último, es necesario mencionar la sensibilidad de detección de las cámaras, ya pueden ser más sensibles a especies grandes, ignorando la presencia de aves más pequeñas.

#### 5.2.4 Identificación de aves y especies botánicas

La identificación de las aves se realizó utilizando la guía Birds of Ecuador (Freile y Restall, 2018), la Bioweb (Freile y Poveda, 2019) y la aplicación Merlin Bird ID (Cornell Lab of Ornithology, 2023), mientras que la clasificación taxonómica se la realizó mediante la SACC List (South American Classification Committee) (Remsen et al., 2023).

Por otro lado, la identificación de especies de plantas en fructificación se realizó *in situ*, con el apoyo del técnico docente Ing. Leonardo González, encargado del PUEAR.

#### 5.3 Análisis de datos

Para evaluar las redes, se analizaron matrices de interacción cuantitativas, donde se ubicaron a las especies de aves (A) en las filas y las especies de plantas (P) en las columnas. En las redes se evaluó la conectancia, anidamiento, modularidad, robustez y asimetría.

La red de interacción plantas-aves frugívoras (G) fue definida por la matriz (R) la cual describe las interacciones aves-plantas en la Ecuación 1 (Medel et al., 2009). De tal manera que, los elementos de la matriz indicaron la presencia o ausencia de las interacciones en la red G, como se muestra en la Ecuación 2 (Medel et al., 2009).

$$R = [\alpha_{ij}]^{A \times P} \quad [Ec. 1]$$

Donde:

$R$  = matriz de adyacencia

$A$  = aves

$P$  = plantas

$[\alpha_{ij}]$  = elementos de la matriz R

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} v_i v_j \in (G) \\ v_i v_j \notin (G) \end{cases} \quad [Ec. 2]$$

Donde:

$\alpha_{ij}$  = interacciones entre ave ( $i$ ) con planta ( $j$ )

$v_i v_j$  = dos nodos del conjunto de especies de aves y plantas

$v_i v_j \in (G)$  = presencia de interacciones entre ave ( $i$ ) y planta ( $j$ )

$v_i v_j \notin (G)$  = ausencia de interacciones entre ave ( $i$ ) y planta ( $j$ )

La conectancia de la red de interacción fue calculada para determinar el número de especies observadas en una comunidad interactuante. Este índice varía de 0 a 1, donde valores cercanos a cero muestran que la red posee una conectividad baja entre las especies, mientras que valores cercanos a uno, expresan que todas las especies se encuentran conectadas entre sí. La conectancia de las redes se calculará mediante la Ecuación 3 (Medel et al., 2009).

$$C = \frac{I}{P \times A} \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde:

$C$  = índice de conectancia

$I$  = número de interacciones observadas

$P$  = número de especies de plantas

$A$  = número de especies involucradas

El anidamiento de la red (NODF), determina las especies con mayor interacción dentro del hábitat. Esta medida propuesta por Almeida-Neto et al. (2008) se basa en la superposición de nodos (NO) y el relleno decreciente (DF). Los valores de NODF varían entre 0 y 100, donde N toma valores próximos a 100 en matrices muy anidadas. Los valores se normalizaron para que variaran entre 0 (no anidado) y 1 (perfectamente anidado). La medida de anidamiento para toda la matriz viene dada por la Ecuación 4 (Almeida-Neto et al., 2018).

$$NODF = \frac{\sum N_{paired}}{\left(\frac{n(n-1)}{2}\right) + \left(\frac{m(m-1)}{2}\right)} \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde:

$NODF$ : índice de anidamiento

$\sum N_{paired}$ : grado de anidamiento de pares

$\frac{n(n-1)}{2}$ : anidamiento para n columnas

$\frac{m(m-1)}{2}$ : anidamiento para m filas

La modularidad en la red permitió conocer los enlaces que se presentan dentro del grupo de especies o entre grupos de especies enlazados a otro u otros grupos de especies. Valores

cercanos a uno indican que la comunidad de especies incrementa la división de módulos dentro de la misma red de interacción (Palacio, 2014). El cálculo de este índice se muestra en la siguiente Ecuación 5.

$$M_B = \sum_{i=1}^{N_m} \frac{L_i}{L} - \left( \frac{k_i^C - k_i^R}{L^2} \right) \quad [\text{Ec. 5}]$$

Donde:

$M_B$  = índice de modularidad

$N_m$  = número de módulos

$i$  = suma del número de vínculos en el módulo

$L$  = número de vínculos en la red

$L_i$  = suma de vínculos en el módulo  $i$

$k_i^C$  = suma del número de vínculos en el módulo ( $i$ ) que pertenece al conjunto de plantas (C)

$k_i^R$  = suma del número de vínculos en el módulo ( $i$ ) que pertenece al conjunto de aves (R)

Para evaluar la robustez de la red, se realizaron simulaciones de extinción mediante el software R 4.2.3, paquete 'bipartito'. Se removieron tanto especies residentes como migratorias a través de 100 aleatorizaciones utilizando la función “robustness” generada por el comando “second.extinct”. El cálculo de este índice en la red de interacción conforme tiene un valor cercano a 1, representa un sistema en el que la mayoría de las especies de plantas permanecerán después de la eliminación de la mayoría de los frugívoros, y viceversa. Por otro lado, valores cercanos a 0 indican un rápido colapso de la red después de las primeras extinciones, es decir, una red con baja robustez (Ramos-Robles et al., 2018).

La asimetría de interacción cuantifica el desequilibrio promedio entre el efecto de una especie focal sobre sus socios de interacción y el efecto recíproco de los socios de interacción sobre la especie focal. El cálculo de este índice varía entre 0 y  $\mp 1$ . Un valor positivo significa que las aves ejercen un efecto más fuerte sobre las plantas; mientras que, un valor negativo, muestra que las de plantas ejercen un efecto más fuerte sobre las aves. A medida que el valor es más cercano a  $\mp 1$  indica una alta asimetría. La fuerza de la interacción entre dos especies en dos grupos de una red bipartita se calcula mediante la Ecuación 6 (Vázquez et al., 2007).

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^J a_{ij}}{k_i} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Donde:

$A_i$ : asimetría de interacción

$\sum_{j=1}^J d_{ij}$ : fuerza del efecto recíproco de  $j$  sobre  $i$

$k_i$ : número de enlaces o “grado” de especie  $i$

Con los datos recopilados del muestreo en campo, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo. Para el análisis estadístico de las redes de interacción, así como para el cálculo de los índices se utilizó el software estadístico R versión 4.2.2 (R Core Team, 2022), específicamente los paquetes Bipartite versión 4.2.3 (Dormann et al., 2008) y Network versión 4.2.3 (Butts, 2008).

