

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Comunidad acústica en el hábitat del Quetzal (*Pharomachrus
mocinno mocinno*) en la Reserva Natural Privada Los Andes,
Suchitepéquez, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Andrea Ivette Padilla Ramírez
para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala
2018

Comunidad acústica en el hábitat del Quetzal (*Pharomachrus
mocinno mocinno*) en la Reserva Natural Privada Los Andes,
Suchitepéquez, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Comunidad acústica en el hábitat del Quetzal (*Pharomachrus
mocinno mocinno*) en la Reserva Natural Privada Los Andes,
Suchitepéquez, Guatemala

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Andrea Ivette Padilla Ramírez
para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala

201

Vo. Bo.:

(f) 

M. Sc. Pablo Bolaños

Tribunal Examinador:

(f) 

M. Sc. Pablo Bolaños

(f) 

M.Sc. Claire Dallies

(f) 

Dr. Alexis Cerezo

Fecha de aprobación: Guatemala, 14 de junio de 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá que siempre ha sido una gran luchadora y que me ha enseñado que con esfuerzo y dedicación se puede lograr hasta lo imposible.

A mi papá gracias por sus palabras de apoyo en todo momento y por no dejarme olvidar que puedo lograr todo lo que me propongo.

A Hugo, quien siempre fue otro padre para mí, gracias por tu apoyo en los momentos más difíciles, tus palabras de aliento y tu manera de alegrar el día.

A mi asesor M. Sc. Pablo Bolaños por brindarme todo su conocimiento y ayuda durante el desarrollo de todo el trabajo de graduación. Por enseñarme a usar herramientas técnicas y de análisis, y por su paciencia y esfuerzo para ayudarme a lograr este trabajo. A M. Sc. Claire Dallies por siempre brindarme su conocimiento y apoyo y compartir el amor por las aves

A mi hermana Astrid, gracias por siempre preocuparse por mí y estar a mi lado.

A mis abuelitos, Ángel y Edna, a ti papabuelo por compartirme tus conocimientos científicos y a ti abuelita por cuidarme y siempre darme tu amor.

A mis amigos Axel, Alejandra y Juan Diego quienes, aunque no entendieran nada de lo que les hablara, siempre han estado a mi lado dándome su apoyo y felicidad.

A Karen, compañera y amiga, con quien siempre hemos compartido el amor por la ciencia, gracias por siempre estar a mi lado durante frustraciones y alegrías.

A Santiago, por no dejar que me diera por vencida cuando sentía que no podía seguir.

Al Museo Nacional de Historia Natural de Paris por permitirme utilizar el equipo de grabación y a la Reserva Natural Privada Los Andes por brindarme las instalaciones para llevar a cabo la investigación.

Gracias a todos y sepan que yo siempre estaré ahí para ustedes.

ÍNDICE

Página

AGRADECIMIENTOS.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
SINOPSIS.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODOS.....	17
III. RESULTADOS.....	23
IV. DISCUSIÓN.....	33
V. CONCLUSIONES.....	39
VI. RECOMENDACIONES.....	40
VII. LITERATURA CITADA.....	41
VIII. ANEXOS.....	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Listado de especies identificadas en las grabaciones.....	26
2. Porcentaje total del área de traslape entre <i>P. mocinno</i> y las demás especies entre 500y 2500 kHz.....	51
3. Porcentaje promedio del área de traslape entre <i>P. mocinno</i> y las demás especies entre 500 y 2500 kHz.....	52
4. Número de veces de traslape entre <i>P. mocinno</i> y otras especies entre 500 y 2500 kHz.....	53
5. Porcentaje total, porcentaje promedio y número de veces de traslape de las vocalizaciones de <i>P. mocinno</i>	54

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Localización de las IBA en Guatemala.....	2
2. Representación de una onda de sonido con sus mediciones. Se pueden observar dos ondas con líneas de diferente color, estas tienen una misma longitud de onda, pero diferente amplitud.....	4
3. Espectrograma de 35 segundos (eje x) de <i>Henicorhina leucophrys</i> , Reserva Natural Privada Los Andes. Se observa frecuencias de 1.971 kilohertzios (kHz) a 7.000 kHz (eje y).....	5
4. Organización jerárquica de la relación entre la comunidad acústica, el medio ambiente y el paisaje sonoro.....	10
5. Mapa de distribución de la familia Trogonidae en el mundo.....	12
6. Mapa de acceso a la Reserva Natural Privada Los Andes.....	18
7. Mapa de la ubicación de la Reserva, los elementos de conservación, las amenazas, las pendientes, los caminos y el uso de tierra.....	19
8. Esquema de mediciones de cada sonido.....	21
9. Espectrograma de la vocalización territorial de <i>P. mocinno</i>	23
10. Espectrograma de la vocalización de cortejo de <i>P. mocinno</i>	24
11. Espectrograma de la vocalización de alerta de <i>P. mocinno</i>	24
12. Número de veces de traslape de cada tipo de llamado de <i>P. mocinno</i> con otras especies.....	25
13. Porcentaje promedio de traslape de cada tipo de llamado de <i>P. mocinno</i> con otras especies.....	26
14. Número de veces de traslape entre <i>P. mocinno</i> y otras especies entre 500 y 2500 kHz.....	28
15. Porcentaje total del área de traslape entre <i>P. mocinno</i> y las demás especies entre 500 y 2500kHz.....	29
16. Porcentaje promedio de traslape entre <i>P. mocinno</i> y otras especies entre 500 y 2500kHz.....	30
17. Porcentaje de importancia de los ejes, 28.099089%, 18.688485%, 14.344253%, 11.314315%, 10.106919%, 8.549104%, 6.721102% y 2.176733%.....	30

18. Variables analizadas por medio de PCA y su importancia relativa en los primeros tres ejes.....	31
19. Influencia del traslape acústico y competencia entre las especies.....	32
20. Espectrograma de la vocalización de <i>Aspatha gularis</i>	54
21. Espectrograma de la vocalización de <i>Herpetotheres cachinnans</i>	55
22. Espectrograma de la vocalización de <i>Micrastur ruficollis</i>	55
23. Espectrograma de la vocalización de <i>Odontophorus guttatus</i>	55
24. Espectrograma de la vocalización de <i>Penelope purpurascens</i>	56
25. Espectrograma de la vocalización de <i>Penelopina nigra</i>	56
26. Espectrograma de la vocalización de <i>Chlorophonia occipitalis</i>	56
27. Espectrograma de la vocalización de <i>Cyanocorax melanocyaneus</i>	57
28. Espectrograma de la vocalización de <i>Henicorhina leucophrys</i>	57
29. Espectrograma de la vocalización de <i>Henicorhina leucophrys</i> de 2500 a 700 kHz.....	57
30. Espectrograma de la vocalización de <i>Myadestes occidentalis</i> de 2400 a 5800 kHz.....	58
31. Espectrograma de la vocalización de <i>Myadestes occidentalis</i>	58
32. Espectrograma de la vocalización de <i>Catharus ustulatus</i>	58
33. Espectrograma de la vocalización de <i>Xiphorhynchus erythropygius</i>	59
34. Espectrograma a de la vocalización de <i>Aulacorhynchus prasinus</i>	59
35. Espectrograma b de la vocalización de <i>Aulacorhynchus prasinus</i>	59
36. Espectrograma de la vocalización de <i>Glaucidium brasilianum</i>	60
37. Espectrograma de la vocalización de <i>Trogon collaris</i>	60
38. Espectrograma de la vocalización de <i>Trogon mexicanus</i>	60

SINOPSIS

El objetivo principal de este trabajo de investigación es determinar si hay competencia por el espacio acústico en tiempo y frecuencia entre el quetzal resplandeciente (*Pharomachrus mocinno mocinno*) y otras especies en un bosque nuboso.

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la Reserva Natural Privada Los Andes, la cual se encuentra ubicada en la ladera sur del Volcán Atitlán, en el departamento de Suchitepéquez. Las grabaciones se realizaron por medio de seis grabadoras de audio automáticas, de las cuales se obtuvieron 20,409 grabaciones de las cuales 305 contaban con alguna vocalización de *P. mocinno*.

Posteriormente se midieron las características acústicas de las especies encontradas que se traslapan con las vocalizaciones del quetzal. Estos datos sirvieron para determinar la frecuencia de traslape, la proporción de traslape y la suma total de traslape entre cada especie identificada con *P. mocinno*. El traslape acústico fue comparado con datos biológicos de las especies, como el período de reproducción, hora de vocalización, competencia por el tipo de alimento que ingieren, competencia por sitios de anidamiento y la posible interacción como predadores del quetzal. Lo cual se utilizó para conocer si la competencia por recursos y sitios de anidación tienen relación con la competencia por el espacio sonoro.

I. INTRODUCCIÓN

A. Antecedentes

1. Biodiversidad de aves en Guatemala. En Guatemala se ha registrado un total de 725 especies de aves donde se incluyen especies migratorias Neárticas y de sur América y de las cuales 487 se reproducen en el país (Eisermann y Avendaño 2009b). Se han registrado tres especies endémicas regionales en Guatemala; las cuales pertenecen a cuatro regiones de endemismo: las tierras altas del norte de Centro América (donde se encuentra una mayor cantidad de especies de aves endémicas regionales), las tierras bajas de Pacífico, la región de Yucatán y la región de la costa caribeña (Dallies, 2008).

Además, en Guatemala habitan diez poblaciones de especies amenazadas como por ejemplo la tangara de cabanis (*Tantgara cabanisi*), la cayaya o pava negra (*Penelopina nigra*), el chipe de mejilla dorada (*Setophaga chrysoparia*), entre otras (Eisermann y Avendaño 2009b).

En los bosques húmedos del Neotrópico habitan especies endémicas de flora y fauna las cuales están altamente amenazadas (Nájera 2010). Estos bosques se encuentran entre 800 y 3000msnm con temperaturas entre 12 a 20°C y con alta precipitación anual (entre 2000 y 4000mm) (MacVean y Monzón 2009). En Guatemala estos bosques se encuentran en la cadena volcánica donde se incluye el volcán Atitlán, el cual se encuentra en los departamentos de Sololá y Suchitepéquez en el occidente del país y tiene una altura de 3550metros sobre el nivel del mar (Nájera 2010).

2. Áreas importantes de aves de Guatemala. En Guatemala se han identificado 21 áreas importantes de aves (ver Figura 1) o IBA por sus siglas en inglés, las cuales están designadas para priorizar sitios de conservación desarrollado por BirdLife International y son cruciales para la

conservación de especies de centro américa (Eisermann y Avendaño 2009a). Estas albergan 16 poblaciones de especies amenazadas globalmente, nueve especies de rango restringido y 18 especies de bioma restringido. Las áreas identificadas como IBA tienen una cobertura de 51,884km², equivalente al 48% del territorio guatemalteco, esto incluye áreas con y sin perturbación humana. Las IBAs se distribuyen a lo largo del territorio del país incluyendo departamentos como Petén, Huehuetenango, Quiché, Alta y Baja Verapaz, Izabal, Guatemala, Suchitepéquez, incluyendo la cadena volcánica donde se encuentra el Volcán Atitlán (Eisermann y Avendaño 2009b).

FIGURA 1. Localización de las IBA en Guatemala



Fuente: Eisermann y Avendaño 2009b

La cadena volcánica de Guatemala es considerada un área importante de aves (IBA), por sus siglas en inglés, de las tierras altas del norte de Centroamérica. En donde se ha reportado la presencia de especies endémicas de escarabajos, reptiles, plantas, entre otros. Esta IBA incluye además las montañas del sureste de México, El Salvador, Honduras y el norte central de Nicaragua entre 500 a 3,500msnm (BirdLife International 2016). El Volcán Atitlán alberga especies importantes de aves como el pavo de cacho (*Oreophasis derbianus*), la tangara de cabanis (*Tangara cabanisi*), el tecolote barbudo (*Megascops barburus*) y el quetzal resplandeciente (*Pharomachrus*

mocinno mocinno), no solamente debido a que son endémicas sino también porque se encuentran amenazadas o en peligro de extinción (Nájera 2010).

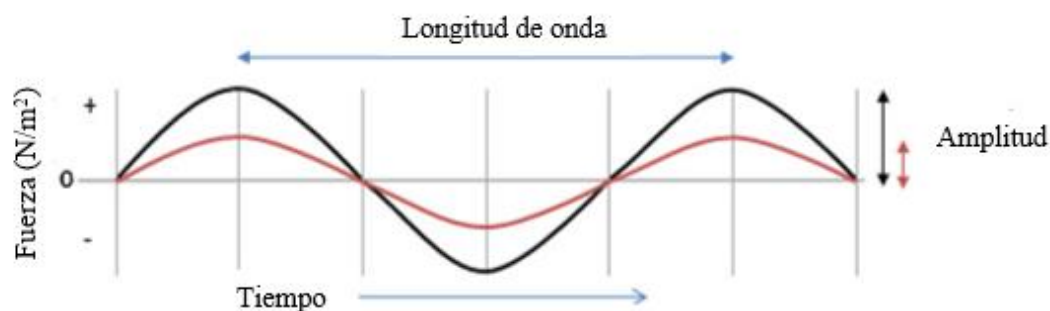
3. El sonido. El sonido es resultado de la fluctuación de ondas de presión en el aire que son registradas por el oído y el sistema nervioso. Los sonidos se producen por medio de vibraciones que surgen al golpearse o a rozarse los objetos. Estas vibraciones se propagan en un medio elástico en forma de ondas. Los sonidos se diferencian entre sí dependiendo de las características de intensidad, tono y timbre (Jiménez 2001).

El sonido tiene las características de una onda sinusoidal idealizada que viaja por el tiempo (Figura 2), se caracteriza por tener un nodo que es el punto donde la onda se cruza con la línea de equilibrio; elongación, que es la distancia que hay entre cualquier punto de onda hasta la línea de equilibrio; cresta o pico, que es el punto más alto de cada onda y valle el punto más bajo; período (T) se le llama al tiempo que tarda en que suceda una onda completa y se mide en segundos. La amplitud de una onda se le llama a la separación que hay entre onda desde su punto de equilibrio. Por otro lado, se le llama longitud de onda (λ) a la distancia entre dos crestas o valles en otras palabras, es la distancia de una onda completa y se mide en metros (Cromer 1996). Por último, la frecuencia (f) de una onda es el número de ondas por segundo la cual se mide en ciclos por segundo o Hertz (Hz) (Villanueva-Rivera 2011) y la intensidad del sonido se expresa en decibeles (dB) en base de 10 unidades (log) (Everest y Pholmann 2009).

La atenuación de las ondas sonoras, así como su frecuencia, dependen de las características del paisaje, debido a que ondas con frecuencias más altas son absorbidas por estructuras como hojas, mientras que ondas con frecuencias más bajas son desviadas por estos objetos. Esto es importante porque limita la distancia a la que pueden viajar las ondas con frecuencias más altas, en comparación a aquellas con frecuencias más bajas (Villanueva-Rivera *et al.* 2011). Se ha encontrado que en los bosques los sonidos con frecuencias bajas son menos atenuados y por lo tanto viajan distancias más largas (Marten y Marler 1977, Marten *et al.* 1977). Debido a esto la emisión de los sonidos animales ha evolucionado dependiendo de las características de las áreas donde habitan; por ejemplo, las familias columbidae y odontophoridae que

habitan en el sotobosque, emiten sonido de bajas frecuencias, con el fin de que viajen distancias más largas.

