



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL
MEDIO AMBIENTE**

**“RELACIÓN ENTRE LA PERTURBACIÓN POR
AEROGENERADORES Y LAS INTERACCIONES AVE-
PLANTA EN EL LADO OCCIDENTAL DE LA CENTRAL
EÓLICA VILLONACO EN LOJA, ECUADOR”**

Tesis Previa a la obtención de
título de **Ingeniero en Manejo
y Conservación del Medio
Ambiente**

AUTOR:

Vinicio Andrés Escudero Armijos

DIRECTORA:

Ecól. Katusca Valarezo Aguilar M. Sc.

LOJA – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN

ECÓLOGA
KATIUSCA VALAREZO AGUILAR, *M. Sc.*
DIRECTORA DE TESIS

En calidad de directora de la tesis titulada **RELACIÓN ENTRE LA PERTURBACIÓN POR AEROGENERADORES Y LAS INTERACCIONES AVE-PLANTA EN EL LADO OCCIDENTAL DE LA CENTRAL EÓLICA VILLONACO EN LOJA, ECUADOR** de autoría del Señor egresado VINICIO ANDRÉS ESCUDERO ARMIJOS, portador de la cédula de ciudadanía No. 1105005886, **CERTIFICA** que la tesis ha sido debidamente revisada y corregida, cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido, por lo que autorizo su presentación para que el Sr. Escudero continúe con el proceso que corresponda.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a la interesada hacer uso del presente documento en lo que considere pertinente.

Loja, 8 de agosto de 2019

Muy Atentamente,



Ecól. Katusca Valarezo Aguilar, *M. Sc.*
DIRECTORA DE TESIS

CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada "RELACIÓN ENTRE LA PERTURBACIÓN POR AEROGENERADORES Y LAS INTERACCIONES AVE-PLANTA EN EL LADO OCCIDENTAL DE LA CENTRAL EÓLICA VILLONACO EN LOJA, ECUADOR" de autoría del Sr. Egresado Vinicio Andrés Escudero Armijos de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las observaciones realizadas por sus miembros, y una vez revisada se ha procedido a la respectiva calificación.

Por lo tanto, autorizamos al señor egresado, la versión final de la tesis para su sustentación pública y difusión.

Loja, 22 de agosto de 2019

Atentamente:

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.,

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Dra. Aura del Carmen Paucar Cabrera, Ph.D.,

VOCAL DEL TRIBUNAL



Dra. Helena Alejandra España Loaiza, Ph.D.,

VOCAL DEL TRIBUNAL



AUTORÍA

Yo, Vinicio Andrés Escudero Armijos, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“RELACIÓN ENTRE LA PERTURBACIÓN POR AEROGENERADORES Y LAS INTERACCIONES AVE-PLANTA EN EL LADO OCCIDENTAL DE LA CENTRAL EÓLICA VILLONACO EN LOJA, ECUADOR”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



.....

Vinicio Andrés Escudero Armijos

C.I.: 1105005886

Loja, 22 de agosto de 2019

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA
CONSULTA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Vinicio Andrés Escudero Armijos, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“RELACIÓN ENTRE LA PERTURBACIÓN POR AEROGENERADORES Y LAS INTERACCIONES AVE-PLANTA EN EL LADO OCCIDENTAL DE LA CENTRAL EÓLICA VILLONACO EN LOJA, ECUADOR”**, como requisito para optar al grado de: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad. A través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinte y dos días del mes de agosto de dos mil diecinueve, firma el autor.

Firma:

Autor: Vinicio Andrés Escudero Armijos

Número de Cédula: 1105005886

Dirección: Loja, Ciudadela Época, Calles Guatemala y Estados Unidos

Correo electrónico: vinicio7c@gmail.com

Teléfono: 0989133483

DATOS COMPLEMENTARIOS

Directora de Tesis: Ecol. Katusca Valarezo Aguilar Mg.Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.

Dra. Aura del Carmen Paucar Cabrera, Ph.D.

Dra. Helena Alejandra España Loaiza, Ph.D.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron e hicieron posible el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial a la Ecóloga Katusca Valarezo Aguilar, directora de tesis, y al Ing. Christian Mendoza León por su apoyo constante, enseñanzas y orientación durante el desarrollo de esta investigación.

Al Museo de Zoología de la Universidad Nacional de Loja (LOUNAZ) por aportar con los materiales y equipos necesarios para realizar el levantamiento de información en campo.

A la Universidad Nacional de Loja y a los docentes de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, quienes en el transcurso de mi vida universitaria han aportado con conocimientos y enseñanzas para mi formación académica.

Por último, y no menos importante, quiero agradecer a mis amigos y compañeros quienes me ayudaron en el trabajo en campo, por las gratas experiencias y conocimientos compartidos.

El Autor

DEDICATORÍA

Quiero dedicar este trabajo de manera especial a mi madre Martha, a mi abuela María y a mi hermana Josselyn, quienes son pilar fundamental de mi vida y han estado apoyándome día a día de manera incondicional. Gracias a su amor, motivación, carácter y rectitud, han sabido inculcarme buenos valores y guiar mi camino.

A mi padre Galo, por enseñarme que todo lo que uno se propone en la vida requiere de dedicación, esfuerzo, paciencia y perseverancia, por tu gran amor y por siempre creer en mí.

El Autor

ÍNDICE

| | |
|--|------------|
| CERTIFICADO DEL DIRECTOR | II |
| CERTIFICADO DEL TRIBUNAL | III |
| AUTORÍA | IV |
| CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR | V |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 6 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 13 |
| 3.1. Área de Estudio..... | 13 |
| 3.2. Muestreo de interacciones ave-planta..... | 14 |
| 3.3. Identificación de especies de aves y botánicas | 15 |
| 3.4. Medición de los niveles de ruido | 16 |
| 3.5. Interacciones ave-planta..... | 16 |
| 3.6. Análisis estadístico..... | 17 |
| 4. RESULTADOS | 19 |
| 4.1. Identificación de especies de aves | 19 |
| 4.2. Interacciones ave-planta..... | 20 |
| 4.2.1. Interacciones de frugivoría..... | 20 |
| 4.2.2. Interacciones de Polinización..... | 22 |
| 4.3. Correlación entre interacciones ave-planta y distancia de perturbación..... | 24 |
| 5. DISCUSIÓN | 26 |
| 6. CONCLUSIONES | 30 |
| 7. RECOMENDACIONES | 31 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 32 |
| 9. ANEXOS | 40 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Matriz de interacciones cualitativa | 10 |
| Tabla 2. Diversidad por estación de muestreo | 19 |
| Tabla 3. Matriz de Interacciones de Frugivoría del lado occidental de la Central Eólica Villonaco ... | 20 |
| Tabla 4. Matriz de Interacciones de Polinización del lado occidental de la Central Eólica Villonaco | 22 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Descripción de los elementos de una red de interacción. Adaptado de Bascompte et al. (2006)..... | 11 |
| Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio y de los puntos de muestreo | 14 |
| Figura 3. Red de interacción de frugivoría del lado occidental de la Central Eólica Villonaco. | 21 |
| Figura 4. Red de interacción de polinización del lado occidental de la Central Eólica Villonaco | 23 |
| Figura 5. Diagramas de caja y bigote donde se observa poca diferencia en las medias de las interacciones con relación a la distancia y los niveles de ruido | 24 |

RESUMEN

Las redes de interacción ecológica permiten conocer la estructura y composición de un determinado ecosistema. El estudio de las redes de interacción en su mayoría se centra a ecosistemas conservados omitiendo los que han sufrido algún tipo de alteración, como es el caso de la vegetación del lado occidental de la Central Eólica Villonaco. Por eso se evalúa la influencia de los aerogeneradores en las interacciones ave-planta. Se realizó un muestreo mediante de observación registrando las interacciones entre aves y plantas durante los meses de enero y febrero. Se identificó a *Turdus fuscater* Lafresnaye, *Coeligena iris* Gould, *Heliangelus viola* Gould, *Metallura tyrianthina* Loddiges y *Lesbia nuna* Lesson como las aves generalistas, mientras que 10 especies de aves fueron consideradas como especialistas, por parte de las plantas *Morella pubescens* (Humboldt y Bonpland), *Nectandra laurel* Klotzsch ex Ness, *Fuchsia aff. loxensis* Kunth y *Cavendishia bracteata* Hoerold fueron registradas como las plantas generalistas, mientras que 14 especies de plantas como especialistas. El análisis de redes mostró un tamaño ($S=24$) y una densidad mayor en la red de polinización ($D=1,16$), pero con una menor conectancia ($C=0,20$) y anidamiento ($N=0,86$) con respecto a la red de frugivoría. Con respecto a la influencia del ruido sobre las interacciones, se utilizó un GLM para relacionar las variables. De acuerdo al esfuerzo de muestreo y a los datos tomados en esta investigación se determinó que el ruido no tiene relación con la abundancia de las interacciones de frugivoría y polinización. Al conocer como están estructuradas las redes de interacción se puede a su vez saber cuál es la estructura de los parches de vegetación en esta zona fragmentada y así observar patrones a nivel de comunidad, siendo esta información una herramienta complementaria en la generación de estrategias para la recuperación y posterior conservación de ecosistemas fragmentados.

Palabras clave: redes de interacción, perturbación, parques eólicos, frugivoría, polinización.

ABSTRACT

Networks of ecological interaction allow to know the structure and composition of a specific ecosystem. The study of interaction networks mostly focuses on preserved ecosystems omitting those that have undergone some kind of alteration, such as vegetation on the western side of the Central Eólica Villonaco. That is why the influence of wind turbines on bird-plant interactions is evaluated. Sampling was performed using sampling or observation points recording interactions between birds and plants during the months of January and February. *Turdus fuscater* Lafresnaye, *Coeligena iris* Gould, *Heliangelus viola* Gould, *Metallura tyrianthina* Loddiges and *Lesbia nuna* Lesson were identified as generalist birds, while 10 species of birds were considered as specialists. The plants *Morella pubescens* (Humboldt y Bonpland), *Nectandra laurel* Klotzsch ex Ness, *Fuchsia aff. loxensis* Kunth and *Cavendishia bracteata* Hoerold were recorded as generalist plants, while 14 species of plants as specialists. The network analysis showed a higher size ($S=24$) and higher density in the pollination network ($D=1.16$), but with a lower linkage ($C=0.20$) and nesting ($N=0.86$) with respect to the frugivory network. With regard to the influence of noise on interactions, a GLM was used to tie in the variables. Based on the sampling effort and the data taken in this research, it was determined that noise is unrelated to the abundance of frugivory and pollination interactions. Knowing how the interaction networks are structured it can help to know how the structure of the vegetation patches are in this fragmented area and thus observe patterns at the community level. This information becomes a complementary tool in the generation of strategies for the recovery and subsequent conservation of fragmented ecosystems.