## 6. Resultados

### 6.1 Identificación de especies de plantas y aves frugívoras

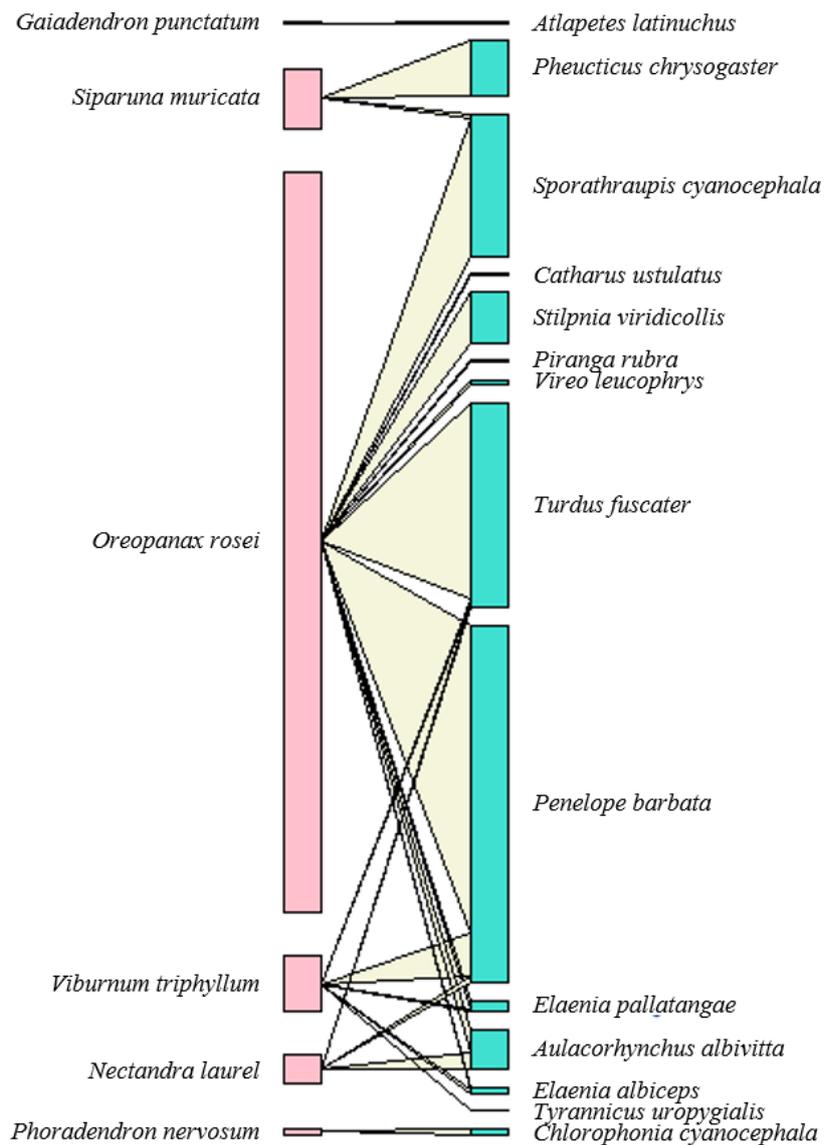
Entre los meses de octubre a diciembre con un esfuerzo de muestreo de 90 h, se identificó un total de 14 especies de aves frugívoras que interactuaron con un total de 6 especies de plantas en fructificación (Anexo 4).

Las aves registradas pertenecieron a 3 órdenes y se distribuyeron en 9 familias. La familia que tuvo el mayor número de especies fue Tyrannidae con 3 especies, seguida de las familias Cardinalidae; Thraupidae y Turdidae con 2 especies cada una, y las familias con una sola especie fueron Cracidae; Emberizidae; Fringillidae; Ramphastidae y Vireonidae. En cuanto a, las especies de plantas registradas pertenecieron a 3 órdenes y se distribuyeron en 6 familias: Araliaceae; Adoxaceae; Lauraceae; Siparunaceae; Loranthaceae y Santalaceae (Anexo 2).

De las 14 especies de aves registradas en el PUEAR, la mayor cantidad de aves frugívoras (13 especies) fue registrada en el bosque natural, seguido de las plantaciones forestales (5 especies) y el matorral-páramo (4 especies).

### 6.2 Evaluación de las redes de interacciones aves frugívoras-planta

En la red de interacción a nivel general del PUEAR (Figura 5), se identificó que *Oreopanax rosei* fue la especie de planta con mayor número de interacciones con aves (10 especies), siendo *Turdus fuscater*, *Sporathraupis cyanocephala* y *Penelope barbata* con las que interactuó en mayor frecuencia; mientras que, *Gaiadendron punctatum* y *Phoradendron nervosum*, fueron las plantas que interactuaron con una sola especie de ave *Atlapetes latinuchus* y *Chlorophonia cyanocephala* respectivamente. En lo que respecta a aves, las especies que registraron mayor número de interacciones fueron *Penelope barbata* y *Turdus fuscater*, las cuales interactuaron con tres especies de plantas (*Nectandra Laurel*, *Oreopanax rosei* y *Viburnum triphyllum*); en cambio, las especies que tuvieron un menor número de interacciones fueron *Atlapetes latinuchus*, *Catharus ustulatus*, *Chlorophonia cyanocephala*, *Pheucticus chrysogaster*, *Tyrannicus uropygialis*, *Piranga rubra*, *Stilpnia viridicollis* y *Vireo leucophrys* mismas que interactuaron con una sola especie de planta.

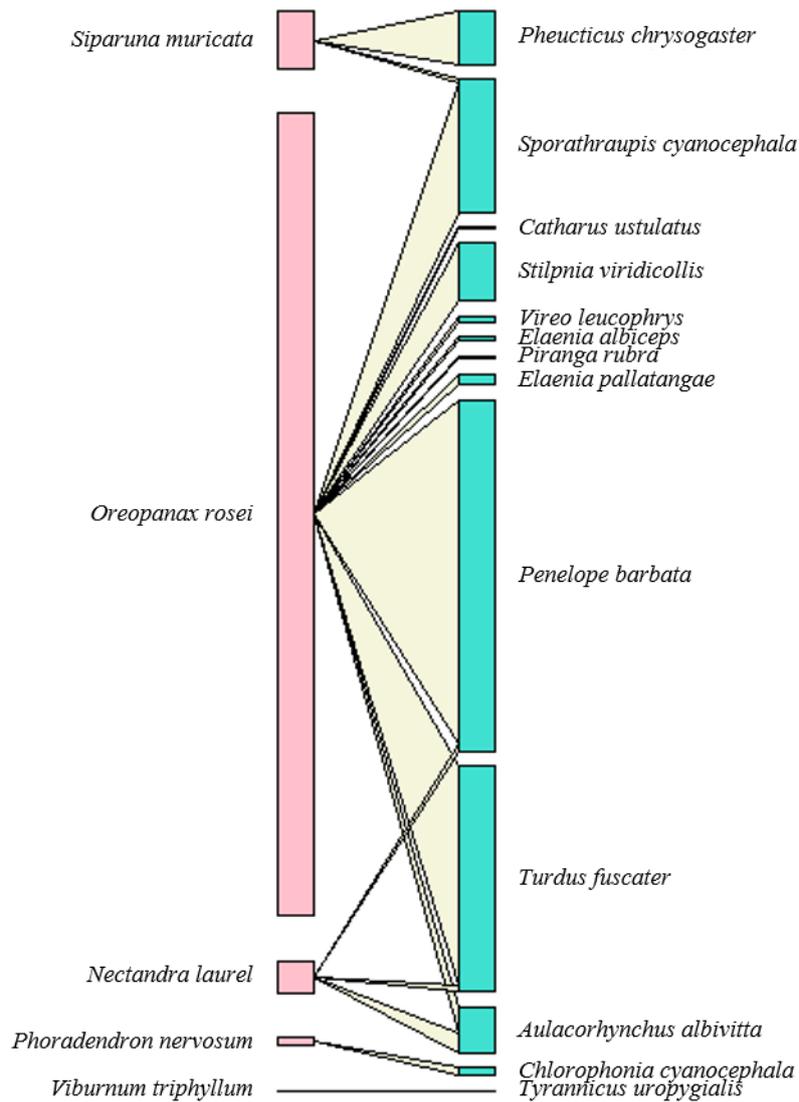


**Figura 5.** Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel general del PUEAR

En cuanto a los índices en la red general planta-aves frugívoras del PUEAR, el bajo grado de conectancia (0,26) implica una cantidad elevada de especies interactuantes con pocas conexiones entre sí, además de registrar un conjunto más limitado de interacciones con otras especies, dado por el anidamiento bajo (0,37). De igual manera, el bajo grado de modularidad (0,17) señala que las especies estuvieron distribuidas de manera más homogénea en toda la red. Así mismo, la baja robustez (0,44) reveló que la red es menos resiliente frente a las perturbaciones. Por otro lado, el grado de asimetría positivo (0,33) indicó que las aves ejercen un efecto más fuerte sobre las plantas.