FIGURA 2. Representación de una onda de sonido con sus mediciones. Se pueden observar dos ondas con líneas de diferente color, estas tienen una misma longitud de onda, pero diferente amplitud



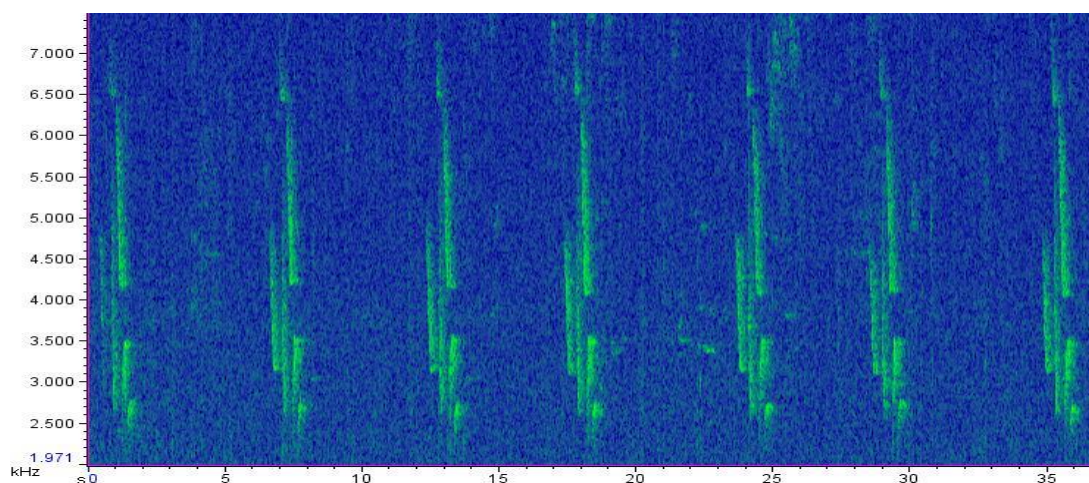
Fuente: Villanueva-Rivera *et al.* 2011

4. Grabación del sonido. Es posible utilizar tanto formatos digitales como análogos para grabar sonidos, sin embargo, las grabadoras digitales almacenan muestras discretas de la señal que es detectada por el micrófono en miles de veces por segundo. Al momento de grabar los sonidos es importante que para grabar correctamente la señal obtenga al menos un ciclo completo de la onda, lo cual limita la frecuencia acústica máxima grabada a la mitad de la tasa de muestreo (Villanueva-Rivera *et al* 2011). A esto se le llama frecuencia de Nyquist y determina la tasa mínima a la cual se puede grabar una muestra sin que tenga errores, siendo el mínimo el doble de la frecuencia de la señal (Gadallah y Fisher 2008). Esto quiere decir que, si se desea grabar sonidos de frecuencia de 11 kHz, la tasa de muestreo tiene que ser de 22kHz o mayor para poder detectar las frecuencias máximas de la onda de sonido.

Al grabar sonidos de aves, ranas, mamíferos, insectos y otros sonidos de la naturaleza es necesario utilizar una buena técnica de grabación y un buen equipo de grabación (Budney y Grotke 1997). Por lo tanto, es importante que los sonidos obtenidos no sean comprimidos debido a que esto conlleva a la pérdida de información ya que se modifica la señal que ha sido grabada. Los sonidos deben ser grabados en formatos no comprimidos como Microsoft Wave (.wav) o Free Lossless Audio Code (.flac) (Villanueva-Rivera *et al* 2011).

5. Análisis del sonido. Una herramienta visual utilizada para analizar los sonidos es el espectrograma (Figura 3), este muestra en el eje “y” la frecuencia acústica, el tiempo en el eje “x” y se utilizan colores o sombras para demostrar distintas intensidades en los sonidos (Pijanowski *et al* 201a, Villanueva-Rivera *et al* 2011).

FIGURA 3. Espectrograma de 35 segundos (eje x) de *Henicorhina leucophrys*, Reserva Natural Privada Los Andes. Se observa frecuencias de 1.971 kilohertzios (kHz) a 7.000 kHz (eje y).



6. Paisaje sonoro. En todos los paisajes se emiten sonidos que varían temporal y espacialmente. Los bosques, praderas y humedales están compuestos por sonidos producidos por mamíferos, aves, anfibios, insectos (Marler y Slabberkoorn 2004) y todas las especies que producen sonidos para la comunicación o movimiento. Asimismo, el paisaje urbano también está conformado de sonidos generados por vehículos, máquinas y otros sonidos producidos por humanos. Otros sonidos que forman parte importante del ecosistema son aquellos producidos por el agua, el aire, terremotos, entre otros (Pijanowski *et al.* 2011b). A la interacción de todos estos sonidos en el ecosistema se le llama paisaje sonoro o “soundscape” en inglés (Pijanowski *et al.* 2011a).

El paisaje sonoro forma parte de todos los ecosistemas y se define como el conjunto de energía sónica producida por un paisaje como resultado de la superposición de las geofonías, biofonías y antropofonías, las cuales se describen a continuación:

a. **Geofonías.** Se le llaman geofonías a todos aquellos sonidos producidos por agentes naturales no biológicos como por ejemplo el viento, volcanes, ríos, lluvia, truenos, terremotos e inundaciones (Farina 2014).

b. **Biofonías.** Las biofonías son todas las vocalizaciones que producen los organismos vivos, como llamados, cantos y voces, incluyendo los sonidos humanos. Según Krause y Farina (2016), hay resultados que indican que la disminución de la complejidad acústica de las biofonías está asociada con la disminución de las geofonías.

c. **Antropofonías.** Las antropofonías son el conjunto de sonidos producidos por actividades del ser humano a partir de la operación de maquinarias como motores, cierras, industrias, etc. (Farina 2014).

Las antropofonías son sonidos que generalmente producen frecuencias bajas, mientras que las biofonías generan frecuencias más altas, gracias a esto se pueden diferenciar con el fin de calcular sus proporciones y poder evaluar la perturbación de áreas específicas (Bolaños 2015).

El estudio del paisaje sonoro es una herramienta importante que se puede utilizar en la evaluación de la calidad de parques y áreas protegidas, en el diseño y planeación urbana, en el estudio de la etología y antropología y hasta para el monitoreo a largo plazo de los efectos del cambio climático (Farina 2014). Se ha sugerido, con la ayuda del estudio del paisaje sonoro, que las especies ocupan un espacio único en el “espacio” sonoro, por lo tanto, mientras más sonidos diferentes se logren identificar, hay mayor diversidad (Bolaños 2015).

7. Dimensiones espaciales del paisaje sonoro y el gradiente altitudinal.

Uno de los objetivos de los ecólogos y biogeógrafos es entender la distribución global de la biodiversidad (Gaston 2000). Se cree que las biofonías, geofonías y antropofonías van a variar espacialmente y van a co-variar con cierto grado de perturbación ecológica y humana. Gaston (2000) sugiere que hay solamente algunos factores que pueden influenciar en los patrones globales de diversidad, como por ejemplo el uso de suelo por humanos, la estructura del hábitat, los gradientes altitudinales, gradientes de flujo,

parches y bordes y gradientes latitudinales (McCain y Grytnes 2010, Pijanowski *et al.* 2011b).

Los gradientes altitudinales han sido estudiados para determinar cómo afectan a los patrones de biodiversidad. Pijanowski *et al.* (2011b) sugiere que la composición del paisaje sonoro va a variar naturalmente a lo largo del gradiente altitudinal. Estudios sugieren que la riqueza de especies es mayor a altitudes medias (Brown 2011), y que los patrones de viento y de precipitación cambian con respecto a la altitud (Gracia-Martino *et al.* 1996). El estudiar los patrones de las biofonías y antropofonías en los ecosistemas a lo largo del tiempo, también pueden ayudar a identificar el impacto del cambio climático sobre los factores de los ecosistemas (Pijanowski *et al.* 2011b).

8. Bioacústica. Al estudio de los sonidos que se producen en los distintos ecosistemas por organismos vivos se le llama bioacústica. La bioacústica permite obtener grabaciones que pueden contribuir a la identificación de especies animales, así como también realizar investigaciones ecológicas. Debido a su importancia como indicadores de salud ambiental, las aves han sido estudiadas con regularidad en esta nueva ciencia (Townsey *et al.* 2013). Desde un punto de vista ecológico, la acústica tiene la capacidad de ayudar a entender el cambio de los ecosistemas debido a la perturbación, así como también proporciona una medida de la biodiversidad y su cambio subsecuente durante el tiempo (Kasten *et al.* 2012).

La bioacústica posee un enfoque interdisciplinario que integra comportamiento animal mecanismos de producción de sonido por animales, bases evolutivas, comunicación, características del hábitat, fisiología y anatomía animal y tiempo de las vocalizaciones. Sin embargo, en general se ha enfocado en el estudio de especies individuales (Pijanowski *et al.* 2011b).

9. Hipótesis del nicho acústico. La hipótesis del nicho acústico indica que las especies, para reducir competencia interespecífica y pérdida de energía, vocalizan en un rango específico de frecuencia. Esto permite distinguir a las especies cuando vocalizan al mismo tiempo. La hipótesis del nicho acústico ha sido considerada un mecanismo adaptativo de las especies dentro de la evolución de hábitat (sucesión ecológica, perturbación) y el tiempo en el cual las especies han coexistido (Farina y Pieretti 2014).

Esta hipótesis se basa en la presencia de códigos acústicos específicos que reducen la incertidumbre en el mensaje que cada especie transmite. Por ejemplo, cuando las condiciones ambientales cambian, por factores climáticos o por un proceso invasivo, se pueden crear problemas de comunicación en las comunidades coexistido (Farina y Pieretti 2014).

Los códigos acústicos han sido definidos como unidades de información acústica producidos por órganos especiales con secuencias específicas para producir un significado y tener una naturaleza bivalente (comportamiento y ecológico). Los códigos acústicos no solamente existen a niveles intraespecíficos sino también a niveles interespecíficos. Estos códigos son estructuralmente complejos en aves Passeriformes principalmente y algunos mamíferos terrestres y acuáticos y relativamente simples en ranas y peces (Farina y Pieretti 2014).

10. Comunidades acústicas. Una comunidad acústica se define como una agregación de especies que producen sonido utilizando su cuerpo o herramientas. Dichas comunidades ocurren en ambientes acuáticos (agua dulce y marinos) y terrestres. Una comunidad acústica es el componente biofónico del paisaje sonoro y se caracteriza por ser específico de cada comunidad acústica (una firma acústica), esto es el resultado de la distribución de la información sónica asociada con la amplitud y la frecuencia. Cada comunidad acústica puede describirse de acuerdo con su hábitat, el rango de frecuencia de las señales acústicas, la hora del día o la estación del año (Farina y James 2016). La firma acústica es como una huella digital que surge a partir de la distribución de las categorías de frecuencia de los sonidos emitido por las especies que componen la comunidad acústica. A esta firma se le puede considerar equivalente a un código biológico (Barbieri 2015) y es específico para cada especie y comunidad (Farina y James 2016).

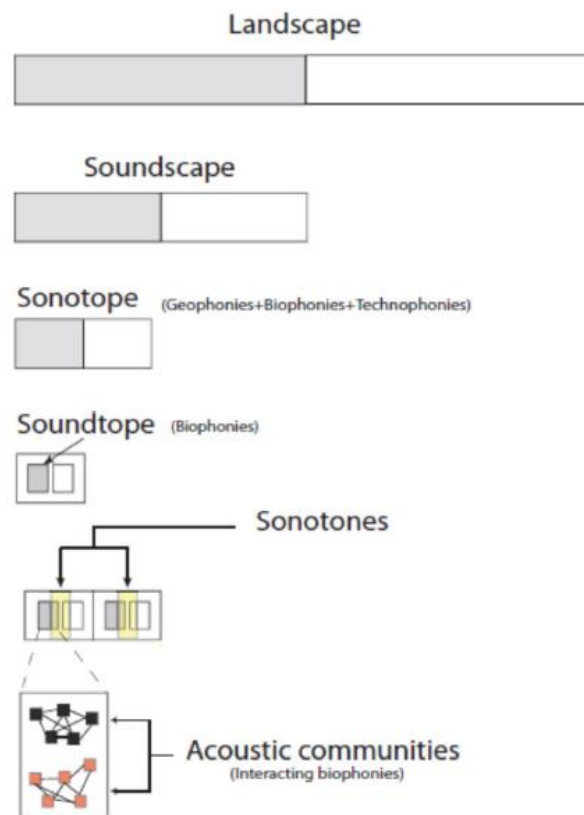
Existen tres tipos de comunidades acústicas: infrasónica, que abraza $<20\text{Hz}$ e incluye a las ballenas (Cetaceae); ordinaria, de 20 a 20000Hz , donde se encuentran la mayoría de vertebrados incluyendo a los humanos; y ultrasónica, que abarca $>20000\text{Hz}$,

aquí se incluyen murciélago (Chiroptera), delfines (Cetaceae) y algunos insectos (Farina y James 2016).

En la Figura 4 se puede observar la organización jerárquica de la relación entre la comunidad acústica y el medio ambiente. Siendo el medio ambiente el que abarca cada término, dentro del cual se encuentra el paisaje sonoro. Dentro del paisaje sonoro se encuentran las biofonías, antropofonías y geofonías, lo cual se define como “sonotope”. Cada biofonía independiente se le define como “sountope”, y la adyacencia entre dos o más soundtopes es un “sonotone”. Y por último, la interacción entre “sonotones” o biofonías conforma una comunidad acústica (Farina y James 2016).

Las frecuencias dentro de una comunidad acústica no son al azar, y son resultado de adaptaciones para reducir la competencia interespecífica (Planqué y Slabbekoorn 2008). Según Malavasi y Farina 2013 las especies pueden limitar el traslape acústico tanto en frecuencia como en tiempo. A esto se le conoce como la hipótesis del nicho acústico, ANH por sus siglas en inglés, que es una extensión de la teoría de nicho de Hutchinson (1957), y un concepto descrito por Bernie Krause (1993). La ANH es el resultado de observaciones empíricas que demuestran que las especies que vocalizan al mismo tiempo y en el mismo lugar, no se traslapan acústicamente, produciendo un espacio acústico particionado (Farina y James 2016).

FIGURA 4. Organización jerárquica de la relación entre la comunidad acústica, el medio ambiente y el paisaje sonoro.



Fuente: Farina y James 2016

11. Familia Trogonidae. La familia Trogonidae es la única del orden Trogoniformes y se han clasificado ocho géneros y 43 especies de las cuales 11 se encuentran amenazadas. Estas aves se caracterizan por ser arbóreas con un tamaño de entre 23 a 40cm, poseen cuello corto, cola larga y cuadradas, alas cortas, pico ancho y corto con gancho, patas heterodáctilas muy cortas y un plumaje de colores brillantes (Collar 2016, Howell y Webb 1995).

a. Distribución. La familia está restringida a latitudes tropicales (Campbell y Lack 2010) pero está distribuida casi en todas las regiones del mundo (ver Figura 4), exceptuando Australasia (Collar 2016). A pesar de habitan en los trópicos, su distribución no se encuentra restringida a tierras bajas con altas temperaturas, algunas especies pueden encontrarse en montañas donde la temperatura es más baja alcanzando los 3,500msnm (Campbell y Lack 2010). Principalmente habitan bosques,

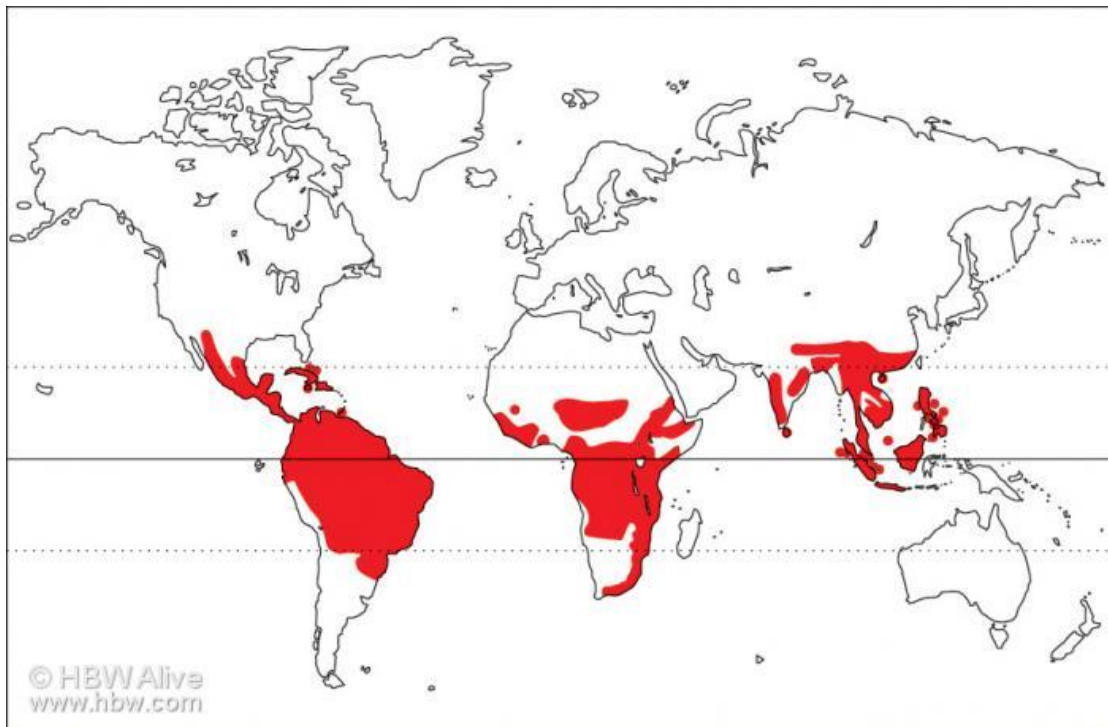
con frecuencia en estratos medios y en el interior del bosque, y ocasionalmente se encuentran en el dosel (Collar 2016).