Keywords: interaction networks, disturbance, wind farms, frugivory, pollination.

1. INTRODUCCIÓN

La obtención de energía eléctrica mediante parques eólicos contribuye a minimizar el problema del cambio climático. Esta alternativa presenta ventajas ambientales sobre otros sistemas de aprovechamiento energético como los termoeléctricos, que generan emisiones de gases de efecto invernadero (Lucas, 2007). Sin embargo, los parques eólicos generan impactos negativos en otros aspectos como son: alteración del paisaje, aumento de los niveles de ruido y afectación a la flora y fauna (Percival, 2000).

La flora se ve afectada por la remoción de cobertura vegetal como consecuencia de los trabajos realizados en la construcción del parque eólico, apertura de vías de acceso, subestaciones y tendido eléctrico. Mientras que, en la fauna, los grupos mayormente afectados son las aves y los murciélagos y los posibles impactos a la fauna, según lo reportado son: muerte por colisión con las aspas o tendido eléctrico; alteración del comportamiento por ruido; electromagnetismos y vibraciones; y un efecto barrera para la movilidad de las aves al momento de obtener recursos (Atienza et al., 2011).

De todos estos posibles impactos el menos estudiado ha sido la alteración del comportamiento por ruido. Se cree que la generación de ruido producto del movimiento de las aspas de los aerogeneradores y sus demás componentes tiene la capacidad de enmascarar otros ruidos, interfiriendo en la comunicación y en el forrajeo de las aves (Llavallol, Cellini y Gutiérrez, 2012). A su vez, el ruido generado puede provocar un efecto barrera, interfiriendo en el forrajeo de las aves, forzándolas a esquivar el parque eólico para moverse a zonas dentro de su rango diario de movimiento que pueden o no disponer de recursos necesarios para satisfacer sus necesidades (Fahrig y Merriam, 1994).

Los impactos causados por parques eólicos inciden en las interacciones ecológicas de un ecosistema (Atienza et al., 2011), siendo las más afectadas las interacciones de tipo

mutualistas y antagonistas (Olesen y Jordano, 2002). Las interacciones mutualistas ave-planta (dispersión de semillas y polinización) son claves para el funcionamiento de un ecosistema (Lara et al., 2012). Sin embargo, las interacciones mutualistas ave-planta dependerán del éxito que tengan estas dos especies (ave-planta) para poder encontrarse e interactuar. Esta acción se traduce en el éxito de las plantas para reproducirse y/o dispersarse (Alonso, Garrido y Herrera, 2004).

La polinización y la dispersión de semillas son servicios ecológicos valiosos dentro de los ecosistemas. La polinización implica una mayor variabilidad genética, como consecuencia de que un mismo polinizador puede visitar diferentes poblaciones de plantas (Ortiz-Pulido et al., 2010). De la misma manera, el traslado de semillas a través de la dispersión por parte de frugívoros permite a la planta colonizar nuevos hábitats y contribuir al intercambio genético entre poblaciones, y a su vez, los frugívoros son recompensados con la energía de los frutos consumidos (Alonso et al., 2004).

Las interacciones en un ecosistema pueden ser descritos de mejor manera mediante redes de interacción, estas redes son estudiadas a nivel de comunidad con el fin de descubrir diversos patrones que son constantes en las interacciones planta-ave, independientemente del lugar y condiciones donde se desarrollen los diversos tipos de mutualismos (Bascompte, Jordano, Melian y Olesen, 2003). Además, estas redes de interacción proveen información para evaluar las consecuencias de las perturbaciones a nivel de comunidad (Bascompte y Jordano, 2007).

Por lo mencionado anteriormente se cree que las interacciones ecológicas ave-planta pueden verse influenciadas por la perturbación ocasionada por los aerogeneradores del lado occidental de la Central Eólica Villonaco en Loja, Ecuador.

En este contexto, el objetivo general de este trabajo fue evaluar las interacciones ecológicas de la avifauna con especies del matorral arbustivo del lado occidental de la Central Eólica Villonaco en Loja, Ecuador.

Se plantearon tres objetivos específicos para esta localidad:

- Analizar la diversidad de interacciones de las aves con las especies del matorral arbustivo del lado occidental de la Central Eólica Villonaco.
- Identificar las especies de aves mayormente interactuantes con las especies del matorral arbustivo del lado occidental de la Central Eólica Villonaco.
- Relacionar la variación de las interacciones de acuerdo a la distancia de perturbación ocasionada por los aerogeneradores en el lado occidental de la Central Eólica Villonaco.

2. MARCO TEÓRICO

Las interacciones ecológicas planta-animal representan la red que permite reconocer las diferentes estructuras que son parte de la biodiversidad de un ecosistema; además, han constituido un rol importante en la evolución de biodiversidad terrestre (Thompson, 2006; Medel, Aizen y Zamora, 2009).

Dentro de estas interacciones se tiene las interacciones interespecíficas. Éstas se dan en una comunidad biótica entre los individuos de diferentes especies. Las relaciones que pueden existir son: mutualismo, donde ambos individuos relacionados se benefician; parasitismo, en esta interacción uno se beneficia y otro se perjudica; y, comensalismo, relación en la que uno se beneficia pero otro ni se beneficia ni se perjudica (Romero, 2007).

Se pueden distinguir dos tipos principales de interacciones: las antagónicas y las no antagónicas. Las interacciones antagónicas son aquellas en las que los individuos interactuantes no mantienen una relación cercana u obligatoria, o uno de los individuos interactuantes se beneficia y el otro se perjudica (García-Pérez, 2017). Mientras que las interacciones no antagónicas son conocidas comúnmente como sinérgicas, debido que ninguno de los organismos interactuantes se perjudica (Vargas, 2013). Según Erazo y Cárdenas (2013), todas estas interacciones contribuyen a la regulación del tamaño de las poblaciones y sus procesos evolutivos.

Las interacciones no antagónicas de mayor importancia son las mutualistas, que son el resultado de una relación donde ambos organismos obtienen beneficios, es decir los organismos que se benefician de distintas especies. Estos beneficios pueden mejorar la capacidad de sobrevivencia y la capacidad reproductiva o el crecimiento (Colinvaux, 1993).

Las interacciones mutualistas constituyen la base para el funcionamiento de muchos ecosistemas, dado que de ellas depende gran parte de la reproducción y reclutamiento exitoso de muchas especies de plantas (Badii et al., 2013). Por otro lado, un gran número de especies animales dependen de los recursos que las plantas proveen alrededor de sus estructuras reproductivas (frutos, néctar, semillas) (Levey, Silva y Galleti, 2002; Waser y Ollerton, 2006).

Badii et al. (2013), plantean los siguientes tipos de mutualismo: mutualismo obligatorio y mutualismo facultativo. El primero se subdivide a su vez en interrelación obligatoria simbiótica y no simbiótica. Ricklefs (2011) manifiesta que cuando existe una interrelación obligatoria simbiótica los individuos interactúan físicamente e íntimamente entre sí y al menos uno de los dos socios no puede sobrevivir sin el otro, mientras que, la interrelación obligatoria no simbiótica significa que, aunque las dos especies viven cada una de forma independiente, ninguna puede sobrevivir sin la otra. Por otro lado, en el mutualismo facultativo, aunque los organismos no están obligados a estar en una relación completa, las interacciones formadas entre ellos suelen ser muy fuertes. Los ejemplos más representativos de este tipo de mutualismo es la frugivoría, con la que se produce la dispersión de semillas (Badii et al., 2013).

Las plantas utilizan mecanismos bióticos y abióticos para llevar a cabo estos mutualismos, algunas especies aseguran su perpetuación mediante los mecanismos abióticos como son la anemogamia e hidrogamia (ayuda del viento y del agua para la dispersión del polen, respectivamente) y la anemocoria e hidrocoria (ayuda del viento y del agua para dispersar sus diásporas, correspondientemente). Sin embargo, la mayoría de especies utilizan la zoogamia y la zoocoria (ayuda de animales para dispersar el polen y sus semillas, respectivamente).

Dentro de los animales utilizados para estos procesos están los insectos, ciertos reptiles, mamíferos terrestres y mamíferos voladores; y, las aves (Alcaraz, 2013).

La dispersión de semillas por animales tiene incidencia en la dinámica poblacional y la evolución de numerosos linajes vegetales (Suárez, 2013). Según la hipótesis de escape, el alejamiento de las semillas de sus parentales implica una mayor probabilidad de supervivencia y establecimiento, debido que las semillas y plántulas pueden evitar a los depredadores y disminuir la competencia intraespecífica (Janzen, 1970; Connell, 1971). El grupo de animales mayormente asociado a la dispersión de semillas son las aves, por medio de la ornitocoria de plantas con frutos carnosos (Alcaraz, 2013).

La polinización es la transferencia de polen desde los estambres hasta el estigma de la misma flor para la fecundación y producción de frutos y semillas. Este proceso puede ser realizado por las aves (FAO, 2014). El proceso de polinización por aves, es uno de los más importantes para la preservación de biodiversidad de los ecosistemas debido a que facilita la reproducción sexual de las plantas y la producción de alimento para los polinizadores (Raffaele, de Torres, Morales y Kitzberger, 2014).

Las interacciones ave-planta en una comunidad se estructuran de diferentes modos, dando lugar a redes complejas de interacción o llamadas también redes de interacción ecológica (Jordano, 1987; Rico, 2006). Las redes de interacción ecológica, básicamente son representaciones de un conjunto de objetos ecológicos con la capacidad de intercambiar algún tipo de información biológica entre sí. Estas redes se representan con matrices que contienen las especies de aves y plantas interactuantes y expresan la magnitud (frecuencia de ocurrencia) de cada determinada interacción existente entre pares de especies ave-planta identificadas y muestreadas en campo (e.g. número de frutos de las plantas consumidos por las aves) (Bascompte, 2009).

El estudio de redes mutualistas indica la existencia de tres tipos de patrones estructurales que se pueden llegar a dar en las mismas, como son: redes heterogéneas, donde la mayoría de las especies soportan sólo unas pocas interacciones, mientras que unas pocas especies aparecen muy interconectadas; redes anidadas, cuando las especies especialistas interactúan con subgrupos de especies con las cuales interactúan las generalistas; y redes de relaciones débiles y asimétricas entre aves y plantas (García, 2016).

El patrón complejo de interacciones se representa mediante una matriz donde los vectores fila corresponden a las especies de aves interactuantes (polinizadores-frugívoros) y los vectores columna corresponden a las especies de plantas con flores o frutos carnosos. Por cada especie animal se mantiene un registro de las especies de plantas con las que interactúa. Esta matriz puede ser de tipo cualitativa o cuantitativa, la de tipo cualitativa solo registra la presencia o ausencia de la interacción con 1 la presencia y con 0 la ausencia, mientras que la de tipo cuantitativa registra el número de veces que se dio la interacción. Así, si una especie frugívora o nectarívora (F) consume frutos o visita las flores de una especie de planta (P) se denota con 1 y se denota con 0 en caso de ausencia de la interacción. Para el caso de las plantas se procede de la misma forma (Medel et al., 2009).