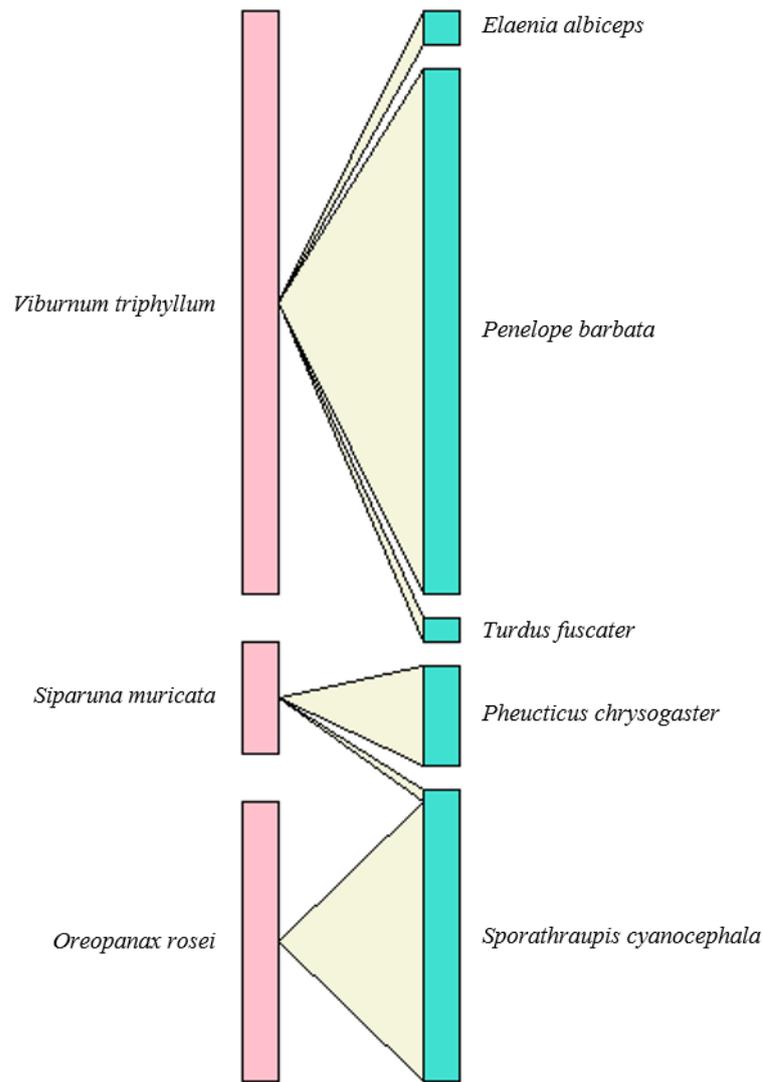
### 6.2.1 Sub-red planta-aves frugívoras a nivel de cobertura

La red de interacción de bosque natural (Figura 6) estuvo compuesta por 5 especies de plantas y 12 especies de aves frugívoras. Se registraron tres especies de plantas que fueron visitadas por más de dos especies de aves (*Oreopanax rosei*, *Nectandra Laurel* y *Siparuna muricata*); mientras que, *Viburnum triphyllum* y *Phoradendron nervosum* interactuaron con una sola especie de ave. Por otro lado, las aves frugívoras *Aulacorhynchus albivitta*, *Penelope barbata*, *Sporathraupis cyanocephala* y *Turdus fuscater* interactuaron con dos especies de planta; en cambio, las aves que visitaron una sola especie de planta fueron *Elaenia flavogaster*, *Tangara viridicollis*, *Elaenia albiceps*, *Vireo leucophrys*, *Catharus ustulatus*, *Chlorophonia cyanocephala*, *Pheucticus chrysogaster* y *Phyllomyias uropygialis*.



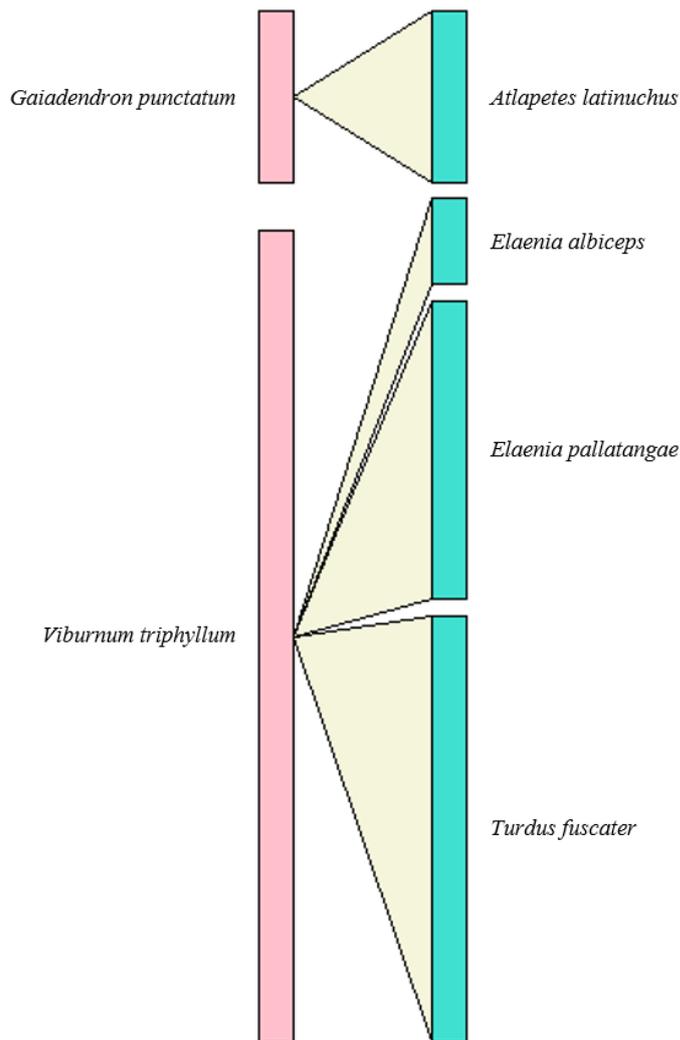
**Figura 6.** Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel del bosque natural

La red de interacción dentro de las plantaciones forestales (Figura 7) estuvo compuesta por 3 especies de plantas y 5 especies de aves frugívoras. La especie de planta que interactuó con tres especies de aves fue *Viburnum triphyllum*, mientras que, *Oreopanax rosei* fue visitada por una sola especie de ave. En el caso de las aves frugívoras, *Sporathraupis cyanocephala* interactuó con dos especies de plantas; mientras que *Elaenia albiceps*, *Penelope barbata*, *Turdus fuscater* y *Pheucticus chrysogaster* interactuaron con una sola especie de planta.



**Figura 7.** Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel de las plantaciones forestales

La red de interacción del matorral-páramo (Figura 8) estuvo compuesta por 2 especies de plantas y 4 especies de aves frugívoras. En esta sub-red se observó que la especie de planta *Viburnum triphyllum* fue visitada por tres de las cuatro especies de aves, en comparación con *Gaiadendron punctatum* que interactuó con una sola especie de ave *Atlapetes latinuchus*. En cuanto a aves frugívoras, todas las especies interactuaron con una sola especie de planta.



**Figura 8.** Red de interacción planta-aves frugívoras a nivel del matorral-páramo

En cuanto a la estructura de las redes de interacción de cada cobertura vegetal del PUEAR, éstas mostraron una similitud entre las plantaciones forestales y el matorral-páramo, y una cierta diferencia con la red del bosque natural. En la Tabla 4 se muestran en resumen los índices que describen la estructura de las redes de interacción entre plantas y aves frugívoras de cada cobertura vegetal del PUEAR.

Con respecto a los índices a nivel de sub-red por cobertura vegetal, el matorral-páramo presentó la conectancia más alta, lo que señala que las especies están densamente conectadas; en comparación con las plantaciones forestales y el bosque natural, donde las especies se encontraron poco conectadas entre sí. En cuanto al grado de anidamiento, éste fue bajo para las tres coberturas vegetales, esto indica que las especies generalmente interactúan con un conjunto

más reducido de otras especies. Con relación al grado de modularidad, las plantaciones forestales presentaron una alta modularidad, que significa la presencia de módulos o comunidades bien definidas en la red, en comparación con el bosque natural y el matorral-páramo, donde fue baja. Por su parte el grado de robustez en las tres coberturas fue bajo, lo que indica una menor resiliencia por parte de las especies frente a posibles perturbaciones; sin embargo, la menos afectada sería el bosque natural, donde es un poco más alta. Por otro lado, el grado de asimetría en las tres coberturas fue positivo, lo que indica que las aves ejercen un efecto más fuerte sobre las plantas.