En América se han identificado cinco géneros de la familia y todos se reproducen en la región Neotropical desde México hasta el norte de Argentina y en las Antillas. Entre estos se encuentra la especie *Pharomachrus mocinno*, distribuido desde los bosques de montaña de México a Panamá, era sagrado para los antiguos Mayas y Aztecas. En África en el desierto del Sahara se encuentran tres especies (dos géneros) de trogones, una de estas está ampliamente distribuidos en bosques siempre verdes, otra está restringida a bosques húmedos ecuatoriales y la otra a bosques montanos hasta los 1,500msnm. En Asia solamente se encuentra un género, pero 11 especies que se reproducen desde el oeste de India hasta el sureste de China, la península Indo-Malasia, las Filipinas y Sri Lanka (Campbell y Lack 2010).

b. Vocalización. Los trogones indican su presencia con sonidos sencillos pero sus cantos son por lo general melodiosos y distintivos. Estos consisten en llamados monosilábicos repetitivos que varían entre especies según el tono, el timbre, el volumen, el ritmo, la velocidad y el número de notas (Campbell y Lack 2010) pero que igualmente son bastante parecidos. Algunas especies tienen notas como chirridos, chillonas o guturales. Usualmente las aves de esta familia se escuchan con más frecuencia de la que se observan (Collar 2016, Howell y Webb 1995).

c. Alimentación. Las especies de la familia Trogonidae se alimentan principalmente de frutas e insectos que obtienen de ramas y hojas (Howell y Webb 1995) o se mantienen perchados y luego vuelan hacia su presa (The Cornell Lab of Ornithology 2015), aunque se ha encontrado que las especies de mayor tamaño (*P. mocinno*, *Trogon massena* y *T. clathratus*) se alimentan de pequeños vertebrados como ranas (Ramsen *et al.* 1993).

d. Anidación. Anidan en cavidades que se encuentran en árboles o tocones. Algunos cavan sus nidos en agujeros ya ocupados por termitas o avispas o utilizan agujeros hechos por epífitas. Ambos sexos forman parte de la construcción del nido y de la incubación, que dura de 17 a 19 días, y del cuidado de las crías artificiales las cuales suelen ser de 2 a 3 (Campbell y Lack 2010).

FIGURA 5. Mapa de distribución de la familia Trogonidae en el mundo

Fuente: del Hoyo *et al* 2016

12. *Pharomachrus mocinno mocinno*. *Pharomachrus mocinno mocinno* pertenece a la familia Trogonidae. Estos son de tamaño mediano, su cuerpo mide entre 38 y 40 cm, su pico es pequeño y de color amarillo naranja. El plumaje de esta ave, como en muchas familias, difiere entre la hembra y el macho. La coloración del plumaje es verde azulado o verde esmeralda en ambos, sin embargo, es más intenso en el macho. Poseen una cola cuadrada, en el macho, las plumas cobertoras de la cola pueden medir desde 70 a 105cm de largo (Dallies 2008). Mientras está perchado el quetzal posee una postura erguida, son su cola dirigida directamente hacia abajo, incluso inclinada ligeramente hacia adelante debajo de la percha (Skutch 1944).

El macho adulto posee una cresta redondeada gracias a sus plumas de la cabeza, su pecho y su abdomen son de color rojo escarlata, las plumas de la parte inferior de la cola con blancas y las superiores y cobertoras son verdes. Sus ojos son de coloración café, tiene patas de color aceituna y sus dedos son de color naranja – café oscuro (Dallies 2008).

La hembra posee colores marrones y más oscuros, a comparación del macho, lo que es útil al momento de cuidar el nido para no llamar la atención de los depredadores. Su cabeza es de color verde-bronce brillante sin cresta. Las plumas cobertoras del ala, espalda y cola son de color verde oro. No posee plumas cobertoras largas en la cola, tiene barbilla y garganta gris, su pecho es de color marrón olivo, su abdomen es rojo y sus patas son verde marrón (Dallies 2008).

Pharomacrus mocinno mocinno es un ave amenazada (Renner 2005) que habita desde los bosques nubosos de la Sierra Madre al sur de Chiapas en México, Guatemala hasta el norte de Nicaragua (Avila *et al* 1996, Dallies 2008) entre 1400 y 3000msnm (Dallies 2008). Esta especie es importante como dispersora de semillas de los árboles de los bosques nubosos en los que se alimentan. Entre los cuales se encuentran principalmente la familia Lauraceae, sin embargo, también se les ha observado alimentándose de frutos de árboles y arbustos de las familias Araceae, Araliaceae, Arecaceae, Actinidiaceae, Annonaceae, Asteraceae, Celastraceae, Cornaceae, Flacourtiaceae, Malvaceae, Melastomataceae, Moraceae, Myrsinaceae, Myrtaceae, Podocarpaceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Solanaceae, Staphylacaceae, Symplocaceae, Theaceae y Verbenaceae (Bustamante *et al* 2010).

B. Justificación

Guatemala cuenta con una alta diversidad de especies de aves, con 725 especies identificadas, incluyendo especies migratorias, y de las cuales 487 se reproducen en el país. La principal amenaza para la diversidad de especies de aves es el cambio de uso de suelo de bosque primario a tierras para agricultura. En Guatemala se han identificado 21 áreas importantes de aves, entre las cuales se encuentra la cadena volcánica, donde se incluye el Volcán Atitlán (Eisermann y Avendaño 2009) lugar donde se llevará a cabo el estudio.

La cadena volcánica de Guatemala se considera como un área importante de endemismos, debido a que se han reportado especies endémicas de escarabajos, reptiles, plantas, entre otros. El Volcán Atitlán alberga especies importantes de aves como el Pavo de Cacho (*Oreophasis derbianus*), la Tangara de Cabanis (*Tangara cabanisi*), el Tecolote barbudo (*Megascops barburus*) y *P. m. mocinno*, no solamente debido a que son endémicas sino también porque se encuentran en peligro de extinción (Nájera 2010).

En este volcán se encuentra La Reserva Natural Privada Los Andes que cuenta con 218 especies de aves (Hazard *et al.* 2004) de las cuales se desconoce cómo interactúan en el paisaje sonoro. Sin embargo, gracias a métodos rápidos y económicos es posible conocer cómo factores del medio pueden afectar la dinámica del paisaje sonoro, lo cual es de gran importancia para conocer la comunidad acústica de la reserva y llevar a cabo el estudio del ecosistema (Depraetere *et al.* 2012, Dawson y Efford 2009, Gasc *et al.* 2013, Obrist *et al.* 2010, Sueur *et al.* 2008, Townsey *et al.* 2013, Pijanowski *et al.* 2010b.)

El recabar datos convincentes de aves, es de gran importancia para poder alcanzar una forma apropiada de protección para las IBA. Además, con el fin de poder realizar un manejo adecuado a las áreas protegidas, así como para poder tomar decisiones acertadas para su conservación, es necesario poder medir su biodiversidad (Eisermann y Avendaño 2009). En regiones tan diversas como Guatemala, medir la biodiversidad de los ecosistemas en general, se complica muchas veces por falta de recursos, así como por la gran cantidad de especies. Sin embargo, existen herramientas

económicas y accesibles que permiten describir las características sonoras de las especies, lo que nos da información más detallada sobre su ecología.

La caracterización de la comunidad acústica en el hábitat del quetzal será de importancia como base para futuros trabajos sobre el quetzal y el bosque nuboso. Se tendrá información importante para desarrollar futuros métodos acústicos para la detección del quetzal en grabaciones que también contengan las de otras especies de aves del mismo hábitat. Al realizar trabajos de reconocimiento acústico automático de especies, siempre se genera una tasa de error, debido a detecciones falsas, las cuales se llaman falsos positivos. Conocer las especies que están generando falsos positivos será de gran utilidad para desarrollar métodos automáticos de detección y disminuir la tasa de error.

Los resultados indicaron si existe competencia interespecífica vocal entre el *P. m. mocinno* y las especies que también se encuentran dentro del paisaje sonoro del bosque nuboso de La Reserva Natural Privada Los Andes; quienes a su vez brindarán apoyo para la colocación de las grabadoras dentro de la reserva. Asimismo, se cuenta con el apoyo del Museo Nacional de Historia Natural de París, quienes proporcionaron el equipo necesario para las grabaciones y así poder generar los datos, mismos que serán analizados para una sección de una tesis doctoral.

C. Objetivos

1. Objetivo general

Identificar la comunidad acústica en el hábitat del Quetzal (*Pharomachrus mocinno mocinno*) del bosque nuboso de la Reserva Natural Privada Los Andes en el Volcán Atitlán, Suchitepéquez, Guatemala.

2. Objetivos específicos

a. Determinar si existe competencia por el espacio sonoro entre *P. mocinno* y otras especies.

b. Determinar si la competencia por recursos ecológicos tiene relación con la competencia por el espacio sonoro entre *P. mocinno* y las otras especies.

D. Hipótesis del trabajo

La competencia por recursos ecológicos tiene relación con la competencia por el espacio sonoro entre *P. mocinno* y las otras especies.

II. MÉTODOS

A. Área de estudio

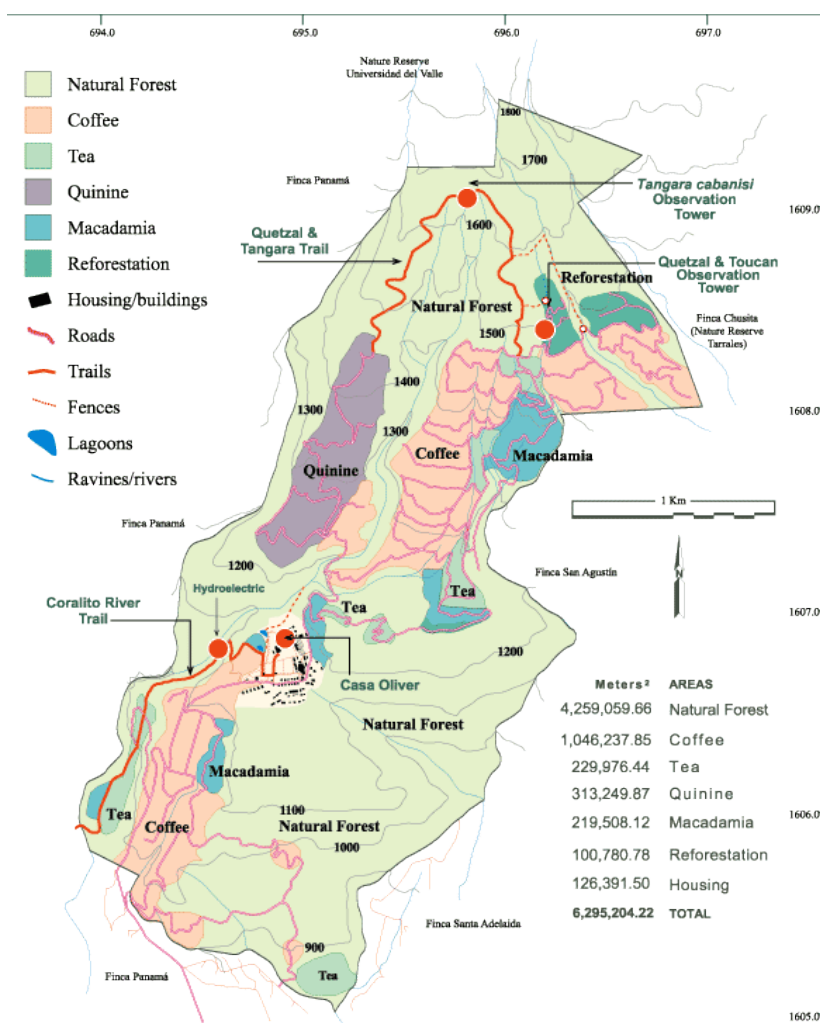
El Parque Nacional Atitlán fue declarado como tal en 1955. Al crearse el decreto 4-89, pasó a formar parte el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), luego del cual cambió de nombre a Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA) (Hazard *et al.* 2004). La Ley de Áreas Protegidas (Decreto 4-89), brinda una ruta para las extensiones de tierra en propiedad privada que son importantes para la biodiversidad. A partir de esto, en 1998 surge la Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala (ARNPG) (Hazard *et al.* 2004).

La Reserva Natural Privada Los Andes está ubicada en ladera sur del volcán Atitlán, departamento de Suchitepéquez y en jurisdicción de los municipios de Santa Bárbara y Patulul. Está ubicada en la Zona de Vida de Holdridge Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-Tropical y en la Ecoregión Bosques de Pino-Encino (Hazard *et al.* 2004).

La reserva se encuentra dentro de la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA), posee una extensión de 13.5 caballerías (607.5 ha) de las cuales 8.1 caballerías (364.5 ha) están cubiertas de bosque y 5.4 caballerías (243 ha) están dedicadas a cultivos y se encuentra a un rango altitudinal del 840 a 1830msnm. Es posible acceder a la reserva por la carretera que conduce del poblado de Santa Bárbara al conjunto de fincas Panamá y Santa Adelaida (ver Figura 5). La Reserva se encuentra entre el río Los Andes al Este y el río Coralito al Oeste. Colinda con las fincas mencionadas, al sur con la finca San Agustín, al norte con la Reserva Natural Biológica Refugio del Quetzal propiedad de la Universidad del Valle de Guatemala y al este con la Reserva Natural Privada Vesubio (Hazard *et al.* 2004).

Asimismo, se han reportado especies de mamíferos como cabritos (*Mazama temama*), pizotes (*Nasua narica*), coche de monte (*Tayassu tajacu*), ardillas (*Sciurus spp.*) venados (*Odocoileus virginianus*), armados (*Dasyopus novemcintus*), tepezcuintles (*Agouti paca*), taltusas (*Orthogeomys grandis*) (plaga de cultivos) y tacuacines (*Didelphis marsupialis*). Entre los reptiles se puede mencionar a la mazacuata (*Boa constrictor*) y una especie de insecto de importancia particular como lo es la morfo (*Morphus sp.*). La reserva posee una extensión de 5.4 caballerías destinadas a cultivos entre los cuales están café de las variedades caturra, catauaí y catimor, té de las variedades assam e híbridos de China, macadamia, quina y plantaciones forestales (ver Figura 6) (Hazard *et al.* 2004).

FIGURA 7. Mapa de la ubicación de la Reserva, los elementos de conservación, las amenazas, las pendientes, los caminos y el uso de tierra.



Fuente: Hazard s.f.

B. Procedimiento

1. Materiales. Para realizar las grabaciones se utilizaron seis grabadoras automáticas SMII Wildlifeacoustics® proporcionadas por el Museo Nacional de Historia Natural de Paris. Se tomó la altitud, longitud y latitud de las grabadoras con un GPS Garmin y se utilizó una Computadora hp450 para realizar el análisis de las grabaciones.