Por medio del tamaño de la matriz (S) se puede estimar el número de interacciones posibles, al conocer el número de especies tanto de aves como de plantas interactuantes. Así, por ejemplo, si el número de especies que interactúan ($S=F+P$) es igual a 11, $F= 4$ y $P=7$, las posibles interacciones ($F \times P$) son 28. Sin embargo, por lo general se observa solo una fracción del total de interacciones que pueden ocurrir (Tabla 1) (Medel et al., 2009).

Tabla 1. 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 |

F = frugívoros y P= plantas (Medel et al., 2009).

Las matrices de interacción pueden ser representadas de manera gráfica como una red (Fig. 1). Estas representaciones ayudan a visualizar la red completa, y además proveen herramientas de búsqueda de patrones. Dentro de la representación gráfica, la red es un conjunto de dos tipos de elementos, los nodos o vértices que corresponderán al conjunto de aves y plantas y los enlaces entre ellos que representan el flujo o movimiento entre nodos. También, pueden existir otras estructuras como subredes o cliques, definidas como redes de menor tamaño con pocas especies (Medel et al., 2009).

Las redes de interacción se centran en el número y la composición de los objetos ecológicos en cuestión (nodos, en terminología de la red), así como en la abundancia, la magnitud y la distribución de las interrelaciones entre los objetos (enlaces, en terminología de red) (Fig. 1). Los nodos pueden representar genes, individuos, especies, parches de hábitat o incluso comunidades enteras, y la diversidad de lo que se representa mediante enlaces abarca desde el intercambio de energía-biomasa entre especies (como se define en interacciones tróficas) al movimiento de individuos entre parches de hábitat (como se sugiere en la dinámica de la metapoblación) (Ings et al., 2009).

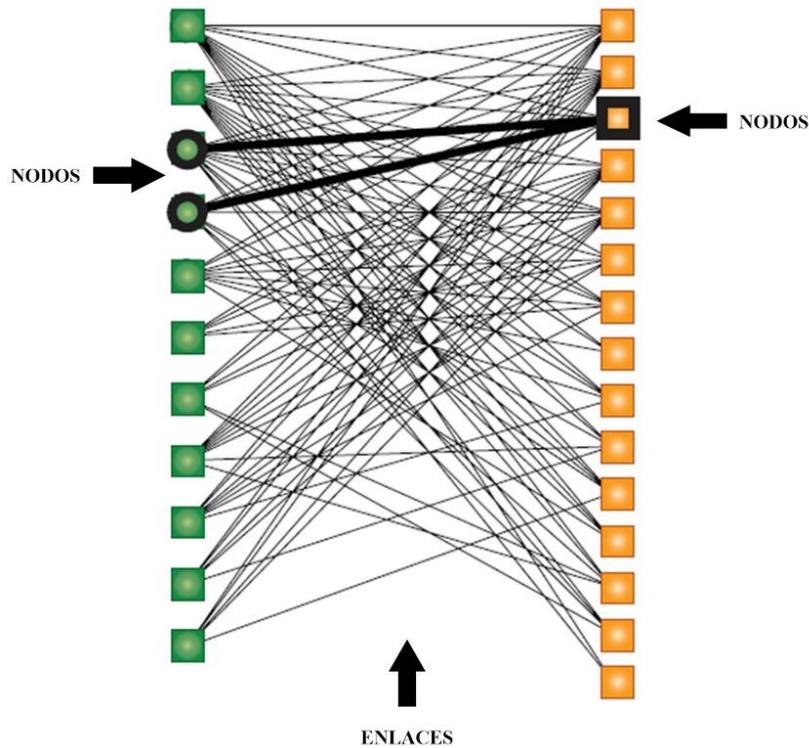


Figura 1. Descripción de los elementos de una red de interacción. Adaptado de Bascompte et al. (2006)

Existen dos tipos diferentes de redes que pueden representarse con distintos tipos de grafos: redes unipartitas y bipartitas. Las unipartitas son aquellas donde los enlaces se pueden establecer entre cualquiera de los nodos de la red. Mientras que, las redes bipartitas ilustran las conexiones entre nodos de dos grupos distintos, de tal modo que no existen conexiones entre nodos del mismo grupo (Newman, Barabási y Watts, 2006). Dentro de las redes bipartitas se considera las interacciones planta-animal (Bascompte y Jordano, 2007).

Las redes mutualistas ave-planta poseen muchos factores a evaluar, siendo tres las más importantes: la conectancia, la densidad y el grado de anidamiento de la red. La conectancia, se interpreta como la proporción de interacciones registradas del total de interacciones posibles, para obtener la conectancia se debe calcular el número de plantas (P), el número de especies de aves frugívoras o nectarívoras (F) y el tamaño de la red (S), que corresponde al

número total de especies de aves y plantas interactuantes. La densidad de la red consiste en el promedio de enlaces por especie del total de interacciones dadas. Por último, el grado de anidamiento se refiere a la proporción de especies generalistas que interactúan entre sí y la proporción de especies especialistas que interactúan sólo con las generalistas (Cano, 2009).

El inconveniente que presenta este tipo de redes es su gran sensibilidad al impacto humano, especialmente por pérdida y fragmentación del hábitat, extracción de fauna e invasiones biológicas (García, 2016). La presencia de los parques eólicos es uno de los causantes de estos impactos, puesto que se ha demostrado que los mismos pueden tener distintos efectos adversos sobre la flora y fauna; sin embargo, la mayoría de estudios realizados en parques eólicos se han centrado en la mortalidad de aves y murciélagos por colisión (Lucas, 2007), obviándose el estudio de las interacciones entre las aves y la vegetación existente en estos parques. Tampoco se ha investigado como las interacciones son influenciadas por el ruido de los aerogeneradores. Es de suma importancia estudiar estos aspectos para identificar el grado de afectación de las interacciones ave-planta.

3. METODOLOGÍA

3.1. Área de Estudio

El estudio se realizó en la Central Eólica Villonaco (Fig. 2), ubicada a lo largo de la línea de cumbre del Cerro Villonaco entre el límite de los cantones Catamayo y Loja, en la provincia de Loja. La vegetación en este sector corresponde al bosque siempreverde montano con una variación altitudinal de 2 200 a 3 000 m s.n.m. Las familias de plantas más dominantes son: Celastraceae, Clusiaceae, Cunoniaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Myrsinaceae, Myrtaceae, Podocarpaceae y Ternstroemiaceae (Madsen y Øllgaard, 1994).

Según Ordoñez et al. (2016), en el área de influencia directa e indirecta de la Central Villonaco se desarrollan tres tipos de vegetación: el matorral arbustivo, el páramo arbustivo y el páramo herbáceo. Existen ocho parches representativos de vegetación arbustiva, de los cuales cuatro están ubicados en el lado occidental y cuatro hacia el lado oriental del Cerro Villonaco, mientras que, en cuanto a la vegetación de páramo arbustivo y herbáceo, se registran tres áreas ubicados en el lado oriental del cerro únicamente.

La Central Eólica Villonaco está compuesta por 11 aerogeneradores (Fig. 2). Este proyecto es de suma importancia en generación de energía eólica debido a las características de la zona y es considerado como el parque eólico más alto del mundo con una altitud promedio de 2 720 m s.n.m., en el área de implantación las velocidades del viento son de aproximadamente 12,4 m/s y alcanza velocidades máximas de 34 m/s (Ollague y Crespo, 2014).

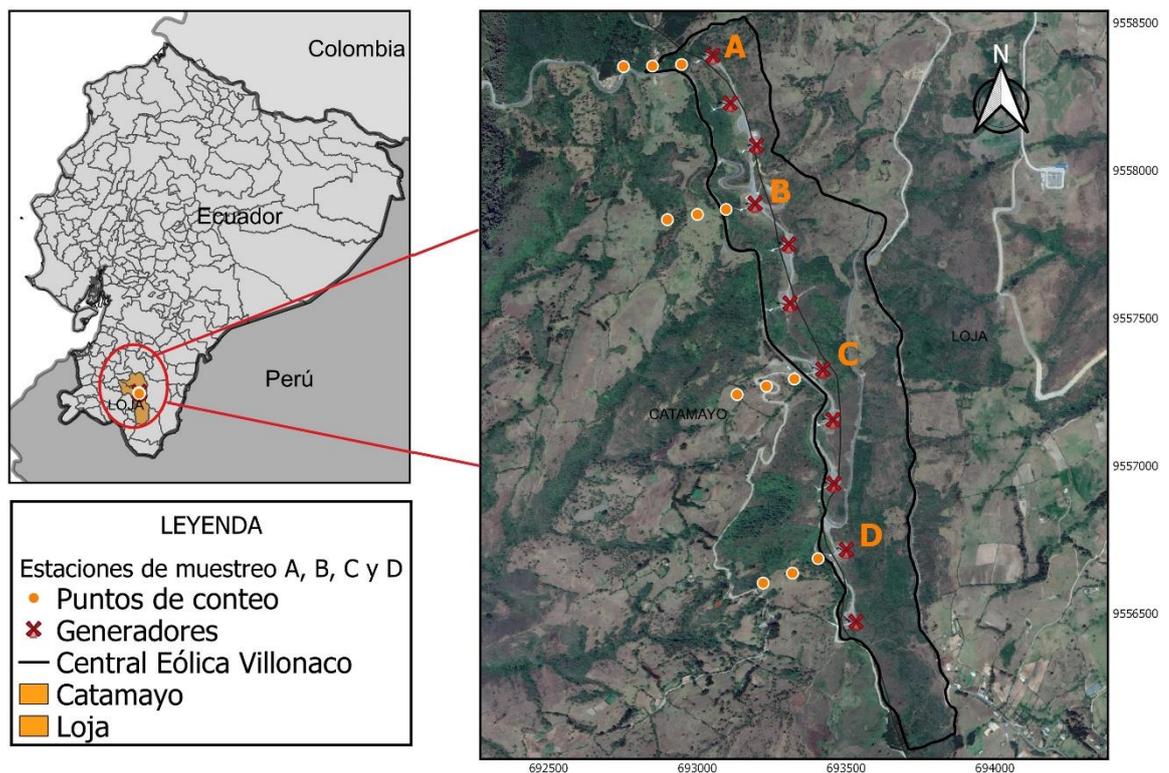


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio y de los puntos de muestreo

3.2. Muestreo de interacciones ave-planta

Para el muestreo se seleccionaron los aerogeneradores 1, 4, 7 y 10, los mismos que se encuentran a 500 metros entre sí. A partir de los aerogeneradores seleccionados se ubicaron las estaciones de muestreo (A, B, C, D) que consistieron en tres puntos efectivos de muestreo por estación, separados 100 m entre sí y dirigidos hacia el oeste, este proceso se aplicó en las cuatro estaciones de observación, generando un muestreo de ancho de banda fijo, con un total de 12 puntos de observación.