**Tabla 4.** Índices de la red de interacción a nivel de cobertura vegetal.

<b>Índices en la red de interacción a nivel de cobertura vegetal del PUEAR</b>	<b>BN</b>	<b>PF</b>	<b>MP</b>
Conectancia	0,26	0,40	<b>0,50</b>
Anidamiento	0,30	0,15	0,00
Modularidad	0,15	<b>0,53</b>	0,28
Robustez	<b>0,38</b>	0,24	0,12
Asimetría	0,50	0,33	0,52

Nota: BN (bosque natural), PF (plantaciones forestales), MP (matorral-páramo)

## 7. Discusión

Las interacciones entre plantas-aves frugívoras y la estructura de la red que estas generan, se deben a la capacidad de las aves para interactuar selectivamente con diferentes especies de plantas y establecer relaciones mutualistas (Dehling et al., 2016; Olsen et al., 2011). Este mutualismo es fundamental, ya que beneficia a las aves al proporcionarles una fuente de alimento, mientras que las plantas se benefician de la dispersión de sus semillas, lo que contribuye a su reproducción exitosa (Wang y Smith, 2002). Estos procesos conducen a una variabilidad en la frecuencia e identidad de las interacciones frugívoro-planta (Dehling et al., 2016; Olsen et al., 2011). Así, el mutualismo entre plantas y aves no solo es clave para el mantenimiento de la biodiversidad, sino que también promueve la variabilidad genética y refuerza las dinámicas ecológicas de los ecosistemas (Kremen et al., 2007).

En la zona de estudio, las interacciones entre plantas y aves frugívoras muestran diferentes estructuras en cada sub-red analizada. Estas diferencias se reflejan en los valores de los índices de las sub-redes de interacción, donde, la estabilidad de cada una de ellas puede variar según el tipo de cobertura vegetal, debido a la composición de interacciones y la estructura de la vegetación (Espinosa, 2021). Se ha demostrado que la composición y configuración del paisaje tiene efectos perjudiciales sobre la diversidad de frugívoros, lo que acarrea consigo consecuencias negativas para el proceso de dispersión de semillas. Curiosamente, el efecto combinado de la pérdida y fragmentación de los bosques impacta la estructura en las redes de interacción mutualistas (Bonfim et al., 2021), Esto resalta la importancia manifiesto la importancia de conservar las áreas naturales para mantener la complejidad y funcionalidad de estas redes.

El último estudio realizado por Ordoñez-Delgado et al., (2022) en el PUEAR registró 112 especies de aves, correspondientes a 35 familias y 15 órdenes. De las cuales, la familia Cardinalidae estaba representada por una sola especie (*Pheucticus chrysogaster*), mientras que en el estudio actual se registraron dos especies de aves *Pheucticus chrysogaster* y *Piranga rubra*. Para Ordoñez-Delgado et al., (2016), *Pheucticus chrysogaster* es una especie común de visualizar; sin embargo, *Piranga rubra* no se ha evidenciado documentalmente en la zona de estudio. Conforme a la propuesta de Ridgely y Greenfield (2006) *Piranga rubra* (piranga roja)

es una especie boreal (Neártica-Neotropical) que se reproducen en el hemisferio norte y migran hacia el sur durante el invierno septentrional.

Un estudio realizado por Nielsen y Totland (2014), demostró que las especies pueden cumplir diferentes roles, dentro de diferentes redes, aunque este hallazgo no depende necesariamente del nivel de degradación, sino más bien se atribuye al patrón de distribución espacial de las especies de plantas. Esto puede afectar la forma en que las especies interactúan entre sí en la red. Sin embargo, en estudios similares se menciona que la distribución espacial y riqueza de las plantas está relacionada directamente con la fragmentación en un ecosistema, lo que influye en las redes de interacciones ecológicas, debido a la cantidad y diversidad de visitantes que se benefician de estas plantas (Olesen et al., 2008; Petanidou et al., 2008). Se podría afirmar que los actuales resultados a nivel de subred, estarían influenciados directamente por la cobertura vegetal en la zona de estudio. La disponibilidad de recursos en el bosque natural permitió un mayor número de visitas por parte de las aves frugívoras, haciendo que la red sea más robusta y estable frente a perturbaciones. A diferencia de matorral-páramo, donde sucedió todo lo contrario, lo que podría estar relacionado con la composición y estructura de la vegetación.

En las sub-redes de interacción, la cobertura del bosque natural presentó un bajo grado de conectancia, similar a los observado en Colombia en bosques conservados, donde se explica que la poca conectividad, puede ser atribuida a las elecciones alimentarias de las aves y las limitaciones tanto fenológicas como morfológicas que enfrentan para acceder a los recursos (Palacio, 2014). Por otro lado, en la misma sub-red se muestra un alto grado de anidamiento, lo que proporciona una mayor capacidad de persistencia a las especies con menor número de interacciones. Además, esto les provee cohesión y estabilidad a dichos procesos ecológicos, y resistencia ante las perturbaciones o fragmentación del hábitat (Bascompte y Jordano, 2008).

Con respecto a las sub-redes en plantaciones forestales y matorral-páramo, se obtuvo una conectancia alta, lo que puede ser atribuido al bajo número especies de aves y plantas en fructificación, lo que a su vez favorece un mayor número de interacciones entre las especies (Espinosa, 2021). Por otro lado, el grado de anidamiento fue bajo, similar a lo aseverado por Vivas y Fernández (2023), quienes indican que, valores bajos de anidamiento fueron atribuidos a la intervención antrópica en la zona de estudio, como la presencia de cultivos de café,

extracción de madera y cultivos de aguacate. Las plantaciones forestales y matorral-páramo, son las coberturas que han sufrido una mayor intervención antrópica. En las plantaciones forestales la introducción de especies como el eucalipto y el pino ha desplazado a las plantas nativas, reduciendo la diversidad local y afectando a las aves frugívoras que dependen de estas especies para su alimentación. Por otro lado, el matorral-páramo ha registrado varios incendios en los últimos años, afectando más de 5 ha y provocando una pérdida significativa de su cobertura vegetal nativa (Aguirre y Yaguana, 2014). Estas alteraciones generan fragilidad en las redes de interacciones y pueden ocasionar su colapso, junto con la ausencia de especies tanto de plantas como de animales en el ecosistema (Montoya y Rodríguez, 2001).

En las redes que presentan diferentes especies conectadas, los generalistas tienen una mayor capacidad de adaptación frente a las perturbaciones que los especialistas, dando como resultado mayor robustez a la red (Jordano, 2009). La sub-red del bosque natural, presentó alta robustez, baja conectancia y la mayor presencia de aves generalistas, lo que le confiere mayor estabilidad, mientras que en la red del matorral-páramo se registró todo lo contrario, baja robustez, alta conectancia y la mayor presencia de aves especialistas. Si esta red pierde especies altamente conectadas, sería propensa al colapso de la red, ya que una mayor pérdida de especies conllevaría a una mayor inestabilidad (Montoya y Rodríguez, 2001), lo que es aseverado por Valiente-Banuet et al. (2015), quienes señalan que la extinción de especies conduce a la pérdida de interacciones y, por lo tanto, compromete la evolución y funcionalidad de los ecosistemas.

En las tres sub-redes a nivel de cobertura se presentó un grado positivo de asimetría, siendo mayor en la red del bosque natural y del matorral-páramo. Una asimetría alta en la red ayuda a mantener la biodiversidad y reduce la dependencia de las interacciones entre especies (Bascompte et al., 2009). Estudios similares sobre redes de frugivoría indican que una baja anidación y asimetría positiva son signos de que estas interacciones son más susceptibles a perturbaciones y cambios ambientales (Bascompte et al., 2009; Vazquez et al., 2007; Tylianakis, 2010). Según estos autores, las interacciones en la red del matorral-páramo y plantaciones forestales pueden ser más inestables que las del bosque natural; ya que, una perturbación en las coberturas descritas anteriormente, podría afectar a las especies frugívoras que interactúan dentro de la red.