2. Metodología

a. Grabación del paisaje sonoro. Se colocaron seis grabadoras automáticas SMII Wildlifeacoustics® 17 días del 8 al 25 de febrero de 2016, a lo largo del gradiente altitudinal de la zona de bosque de la Reserva, de las cuales se midió la altitud, longitud y latitud con un GPS Garmin. Las grabadoras fueron programadas para grabar en formato .wav a una tasa de muestreo de 48kHz y 16 bits de profundidad de resolución, a las horas de mayor actividad de aves (5:00 a 9:00 horas y 16:00 a 18:00 horas) (Lobos *et al.* 2011, Ortega *et al.* 2012, Zolotof-Pallais *et al.* 2011). De las cuales se obtuvieron grabaciones de media hora cada una, y se seleccionaron para el análisis solamente aquellas que contaran con alguna vocalización del quetzal.

b. Proporción de traslape. Para determinar la proporción entre el Quetzal (*P. mocinno*) y las especies encontradas en el paisaje sonoro del bosque nuboso de La Reserva Natural Privada Los Andes. Primero se midieron las características acústicas de las especies encontradas en la banda de frecuencia de 500 a 2500 kHz, debido a que esta es la banda que ocupan las vocalizaciones del quetzal. Solamente se tomaron en cuenta los sonidos presentes antes y después de cinco segundos de las vocalizaciones. Dichas mediciones se realizaron con el programa Raven Pro 1.4 (Cornell Lab of Ornithology 2018), sobre espectrogramas (FFT=2048, ventana tipo Hann). A cada sonido se le asignó un código y luego fueron identificados hasta especie, la cual fue realizado por M.Sc. Pablo Bolaños, candidato a doctorado por el Museo Nacional de Historia Natural de Paris, experto en bioacústica y evaluación de paisaje sonoro. Bolaños cuenta con publicaciones sobre este tema en Guatemala (Bolaños-Sittler, 2015d, 2016b; Bolaños-Sittler & Villatoro, 2016c). La tesis doctoral de Bolaños incluye una descripción detallada de las vocalizaciones del quetzal, un análisis de las diferencias acústicas entre *P. mocinno* y *P. m. costaricensis*, experimentos de

propagación de las vocalizaciones de *P. mocinno* en el bosque nuboso (Bolaños *et al. in press*) y el desarrollo de una metodología para detección automática de las vocalizaciones de *P. mocinno* generadas por medio de grabadoras autónomas programables.

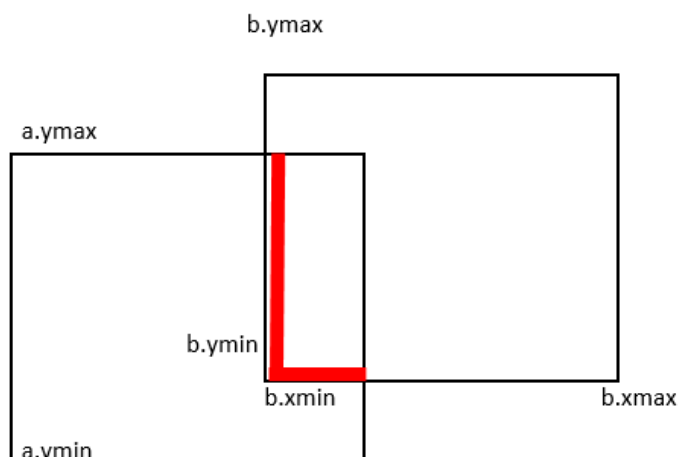
Las características acústicas tomadas en cuenta en las mediciones fueron: frecuencia mínima y máxima de cada sonido, así como el tiempo inicial y final de cada sonido. Estas mediciones dieron como resultado un cuadro alrededor de cada sonido como se muestra en la Figura 8, en donde *a* y *b* son sonidos, *xmin* es el tiempo inicial, *xmax* es el tiempo final, *ymin* es la frecuencia mínima y *ymax* es la frecuencia máxima. El cálculo del traslape de las vocalizaciones del quetzal con las demás vocalizaciones presentes en las grabaciones, se realizó con el programa R (Development Core Team 2018). Tratándose de una aproximación nueva en el campo del estudio de las comunidades acústicas, se creó un nuevo script en lenguaje R para el cálculo de los traslapes, el cual fue desarrollado por PhD Jérôme Sueur y M. Sc. Pablo Bolaños. El script tomó en cuenta las mediciones realizadas en el programa Raven Pro y el cálculo matemático funciona con la siguiente fórmula:

$$dx = \min(a.xmax, b.xmax) - \max(a.xmin, b.xmin)$$

$$dy = \min(a.ymax, b.ymax) - \max(a.ymin, b.ymin)$$

if ($dx \geq 0$) and ($dy \geq 0$): *return* ($dx * dy$)

FIGURA 8. Esquema de mediciones de cada sonido.



C. Análisis de resultados

Se determinó la frecuencia de traslape de cada especie con *P. mocinno*, la proporción de traslape (en porcentaje) y la suma total de traslape. Estos resultados fueron comparados con datos biológicos y ecológicos de cada una de las especies, como el período de reproducción, hora de vocalización, competencia por el tipo de alimento que ingieren, competencia por sitios de anidamiento y la posible interacción como predadores del quetzal.

El número de veces de traslape entre *P. mocinno* y las demás especies, es la cantidad de veces que se traslapan las vocalizaciones, no toma en cuenta cuantas veces vocaliza cada especie.

El porcentaje total es la suma de las áreas de traslape de cada especie con *P. mocinno*. Mientras el porcentaje promedio de traslape es la suma de los porcentajes, dividido las veces que vocalizó (con traslape o no). Sin tomar en cuenta las veces que vocalizó *P. mocinno*.

D. Análisis estadístico

Se determinó si hay competencia por recursos ecológicos tomando en cuenta el espacio sonoro, entre *P. mocinno* y las demás especies. Los recursos ecológicos a tomar en cuenta fueron: la utilización de las mismas fuentes de alimento, sitios de anidamiento, hora de vocalización, periodo de reproducción y si existe predación por parte de las otras especies hacia *P. mocinno*. Se identificó el tipo de vocalizaciones de *P. mocinno*, ya sean de alerta, territoriales o de cortejo de *P. mocinno*, con el cual se realizaron análisis estadísticos separados.

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) utilizando una matriz generada con las características ecológicas mencionadas, la proporción de traslape entre *P. mocinno* y las demás especies y el grado de traslape de cada especie con *P. mocinno*. Esto permitió determinar el traslape entre nichos de las especies analizadas con *P. moci*

III. RESULTADOS

En el sitio de estudio se registraron las vocalizaciones posiblemente con funciones territorial, de cortejo y de alerta de *P. mocinno*. En las Figuras 9, 10 y 11 se muestran los espectrogramas de las vocalizaciones.

La vocalización más abundante fue la territorial (Figura 9), la cual es producida por machos (LaBastille 1969, LaBastille *et al.* 1972), la mayor abundancia de esta puede ser debido a que en el mes de febrero ocurre el inicio de la época reproductiva, la cual extiende hasta junio (Dallies 2008). Durante esta época el quetzal está en busca de sitios de anidación adecuados, por lo que es indispensable defender su territorio, razón por la cual utilizan más este tipo de vocalización.

FIGURA 9. Espectrograma de la vocalización territorial de *P. mocinno*.

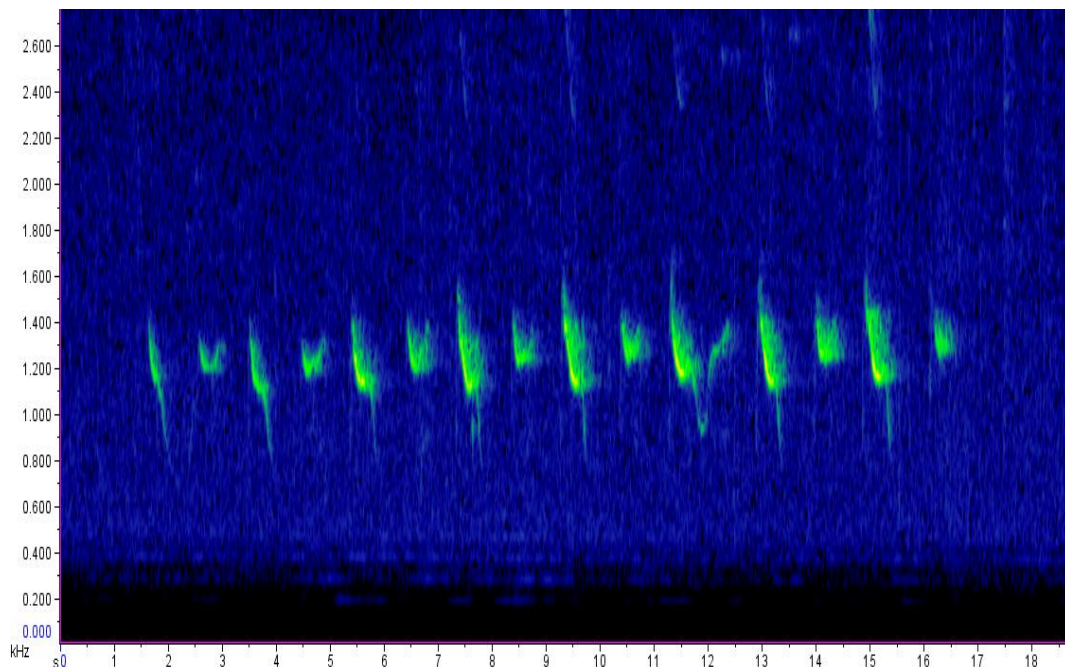
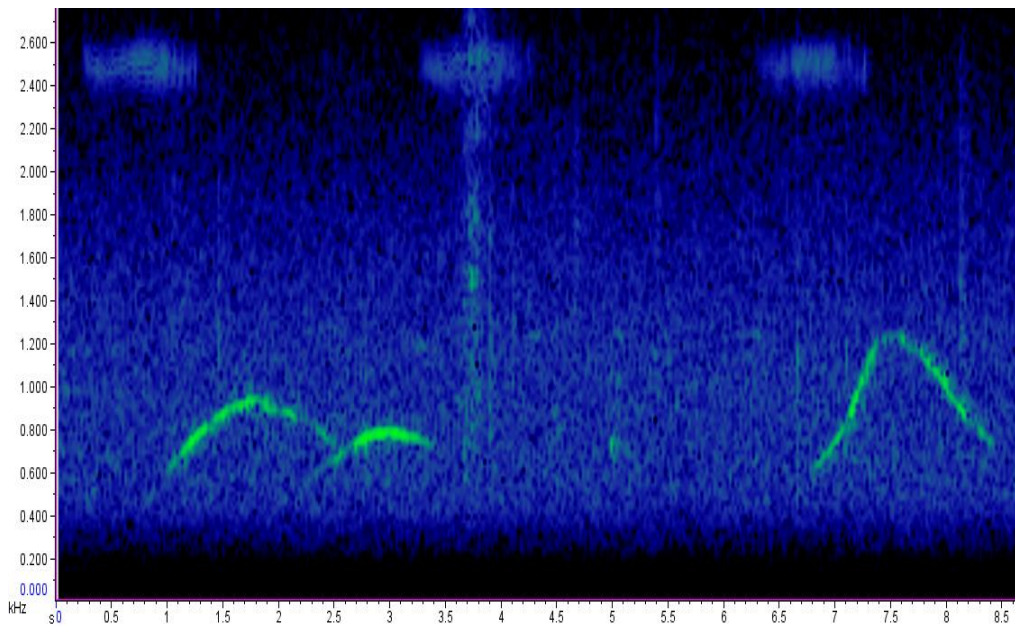
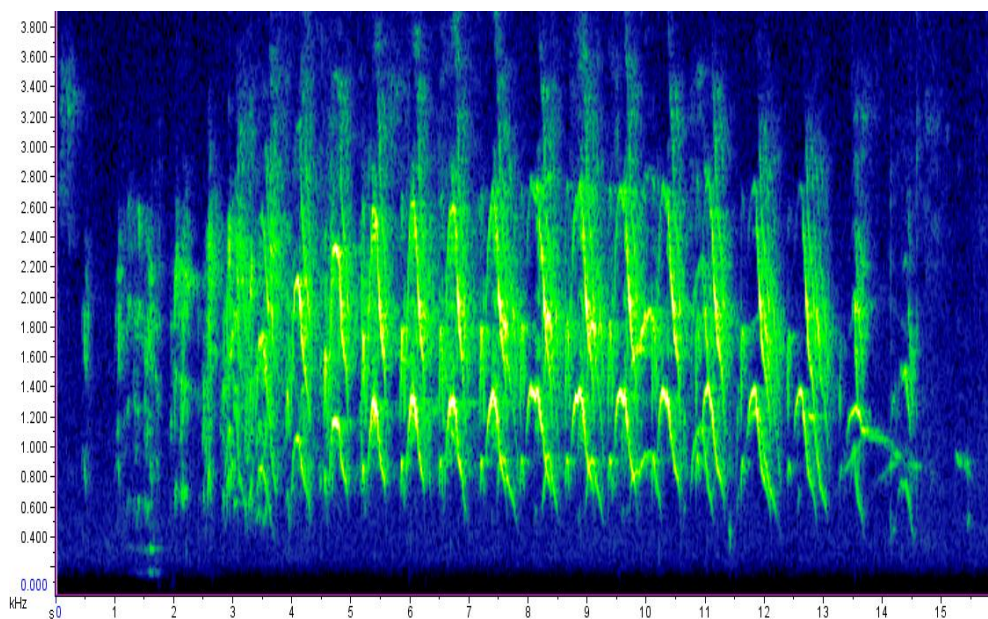


FIGURA 10. Espectrograma de la vocalización de cortejo de *P. mocinno*.



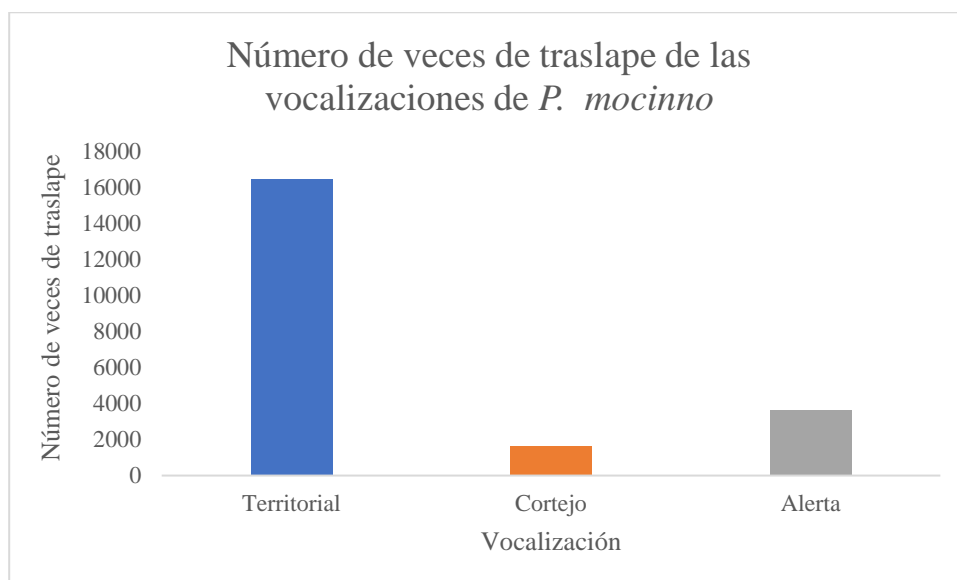
La vocalización de alerta posee la banda de frecuencia más amplia entre las tres (Figura 11), es la segunda vocalización con más porcentaje promedio de traslape con las demás especies (Figura 13). Esta vocalización es producida por machos y hembras cuando detectan peligro, y es acompañado por un rápido movimiento de la cola, que se abre en forma de abanico (LaBastille 1969).

FIGURA 11. Espectrograma de la vocalización de alerta de *P. mocinno*.