En los puntos de observación se realizó el muestreo de las interacciones de las aves con las especies de plantas del matorral arbustivo, en intervalos de 4 puntos por día, en un horario de 06H00-08H30 y de 16H00-18H30. El primer recorrido de las estaciones de muestreo se

realizó en forma ascendente, a partir de este recorrido se aleatorizó el orden de recorrido de las demás estaciones de muestreo por día de observación. En cada punto de muestreo se realizaron 6 observaciones.

Las observaciones en los puntos de muestreo se realizaron durante 60 minutos en un radio de 50 m de cada punto efectivo de muestreo, donde se identificó la especie de ave, la especie de planta y el tipo de interacción. Los datos fueron registrados en la hoja de campo correspondiente (Anexo 1).

Previo a la toma de datos en campo, se realizó un entrenamiento con el fin de mejorar y facilitar la identificación de las aves. En cada observación se registró el tipo de interacción trófica, la especie de ave, la especie de planta, la fecha y hora de observación. Para la observación de las aves y su comportamiento se usaron binoculares 8x42, para las especies de aves que no lograron ser identificadas *in situ*, se les realizó un registro fotográfico para su posterior identificación.

3.3. Identificación de especies de aves y especies botánicas

La identificación taxonómica de las aves se realizó utilizando la Guía de Aves del Ecuador (2006), la Bioweb (actualizada a enero de 2019) y el registro de aves realizado por Ordoñez et al. (2016). La identificación de las familias y órdenes de cada especie registrada se realizó a través de la lista del South American Classification Committee (SACC) versión 2019 y la identificación de las plantas con las cuales las aves interactuaban, se colectó muestras botánicas completas que fueron llevadas al Herbario “Reinaldo Espinosa”, de la Universidad Nacional de Loja.

Una vez identificadas tanto las especies de aves como de plantas, se les asignó una codificación para facilitar el análisis de datos (Anexo 2).

3.4. Medición de los niveles de ruido

Con el fin de cuantificar los niveles de ruido que generan los aerogeneradores y evaluar su influencia en las interacciones ave-planta, se realizaron mediciones ubicando el sonómetro en dirección a los aerogeneradores. El ruido fue medido una sola vez en cada punto de muestreo con un sonómetro integrador portátil (Delta OHM) con un error de tolerancia de $\pm 0,7$ dBA. Se realizaron tres mediciones de 10 minutos en cada punto de muestreo y posteriormente se obtuvo la media de las mediciones.

3.5. Interacciones ave-planta

Se calculó la diversidad (riqueza y abundancia) en cada estación de muestreo. Para conocer la diversidad y dominancia de especies en la zona, se utilizaron los índices de Shannon-Wiener y Simpson, respectivamente (Shannon y Weaver, 1949; Simpson, 1949). También se calculó el índice de equitatividad de Pielou para medir la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Pielou, 1970).

A partir de las matrices se analizaron las redes de interacción, aquí se ubicó a las especies de nivel trófico superior en columnas y las especies de nivel trófico inferior en filas. En las redes se evaluó la conectancia, la densidad y el grado de anidamiento de la red.

La conectancia se calculó utilizando la Ecuación 1 (Medel et al., 2009). La densidad se calculó utilizando la Ecuación 2 (Medel et al., 2009). Mientras que, previo al cálculo del anidamiento (Ecuación 3), se calcularon los grados de desorden de la red mediante el software R, necesarios en la Ecuación 3 (Medel et al., 2009).

$$C = \frac{I}{P} \quad [\text{Ec. 1.}]$$

Donde,

C = conectancia

I = número de interacciones observadas

P = número de interacciones posibles

$$D = \frac{I}{S} \quad [\text{Ec. 2.}]$$

Donde,

D = densidad

I = número de interacciones observadas

S = tamaño de la red

$$N = \frac{100 - T}{100} \quad [\text{Ec. 3.}]$$

Donde,

N = grado de anidamiento

T = temperatura o grado de desorden de la red

3.6. Análisis estadístico

Para evaluar el grado de relación de las variables de interacciones tróficas (frugivoría y polinización) y los niveles de ruido a distintas distancias medidos en decibeles (dB), se realizó una correlación.

Para verificar la normalidad de los datos se aplicó el test de Shapiro-Wilk, luego el test de homocedasticidad. Dado que, la distribución de datos no fue normal, se omitió el uso del coeficiente de Pearson y se utilizó el coeficiente de rangos de Spearman (Amat, 2016).

Para analizar la influencia de los niveles máximos de ruido sobre las interacciones ave-planta se utilizó el modelo lineal generalizado (GLM) con ajuste de distribución Poisson. Las variables de respuesta fueron el número de interacciones tróficas como la suma de interacciones de frugivoría y polinización registradas, los niveles mínimos y máximos de ruido, y las distancias de los puntos de muestreo con respecto a los aerogeneradores. En todos los análisis se trabajó con niveles de significancia de 0,05 %.

Para el análisis estadístico se utilizó el software estadístico R 3.5.2 (R Core Team, 2018) y específicamente para el análisis de redes de interacción se utilizaron los paquetes Biodiversity, Tcltk, Vegan, Permute y Lattice (Ramírez, 2016), Bipartite, Network y Vegan (Bernal, 2017).

4. RESULTADOS

4.1. Identificación de especies de aves

De los muestreos, se identificó un total de 22 especies de aves que interactuaron con un total de 19 especies de plantas, donde las especies de aves identificadas representaron el 90% de las especies esperadas (Chao = 24,43). Se realizó un esfuerzo de muestreo de 160 horas en total.

Las aves registradas pertenecen a cuatro órdenes y se distribuyen en 11 familias. Las familias con mayor riqueza de especies fueron Thraupidae (5 especies), Trochilidae (4), Parulidae (3), seguidos por Emberizidae (2) y Furnariidae (2). Mientras que, las familias que presentaron menor riqueza fueron: Columbidae, Corvidae, Cotingidae, Hirundinidae, Turdidae y Tyrannidae, con una sola especie cada una (Anexo 3).

Las especies más abundantes fueron *Turdus fuscater* Lafresnaye y D'Orbigny (40 individuos); *Patagioenas fasciata* Say (24); *Coeligena iris* Gould (17); *Zonotrichia capensis* Statius Müller (16) (Anexo 3).

De los resultados de diversidad por estación de muestreo (Tabla 2) se observa que las estaciones de muestreo A y C, que corresponden a la estación 1 y 3, fueron donde se registró la mayor diversidad de aves.

Tabla 2. Diversidad de aves por estación de muestreo

| | A | B | C | D |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Riqueza | 13 | 10 | 11 | 8 |
| Abundancia | 41 | 41 | 34 | 32 |
| Diversidad de Shannon (H') | 2,16 | 1,92 | 2,16 | 1,87 |
| Diversidad de Simpson (D) | 0,84 | 0,81 | 0,87 | 0,81 |
| Equitatividad de Pielou (J) | 0,84 | 0,83 | 0,90 | 0,90 |

A: estación 1, correspondiente al aerogenerador 1, B: estación 2, correspondiente al aerogenerador 4, C: estación 3, correspondiente al aerogenerador 7 y D: estación 4, correspondiente al aerogenerador 10.

4.2. Interacciones ave-planta

4.2.1. Interacciones de frugivoría

Se evaluaron las interacciones ave-fruto (frugivoría) y ave-flor (polinización). Se recalca que tanto para las interacciones constantes dentro de la categoría frugivoría o polinización, se les asignó la letra F, mientras que, a las especies de plantas con las que interactuaron, se le asignó la letra P. En el caso de las interacciones ave-planta, la frugivoría obtuvo una matriz de tamaño igual a nueve especies interactuantes ($S=9$), de las cuales 5 son aves (F) y 4 son plantas (P), las mismas que dan un total de 20 interacciones máximas posibles; sin embargo, en campo se registraron solamente 8 interacciones para la categoría de frugivoría (Tabla 3).

Tabla 3. Matriz de interacciones de frugivoría del lado occidental de la Central Eólica Villonaco

| Aves | Plantas | | | |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | <i>Cavendishia bracteata</i> | <i>Geissanthus vanderwerffii</i> | <i>Morella pubescens</i> | <i>Nectandra laurel</i> |
| <i>Basileuterus tristriatus</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Elaenia flavogaster</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Patagioenas fasciata</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Turdus fuscater</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Zonotrichia capensis</i> | 0 | 0 | 1 | 0 |

Con los datos generados en la matriz (Tabla 3), se construyó la red de frugivoría, donde se obtuvo una conectancia de 0,40 y una densidad de red de 0,88 vínculos o enlaces por especie (Fig. 3). El resultado de anidamiento fue de 0,92 lo que significa que es una red con un grado alto de anidamiento, donde *T. fuscater* fue el ave generalista, es decir, que interactuó con todas las especies de plantas registradas en la zona de muestreo (Fig. 3). Por otro lado, las

especies especialistas corresponden a *Basileuterus tristriatus* Tschudi, *Elaenia flavogaster* Thunberg, *P. fasciata* y *Z. capensis*. En lo que respecta a plantas, la especie generalista fue *Morella pubescens* (Humboldt y Bonpland), mientras que las especies especialistas corresponden a *Cavendishia bracteata* Hoerold, *Geissanthus vanderwerffii* Pipoly y *Nectandra laurel* Klotzsch ex Nees, con 1 interacción cada una.