En general se sabe que en áreas de mayor tamaño se presentan redes con una mayor diversidad especies de aves frugívoras y de plantas, permitiendo una mayor interacción entre especies (Horlent et al., 2003). Sin embargo, en el presente estudio, esta relación entre el número de especies y el tamaño de la cobertura vegetal, no se ajusta a lo mencionado por Horlent et al. (2003). En este caso, el matorral-páramo, a pesar de poseer la mayor extensión, registró una menor diversidad de interacciones, en comparación con el bosque natural, que al ser de menor tamaño, se encontró una mayor diversidad tanto de plantas como de aves frugívoras.

Un estudio realizado en dos fragmentos de bosque en el Departamento del Cauca, Colombia, determinó que la mayoría de las aves frugívoras se encontraron distribuidas en varias familias del orden Passeriformes, particularmente Emberizidae, Pipridae, Thraupidae, Turdidae y Tyrannidae. Estas tres últimas familias fueron las que presentaron mayor diversidad y abundancia de interacciones en la zona de estudio (Vivas y Fernández, 2023). Este hallazgo es similar a los resultados de la presente investigación, donde la mayoría de las familias de aves frugívoras estuvieron representada por el orden Passeriformes, siendo Tyrannidae la familia con más especies. Sin embargo, fueron las que menos interactuaron con las especies de plantas en fructificación.

La familia Tyrannidae constituye un grupo muy diverso de especies que en su mayoría se alimentan principalmente de insectos. Sin embargo, el estudio realizado por Lasky y Keitt (2012) se comprobó que también se alimentan de frutos y, por lo tanto, contribuyen a la dispersión de semillas. Esto explica, el por qué de las pocas interacciones por parte de las especies *Elaenia albiceps*, *Elaenia pallatangae* y *Phyllomyias uropygialis* con las plantas en fructificación del presente estudio, ya que, al ser especies insectívoras, complementan su dieta con frutos.

Bell (2011) ha descrito la migración como un fenómeno inherentemente oportunista, ya que los migrantes tienen una tendencia a alimentarse de recursos superabundantes. En un estudio realizado en la Cordillera Oriental colombiana, se identificó que dos especies migratorias *Catharus ustulatus* y *Piranga rubra*, mostraron un nivel alto de oportunismo, ya que tuvieron el mayor número de interacciones con las seis especies de plantas en fructificación registradas (Baquero, 2021). Estos hallazgos contrastan con los resultados del presente estudio,

donde estas dos especies mostraron un comportamiento especialista, dado que, se alimentaron de una sola especie de planta (*Oreopanax rosei*) y en menor frecuencia.

Por otro parte, se ha identificado que las aves más pequeñas, como las reinitas (familia *Tyrannidae*), limitan la búsqueda de alimento a unas pocas especies de plantas que producen frutos pequeños, mientras que las aves más grandes como el mirlo, tienen la capacidad de alimentarse de una amplia variedad de frutos, pertenecientes a diferentes especies de plantas (Olesen et al., 2011). En el presente caso, las plantas que producían frutos grandes como *Nectandra laurel* interactuaron con aves más grandes como *Turdus fuscater* (mirlo) y *Aulacorhynchus albivitta* (tucanete esmeralda), pero las especies con frutos pequeños como *Oreopanax rosei* interactuaron con aves de todos los tamaños.

La información proporcionada en el presente trabajo permite tener una comprensión sobre la dinámica ecológica y la estructura de los ecosistemas, y cómo estas interacciones entre plantas y aves frugívoras pueden verse afectadas por factores antrópicos como la fragmentación del hábitat o cambios en el entorno, así como las interacciones que mantienen entre sí, sus cambios en el tiempo y espacio (Montoya, 2019). Adicionalmente, estos resultados aportan información sobre el funcionamiento de los ecosistemas y pueden ser tomados en cuenta para futuros proyectos de restauración ecológica, mediante la dispersión de semillas por aves frugívoras; así mismo, se espera que sirvan de base para implementar estrategias de conservación más realistas para los bosques de esta región.

## 8. Conclusiones

En el PUEAR se cuantificaron 14 especies de aves frugívoras y 6 especies de plantas en fructificación. La mayor presencia de especies interactuantes se registró en la cobertura del bosque natural, donde se identificaron 18 especies, en comparación con las plantaciones forestales y el matorral-páramo donde interactuaron tan solo 8 y 6 especies, respectivamente. Se puede suponer que está relacionado con la variación en la estructura y composición de la vegetación, así como con la elevación de cada tipo de cobertura vegetal.

Las interacciones a nivel de subred parecen estar influenciadas por el tipo de cobertura vegetal y la alteración del hábitat. Aunque los índices de interacción indican que no existen diferencias significativas entre las diferentes coberturas vegetales, estos valores están relacionados con la disponibilidad de plantas en fructificación y el número de interacciones observadas entre las especies. Este es el caso del bosque natural, cuya red de interacciones, al ser más robusta, posee propiedades que le permiten mantener su estabilidad frente a perturbaciones ambientales y ser más resistente ante la pérdida de especies, en comparación con las plantaciones forestales y el matorral-páramo.

## **9. Recomendaciones**

Con el fin de registrar un mayor número de interacciones, se recomienda ampliar el tiempo de muestreo hacia los diferentes meses del año no considerados en la presente investigación, teniendo en consideración los periodos fenológicos de las plantas en las diferentes coberturas vegetales del PUEAR.

Complementar los métodos de muestreo con redes de neblina y realizar análisis de las heces, para obtener muestras completas de los recursos alimenticios que consumen las aves, y determinar su papel en la regeneración de ecosistemas degradados.

## 10. Bibliografía

- Aguilar, R., Ashworth, L., Cagnolo, L., y Galetto, L. (2009). Dinámica de interacciones mutualistas y antagonistas en ambientes fragmentados. 199–224. <https://www.researchgate.net/publication/312341653>
- Aguirre, Z., y Yaguana, C. (2014). Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreación Ing. Francisco Vivar Castro. <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/parque-universitario-francisco-vivar-c-unl.pdf>
- Almeida-Neto, M., et al. (2008). A Consistent Metric for Nestedness Analysis in ecological Systems: Reconciling Concept and Measurement. *OIKOS*, 117, 1227-1239. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2008.16644.x>
- Alroy J. (2018). Limits to species richness in terrestrial communities. *Ecology letters*, 21(12), 1781–1789. <https://doi.org/10.1111/ele.13152>
- Amico, Guillermo C, and Aizen, Marcelo A. (2005). Seed dispersal by birds in a temperate forest of southern South America: Who disperses to whom. *Ecología austral*, 15(1), 89-100. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667-782X2005000100009&lng=es&tlng=en](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2005000100009&lng=es&tlng=en).
- Bascompte, J., and Jordano, P. (2006). The structure of plant-animal mutualistic networks. *Ecological networks: linking structure to dynamics in food webs*, 143-159. <https://books.google.es/books?id=52SYDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Bascompte, J., and Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: The architecture of biodiversity. In *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* (Vol. 38, pp. 567–593). <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818>
- Bascompte, J., y Jordano, P. (2008). Redes mutualistas de especies. *Investigación y Ciencia* 384, 50-59. <http://hdl.handle.net/10261/38401>
- Bascompte, J. (2009). Mutualistic networks. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(8), 429-436. <https://doi.org/10.1890/080026>