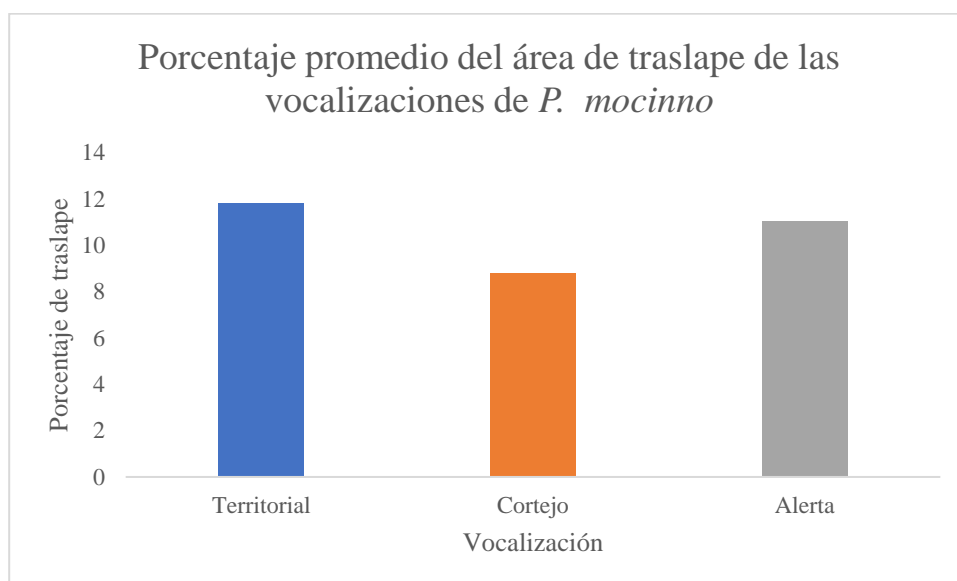
De las grabaciones analizadas con presencia de vocalizaciones de alerta, territorial y de cortejo de *P. mocinno* obtenidos en la Reserva Natural Privada Los Andes. Se encontró, como se puede observar en la Figura 12, el número de veces de traslape de cada una de las vocalizaciones del quetzal. La vocalización más abundante, o la que se traslapó más veces con otras especies, fue la territorial, luego le sigue el llamado de alerta y por último el de cortejo.

FIGURA 12. Número de veces de traslape de cada tipo de llamado de *P. mocinno* con otras especies.



En la Figura 13, porcentaje de promedio de traslape, se indica el porcentaje de vocalización que se traslapa con las vocalizaciones de las demás especies de aves. Esto indica el área que se traslapa de las selecciones del quetzal con las selecciones de otras especies de aves. Aquí se obtuvo como resultado que el llamado de alerta es el que más porcentaje se traslapa, seguido del territorial y por último el de cortejo.

FIGURA 13. Porcentaje promedio de traslape de cada tipo de llamado de *P. mocinno* con otras especies.



De un total de 20,409 selecciones, se identificaron 16 especies de aves, las cuales se pueden observar en el Cuadro 1, cuyas vocalizaciones se traslaparon con el quetzal en las frecuencias de 500 a 2500kHz. De las cuales se encontraron uno de la familia Momotidae, dos de la familia Falconidae, tres del orden Galliformes, seis del orden Passeriformes, una de la familia Rhamphastidae, uno de la familia Strigidae y dos de la familia Trogonidae, sin tomar en cuenta a *P. mocinno*. Las especies de trogones encontradas fueron *Trogon collaris* y *Trogon mexicanus*.

CUADRO 1. Listado de especies identificadas en las grabaciones.

Orden	Familia	Especie	Nombre común en inglés	Nombre común en español
Coraciiformes	Momotidae	<i>Aspatha gularis</i>	Blue-throated Motmot	Momoto Gorgiazul
Falconiformes	Falconidae	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	Laughing Flacon	Halcón Guaco

Orden	Familia	Especie	Nombre común en inglés	Nombre común en español
Falconiformes	Falconidae	<i>Micrastur ruficollis</i>	Barred Forest-Falcon	Halcón-selvático Barrado
Galliformes	Odontophoridae	<i>Odontophorus guttatus</i>	Spotted Wood-Quail	Codorniz Bolanchaco
Galliformes	Cracidae	<i>Penelope purpurascens</i>	Crested Guan	Pavo Cojolito
Galliformes	Cracidae	<i>Penelopina nigra</i>	Highland Guan	Pajuil
Passeriformes	Fringillidae	<i>Chlorophonia occipitalis</i>	Blue-crowned Chlorophonia	Clorofonia Coroniazul
Passeriformes	Corvidae	<i>Cyanocorax melanocyaneus</i>	Bushy-crested Jay	Chara Centroamericana
Passeriformes	Troglodytidae	<i>Henicorhina leucophrys</i>	Grey-breasted Wood-Wren	Saltapared-selvático Pechigris
Passeriformes	Turdidae	<i>Myadestes occidentalis</i>	Brown-backed Solitaire	Clarín Jilguero
Passeriformes	Turdidae	<i>Catharus ustulatus</i>	Russet-backed Thrush	Zorzalito
Passeriformes	Furnariidae	<i>Xiphorhynchus erythropygius</i>	Spotted Woodcreeper	Trepatroncos Manchado
Piciformes	Ramphastidae	<i>Aulacorhynchus prasinus</i>	Emerald Toucanet	Tucaneta Verde
Strigiformes	Strigidae	<i>Glaucidium brasilianum</i>	Ferruginous Pigmy-Owl	Tecolotito Común
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon collaris</i>	Collared Trogon	Trogon Collarejo
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon mexicanus</i>	Mountain Trogon	Trogon Mexicano

De las especies identificadas que se traslapan con el quetzal, en la Figura 14, se puede observar el número de veces que se traslapa cada vocalización de *P. mocinno*,

con dichas especies. Por otro lado, en la Figura 34, se puede observar el porcentaje de traslape del área de cada vocalización de *P. mocinno* con las demás especies.

La especie que más se traslapa en número de veces (ver Figura 14) y en porcentaje de área de la vocalización que se traslapa (ver Figura 15), es *Trogon mexicanus*. Como se puede observar en ambas Figuras, la vocalización que más se traslapa es la territorial. La segunda especie que más se traslapa en número de veces es *Aulacorhynchus prasinus*, sin embargo, este se traslapa con las tres vocalizaciones, probablemente debido a que la banda de frecuencia de *A. prasinus*, es bastante amplia. Luego se encuentra *Catharus ustulatus*, el cual se traslapa con las vocalizaciones territoriales y de alerta, en su mayoría. También se puede observar que *Penelope purpurascens* se traslapa con las vocalizaciones territoriales principalmente, pero también con las de cortejo y las de alerta.

Por otro lado, las especies que más se traslapan con *P. mocinno* en cuanto al total del porcentaje de área, además de *T. mexicanus*, se encuentra *Micrastur ruficollis* la cual se traslapa principalmente con la vocalización territorial. *A. prasinus* es otra especie que se traslapa con la vocalización de alerta, y *P. purpurascens* con la vocalización territorial.

FIGURA 14. Número de veces de traslape entre *P. mocinno* y otras especies entre 500 y 2500 kHz.

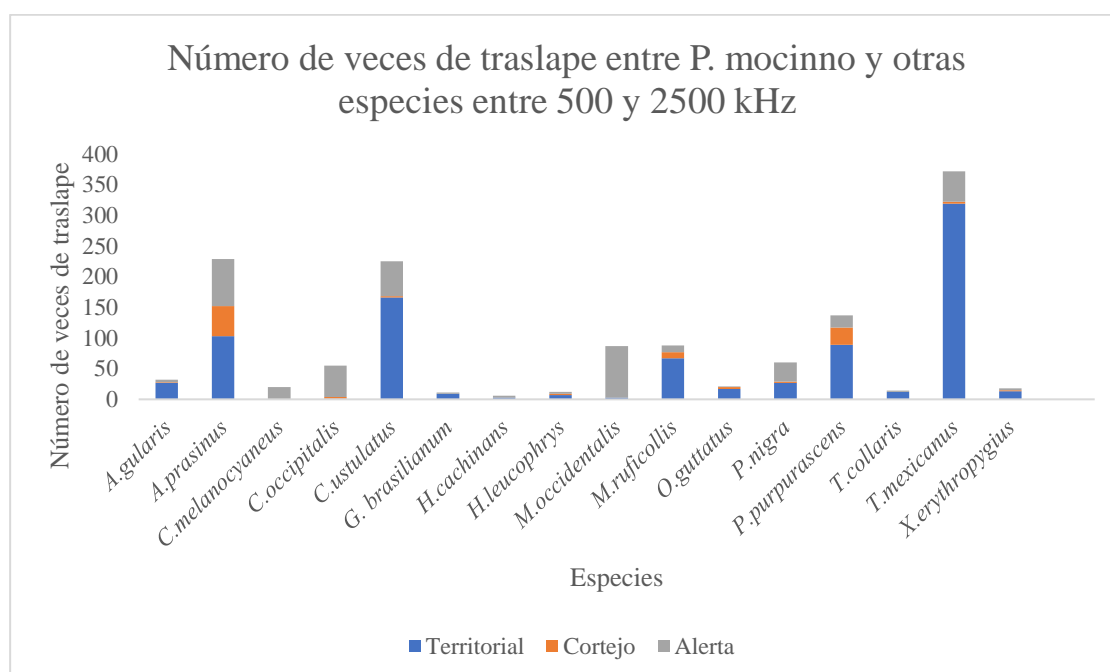
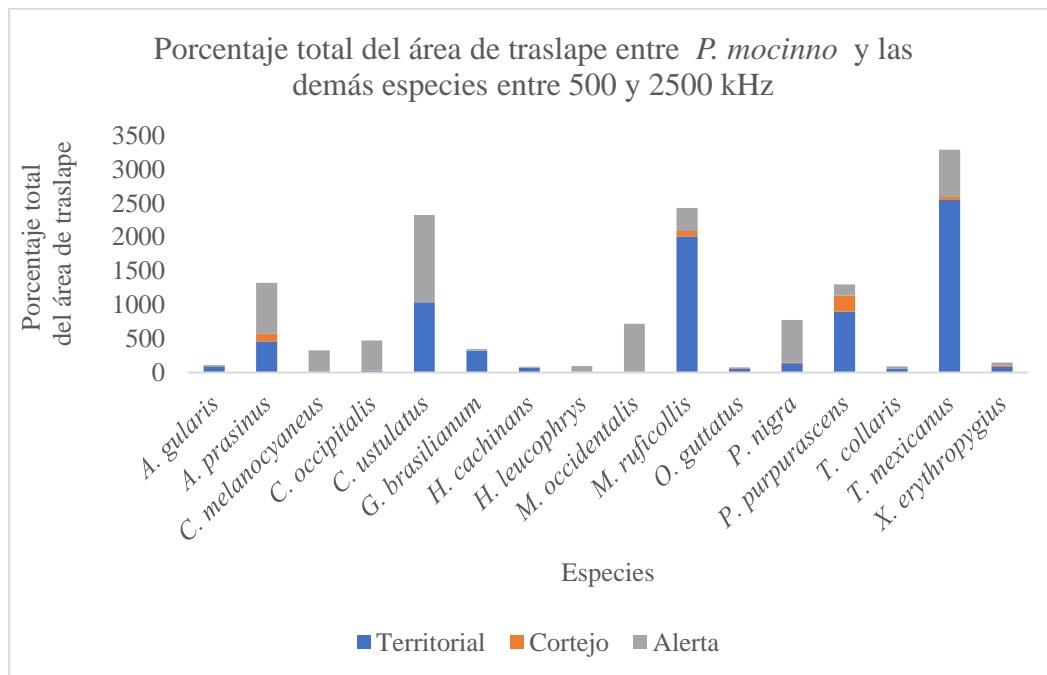


FIGURA 15. Porcentaje total del área de traslape entre *P. mocinno* y las demás especies entre 500 y 2500kHz.



La siguiente Figura muestra el porcentaje promedio del área de traslape de cada una de las vocalizaciones del quetzal individualmente, con respecto a las demás especies. Como se puede observar, *Glaucidium brasilianum* posee en más alto porcentaje de traslape con la vocalización territorial de quetzal. Por otro lado, *Henicorhina leucophrys* es la especie que más se traslapa con la vocalización de alerta y *Xiphorhynchus erythropygus* con la vocalización cortejo.

FIGURA 16. Porcentaje promedio de traslape entre *P. mocinno* y otras especies entre 500 y 2500kHz.

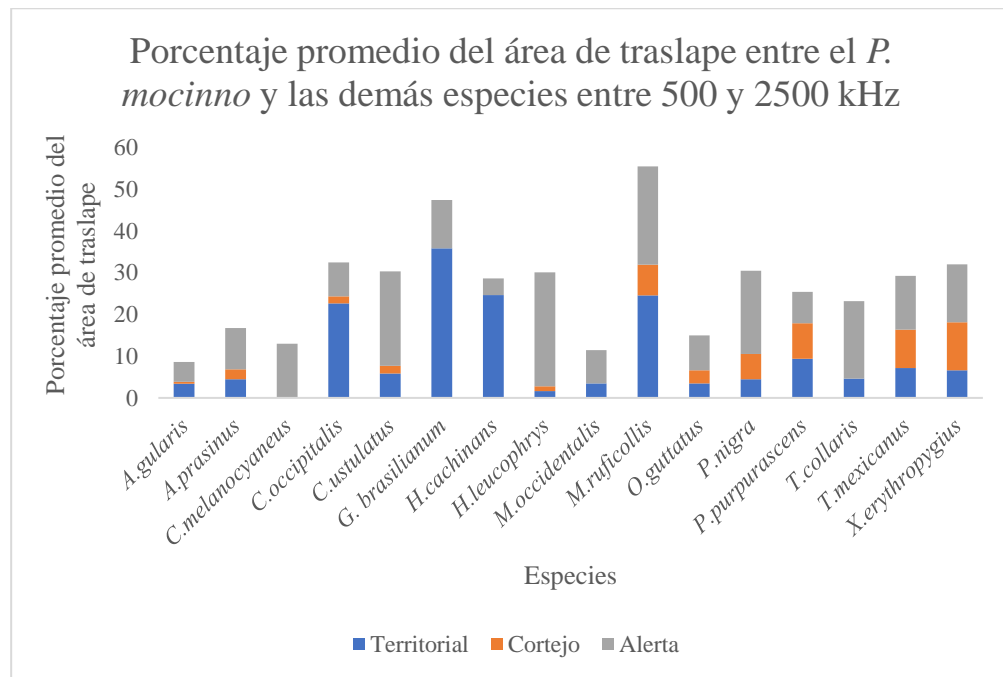
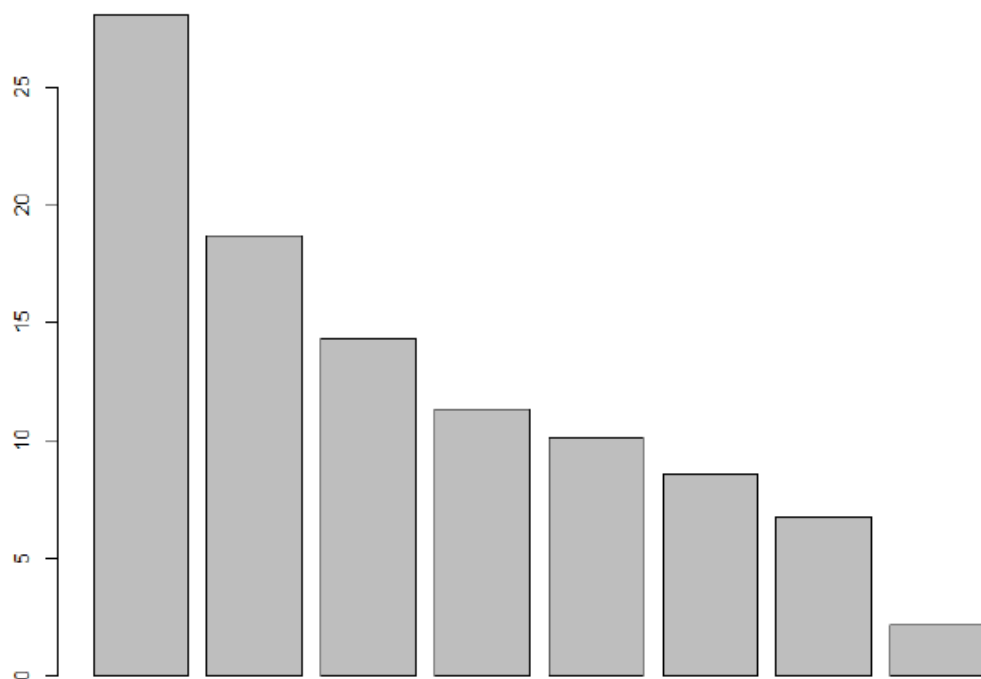


FIGURA 17. Porcentaje de importancia de los ejes, 28.099089%, 18.688485%, 14.344253%, 11.314315%, 10.106919%, 8.549104%, 6.721102% y 2.176733%.