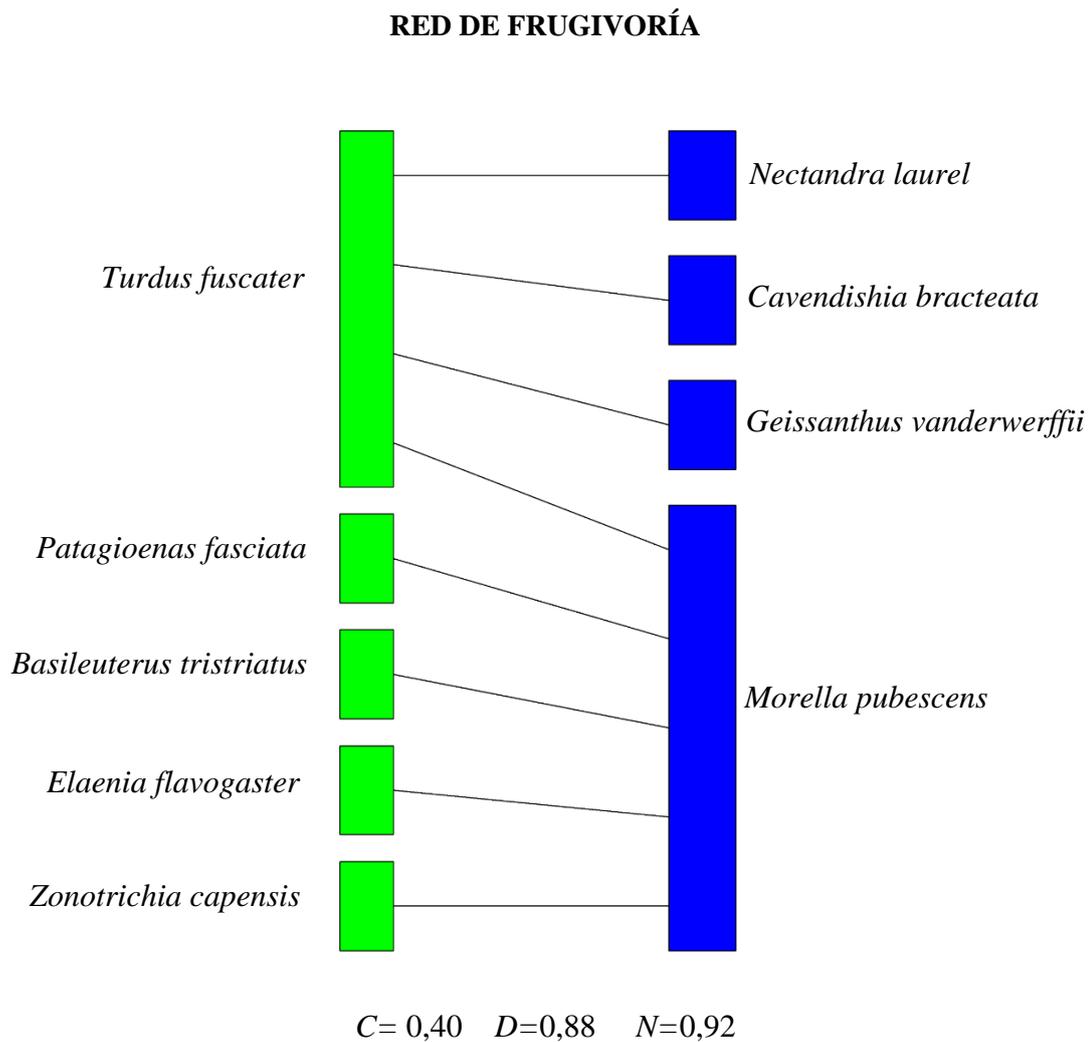


Figura 3. Red de interacción de frugivoría del lado occidental de la Central Eólica Villonaco

4.2.2. Interacciones de Polinización

En cuanto a las interacciones de polinización, se registraron 24 especies que interactuaron (S= 24), lo que supone un máximo posible de 140 interacciones (F= 10 y F= 14); en este caso se registraron solamente 28 interacciones en campo (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de interacciones de polinización del lado occidental de la Central Eólica Villonaco

| | <i>Aethantus nodosus</i> | <i>Aphelandra superba</i> | <i>Baccharis latifolia</i> | <i>Baccharis obtusifolia</i> | <i>Cavendishia bracteata</i> | <i>Dendrophorbium sp.</i> | <i>Fuchsia aff. loxensis</i> | <i>Lucanthenum vulgare</i> | <i>Monactis holwayae</i> | <i>Morella pubescens</i> | <i>Nectandra laurel</i> | <i>Oreocalis grandiflora</i> | <i>Rubus glaucus</i> | <i>Tibouchina laxa</i> |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|
| <i>Atlapetes latinuchus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Basileuterus trifasciatus</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Coeligena iris</i> | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| <i>Diglossa albilatera</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Diglossa cyanea</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Diglossa humeralis</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Heliangelus viola</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| <i>Lesbia nuna</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Metallura tyrianthina</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| <i>Myioborus miniatus</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

La red de polinización obtuvo una conectancia de 0,20 y una densidad de red de 1,16 vínculos o enlaces por especie; y, un anidamiento de 0,86; es decir, que tiene un alto grado de anidación.

Se registraron cuatro especies que fueron las generalistas, la primera *C. iris* con 8 enlaces, la segunda *Heliangelus viola* Gould (con 6 enlaces); la tercera *Metallura tyrianthina* Loddiges con 4 enlaces; y, la cuarta *Lesbia nuna* Lesson con 3 enlaces, mientras que las especialistas fueron *Diglossa humeralis* Fraser con 2 enlaces, *Atlapetes latinuchus* Du Bus; *Basileuterus trifasciatus* Taczanowski; *Diglossa albilatera* Lafresnaye; *Diglossa cyanea* Lafresnaye; y, *Myioborus miniatus* Swainson, todas con 1 solo enlace. Mientras que, por parte de las plantas *Fuchsi aff. loxensis* Kunth, *Nectandra laurel* y *C. bracteata* fueron las especies generalistas (7, 5 y 3 interacciones, respectivamente); el resto de especies fueron consideradas como especialistas (Fig. 4).

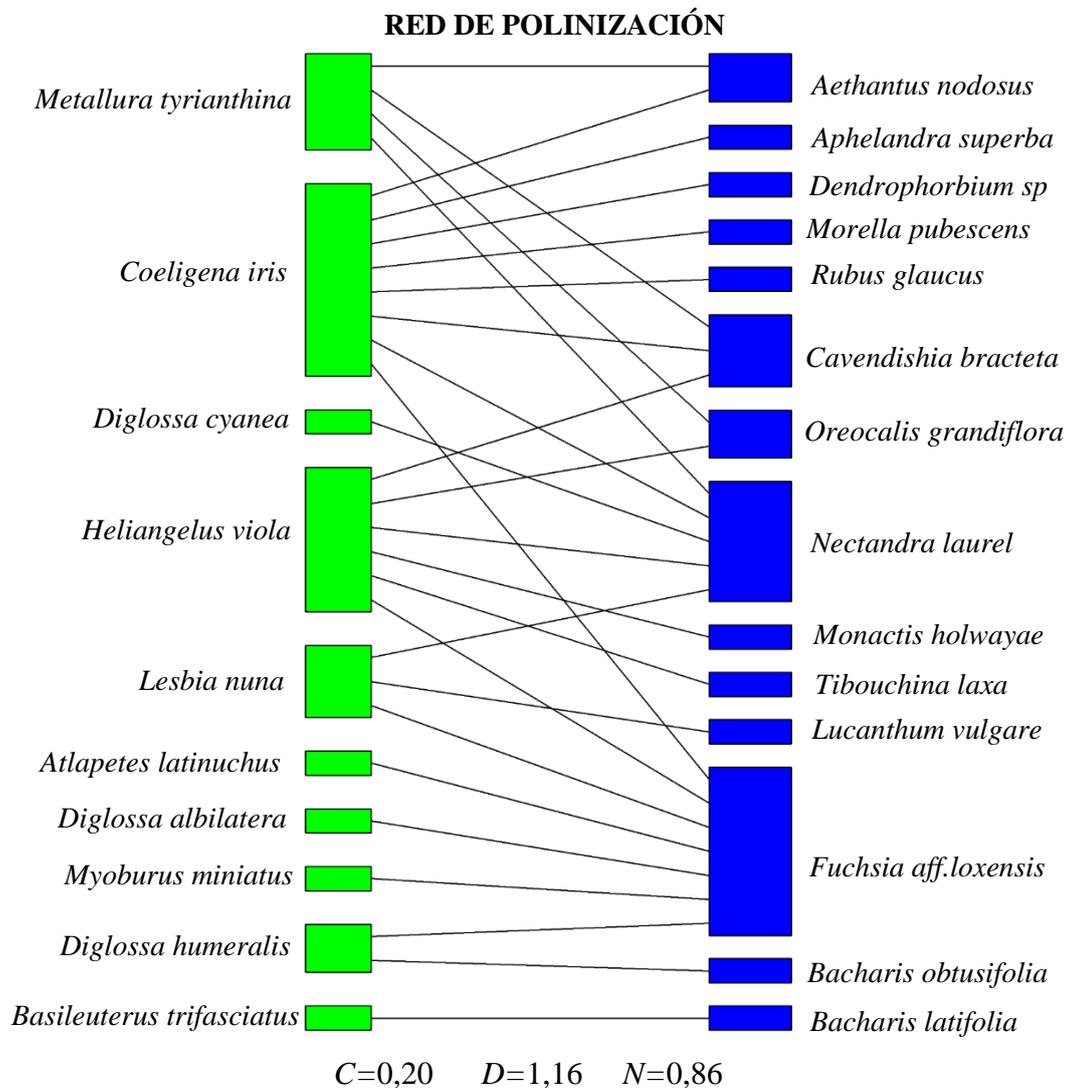


Figura 4. Red de interacción de polinización del lado occidental de la Central Eólica Villonaco

4.3. Correlación entre interacciones ave-planta y distancia de perturbación

Se realizó la comparación del número de interacciones por estación con los niveles de ruido con respecto a los aerogeneradores, con el fin de demostrar la variación en las medias de las interacciones y ruido de acuerdo a la distancia al aerogenerador (Anexo 5). Esta comparación muestra que a pesar que el ruido disminuye a medida que aumenta la distancia con respecto al aerogenerador, las interacciones no varían significativamente (Fig. 5).

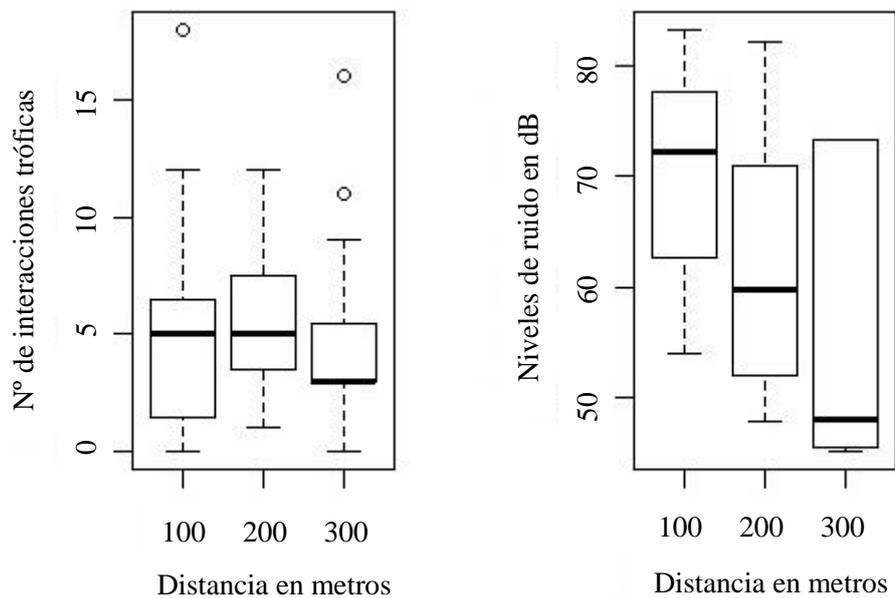


Figura 5. Diagramas de caja y bigote donde se observa poca diferencia en las medias de las interacciones con relación a la distancia y los niveles de ruido

Se evidenció una relación negativa entre ambas variables ($\rho = -0,148$) Aunque no se detectó una diferencia significativa entre los niveles de ruido y las interacciones ave-planta ($p = 0,308$). Según la prueba de Shapiro-Wilks, los datos del número de interacciones y de los niveles de ruido no poseen una distribución normal ($p = 0,00028$). Luego, de forma gráfica se constató que los datos tampoco cumplían homogeneidad de varianzas, por lo que fue necesario aplicar el coeficiente de rangos de Spearman.