- Bascompte, J., and Jordano, P. (2013). *Mutualistic networks*. Princeton University Press. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=52SYDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Mutualistic+networks.+Princeton+University+Press.+&ots=w8gW\\_81269&sig=ctPqRCRydLLM8Bc87xGV0I5y8yU#v=onepage&q=Mutualistic%20networks.%20Princeton%20University%20Press.&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=52SYDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Mutualistic+networks.+Princeton+University+Press.+&ots=w8gW_81269&sig=ctPqRCRydLLM8Bc87xGV0I5y8yU#v=onepage&q=Mutualistic%20networks.%20Princeton%20University%20Press.&f=false)
- Baquero González, N. D. (2021). Estructura de la red de interacciones mutualistas entre aves frugívoras residentes, migratorias y plantas ornitócoras en tierras bajas de la Cordillera Oriental colombiana. [Tesis de grado, Universidad el Bosque]. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/7633>
- Bell, C.P. (2011). Resource buffering and the evolution of bird migration. *Evolutionary Ecology* 25, 91–106 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10682-010-9383-4>
- Bonfim, F. C. G., Dodonov, P., & Cazetta, E. (2021). Landscape composition is the major driver of the taxonomic and functional diversity of tropical frugivorous birds. *Landscape Ecology*, 36(9), 2535–2547. doi:10.1007/s10980-021-01266-y
- Butts C (2008). “network: a Package for Managing Relational Data in R.” *Journal of Statistical Software*, \*24\*(2). doi:10.18637/jss.v024.i02
- Camargo, P. H. S. A., Pizo, M. A., Brancalion, P. H. S., and Carlo, T. A. (2020). Fruit traits of pioneer trees structure seed dispersal across distances on tropical deforested landscapes: Implications for restoration. *Journal of Applied Ecology*, 57(12), 2329–2339. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13697>
- Carlo, T. A., and Morales, J. M. (2016). Generalist birds promote tropical forest regeneration and increase plant diversity via rare-biased seed dispersal. *Ecology*, 97, 1819–1831. <https://doi.org/10.1890/15-2147.1>
- Carlo, T.A., Camargo, P.H.S.A. and Pizo, M.A. (2022). Functional ecology of Neotropical frugivorous birds. *Ornithol.* 30, 139–154. <https://doi.org/10.1007/s43388-022-00093-2>

- Chomicki, G., Weber, M., Antonelli, A., Bascompte, J., and Kiers, E. T. (2019). The Impact of Mutualisms on Species Richness. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 34, Issue 8, pp. 698–711). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.03.003>
- Dehling, DM, Jordano, P., Schaefer, HM, Böhning-Gaese, K. y Schleuning, M. (2016). Morphology predicts species' functional roles and their degree of specialization in plant–Frugivore interactions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1823), 20152444. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.2444>
- Donoso I, Schleuning M, García D, Fründ J. (2017). Defaunation effects on plant recruitment depend on size matching and size trade-offs in seed-dispersal networks. *Proceedings of the Royal Society London B: Biological Sciences* 284: 20162664.
- Dormann, C.F., Gruber B. y Fruend, J. (2008). Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. *R news* Vol 8/2, 8 - 11.
- Freile, J. F., Poveda, C. (2019). *Aves del Ecuador*. Versión 2019.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/avesweb>
- Freile, J.F. y Restall, R. (2018). *Birds of Ecuador*. London, UK: Helm Field Guides.
- Fleming, T. Breitwisch, R. and Whitesides, G. (1987). Patterns of tropical vertebrate frugivore diversity. *Ann. Rev. Ecol. Syst*, 18: 91–109
- Galetti M., Donatti C. I., Pires A. S., Guimaraes P. R., and Jordano P. (2006). Seed survival and dispersal of an endemic Atlantic forest palm: the combined effects of defaunation and forest fragmentation, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 151(1), 141–149, <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2006.00529.x>
- García, D. (2016). Birds in ecological networks: Insights from bird-plant mutualistic interactions. *Ardeola*, 63(1), 5–34. <https://doi.org/10.13157/arla.63.1.2016.rp7>
- Espinosa, D. (2021). *Redes de interacción plantas-aves polinizadoras en distintos tipos de cobertura vegetal del Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreación (PUEAR) de la ciudad de Loja, Ecuador*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/22496>

- Hagen, M., Kissling, W. D., Rasmussen, C., De Aguiar, M. A. M., Brown, L. E., Carstensen, D. W., Alves-Dos-Santos, I., Dupont, Y. L., Edwards, F. K., Genini, J., Guimarães, P. R., Jenkins, G. B., Jordano, P., Kaiser-Bunbury, C. N., Ledger, M. E., Maia, K. P., Marquitti, F. M. D., McLaughlin, Ó., Morellato, L. P. C., ... Olesen, J. M. (2012). Biodiversity, Species Interactions and Ecological Networks in a Fragmented World. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 46, pp. 89–210). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396992-7.00002-2>
- Herre, E.A., Knowlton, N., Mueller, U.G., and Rehner, S.A. (1999). The evolution of mutualisms: exploring the paths between conflict and cooperation. *Trends in Ecology and Evolution*, 14, 49–53.
- Horlent, Nathalie, Juárez, Marcos C, y Arturi, Marcelo. (2003). Incidencia de la estructura del paisaje sobre la composición de especies de aves de los talares del noreste de la provincia de Buenos Aires. *Ecología austral*, 13(2), 173-182. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667-782X2003000200006&lng=es&tlng=pt](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2003000200006&lng=es&tlng=pt).
- Jordano, P. (1987). Patterns of Mutualistic Interactions in Pollination and Seed Dispersal: Connectance, Dependence Asymmetries, and Coevolution. *The American Naturalist*, 129(5), 657-677. <https://doi.org/10.1086/284665>
- Jordano P. (2000). Fruits and frugivory. In: Fenner M (Ed). *Seeds: the ecology of regeneration in natural plant communities*. Wallingford, UK: Commonwealth Agricultural Bureau International.
- Jordano, P., Vázquez, D., y Bascompte, J. (2009). Redes complejas de interacciones planta-animal. In R. Medel, M. Aizen, y R. Zamora (Eds.), *Ecología y evolución de las interacciones planta animal: conceptos y aplicaciones* (Ed. Universitaria, pp. 17–41). <http://hdl.handle.net/10261/40617>
- Lara-Rodríguez, Nubia Zoe, Díaz-Valenzuela, Román, Martínez-García, Vanessa, Mauricio-López, Edith, Anaíd-Díaz, Silvia, Valle, Oscar Israel, Fisher-de León, Ana Denisse, Lara, Carlos, y Ortiz-Pulido, Raúl. (2012). Redes de interacción colibrí-planta del centro-este de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(2), 569-577.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S187034532012000200031&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S187034532012000200031&lng=es&tlng=es).

- Lasky J, Keitt T. (2012) The effect of spatial structure of pasture tree cover on avian frugivores in eastern amazonia. *Biotropica* 44:489–497. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2012.00857.x>
- Levine, J.M., Bascompte, J., Adler, P.B. and Allesina, S. (2017). Beyond pairwise mechanisms of species coexistence in complex communities. *Nature*, 546, 56–64. <https://doi.org/10.1038/nature22898>
- Kim, M., Lee, S., Lee, S., Yi, K., Kim, H. S., Chung, S., Chung, J., Kim, H. S., & Yoon, T. K. (2022). Seed Dispersal Models for Natural Regeneration: A Review and Prospects. *Forests*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/f13050659>
- Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S. G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E. E., Greenleaf, S. S., Keitt, T. H., Klein, A. M., Regetz, J., and Ricketts, T. H. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. In *Ecology Letters* (Vol. 10, Issue 4, pp. 299–314). <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>
- McCann, K.S., Rasmussen, J., Umbanhowar, J., and Humphries, M. (2005). The role of space, time, and variability in food web dynamics. In: *Dynamic Food Webs: Multispecies Assemblages, Ecosystem Development, and Environmental Change* (Ed. 62 JENS M. OLESEN ET AL. by P.D. Ruiter, V. Wolters and J.C. Moore), pp. 56–70. Elsevier and AP, Burlington.
- Martínez-Falcón AP, Martínez-Adriano CA, Dáttilo W. (2019). Redes complejas como herramientas para estudiar la diversidad de las interacciones ecológicas. En: Moreno CE (Ed) *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/Libermex, Ciudad de México, pp. 265-283.