La Figura 17 indica que el 61.12% de la variación se explica por los primeros tres ejes (, 28.099089%, 18.688485% y 14.344253%) del análisis de PCA. En donde, según las coordenadas de los primero tres ejes, la variable más importante del primero es la tasa de traslape con la vocalización territorial de *P. mocinno* (-0.7144072), en el segundo es traslape en época reproductiva (0.62926860) y en el tercero actividad vocal al mismo tiempo que *P. mocinno* (0.54277446).

FIGURA 18. Variables analizadas por medio de PCA y su importancia relativa en los primeros tres ejes.

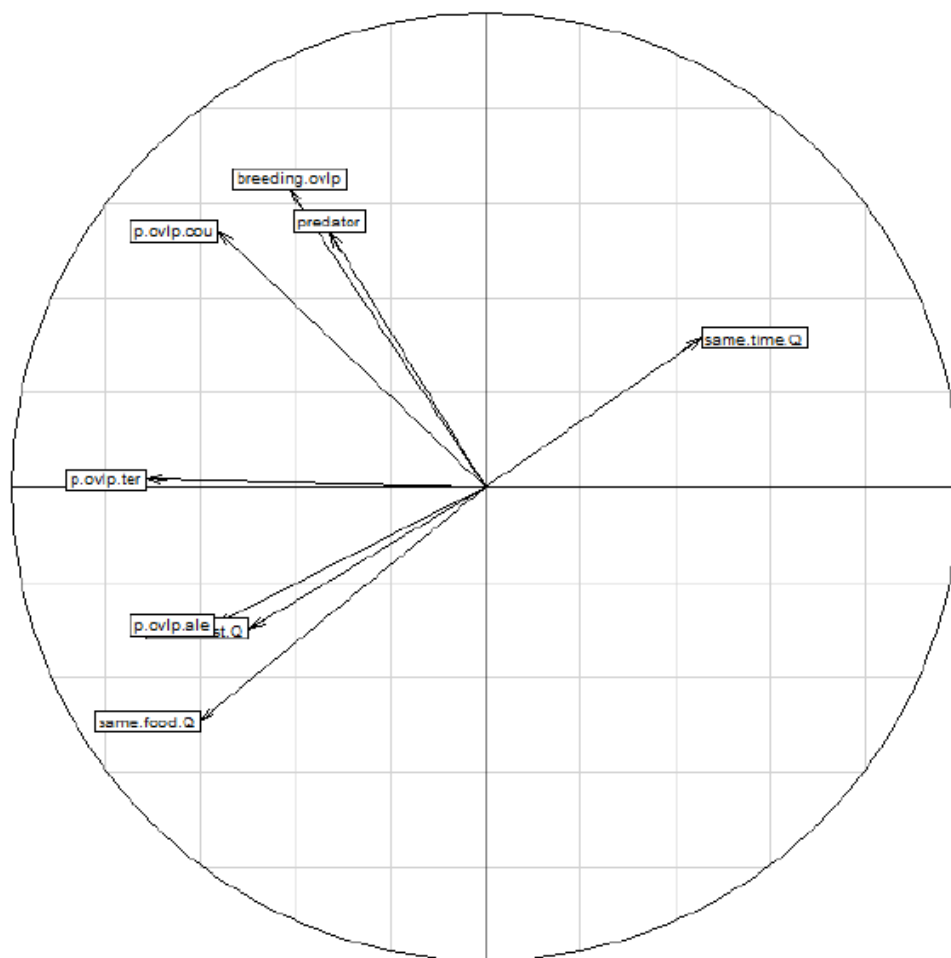
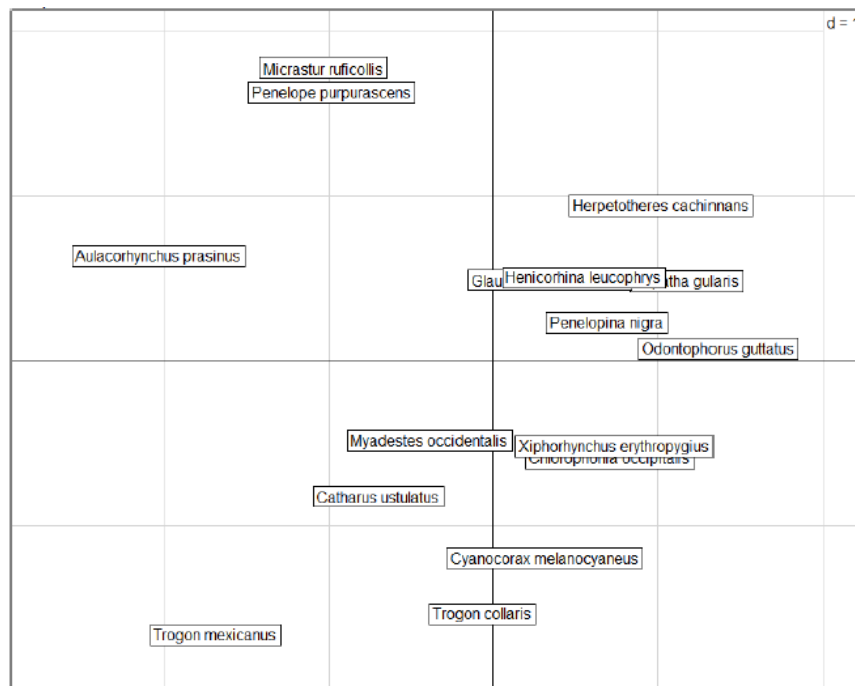


FIGURA 19. Influencia del traslape acústico y competencia entre las especies.



Como resultado del análisis de componentes principales se pudo observar la relación y cómo influye cada una de estas sobre especies cuyos cantos se traslapan con los de *P. mocinno* (Figuras 18 y 19). La Figura 18 indica que las especies predatoras de *P. mocinno* podrían coincidir en la época reproductiva y se traslapan con la vocalización de cortejo. Asimismo, que las especies que se traslapan con la vocalización de alerta también podrían competir por sitios de anidamiento y fuente de alimento. Por otro lado, en la Figura 19 se puede observar especies que compiten con *P. mocinno* por las variables ecológicas que se muestran en la Figura 18.

IV. DISCUSIÓN

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para mostrar la importancia de cada tipo de traslape de nicho ecológico evaluado: traslape de las vocalizaciones territoriales, de alerta y de cortejo de *P. mocinno* con cada especie, la utilización de las mismas fuentes de alimento, sitios de anidamiento, hora de vocalización, periodo de reproducción y si existe predación por parte de las otras especies hacia *P. mocinno*.

A. Traslape con la vocalización territorial de *P. mocinno*

De acuerdo con los resultados del PCA la variable más importante que distingue a las especies es el traslape con la vocalización territorial de *P. mocinno* y la especie que más competencia tiene con esta vocalización es *A. prasinus*. Las especies que se traslapan con la vocalización territorial de *P. mocinno* no se traslapan o se traslapan en menor cantidad con otros factores ecológicos.

Aulacorhynchus prasinus es la tercera especie que más se traslapa en número de veces con la vocalización territorial de *P. mocinno*, probablemente debido a que *A. prasinus* posee un llamado que se caracteriza por tener una banda de frecuencia amplia. Al igual que *P. mocinno*, *A. prasinus* utiliza cavidades ya existentes en árboles para colocar sus nidos, aunque los de *P. mocinno* se encuentran entre cuatro y 18 m de altura, mientras que los de la tucaneta entre dos y 30 m de altura; ambas especies compiten por sitios de anidación en su época reproductiva durante aproximadamente los mismos meses, de marzo a julio (Skutch 1994, Pelluso 2002). Por lo tanto, ambas especies están en busca de sitios de anidación similares durante el mismo período de tiempo, posible razón por la que la vocalización territorial de *P. mocinno* se traslapa con las de *A. prasinus*.

B. Traslape en época de reproducción

El traslape de la época reproductiva es otra variable importante según el análisis de PCA. Las especies predatoras de *P. mocinno* también coinciden en la época reproductiva y en el traslape con la vocalización de cortejo. Las especies que se traslapan en estas variables son *M. ruficollis* y *P. purpurascens*, sin embargo *P. purpurascens* no es predatora. Esto puede ser debido a que *P. purpurascens* tiene un traslape importante con la época reproductiva y con la vocalización de cortejo de *P. mocinno*.

Micrastur ruficollis es una especie depredadora que se alimenta de aves (Global Raptor Information 2018) incluyendo a los pichones de *P. mocinno* (Dallies 2008). Sin embargo, las grabaciones se realizaron en febrero, al inicio de la época reproductiva, y los huevos de *P. mocinno* eclosionan en julio (Skutch 1944), por lo que probablemente no había presencia de pichones. La época reproductiva de *M. ruficollis* ocurre durante los meses de febrero a julio, al igual que *P. mocinno*, durante este tiempo las parejas vocalizan mientras vuelan juntos en busca de cavidades en troncos o árboles para colocar sus nidos (Thorstrom 2001), al igual que el quetzal. En cuanto al porcentaje total de área de traslape entre *P. mocinno* con las demás especies, *M. ruficollis* es la segunda especie que más porcentaje de traslape tiene con la vocalización territorial.

Por otro lado, el PCA evidencia que *P. purpurascens* también tiene traslape con *P. mocinno* en cuanto a la época de reproducción y sus vocalizaciones se traslapan con el llamado de cortejo de *P. mocinno*. Sin embargo, esta especie no es predador del quetzal, se alimenta de frutos de las familias Fabaceae, Cannabaceae, Sapotaceae, Cupressaceae, Anacardiaceae, Rosaceae, Solanaceae y Melastomataceae (González-García *et al* 2001), de las cuales las tres últimas el quetzal también se alimenta (Bustamante *et al* 2010). *P. purpurascens* no compite con *P. mocinno* por sitios de anidamiento, mientras que *P. mocinno* anida dentro de troncos, los nidos de *P. purpurascens* son fabricados con ramas, musgos, pastos, revestido de hojas verdes, en forma de tazón oblongo, pero si comparten la misma época reproductiva (González-García *et al* 2001). Además, *P. purpurascens* es la cuarta especie que más se traslapa

en número de veces con *P. mocinno* y en porcentaje total de área de traslape con respecto a la vocalización territorial.

C. Actividad vocal al mismo tiempo que *P. mocinno*

Las especies que vocalizan durante el mismo horario que *P. mocinno* son *H. cachinnans*, *H. leucophrys*, *A. gularis*, *G. brasilianum*, *P. nigra* y *O. guttatus*.

Herpetotheres cachinnans es un ave carnívora que se alimenta principalmente de serpientes, pero también se ha reportado que en áreas perturbadas se alimenta de roedores, murciélagos, peces y aves (Ferguson-Lees y Christie 2001, Barkley 2014).

Henicorhina leucophrys tiene un hábito alimenticio insectívoro que se observa generalmente en el estrato inferior denso del bosque. Su época reproductiva sucede entre febrero y julio, durante la cual elaboran su nido de forma globular con entrada lateral a una altura de 0.9 a 2.4m utilizando como sustrato matorrales o arbustos (Salaman *et al.* 2003). La frecuencia mínima (2235.8 kHz) de la vocalización de *H. leucophrys* se encuentra al borde de la frecuencia máxima tomada en cuenta (2500 kHz) por lo que no compite con *P. mocinno* por un espacio en esa frecuencia acústica. Por otro lado, tampoco compiten por alimento, sitios de anidación y no se encuentran en el mismo estrato del bosque debido a que *P. mocinno* se ubica en el estrato medio alto (Dallies 2008). *H. leucophrys* vocaliza aproximadamente durante el mismo horario diurno que *P. m. mocinno*, pero probablemente el bajo traslape acústico se debe a que no compiten por el área y se encuentran en diferentes estratos del bosque.

Aspatha gularis posee poca interacción con *P. mocinno* debido a que se alimenta principalmente de insectos, especialmente escarabajos, anfibios y reptiles pequeños, y en menor cantidad de frutas. Esta especie anida en cavidades excavadas en bancos de tierra y depositan sus huevos en el mes de abril (Neri-Fajardo 2005), a pesar de que la época reproductiva puede traslaparse con la de *P. mocinno*, no utilizan el mismo sitio de anidación.

Glaucidium brasilianum es un ave carnívora que se alimenta principalmente de insectos de las familias Tettigonidae (saltamontes), Coleopteros (escarabajos), mariposas nocturnas y escorpiones. Además, también se alimenta de anfibios y reptiles

(Sceloporus) y de aves pequeñas como mosqueros del género *Myiarchus*, gorriones de la especie *Passer domesticus* y zorzales petirrojos (*Turdus migratorius*), así como también de mamíferos pequeños (König y Weick 2010, Motta-Junior 2007). No existen registros que sea depredador de *P. mocinno*, sin embargo, se ha registrado que utilizan cavidades naturales o agujeros en árboles construidos por otras aves (König y Weick 2010, Proudfoot y Johnson 2000), al igual que el quetzal (Dallies 2008). Por lo tanto, podrían competir principalmente por sitios de anidación, pero *G. brasilianum* no presenta una amenaza de depredación para *P. mocinno*.

Penelopina nigra es una especie cuya época reproductiva sucede durante los meses de febrero a abril. Durante esta temporada es común escuchar un silbido fuerte que usualmente es seguido de un fuerte sonido producido por la vibración de las plumas al desplazarse entre las ramas (Eisermann 2012), ambos sonidos fueron identificados en las grabaciones debido a que estas fueron colocadas durante el mes de febrero. Luego de la época reproductiva es una especie silenciosa y difícil de observar. Esta especie no compite con *P. mocinno* en cuanto a sitios de anidación y se encuentran en distintos estratos del bosque debido a que *P. nigra* se mantiene en el estrato bajo del bosque (Eisermann 2012), mientras que *P. mocinno* en el estrato medio y alto (Collar 2016).

Odontophorus guttatus es otra especie que no se encuentra en el mismo estrato que *P. mocinno*, esta permanece en el sotobosque y se alimenta de semillas, tubérculos y pupas y larvas de coleópteros y culícidos (Carroll, *et al.* 2017). Es una especie que tiene poca interacción con *P. mocinno* en cuanto a número de veces de traslape y porcentaje de área de traslape con las tres vocalizaciones de *P. mocinno*.

D. Mismo alimento que *P. mocinno*

Las especies *T. mexicanus*, *C. ustulatus* y *M. occidentalis* compiten con *P. mocinno* por el mismo tipo de alimentación, tipo de anidación y sus vocalizaciones se traslapan con la vocalización de alerta de *P. mocinno*.

Trogon mexicanus es la especie que más se traslapa con las vocalizaciones de *P. mocinno* tanto en número de veces como en porcentaje de área de traslape principalmente con la vocalización territorial. Las especies de la familia Trogonidae, se caracterizan por tener vocalizaciones relativamente simples y repetitivas (Johnsgard

2000) con patrones similares (Ornelas *et al.* 2009). Además, compiten por los sitios de anidación similares, los cuales son agujeros en troncos o árboles, además la época reproductiva de ambas sucede durante los mismos meses, de marzo a junio (Skutch 1942, Skutch 1944, Collar 2017). También se ha observado que ambos se alimentan de frutos de *Conostegia volcanilis* (uva) y de *Citharexylum mocinnii* (perla) (Avila *et al.* 1996).

Catharus ustulatus es una especie que se alimenta en el suelo del bosque de insectos y bayas de las familias Annonaceae y Moraceae, de las cuales también se alimenta *P. mocinno* (Collar y Christie 2017). Esta es la especie que más porcentaje total de área de traslape posee con la vocalización de alerta de *P. mocinno*.