Se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución de Poisson, donde la variable explicativa fue los niveles máximos de ruido, la distancia y los niveles mínimos de ruido, y la variable respuesta fueron las interacciones. De este análisis se obtuvo que los niveles máximos de ruido ($p=0,14513$), la distancia ($p=0,12334$) y los niveles mínimos de ruido ($p=0,29674$) (Anexo 6) no influyen sobre las interacciones ave-planta.

5. DISCUSIÓN

Los estudios sobre dispersión de semillas y polinización se limitan en muchos casos a zonas con altitudes menores a 1000 m s.n.m. principalmente en ecosistemas del neotrópico, debido a que cuentan con una gran riqueza y abundancia de aves y plantas, pero a medida que aumenta la altitud, las interacciones adquieren mayor importancia y frecuencia en el mantenimiento de la dinámica de un bosque (Angulo, 2011) y más aún si se trata de ecosistemas alterados como es el caso del lado occidental de la Central Eólica Villonaco, donde se observaron y analizaron las interacciones de frugivoría y de polinización por ser consideradas como reguladoras del funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas, omitiendo a la percha, corteja o anidación, debido que son consideradas como uso de recurso (Ortiz Pulido, Laborde y Guevara, 2000).

La riqueza registrada tanto por familias (e.g. Thraupidae, Trochilidae y Parulidae) como por órdenes (e.g. Passeriformes) coincide con el trabajo realizado por Ordoñez et al. (2016), así mismo, *T. fuscater*, *Z. capensis*, *P. fasciata*, *C. iris* y *L. nuna* fueron las especies más abundantes en ambas investigaciones. Adicionalmente, los resultados muestran que las especies de plantas que registraron un mayor número de interacciones (generalistas) fueron *M. pubescens* y *N. laurel*, y estas especies también fueron registradas como las más abundantes en el estudio realizado por Ordoñez et al. (2016).

En cuanto a las redes de interacción, la red de polinización obtuvo una conectancia baja debido a la cantidad elevada de especies interactuantes con relación a la red de frugivoría, la misma que registró un bajo número de especies interactuantes, lo que redundó en un aumento en su conectancia. Un valor de conectancia bajo implica una limitación natural de las especies para interactuar entre ellas, ya sea por la inclinación en la alimentación que posee cada especie o por características morfológicas a la hora de tomar el recurso (fruto o polen)

(Ramírez, 2013), lo que coincide con lo mencionado por Jordano (1987), quien afirma que, el aumento de la riqueza observada en una comunidad, aumentaría también las interacciones a registrarse, pero la conectancia tendería a disminuir de manera exponencial.

El grado de anidamiento tanto de la red de frugivoría como la de polinización presentaron valores cercanos a 1, característico de redes con un grado alto de anidamiento, esto sucede cuando las especies que son denominadas como especialistas interactúan con las generalistas y las generalistas interactúan a su vez entre sí además de hacerlo con las especialistas (Medel et al., 2009).

La estructura de las redes tanto de frugivoría como de polinización se vieron marcadas por un bajo número de interacciones registradas en relación con las interacciones posibles. Específicamente en la red de frugivoría por factores como: desajustes de tamaño y desajustes fenológicos que pueden reducir el número de interacciones. Por ejemplo, *Z. capensis* o *B. tristriatus* tienen dificultades a la hora de tomar frutos más grandes ya que su tamaño es pequeño y *C. bracteata* es una especie de planta con frutos grandes con respecto al tamaño de *Z. capensis* y *B. tristriatus*.

En lo que respecta a los desajustes fenológicos, éstos pueden darse cuando los muestreos se realizan en períodos que no coinciden con los períodos de mayor fructificación. En esta investigación, los muestreos fueron durante enero y febrero y la fructificación de *M. pubescens* fue de octubre a noviembre (Armijos y Lima, 2011), la de *C. bracteata* de junio a noviembre (Fernández, 2012) y la de *N. laurel* durante junio y julio (Gómez, 2011). Se recalca que estas especies fructifican durante todo el año, aunque en menor medida que en los períodos señalados, que corresponden a los de mayor fructificación, donde se esperaría registrar mayor número de interacciones. Dichas interacciones que no pudieron ser

registradas o resultan imposibles de ocurrir son denominadas por Medel et al. (2009) como interacciones prohibidas.

Por su parte, la estructura de la red de polinización se vio afectada por la disponibilidad de recursos florales para los polinizadores en los parches de vegetación del lado occidental de la Central Eólica Villonaco, donde *N. laurel* y *F. aff. loxensis* fueron las especies vegetales con mayor disponibilidad de flores y de mayor selección por parte de los polinizadores. En caso de que los recursos hubieran sido escasos, las aves posiblemente hubieran recurrido a otros fragmentos o parches para la obtención de recursos complementarios (Atienza et al., 2011), pero el aislamiento de los fragmentos o una diferencia de distancia muy marcada entre los mismos, tendría un efecto negativo sobre los polinizadores (Ricketts et al., 2008). Se recalca que en el trabajo de campo se evidenciaron parches a distancias considerables; sin embargo, cualquier aseveración al respecto sería prematura, ya que se necesita realizar un estudio complementario para entender esa dinámica.

La disponibilidad de recursos florales para los polinizadores depende de las especies vegetales existentes en los fragmentos de matorral arbustivo (FAO, 2014), en caso de que los fragmentos tuvieran recursos florales limitados, conllevaría a una disminución en la abundancia y riqueza (Brosi, Daily y Ehrlich, 2007), así como cambios en la composición de la comunidad de polinizadores en los reductos de hábitat natural que permanecen (principalmente en los de menor tamaño) o en el nuevo hábitat antropogénico generado por la implantación de la Central Eólica Villonaco (Brosi, Daily, Shih, Oviedo y Durán, 2008).

Se cree que las especies tanto de aves como de plantas consideradas como generalistas en las redes de interacción, realizaron o recibieron un gran número de interacciones, debido a su alta abundancia registrada tanto en la investigación realizada por Ordoñez et al. (2016) como en la investigación actual. Esto se basa en la hipótesis de la abundancia mencionada por

Jordano (1987), donde señala que una variación en la abundancia de la población local es el factor que determina la variación tanto en el número como en la fuerza de las interacciones dentro de la red.

Por su parte, las mediciones de los niveles de ruido revelaron, en algunos puntos de muestreo, valores superiores a 80 decibeles, superando los límites máximos permisibles establecidos por el Ministerio del Ambiente en el TULSMA (2017) para zonas industriales; sin embargo, los mismos no muestran un efecto aparente en la frecuencia de las interacciones ave-planta, esto se puede evidenciar en la Fig. 5, donde se observa que a pesar de la disminución de los niveles de ruido a medida que la distancia con respecto a los aerogeneradores aumenta, las abundancias medias de interrelaciones no tienen una variación muy marcada.

Esto se podría explicar mediante el grado de sensibilidad que poseen algunas especies frente a alteraciones del hábitat descritas por Stotz, Fitzpatrick, Parker III y Moskovits (1996), donde especies como *Synallaxis azarae* D'Orbigny, *Ampelion rubrocristatus* D'Orbigny y Lafresnaye, *D. humeralis*, *T. fuscater* y *Z. capensis* tienen una sensibilidad baja, es decir, facilidad para adaptarse a ambientes alterados; y otras especies como *Anisognathus lacrymosus* Du Bus y Gisignies, *A. latinuchus*, *Cyanolyca turcosa* Bonaparte, *P. fasciata* tienen una sensibilidad media, ósea, se trata de especies que pueden estar en bosques conservados y en zonas alteradas, de manera alternada. Al no existir un estudio previo a la construcción de la Central Eólica Villonaco, se desconoce si en un principio existieron especies diferentes a las registradas en la actualidad o si las mismas lograron mantenerse a través del tiempo y subsistieron a procesos adaptativos.