- Medel, R., Aizen, M., y Zamora, R. (2009). *Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal* (Primera Ed). Santiago de Chile, Chile: Editorial Universitaria.
- Memmott, J., Waser, N. M., and Price, M. V. (2004). Tolerance of pollination networks to species extinctions. *Proceedings. Biological sciences*, 271(1557), 2605–2611. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2909>
- Merlin Bird ID. (2023). Cornell Laboratory of Ornithology. Ithaca, Nueva York, Estados Unidos. Recuperado de <https://merlin.allaboutbirds.org/>
- Michel, N. L., Whelan, C. J., and Verutes, G. M. (2020). Ecosystem services provided by Neotropical birds. *Condor*, 122(3). <https://doi.org/10.1093/condor/duaa022>
- Montoya, D. (2019). Restauración de redes ecológicas: Escalas espacial y temporal, estabilidad y cambio global. *Ecosistemas*, 28(2), 11-19. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1706>
- Montoya, J., Solé, R., y Rodríguez, M. (2001). La arquitectura de la naturaleza: complejidad y fragilidad en redes ecológicas. *Ecosistemas*, 10(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/313>
- Nielsen, A., and Totland, Ø. (2014). Structural properties of mutualistic networks withstand habitat degradation while species functional roles might change. *Oikos*, 123(3), 323-333. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00644>
- Negret, P. J., Maron, M., Fuller, R. A., Possingham, H. P., Watson, J. E. M., and Simmonds, J. S. (2021). Deforestation and bird habitat loss in Colombia. *Biological Conservation*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109044>
- Olesen, J. M., Bascompte, J., Dupont, Y. L., Elberling, H., Rasmussen, C., and Jordano, P. (2011). Missing and forbidden links in mutualistic networks. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1706), 725-732. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1371>
- Olesen, J. M., Bascompte, J., Elberling, H., and Jordano, P. (2008). Temporal Dynamics in a Pollination Network. *Ecology*, 89(6), 1573–1582. <http://www.jstor.org/stable/27650664>

- Ordóñez-Delgado, L., Córdova-González, J., Correa-Conde, J., Mendoza-León, C., y Armijos-Ojeda, D. (2022). El Parque Universitario Francisco Vivar Castro: Un refugio clave para las aves de la Hoya de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ*, 12(1), 9–21. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i1.1274>
- Ordóñez-Delgado, L., Reyes-Bueno, F., Orihuela-Torres, A., Armijos-Ojeda, D. (2016). Registros inusuales de aves en la hoya de Loja, Andes sur del Ecuador. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 8(1), 26–36. <https://doi.org/10.18272/aci.v8i1.276>
- Ortiz-Pulido, R., Laborde, J., and Guevara, S. (2000). Frugivory by Birds in a Fragmented Landscape: Consequences on Seed Dispersal 1. *Biotropica*, 32 (3), 473-488.
- Palacio, R. D. (2014). Estructura de la red de interacciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras en el bosque nublado de San Antonio-km 18, Valle del Cauca. *Ornitología Colombiana*, (14).
- Petanidou T, Kallimanis AS, Tzanopoulos J, Sgardelis SP, Pantis JD (2008). Long-term observation of a pollination network: fluctuation in species and interactions, relative invariance of network structure and implications for estimates of specialization. – *Ecol. Lett.* 11: 564–575. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01170.x>
- Ramos-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. <https://doi.org/10.1080/11956860.2018.1446284>
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Remsen, J. V., Jr., J. I. Areta, E. Bonaccorso, S. Claramunt, G. Del-Rio, A. Jaramillo, D. F. Lane, M. B. Robbins, F. G. Stiles, and K. J. Zimmer. Version (2023). A classification of the bird species of South America. Museum of Natural Science, Louisiana State University. <http://www.museum.lsu.edu/~Remsen/SACCBaseline.htm>

- Ridgely, R., Greenfield, P. (2006). Aves del Ecuador. Guía de Campo. Volumen II. Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia. Fundación de Conservación Jocotoco. Quito. Ecuador.
- Sachs, J. L., and Simms, E. L. (2006). Pathways to mutualism breakdown. *Trends in ecology and evolution*, 21(10), 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.06.018>
- Schleuning, M., Fründ, J., and García, D. (2015). Predicting ecosystem functions from biodiversity and mutualistic networks: An extension of trait-based concepts to plant-animal interactions. *Ecography*, 38(4), 380–392. <https://doi.org/10.1111/ecog.00983>
- Schneiberg, I., Boscolo, D., Devoto, M., Marcilio-Silva, V., Dalmaso, C. A., Ribeiro, J. W., ... Varassin, I. G. (2020). Urbanization homogenizes the interactions of plant-frugivore bird networks. *Urban Ecosystems*, 23(3), 457–470. doi:10.1007/s11252-020-00927-1
- Sekercioglu, Ç. H., Wenny, D. G., and Whelan, C. J. (Eds.). (2016). *Why birds matter: avian ecological function and ecosystem services*. University of Chicago Press.
- Thompson, R. M., Brose, U., Dunne, J. A., Hall, R. O., Hladysz, S., Kitching, R. L., Martinez, N. D., Rantala, H., Romanuk, T. N., Stouffer, D. B., and Tylianakis, J. M. (2012). Food webs: Reconciling the structure and function of biodiversity. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 27, Issue 12, pp. 689–697). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.08.005>
- Traveset, A., and Richardson, D. M. (2006). Biological invasions as disruptors of plant reproductive mutualisms. *Trends in ecology and evolution*, 21(4), 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.01.006>
- Tylianakis, J. M., Laliberté, E., Nielsen, A., and Bascompte, J. (2010). Conservation of species interaction networks. *Biological conservation*, 143(10), 2270–2279. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.12.004>
- Valiente-Banuet A, Aizen MA, Alcántara JM, Arroyo J, Cocucci A, Galetti M, García MB, García D, Gómez JM, Jordano P. (2015). Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Funct Ecol.* 29:299–307. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12356>

- Vargas-Cárdenas, F., Arroyo-Rodríguez, V., Morante-Filho, J. C., Schondube, J. E., Auliz-Ortiz, D. M., and Ceccon, E. (2022). Landscape forest loss decreases bird diversity with strong negative impacts on forest species in a mountain region. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 20(4), 386–393. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.10.001>
- Vázquez, D. P., Melián, C. J., Williams, N. M., Blüthgen, N., Krasnov, B. R. and Poulin, R. (2007). Species abundance and asymmetric interaction strength in ecological networks. *Oikos*, 116(7), 1120-1127. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15828.x>
- Vivas, R. A., y Fernández, P. D. (2023). Red de frugivoría (aves-plantas) en dos fragmentos de bosque muy húmedo premontano en el departamento del Cauca [Tesis de pregrado, Universidad del Cauca].
- Wang, B. C., y Smith, T. B. (2002). Closing the seed dispersal loop. In *TRENDS in Ecology and Evolution* (Vol. 17, Issue 8). [http://tree.trends.com0169-5347/02/\\$-seefrontmatter](http://tree.trends.com0169-5347/02/$-seefrontmatter)
- Wenny, D. G., Ç. H. Şekercioğlu, N. J. Cordeiro, H. S. Rogers, and D. Kelly (2016). Seed dispersal by fruit-eating birds. In *Why Birds Matter: Avian Ecological Function and Ecosystem Services* (Ç. H. Şekercioğlu, D. G. Wenny, and C. J. Whelan, Editors). University of Chicago Press, IL, USA. pp. 107–146.

## **11. Anexos**

**Anexo 1.** Hoja de campo

**Interacciones planta-aves frugívoras en el Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR)**

<b>Fecha</b>	mes	día	año	<b>Hora de inicio</b>		<b>Hora fin</b>	
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>
<b>Observador</b>	<input type="text"/>			<b>Temperatura</b>	<input type="text"/>	<b>Viento</b>	<input type="text"/>
				<b>Nubes</b>	<input type="text"/>	<b>Lluvia</b>	<input type="text"/>

Cobertura vegetal	Punto focal	Especie de ave	Sexo	Comportamiento	Tipo	Sitio	Interacción	Manipulación	Cantidad	Tiempo	Especie de planta

**Comportamiento:** V: En vuelo, S: Salto, P: Perchado, R: Rebuscar, RT: Rebuscar tronco; **Tipo:** Pr: Predación, Fr: frugivoría, BA: Búsqueda activa; **Altura:** altura aproxima a la que se encuentra el ave del suelo; **Interacción:** H: Hoja, B: Brote, Fr: Fruto, Fl: Flor, T: Tronco, R: Ramas; Manipulación; TE: Traga entero, CA: Come arilo, DS: Depreda semilla TS: Tira al suelo intacto, P: Picotea, NV: No se ve, TS: Traga semilla; **Cantidad:** N° interacciones. **Tiempo:** tiempo de manipulación.