Myadestes occidentalis también compite con *P. mocinno* en cuanto a mismo hábito alimenticio, vocalización de alerta y sitios de anidación según el PCA. Esta especie se alimenta de insectos y frutos de los géneros *Bumelia* (Sapotaceae) y *Prunus* (Rosaceae), de las cuales la última *P. mocinno* también se alimenta. Estas aves fabrican nidos en forma de taza elaborado con musgos, hierbas y fibras vegetales sobre o cerca del suelo en la base de los árboles o troncos (MacGregor-Fors 2010, Miller *et al.* 2007), a diferencia de *P. mocinno* que utiliza cavidades ya existentes (Campbell y Lack 2010), por lo que no están en busca de los mismos sitios de anidación. Por otro lado, en cuanto al porcentaje de área de traslape y número de veces de traslape con las vocalizaciones de *P. mocinno*, *M. occidentalis* presenta mayor traslape con la vocalización de alerta.

Las especies, *T. collaris*, *C. melanocyaneus*, *X. erythropygius* y *C. occipitalis*, *C. melanocyaneus* y *T. collaris* no compiten con el quetzal en cuanto a los nichos o variables anteriormente mencionados. A pesar de que si existe traslape en sus vocalizaciones, este es bastante bajo comparado con las demás especies.

E. Limitaciones

Esta investigación se limita a hacer una descripción de la comunidad de aves que vocalizan entre 500 y 2500 kHz. El presente estudio es una línea base para lo cual se evaluaron 20,409 grabaciones de media hora cada una. De estas se obtuvieron 305 grabaciones que contaban con alguna de las vocalizaciones del quetzal y de las cuales

se identificaron 16 especies. Este permitirá realizar futuras investigaciones específicas sobre la competencia en particular entre cada especie y el quetzal, así como responder preguntas sobre la hipótesis del nicho acústico.

Se cuantifica el grado de traslape entre cada especie y *P. mocinno*, sin embargo, el objetivo primordial de este estudio es la descripción de la comunidad acústica en general. Los resultados no se deben utilizar para comparar el grado de competencia entre cada especie, ya que no se toma en cuenta el número de veces que vocaliza cada especie, comparado con el número de veces que vocaliza *P. mocinno*.

Este estudio no es conclusivo debido a que las grabaciones solamente se realizaron durante 17 en el mes de febrero, y no durante todo el año. Por lo tanto, es necesario grabar durante más épocas de año para posiblemente ampliar la comunidad acústica de *P. mocinno*.

V. CONCLUSIONES

- Los datos aquí presentados muestran una descripción de la comunidad acústica que compite con *P. mocinno* por el espacio sonoro.
- Se determinó que sí existe competencia por el espacio sonoro entre *P. mocinno* y las demás especies incluidas en este estudio.
- Se determinó que sí hay competencia por recursos ecológicos y tiene relación con la competencia por el espacio sonoro entre *P. mocinno* y las demás especies.
- La variable más importante que distingue a las especies según la competencia por recursos ecológicos es el traslape con la vocalización territorial de *P. mocinno*.
- La especie que más traslape tiene con la vocalización territorial de *P. mocinno* es *A. prasinus*.
- *Micrastur ruficollis* es una especie depredadora de *P. mocinno* que también se traslapa con la vocalización de cortejo y también en época reproductiva.
- *Penelope purpurascens* se traslapa con la vocalización de cortejo de *P. mocinno*, pero no es depredador de este.
- Las vocalizaciones de *T. mexicanus*, *C. ustulatus* y *M. occidentalis* se traslapan con la vocalización de alerta *P. mocinno*. Estas compiten por los recursos alimenticios.
- *Xiphorhynchus erythropygius*, *C. occipitalis*, *C. melanocyaneus* y *T. collaris* tienen bajo traslape en sus vocalizaciones con *P. mocinno*.

VI. RECOMENDACIONES

- Colocar más grabadoras en diferentes ubicaciones dentro del área de bosque de la Reserva Natural Privada Los Andes para la posible identificación de más especies.
- Para futuros estudios se recomienda llevar a cabo este procedimiento en otras ubicaciones geográficas, donde se ha confirmado la presencia de *P. mocinno*, para identificar diferentes especies que vocalicen en la misma banda de frecuencia.
- Para futuras investigaciones se recomienda realizar otros estudios con las grabaciones obtenidas, como la identificación de las especies encontradas en cada una de las grabadoras en otras bandas de frecuencia, con el fin de determinar si existe variación en la composición dependiendo de la altitud a la que se encuentren dentro del bosque.
- Se recomienda en futuros estudios, realizar una comparación entre el potencial que posee cada especie para traslaparse con *P. mocinno* y el traslape observado, con el fin de determinar la competencia específica por el nicho acústico.

VII. LITERATURA CITADA

- Arango, 2017. *Trepdor Manchado (Xiphorhynchus erythropygus)*. Universidad ICESI. Cali, Colombia. En: <http://www.icesi.edu.co> [con acceso el 1 de enero de 2018]
- Avila, M., Hernández, V. y E. Velarde. 1996. *The Diet of Resplendent Quetzal (Pharomachrus mocinno mocinno: Trogonidae) in a Mexican Cloud Forest*. Biotropica. 28(4b):720-727
- Barbieri, M. 2015. *Biological Codes*. Springer, Dorrecht.
- Barkley, B. 2014. *Laughing falcon (Herpetotheres cachinnans)*. En Neotropical Birds Online. Cornell Lab of Ornithology. Itaca, Nueva York.
- BirdLife International. 2016. *Endemic Bird Area factsheet: North Central American Highlands*. En: <http://www.birdlife.org/datazone/ebafactsheet.php?id=14> [con acceso el 25-1-2016]
- Boelman, N., G. Asner, P. Hart y R. Martin. 2007a. Appendix A. *Detailed methods of airborne imaging spectroscopy, LiDAR, bioacoustic recordings, and bird surveys*. Ecological Archives. A017-086-A1
- , G. Asner, P. Hart y R. Martin. 2007b. *Multi-trophic invasion resistance in Hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing*. Ecological Applications. 17(8): 2137-2144
- , Sueur J., Fuchs J., Aubin T. (in press) *Vocalizations of the flagship species Pharomachrus mocinno (Aves: Trogonidae): implications for its*

taxonomy, evolution and conservation. Biological Journal of the Linnean Society. London.

Bolaños-Sittler P & Villatoro F. 2016a. *Paisaje Sonoro en Bosques de Montaña de Guatemala*. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala 32: 13–24.

------. 2016b. *Recent sightings of Common Raven Corvus corax in the highlands of Guatemala*. Cotinga 38: 88–89.

------. 2015c. *Paisaje sonoro en bosques de montaña de Guatemala*. Tesis de Maestría en Manejo de Vida Silvestre. Facultad de Medicina veterinaria y zootecnia. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala. 33 pp.

------. 2015d. *Avistamientos recientes de Corvus corax (Cuervo Grande) en las tierras altas de Guatemala*. Zeledonia 19: 82–87.

Bustamante, M., M. Barrios y D. Juárez. 2010. *Fenología de las plantas nutricias del quetzal (Pharomachrus mocinno mocinno de La Llave) y su efecto sobre la abundancia de quetzales en el Biotopo del Quetzal y corredor Biológico del Bosque Nuboso, Baja Verapaz*. Universidad de San Carlos de Gutemala, Resúmenes de Investigaciones 2010. (1):73-77

Cambell, B. y E. Lack. 2010. *A Dictionary of Birds*. T & AD Poyser. Soho Square, Londres. 700pp.

Carroll, J., G. Kirwan y P. Boesman. (2018). *Spotted Wood-quail (Odontophorus guttatus)* En: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.). Handbook of the Birds of the World Alive. Lynx Edicions, Barcelona. En <https://www.hbw.com/node/53364> [con acceso el 10 de abril de 2018]

Collar, N. 2016. *Trogons (Trogonidae)*. Pág. 80-129 en del Hoyo, J., A. Elliot y J. Sargatal, Eds. Handbook of the Birds of the World. Ediciones Lynx. Barcelona, España.

- . 2017. *Mountain Trogon (Trogon mexicanus)*. en del Hoyo Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. Handbook of the Birds of the World Alive. Lynx Edicions, Barcelona. En: <https://www.hbw.com/node/55702> [con acceso el 4 de enero de 2018]
- Collar, N. & Christie, D.A. (2017). *Russet-backed Thrush (Catharus ustulatus)*. En: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.). Handbook of the Birds of the World Alive. Lynx Edicions, Barcelona. En <https://www.hbw.com/node/58375> [con acceso el 11 de abril de 2018]
- Cromer, A. 1996. *Física para ciencias de la vida*. Editorial Reverté. Barcelona, España. 578 pp.
- Dallies, C. 2008. *Manual interactivo para identificar las aves de Guatemala*. Instituto Guatemalteco de Turismo – INGUAT, y Organización de Estados Americanos – OEA. CD Rom.
- Dawson, D., y M. Efford. 2009. *Bird population density estimated from acoustic signals*. Journal of Applied Ecology. 1201-1209.
- del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. y de Juana, E. 2015. *Handbook of the Birds of the World Alive*. Lynx Edicions, Barcelona. En <http://www.hbw.com/family/trogons-trogonidae> [con acceso del 30 de marzo de 2016]
- Depraetere, M., S. Pavoine, F. Jiguet, A. Gasc, S. Duvail, y J. Sueur. 2012. *Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland*. Ecological Indicators. 13:45-54.
- Eisermann, K. 2012. *Highland Guan (Penelopina nigra)*. Neotropical Birds Online (T. S. Schulenberg, Editor). Ithaca: Cornell Lab of Ornithology. En Neotropical Birds Online:

http://neotropical.birds.cornell.edu/portal/species/overview?p_p_spp=80391
[con acceso el 10 de abril de 2018]

----- y C. Avendaño. 2009a. *Conservation priority-setting in Guatemala through the identification of Important Bird Areas*. Proceedings of the Fourth International Partners in Flight Conference, Tundra to Tropics. 315-327.

-----, y C. Avendaño. 2009b. Guatemala. Pág. 235 – 242 en Devenish, C., D. F. Díaz, R. P. Clay, I. Davidson y I. Yépez, Eds. *Important Bird Areas Americas - Priority sites for biodiversity conservation*. Quito, Ecuador: BirdLife International (BirdLife Conservation Series No. 16)

Everest, D. y Pholmann, K. 2009. *Master handbook of acoustics*. 5ta edición. McGraw-Hill Companies Inc. Nueva York, Estados Unidos. 640 pp.

Farina, A. y P. James. 2016. *The acoustic communities: Definition, description and ecological role*. BioSystemas. 14 :11-20

----- . 2014. *Soundscape Ecology. Principles, Patterns, Methods and Applications*. Springer. Urbino, Italia. 436 pp.

----- y Pieretti, N. 2014. *Acoustic Codes in Action in Soundscape Context*. Biosemiotics. 7:321-328

----- y D. Morri. 2008. *Source-sink e eco-field: ipotesi ed evidenze sperimentali*. Atti del X congresso nazionale della SIEP-IALE. Ecologia e governance del paesaggio: esperienze e prospettive. Bari. 365–372.

Ferguson-Lees, J. y D. Christie. 2001. *Raptors of the World*. Londres: Christopher Helm.

Foster, M. 2007. *The potential of fruiting trees to enhance converted habitats for migrating birds in southern México*. Bird Conservation International. 17(1):45-61

- Gadallah, M. y R. Fisher. 2008. *Exploration Geophysics*. Springer. Houston, Texas, Estados Unidos. 262 pp.
- Gasc, A., J. Sueur, F. Jiguet, V. Devictor, P. Grandcolas, C. Burrow, M. Depraetere y SPavoine. (2013). *Assessing biodiversity with sound: Do acoustic diversity indices reflect phylogenetic and functional diversities of bird communities*. *Ecological Indicators*. 25: 279-287
- Gaston, K. 2000. *Global patterns of biodiversity*. *Nature*. 405:220–227
- Global Raptor Information Network. 2018. *Species account: Barred Forest Falcon *Micrastur ruficollis**. En: <http://www.globalraptors.org> [con acceso el 23 de enero de 2018]
- González-García, F., D. Brooks y S. Strahl. 2001. *Estado de Conservación de los Crácidos en México y Centro América*. En *Biology and Conservation of Cracids in the New Millenium*. Houston, Texas. 50 pp.
- Gregory, B. y R. Grotke. 1997. *Techniques for Audio Recording Vocalizations of Tropical Birds*. *Ornithological Monographs*. 48:1-18
- Hazard, J., E. Secaira, y J. Cardona. 2005. *Plan de manejo de la Reserva Natural Privada Los Andes Santa Bárbara, Suchitepéquez, Guatemala*. Asociación de Reservas Naturales Privadas de Guatemala. 60 pp.
- (s.f.). *Los Andes Guatemala. Private Natural Reserve. Guatemala*. En: <http://www.andesclooudforest.org/> [con acceso el 30 de marzo de 2016].
- Howell, S. y S. Webb. 1995. *A guide to the birds of Mexico and Central America*. Oxford University Press. 851pp.
- Hutchinson, G. 1957. *Concluding remarks*. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biology*. 22:415-427

- International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN). 2015. *The IUCN Red List of Threatened Species*. En: <http://www.iucnredlist.org/> [con acceso el 17 de Febrero de 2016].
- Jiménez, B. 2001. *La contaminación ambiental en México*. Editorial Limusa. México, D.F. 200pp.
- Johnsgard, P. 2000. *Trogons and Quetzals of the World*. Smithsonian. 223 pp.
- Kasten, E., S. Gage, J. Fox y W. Joo. 2012. *The Remote Environmental Assessment Laboratory's Acoustic Library: An archive for studying soundscape ecology*. *Ecological Informatics*. 12:50-77
- König, C. y F. Weick. 2010. *Owls of the world*. 2a edición. Christopher Helm Publishers. Londres. Pp. 420
- Krause, B. 1993. *The niche hypothesis*. *Soundscape Newsletter*. 6:6-10
- y A. Farina. 2016. *Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity*. *Biological Conservation*. 195:245-254
- LaBastille, A., D. Allen y L. Durrell. 1972. *Behavior and feather structure of The Quetzal*. *The Auk*. 89:339-348
- . 1969. *Biology and Conservation of the Quetzal*. *Biological Conservation*. 1(4):297-306
- Lobos, G., P. Bobadilla, A. Alzamora y R. Thomson. 2011. *Patrón de actividad y abundancia de aves en un relleno sanitario de Chile central*. *Revista Chilena de Historia Natural* 84: 107-113
- MacGregor-Fors, I. 2010. *Guía de aves del Bosque Los Colmos*. CONABIO. México. 147 pp.

- MacVean, A. y J. Monzón. 2009. *Estudio preliminar de la flora de la Estación Científica “Refugio del Quetzal”, Volcán Atitlán, Guatemala*. Revista de la Universidad del Valle de Guatemala. 19:84-92
- Malavasi, R. y A. Farina. 2013. *Neighbors’ talk: interspecific choruses among songbirds*. *Bioacoustics*. 22(1):33–48.
- Marler, P. y H. Slabbekoorn. 2004. *Nature’s Music. The Science of Birdsong*. Elviesier. Leiden, Holanda. 532 pp.
- McCain, C. y J. Grytnes. 2010. *Elevational Gradients in Species Richness*. En Wiley, J. e hijos. Encyclopedia of life Sciences. Chichester. DOI: 10.1002/9780470015902.a0022548
- Miller, M., E. Bermingham y R. Ricklefs. 2007. *Historical biogeography of the new world solitaires (Myadestes spp.)*. The Auk. 124(3): 868-885
- Motta-Junior, J. 2007. *Ferruginous Pygmy-owl (Glaucidium brasilianum) predation on a mobbing Fork-tailed Flycatcher (Tyrannus savana) in south-east Brazil*. Biota Neotropica. 7(2):320-324
- Nájera, A. 2010. *Estudio preliminar de aves en la reserva biológica refugio del quetzal de la universidad del valle de Guatemala*. 22:60-65
- Neri-Fajardo, M. 2005. *Ficha técnica de Aspatha gularis*. En: Escalante-Pliego, P. Fichas sobre las especies de aves incluidas en el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-ECOL-2000. Parte 2. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Obrist, M., G. Pavan, J. Sueur, K. Riede, D. Llusia, y R. Márquez. 2010. *Bioacoustics approaches in biodiversity inventories*. Abc Taxa.