6. CONCLUSIONES

- De las interacciones registradas se identificó mayor presencia de especies interactuantes en la de polinización con 24 especies, en relación con la de frugivoría que registró tan solo 9 especies. Se puede suponer que esto se debe a una mayor disponibilidad de recursos florales con respecto a la disponibilidad de frutos.
- Las aves mayormente interactuantes con la vegetación del matorral arbustivo fueron, por parte de los frugívoros *T. fuscater*, mientras que de los polinizadores se tiene a *C. iris*, *Heliangelus viola*, *L. nuna*, *Metallura tyrianthina*. Con respecto a las plantas, la especie a la cual más acudieron los frugívoros fue *M. pubescens*, mientras que los polinizadores visitaron en mayor medida *N. laurel* y *F. aff. loxensis*.
- Las interacciones que se dan en el lado occidental de la Central Eólica Villonaco aparentemente no son influenciadas por el ruido de los aerogeneradores, la variación de las interacciones y de las especies interactuantes parece estar más asociada con la disponibilidad de recursos alimenticios para las aves en los fragmentos de matorral arbustivo, pero es necesario realizar estudios complementarios para poder aseverarlo.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios permanentes de las interacciones entre aves y plantas, con el fin de evaluar de mejor manera la estructura de las redes de interacciones tróficas en el lado occidental de la Central Eólica Villonaco.
- *Geissanthus vanderwerffii* registró una sola interacción durante todo el muestreo y al ser una especie endémica (León et al., 2011), en categoría Casi amenazada (NT), es prioritario realizar estudios sobre su distribución y abundancia en la zona, aspectos muy importantes para su conservación y posibles planes de reforestación.
- Realizar un estudio sobre la fenología de las especies vegetales de los alrededores de la Central Eólica Villonaco, con el fin de conocer la disponibilidad de recursos alimenticios en los diferentes parches de vegetación y así diseñar una investigación de interacciones ecológicas a largo plazo.
- La estructura de las redes de frugivoría ($C= 0,40$; $D= 0,88$ y $N= 0,92$) y polinización ($C= 0,20$; $D= 1,16$ y $N= 0,86$) podrían variar si los muestreos se los realizara durante los períodos de mayor producción floral y fructificación de acuerdo a la fenología de cada especie, por lo que se requiere estudios que consideren la estacionalidad o mayor duración de las observaciones.
- Se puede considerar a *C. bracteata*, *N. laurel* y *M. pubescens* aptas para su reproducción *ex situ* y posteriormente utilizarlas en programas de reforestación en el bosque montano del lado occidental de la Central Eólica Villonaco, considerando que fueron las especies de plantas con las que mayormente interactuaron las aves y así mejorar la conectividad entre parches o fragmentos de vegetación, debido que los mismos tienen diferente estructura, por lo que ciertas especies de aves tienden a recorrer mayores distancias en busca de recursos, lo que podría suponer un riesgo si es que se atreven a cruzar la línea de los aerogeneradores.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz, F. J. (2013). *Manual de Teoría y Práctica de Geobotánica*. Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Alonso, C., Garrido, J. L., y Herrera, C. M. (2004). *Investigaciones sobre Plantas y Animales en las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. 25 años de estudios por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*. Sevilla, España: Junta de Andalucía.
- Amat, J. (2016). Correlación lineal y regresión lineal simple en R. Recuperado 20 de mayo de 2019, de https://rpubs.com/Joaquin_AR/223351
- American Ornithology Society. (2019). South American Classification Committee (SACC). Recuperado 24 de abril de 2019, de <http://www.americanornithology.org/>
- Angulo, A. (2011). *Dispersion de semillas por aves frugívoras: Una revisión de estudios de la región neotropical* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Armijos, J., y Lima, A. (2011). *Monitoreo de la regeneración natural de zonas alteradas, identificación de especies forestales potenciales para recuperación hídrica en la microcuenca Jipíro, cantón Loja* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.
- Atienza, J. C., Martín, I. M., Infante, O., Valls, J., Fierro, I. M., Infante, O., Domínguez, J. (2011). *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos* (Vol. 3). Madrid: SEO/BirdLife.
- Badii, M., Rodríguez, H., Cerna, E., Valenzuela, J., Landeros, J., y Ochoa, Y. (2013). Coevolution and Mutualism: Conceptual Notions. *International Journal of Good*

Conscience, 8(1), 23-31.

Bascompte, J., Jordano, P., Melian, C. J., y Olesen, J. M. (2003). The nested assembly of plant-animal mutualistic networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(16), 9383-9387. <https://doi.org/10.1073/pnas.1633576100>

Bascompte, J. (2009). Disentangling the web of life. *Science*, 325(5939), 416-419. <https://doi.org/10.1126/science.1170749>

Bascompte, J., y Jordano, P. (2007). Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 101(2), 221-223. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818>

Bernal, J. (2017). *Relaciones mutualistas entre plantas y aves frugívoras y nectarívoras en el sector sur del Parque Ecológico Distrital de Montaña Cerro La Conejera en la ciudad de Bogotá* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

Brosi, B. J., Daily, G. C., y Ehrlich, P. R. (2007). Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. *Ecological Applications*, 17(2), 418-430. <https://doi.org/10.1890/06-0029>

Brosi, B. J., Daily, G. C., Shih, T. M., Oviedo, F., y Durán, G. (2008). The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 773-783. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01412.x>

Cano, V. (2009). *Efecto del aislamiento de árboles de *Bursera simaruba* en la estructura de su red mutualista* (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

Colinvaux, P. (1993). *Ecology 2*. New York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Ltd.

- Connell, J. H. (1971). On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees. En *Den Boer, P.J. and Gradwell, G.R* (pp. 298-312). Wageningen, Países Bajos: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Erazo, M., y Cárdenas, R. (2013). *Ecología: Impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente* (Primera ed.). Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones.
- Fahrig, L., y Merriam, G. (1994). Conservation of Fragmented Populations. *Conservation Biology*, 8(1), 50-59. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1994.08010050.x>
- FAO. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe*. Santiago, Chile: FAO.
- Fernández, S. (2012). *Caracterización morfológica de Cavendishia bracteata y Macleania rupestris (Ericaceae) en la Sabana de Bogotá* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- García, D. (2016). Birds in Ecological Networks: Insights from Bird-Plant Mutualistic Interactions. *Ardeola*, 63(1), 151-180. <https://doi.org/10.13157/arla.63.1.2016.rp7>
- García Pérez, S. (2017). *Conceptos relacionados con el tema de ecosistemas. Aprendizaje desde un aula natura* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Gómez, M. (2011). *Fenología reproductiva de especies forestales nativas presentes en la jurisdicción de Corantioquia, un paso hacia su conservación*. (Vol. 2). Medellín, Colombia: Corantioquia.
- Ings, T. C., Montoya, J. M., Bascompte, J., Blüthgen, N., Brown, L., Dormann, C. F.,

- Woodward, G. (2009). Ecological networks - Beyond food webs. *Journal of Animal Ecology*, 78(1), 253-269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01460.x>
- Janzen, D. H. (1970). Herbivores and the Number of Tree Species in Tropical Forests. *The American Naturalist*, 104, 501-528. <https://doi.org/10.1086/282687>
- 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>
- Lara, N., Díaz, R., Martínez, V., Mauricio, E., Anaid, S., Valle, O., Ortiz, R. (2012). Redes de interacción colibrí-planta del centro-este de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(2), 569-577.
- León, S., Valencia, R., Pitman, N., Endara, L., Ulloa, C., y Navarrete, H. (2011). *Libro rojo de las plantas endémicas del Ecuador* (Segunda Ed). Quito, Ecuador: Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Levey, D., Silva, W., y Galleti, M. (2002). *Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution and conservation*. Londres, Inglaterra: CABI Publishing.
- Llavallol, C., Cellini, J. M., y Gutiérrez, M. (2012). Impacto del ruido sobre la riqueza y abundancia de las aves, en el bosque de arrayanes (*Luma apiculata* (DC) Burret) en península de Quetihue, Argentina. *UNLaR Ciencia*, 1(1), 20-26.
- Lucas, M. (2007). *Aves y parques eólicos. Efectos e interacciones* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
- Madsen, J. E., y Øllgaard, B. (1994). Floristic composition, structure, and dynamics of an upper montane rain forest in Southern Ecuador. *Nordic Journal of Botany*, 14, 403-423.

<https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1994.tb00626.x>

Medel, R., Aizen, M., y Zamora, R. (2009). *Redes complejas de interacciones mutualistas planta-animal* (Primera Ed). Santiago de Chile, Chile: Editorial Universitaria.

Ministerio del Ambiente. (2017). *Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)*. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>

Newman, M., Barabási, A. L., y Watts, D. (2006). *The Structure and Dynamics of Networks* (Primera Ed). Oxford, Inglaterra: Princeton University Press.

Olesen, J. M., y Jordano, P. (2002). Geographic patterns in plant-pollinator mutualistic networks. *Ecology*, 89(9), 2416-2424. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2416:GPIPPM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2416:GPIPPM]2.0.CO;2)

Ollague, H., y Crespo, H. (2014). *Estudio y evaluación de los parámetros de operación del Proyecto Eólico Villonaco de la provincia de Loja - Ecuador* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Ordoñez, O., Valarezo, K., Mendoza, C., y Medina, M. (2016). *Diagnóstico para el monitoreo del impacto ambiental: Riesgos a la avifauna y los mamíferos voladores por la operación de los aerogeneradores de la Central Villonaco* (Primera Ed). Loja, Ecuador: Inproyam Estudios y Proyectos.

Ortiz-Pulido, R., Bravo, J., Martínez, V., Reyes, D., Mendiola, M., Sánchez, G., y Sánchez, M. (2010). Avifauna de la reserva de la biosfera barranca de Metztitlán Hidalgo México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(2), 19. <https://doi.org/https://doi.org/10.18242/anpscripta.2018.04.04.02.0002>

- Ortiz Pulido, R., Laborde, J., y Guevara, S. (2000). Frugivoria por Aves en un Paisaje Fragmentado : Consecuencias en la Dispersion de Semillas. *Biotropica*, 32(3), 473-488.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00494.x>
- Percival, S. M. (2000). Birds and wind turbines in Britain. *British Wildlife*, 12, 8-15.
- Pielou, E. (1970). An Introduction to Mathematical Ecology. *Science*, 169(3940), 43-44.
<https://doi.org/10.1126/science.169.3940.43-a>
- Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). (2019). Aves del Ecuador. Recuperado 26 de abril de 2019 de Bioweb website: <https://bioweb.bio/faunaweb/avesweb/home>.
- Raffaele, E., de Torres, M., Morales, C. L., y Kitzberger, T. (2014). *Ecología e Historia Natural de la Patagonia Andina: un cuarto de siglo de investigación en biogeografía, ecología y conservación*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Ramírez, M. (2013). *Redes de interacción mutualista colibrí-flor en el Parque Nacional Natural Munchique: ¿La pérdida de un colibrí endémico y en peligro crítico de extinción, acarrea el colapso del sistema?* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ramírez, O. (2016). RPubS - Indices de Biodiversidad. Recuperado 8 de mayo de 2019, de RPubS website: <https://rpubs.com/osoramirez/185606>
- Ricketts, T. H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Bogdanski, A., Viana, B. F. (2008). Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? *Ecology letters*, 11, 499-515. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01157.x>

- Ricklefs, R. (1969). An analysis of nesting mortality in birds. *Smithsonian Contributions to Zoology*, (9), 1-48. <https://doi.org/10.5479/si.00810282.9>
- Rico, V. (2006). El análisis de redes complejas y la conservación de la biodiversidad. *Cuadernos de Biodiversidad*, 22, 3-6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14198/cdbio.2007.22.01>
- Ridgely, R., y Greenfield, P. (2006). *Aves del Ecuador. Guía de Campo* (Volumen II). Quito, Ecuador: Fundacion de Conservación Jocotoco.
- Romero, R. C. (2007). *Microbiología y Parasitología Humana: bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias*. (Tercera Ed). México D.F., México: Editorial Médica Panamericana.
- Shannon, C. E., y Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication* (Primera Ed). Champaign, Estados Unidos: The University of Illinois Press.
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- Stotz, D. F., Fitzpatrick, J. W., Parker III, T. A., y Moskovits, D. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*. (Volumen VI). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Suárez, A. (2013). *Dispersión de semillas en arbustos mediterráneos de frutos carnosos: evaluando la hipótesis de escape de depredadores* (Primera Ed). Sevilla, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Thompson, J. N. (2006). Mutualistic webs of species. *Science*, 312(5772), 372-373. <https://doi.org/10.1126/science.1126904>

Vargas, M. (2013). *Biología Ambiental* (Primera Ed). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Waser, N., y Ollerton, J. (2006). *Plant-pollinator interactions: From specialization to generalization* (Primera Ed). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.