### **Comportamiento**

V: En vuelo: cuando el ave esté volando a la hora de atrapar el recurso

S: Salto: cuando el ave atrape el recurso de un salto

P: Perchado: cuando el ave esté perchada a la hora de atrapar el recurso

R: Rebuscar: cuando el ave esté buscando activamente (rebuscando) entre el follaje a la hora de atrapar el recurso

RT: Rebuscar tronco: cuando el ave busca en el tronco o las ramas. Este comportamiento es típico de trepatroncos y pícidos.

### **Tipo**

Pr: Predación: es cuando un ave se alimenta de un artrópodo (o animal)

Fr: Frugivoría: es cuando un ave manipula un fruto

BA: Búsqueda activa: es cuando el ave está buscando alimento de manera activa pero no lo ves alimentarse de nada en ese momento.

### **Altura**

A cuantos metros del suelo se encuentra el ave del suelo

### **Interacciones**

H: Hoja: cuando la interacción se produce en la hoja

B: Brote: cuando la interacción se produce en el brote

F: Fruto: cuando la interacción se produce en el fruto

Fl: Flor: cuando la interacción se produce en la flor

T: Tronco: cuando la interacción se produce en el tronco

R: Ramas: cuando la interacción se produce en las ramas

### **Manipulación**

CA: Come arilo: cuando se come el arilo sin dañar la señailla

DS: Depreda semilla: cuando el ave rompe la semilla

P: Picotea: cuando picotea el fruto

NV: No se ve: cuando no se pueda observar la manipula del fruto

### **Cantidad**

Cantidad de insectos depredados o cantidad de frutos removidos de acuerdo a manipulación, en búsqueda activa es 1.

### **Tiempo**

Tiempo en que el ave usa en la manipulación del fruto

### **Hora**

Hora a la que se produce la interacción

### **NOTA**

Si un grupo de aves específicas visitó el árbol y no se pudo observar el comportamiento individual simultáneamente, nos enfocaremos en el individuo que era mejor visible. Si el comportamiento de individuos de diferentes especies no se pudo observar simultáneamente, nos enfocaremos en la especie cuyas observaciones son más rara

**Anexo 2.** Especies de aves frugívoras y plantas identificadas en el PUEAR

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie de ave</b>
Galliformes	Cracidae	<i>Penelope barbata</i>
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysogaster</i>
Passeriformes	Cardinalidae	<i>Piranga rubra</i>
Passeriformes	Emberizidae	<i>Atlapetes latinuchus</i>
Passeriformes	Fringillidae	<i>Chlorophonia cyanocephala</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Sporathraupis cyanocephala</i>
Passeriformes	Thraupidae	<i>Stilpnia viridicollis</i>
Passeriformes	Turdidae	<i>Catharus ustulatus</i>
Passeriformes	Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia albiceps</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Elaenia pallatangae</i>
Passeriformes	Tyrannidae	<i>Tyrannicus uropygialis</i>
Passeriformes	Vireonidae	<i>Vireo leucophrys</i>
Piciformes	Ramphastidae	<i>Aulacorhynchus albivitta</i>
<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie de planta</b>
Dipsacales	Adoxaceae	<i>Viburnum triphyllum</i>
Dipsacales	Araliaceae	<i>Oreopanax rosei</i>
Laurales	Lauraceae	<i>Nectandra laurel</i>
Laurales	Siparunaceae	<i>Siparuna muricata</i>
Santalales	Loranthaceae	<i>Gaiadendron punctatum</i>
Santalales	Santalaceae	<i>Phoradendron nervosum</i>

**Anexo 3.** Matriz de interacción cuantitativa aves frugívoras-planta, por cobertura vegetal.

Cobertura vegetal	Especies de aves	Especies de plantas					
		<i>Gaiadendron punctatum</i>	<i>Nectandra laurel</i>	<i>Oreopanax rosei</i>	<i>Phoradendron nervosum</i>	<i>Siparuna muricata</i>	<i>Viburnum triphyllum</i>
BN	<i>Aulacorhynchus albivitta</i>	0	65	95	0	0	0
BN	<i>Catharus ustulatus</i>	0	0	3	0	0	0
BN	<i>Chlorophonia cyanocephala</i>	0	0	0	29	0	0
BN	<i>Elaenia albiceps</i>	0	0	13	0	0	0
BN	<i>Elaenia pallatangae</i>	0	0	39	0	0	0
BN	<i>Penelope barbata</i>	0	24	1202	0	0	0
BN	<i>Pheucticus chrysogaster</i>	0	0	0	0	185	0
BN	<i>Piranga rubra</i>	0	0	10	0	0	0
BN	<i>Sporathraupis cyanocephala</i>	0	0	449	0	13	0
BN	<i>Stilpnia viridicollis</i>	0	0	202	0	0	0
BN	<i>Turdus fuscater</i>	0	0	767	0	0	0
BN	<i>Tyrannicus uropygialis</i>	0	21	0	0	0	1
BN	<i>Vireo leucophrys</i>	0	0	22	0	0	0
MP	<i>Atlapetes latinuchus</i>	4	0	0	0	0	0
MP	<i>Elaenia albiceps</i>	0	0	0	0	0	2
MP	<i>Elaenia pallatangae</i>	0	0	0	0	0	7
MP	<i>Turdus fuscater</i>	0	0	0	0	0	10
PF	<i>Elaenia albiceps</i>	0	0	0	0	0	11
PF	<i>Penelope barbata</i>	0	0	0	0	0	176
PF	<i>Pheucticus chrysogaster</i>	0	0	0	0	33	0
PF	<i>Sporathraupis cyanocephala</i>	0	0	94	0	4	0
PF	<i>Turdus fuscater</i>	0	0	0	0	0	8

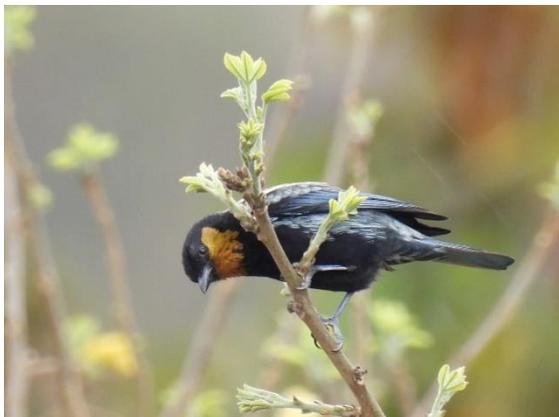
**Anexo 4.** Fotografías de aves frugívoras del PUEAR



*Pheucticus chrysogaster*



*Turdus fuscater*



*Stilpnia viridicollis*



*Sporathraupis cyanocephala*



*Aulacorhynchus albivitta*



*Penelope barbata*



*Elaenia albiceps*



*Chlorophonia cyanocephala*



*Tyrannicus uropygialis*



*Atlapetes latinuchus*

**Anexo 5.** Certificación de traducción del resumen (Abstract)

Loja, 29 de noviembre de 2024

Mgtr.

Edgar M. Castillo C.

**MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DEL IDIOMA INGLÉS  
COMO LENGUA EXTRANJERA**

**Certifica. -**

Haber traducido de español a inglés el resumen del trabajo de integración curricular titulado: **Redes de interacciones entre plantas y aves frugívoras en el Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreacional (PUEAR), Loja, Ecuador**, de la autoría del estudiante Ronaldo Rolando Robles Tandazo, C.I.: 1150843710.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, pudiendo el interesado hacer uso del presente documento cuando lo considere conveniente.



Edgar M. Castillo C.  
**EFL TEACHER**

*Nro. Reg. Senescyt: 1031-07-785748*