9. ANEXOS

INTERACCIONES AVE-PLANTA EN EL LADO OCCIDENTAL DE LA CENTRAL EÓLICA VILLONACO

Fecha día mes año
 Hora Inicio
Hora Fin

Estación
Punto
Observador

| Especie de ave | Sexo* | Especie de planta/COD | Tipo interacción/actividad | Manipulación | Sitio | Cantidad | Comportamiento | Observaciones |
|----------------|-------|-----------------------|----------------------------|--------------|-------|----------|----------------|---------------|
| | | | | | | | V | |
| | | | | | | | S | |
| | | | | | | | P | |

* Se realizó en base al dimorfismo sexual dado por colores

Interacciones/actividad

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

TE=Traga entero (cuando se traga el fruto entero), CA=Come arilo (cuando se come el arilo sin dañar la señailla), DS= Depreda semilla (cuando el ave rompe la semilla), TS=Tira al suelo intacto (cuando por el ramoneo el ave hace caer frutos intactos), P=Picotea (cuando picotea el fruto), NV=No se ve (cuando no se pueda observar la manipula fruto), TS=Traga semilla (cuando una se traga la semilla entera sin la pulpa)

Sitio

D= Dosel (es cuando el ave se alimenta en el dosel del árbol o arbusto), T= Tronco (es cuando el ave se alimenta en el tronco del árbol o arbusto), B= Base (es cuando el ave se alimenta en la base del árbol o arbusto)

Cantidad

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

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)

Observaciones: Aquí se pone siempre la hora a la que se ve la interacción y si hay cualquier otra observación

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

Anexo 2. Codificación para las especies de aves y plantas. El listado de especies fue realizado en base al estudio realizado por Ordoñez et al. (2016).

| Codificación | | | |
|---------------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|
| Aves | | Plantas | |
| F1 | <i>Ampelion rubocristatus</i> | P1 | <i>Aethantus nodosus</i> |
| F2 | <i>Anisognathus lacrymosus</i> | P2 | <i>Ageratina dendroides</i> |
| F3 | <i>Atlapetes latinuchus</i> | P3 | <i>Alnus acuminata</i> |
| F4 | <i>Basileuterus trifasciatus</i> | P4 | <i>Aphelandra superba</i> |
| F5 | <i>Basileuterus tristriatus</i> | P5 | <i>Axinaea macrophylla</i> |
| F6 | <i>Catamblyrhynchus diadema</i> | P6 | <i>Baccharis latifolia</i> |
| F7 | <i>Cistothorus platensis</i> | P7 | <i>Baccharis obtusifolia</i> |
| F8 | <i>Coeligena iris</i> | P8 | <i>Cavendishia bracteata</i> |
| F9 | <i>Colaptes rubiginosus</i> | P9 | <i>Chusquea sp</i> |
| F10 | <i>Conirostrum cinereum</i> | P10 | <i>Critoniopsis pycnantha</i> |
| F11 | <i>Cyanolyca turcosa</i> | P11 | <i>Dendrophorbium sp.</i> |
| F12 | <i>Diglossa albilatera</i> | P12 | <i>Fragula granulosa</i> |
| F13 | <i>Diglossa cyanea</i> | P13 | <i>Fuchsia aff. loxensis</i> |
| F14 | <i>Diglossa humeralis</i> | P14 | <i>Geissanthus vanderwerffii</i> |
| F15 | <i>Elaenia flavogaster</i> | P15 | <i>Hesperomeles obtusifolia</i> |
| F16 | <i>Geranoaetus melanoleucus</i> | P16 | <i>Liabum ignarium</i> |
| F17 | <i>Heliangelus viola</i> | P17 | <i>Lucanthenum vulgare</i> |
| F18 | <i>Lesbia nuna</i> | P18 | <i>Monactis holwayae</i> |
| F19 | <i>Metallura tyrianthina</i> | P19 | <i>Rubus loxensis</i> |
| F20 | <i>Myioborus miniatus</i> | P20 | <i>Morella pubescens</i> |
| F21 | <i>Myiothlypis coronata</i> | P21 | <i>Nectandra laurel</i> |
| F22 | <i>Myiothlypis nigrocristata</i> | P22 | <i>Oreocalis grandiflora</i> |

| | | | |
|------------|--------------------------------------|------------|----------------------------|
| F23 | <i>Patagioenas fasciata</i> | P23 | <i>Oreopanax andreanus</i> |
| F24 | <i>Phyllomyias nigrocapillus</i> | P24 | <i>Panicum maximum</i> |
| F25 | <i>Picoides fumigatus</i> | P25 | <i>Pinus patula</i> |
| F26 | <i>Pseudocolaptes boissonneautti</i> | P26 | <i>Hesperomeles sp.</i> |
| F27 | <i>Pygochelidon cyanoleuca</i> | P27 | <i>Rhamus granulosa</i> |
| F28 | <i>Pyrrhomyias cinnamomeus</i> | P28 | <i>Ruagea microphylla</i> |
| F29 | <i>Synallaxis azarae</i> | P29 | <i>Rubus glaucus</i> |
| F30 | <i>Thraupis cyanocephala</i> | P30 | <i>Salix sp.</i> |
| F31 | <i>Troglodytes solstitialis</i> | P31 | <i>Solanum longifolium</i> |
| F32 | <i>Turdus fuscater</i> | P32 | <i>Tibouchina laxa</i> |
| F33 | <i>Zonotrichia capensis</i> | P33 | <i>Quararibea cordata</i> |

Anexo 3. Número de individuos de especies observadas en las diferentes estaciones de muestreo

| | Orden | Familia | Nombre científico | A | B | C | D | Total |
|----|---------------|----------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| 1 | Apodiformes | Trochilidae | <i>Coeligena iris</i> | 4 | 3 | 7 | 3 | 17 |
| 2 | Apodiformes | Trochilidae | <i>Helianthus viola</i> | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 3 | Apodiformes | Trochilidae | <i>Lesbia nuna</i> | 0 | 1 | 0 | 3 | 4 |
| 4 | Apodiformes | Trochilidae | <i>Metallura tyrianthina</i> | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 5 | Columbiformes | Columbidae | <i>Patagioenas fasciata</i> | 1 | 12 | 4 | 7 | 24 |
| 6 | Passeriformes | Corvidae | <i>Cyanolyca turcosa</i> | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 7 | Passeriformes | Cotingidae | <i>Ampelion rubrocristatus</i> | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| 8 | Passeriformes | Emberizidae | <i>Atlapetes latinuchus</i> | 1 | 1 | 2 | 0 | 4 |
| 9 | Passeriformes | Emberizidae | <i>Zonotrichia capensis</i> | 7 | 6 | 3 | 0 | 16 |
| 10 | Passeriformes | Furnariidae | <i>Pseudocolaptes boissonneautii</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 11 | Passeriformes | Furnariidae | <i>Synallaxis azarae</i> | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 12 | Passeriformes | Hirundinidae | <i>Pygochelidon cyanoleuca</i> | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 13 | Passeriformes | Parulidae | <i>Basileuterus trifasciatus</i> | 1 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| 14 | Passeriformes | Parulidae | <i>Myioborus miniatus</i> | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 |
| 15 | Passeriformes | Parulidae | <i>Basileuterus tristriatus</i> | 0 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 16 | Passeriformes | Thraupidae | <i>Anisognathus lacrymosus</i> | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 17 | Passeriformes | Thraupidae | <i>Diglossa cyanea</i> | 0 | 1 | 0 | 3 | 4 |
| 18 | Passeriformes | Thraupidae | <i>Diglossa humeralis</i> | 3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 19 | Passeriformes | Thraupidae | <i>Thraupis cyanocephala</i> | 1 | 3 | 4 | 0 | 8 |
| 20 | Passeriformes | Turdidae | <i>Turdus fuscater</i> | 13 | 10 | 7 | 10 | 40 |
| 21 | Passeriformes | Tyrannidae | <i>Elaenia flavogaster</i> | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 22 | Piciformes | Thraupidae | <i>Picoides fumigatus</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

A= estación de muestreo 1, B= estación de muestreo 2, C= estación de muestreo 3 y D= estación de muestreo 4

Anexo 4. Matriz cuantitativa de interacciones tróficas por estaciones y puntos de muestreo.
Revisar el Anexo 3 para la codificación.

| Interacción | A | | | B | | | C | | | D | | | Total |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|
| | P1 | P2 | P3 | |
| F8-P4 | 6 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 14 |
| F8-P8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F8-P11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F8-P13 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 7 |
| F17-P32 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F19-P8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F32-P8 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| F17-P8 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F17-P13 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F14-P7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F17-P22 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| F32-P20 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| F14-P13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F23-P20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| F33-P20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| F15-P20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F18-P17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F5-P20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| F8-P20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F12-P13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F17-P21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| F4-P6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F18-P13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F8-P29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F3-P13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F13-P21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| F19-P22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| F8-P1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| F18-P21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3 |
| F19-P1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F32-P14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| F19-P21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| F17-P18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| F20-P13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| F32-P21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| F8-P21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Total | 12 | 4 | 6 | 8 | 5 | 10 | 6 | 12 | 11 | 4 | 6 | 1 | 85 |

F= frugívoro o nectarívoro y P= planta. P1= punto uno, P2= punto dos, P3= punto tres

Anexo 5. Niveles de ruido medido en cada estación de muestreo.

| Estación | Puntos | Nivel de Ruido Máximo (dB) | Nivel de Ruido Mínimo (dB) |
|-----------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| A | 1 | 83,40 | 34,80 |
| | 2 | 82,20 | 36,90 |
| | 3 | 73,30 | 32,00 |
| B | 1 | 72,20 | 33,90 |
| | 2 | 52,00 | 32,20 |
| | 3 | 45,40 | 29,80 |
| C | 1 | 71,30 | 36,40 |
| | 2 | 59,80 | 31,60 |
| | 3 | 47,90 | 31,70 |
| D | 1 | 54,00 | 37,00 |
| | 2 | 47,80 | 30,80 |
| | 3 | 45,00 | 36,40 |

Anexo 6. Resultados de distribución de Poisson.

| | Estimador | Error estándar | z-valor | p-valor |
|---------------------|------------------|-----------------------|----------------|----------------|
| Intercepto | 3.664.667 | 1.275.994 | 2.872 | 0.00408 ** |
| Ruido máximo | -0.008022 | 0.005506 | -1.457 | 0.14513 |
| Distancia | -0.001609 | 0.001044 | -1.541 | 0.12334 |
| Ruido mínimo | -0.036354 | 0.034840 | -1.043 | 0.29674 |