- Ornelas, J., C. González y A. Espinosa de los Monteros. 2009. *Uncorrelated evolution between vocal and plumage coloration traits in the trogons: a comparative study*. *Evolutionary Biology*. 22:471-484
- Ortega, R., L. Sánchez, H. Berlanga, V. Rodríguez y V. Vargas. 2012. *Manual para monitores comunitarios de aves*. Iniciativa de monitoreo de aves en áreas bajo influencia de actividades productivas promovidas por el Corredor Biológico Mesoamericano-México.
- Pelluso, D. 2002. *Aulacorhynchus prasinus*. Animal Diversity Web. En: http://animaldiversity.org/accounts/Aulacorhynchus_prasinus/ [con acceso el 22 de enero de 2018)
- Pieretti, N., A. Farina, y D. Morri. 2011. *A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI)*. *Ecological Indicators*. 868-873.
- Pijanowski B., L. Villanueva, S. Dumyahn, A. Farina , B. Krause, B- Napoletano , S. Gage y N. Pieretti. 2011a. *Soundscape ecology: the science of sound in the landscape*. *BioScience* 61(3):203–216
- , A. Farina, S. Gage, S. Dumyahn y B. Krause. 2011b. *What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science*. *Landscape Ecology*. doi:10.1007/s10980-011-9600-8
- Proudfoot, G., R. Johnson. 2000. *Ferruginous Pygmy-Owl (Glaucidium brasilianum)*. en Rodewal, P. *The Birds of North America*. Cornell Lab of Ornithology. Nueva York, Estados Unidos. 498 pp.
- Planqué, R. y H. Slabbekoorn. 2008. *Spectral overlap in songs and temporal avoidance in a Peruvian bird assemblage*. *Ethology*. 114:262-271

- R Core Team. 2014. *R: A language and environment for statistical Computing*. Vienna, Austria. En <http://www.R-project.org>
- Remsen, J., M. Hyde y A. Chapman. 1993. *The diets of Neotropical trogons, motmots, barbets and toucans*. *The Condor*. 95:178-192
- Renner, S. 2005. *The Resplendent Quetzal (Pharomachrus mocinno) in the Sierra Yalijux, Alta Verapaz, Guatemala*. *Journal of Ornithology*. 146:79-84
- Salaman, P., P. Coopmans, T. Donegan, M. Mulligan, A. Cortés, S. Hilty y L. Ortega. 2003. *A new species of Wood-wren (Troglodytidae: Henicorhina) from the western andes of colombia*. *Ornitología Colombiana*. (1):4-21
- Sen, P. 2005. *Gini diversity index, Hamming distance, and curse of dimensionality*. *Metron*. 63(3):329-349
- Skutch, A. 1944. *Life history of the quetzal*. *The Condor*. 46(5):213-235
- , 1942. *Life history of the Mexican Trogon*. *The Auk*. 59(3):340-363
- Ström, C. 2013. *Rapid biodiversity assessment of a Neotropical rainforest using soundscape recordings*. Tesis de Maestría en Ecología. Universidad de Umea, Suecia. 32 pp.
- Sueur, J., S. Pavoine, O. Hamerlynck, y S. Duvail. 2008. *Rapid Acoustic Survey for Biodiversity Appraisal*. *PLoS ONE*. 3(12): e4065. doi:10.1371/journal.pone.0004065.
- Terres, J. 1980. *The Audubon Society Encyclopedia of North American Birds*. 1a edición. Knopf. Nueva York. 1109 pp.
- The Cornell Lab of Ornithology. 2015. *Trogons and Quetzals*. En: <https://www.allaboutbirds.org> [consultado el 30 de marzo de 2016]

- Throstrom, R. 2001. *Nest-site characteristics and breeding density of two sympatric forest-falcons in Guatemala*. *Ornitología Tropical*. 21:337-343
- Townsey, M., J. Wimmer, I. Williamson, y P. Roe. 2013. *The use of acoustic indices to determine avian species richness in audio-recordings of the environment*. *Ecological informatics*. 10.
- Villanueva-Rivera, L., B. Pijanowski, J. Doucette, y B. Pekin. 2011. *A primer of acoustic analysis for landscape ecologists*. *Landscape Ecology*. 26:1233-1246.
- Zolotof-Pallais, J., C. Cisneros, R. Mendieta y A. Medina. 2011. *Diagnóstico del estado de composición de las poblaciones de aves (Residentes -migratorias) y murciélagos en el complejo eólico "Eolonica", al sur de la ciudad de Rivas, Nicaragua*. Rivas, Nicaragua.

VIII. ANEXOS

CUADRO 2. Porcentaje total del área de traslape entre *P. mocinno* y las demás especies entre 500 y 2500 kHz.

Especies	Territorial	Cortejo	Alerta
<i>A. gularis</i>	89.31600914	0.05150339	18.7276756
<i>A. prasinus</i>	457.8182868	116.106096	752.805144
<i>C. melanocyaneus</i>	0	0	329.318046
<i>C. occipitalis</i>	22.65071369	5.12648871	445.103697
<i>C. ustulatus</i>	1038.726352	3.58919592	1284.96545
<i>G. brasilianum</i>	321.9832181	0	22.9603838
<i>H. cachinans</i>	73.81339645	0	11.9252955
<i>H. leucophrys</i>	10.98027134	2.24679964	81.2857603
<i>M. occidentalis</i>	10.47106418	0	711.5936
<i>M. ruficollis</i>	2010.21118	82.4716556	338.231589
<i>O. guttatus</i>	58.34252655	9.42103784	8.34570017
<i>P. nigra</i>	137.057674	12.0831666	626.646692
<i>P. purpurascens</i>	897.6738911	236.236422	168.276592
<i>T. collaris</i>	54.7322798	0	37.1125311
<i>T. mexicanus</i>	2549.146955	45.6688951	698.751237
<i>X. erythrogygius</i>	83.71977725	23.062412	41.4854307

CUADRO 3. Porcentaje promedio del área de traslape entre *P. mocinno* y las demás especies entre 500 y 2500 kHz.

Especies	Territorial	Cortejo	Alerta
<i>A.gularis</i>	3.364465631	0.51533883	4.75569298
<i>A.prasinus</i>	4.429014476	2.42409129	9.8692744
<i>C.melanocyaneus</i>	0	0	12.948635
<i>C.occipitalis</i>	22.65713697	1.70882973	8.09328706
<i>C.ustulatus</i>	5.868039947	1.79727966	22.6136073
<i>G.brasilianum</i>	35.8155223	0	11.6239884
<i>H.cachinans</i>	24.61795485	0	3.97706157
<i>H.leucophrys</i>	1.628021001	1.12339982	27.3387217
<i>M.occidentalis</i>	3.490829022	0	7.97749653
<i>M.ruficollis</i>	24.57239501	7.34754578	23.5210089
<i>O.guttatus</i>	3.474564735	3.15438361	8.34571653
<i>P.nigra</i>	4.452899268	6.05583302	19.9872562
<i>P.purpurascens</i>	9.366064078	8.50238088	7.51392527
<i>T.collaris</i>	4.616620333	0	18.5563026
<i>T.mexicanus</i>	7.122079115	9.22298064	12.910514
<i>X.erythropygius</i>	6.62000672	11.5338532	13.8286507

CUADRO 4. Número de veces de traslape entre *P. mocinno* y otras especies entre 500 y 2500 kHz.

Especies	Territorial	Cortejo	Alerta
<i>A.gularis</i>	27	1	4
<i>A.prasinus</i>	103	49	77
<i>C.melanocyaneus</i>	0	0	20
<i>C.occipitalis</i>	1	3	51
<i>C.ustulatus</i>	166	2	57
<i>G. brasilianum</i>	9	0	2
<i>H.cachinans</i>	3	0	3
<i>H.leucophrys</i>	7	2	3
<i>M.occidentalis</i>	3	0	84
<i>M.ruficollis</i>	67	10	11
<i>O.guttatus</i>	17	3	1
<i>P.nigra</i>	27	2	31
<i>P.purpurascens</i>	89	28	20
<i>T.collaris</i>	12	0	2
<i>T.mexicanus</i>	319	3	50
<i>X.erythrogygius</i>	13	2	3

CUADRO 5. Porcentaje total, porcentaje promedio y número de veces de traslape de las vocalizaciones de *P. mocinno*.

Porcentaje total	
Vocalización	Porcentaje
Territorial	194827.022
Cortejo	14202.8968
Alerta	40247.71753

Porcentaje promedio	
Vocalización	Porcentaje
Territorial	11.8421482
Cortejo	8.79981215
Alerta	11.0177163

Número de veces	
Vocalización	Porcentaje
Territorial	16452
Cortejo	1614
Alerta	3653

FIGURA 20. Espectrograma de la vocalización de *Aspatha gularis*.

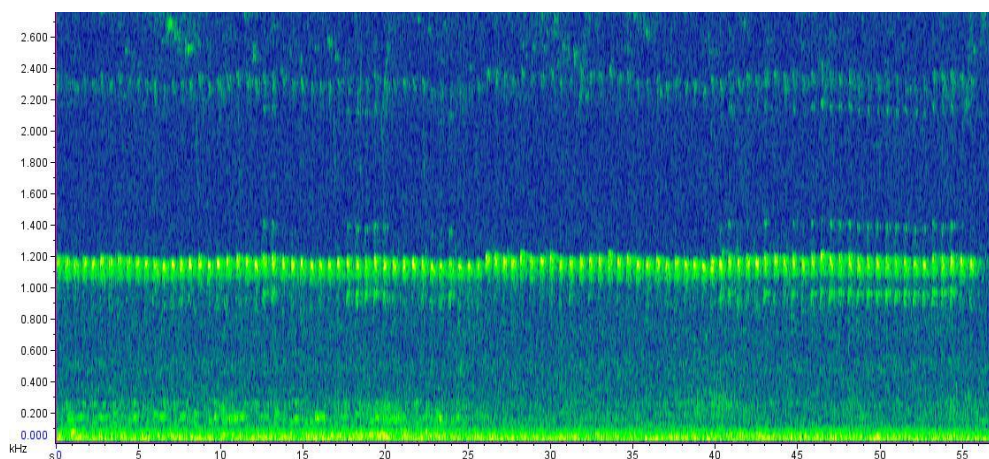


FIGURA 21. Espectrograma de la vocalización de *Herpetotheres cachinnans*.

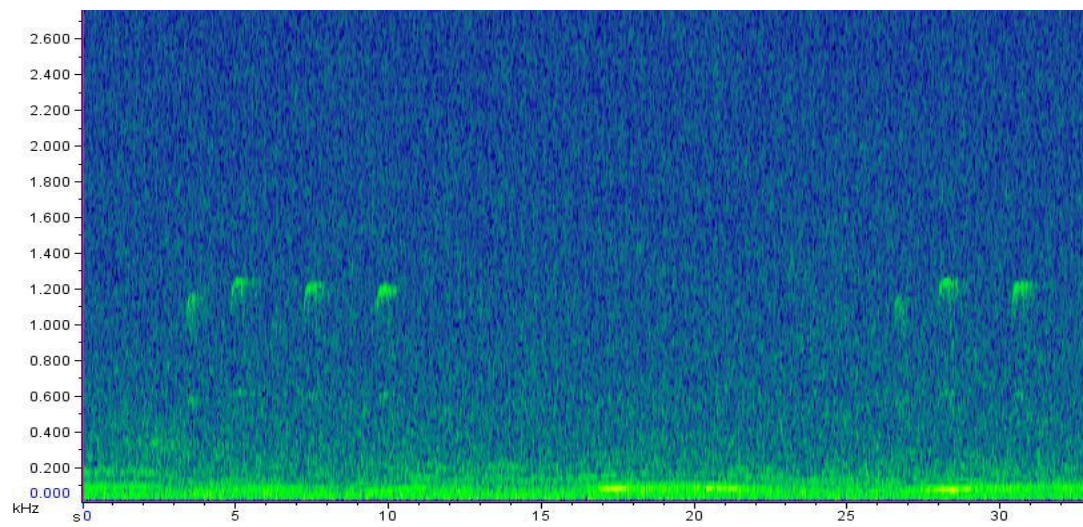


FIGURA 22. Espectrograma de la vocalización de *Micrastur ruficollis*.

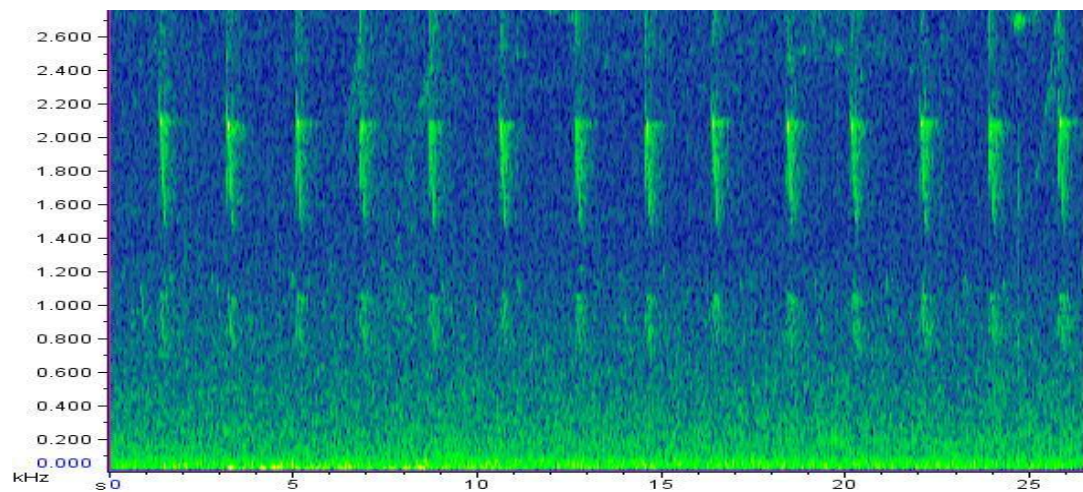


FIGURA 23. Espectrograma de la vocalización de *Odontophorus guttatus*.

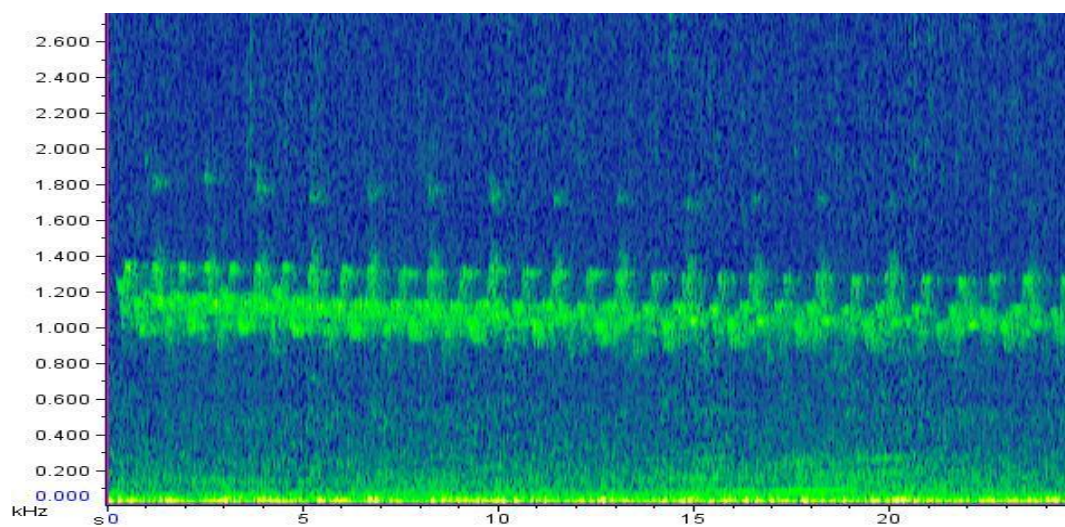


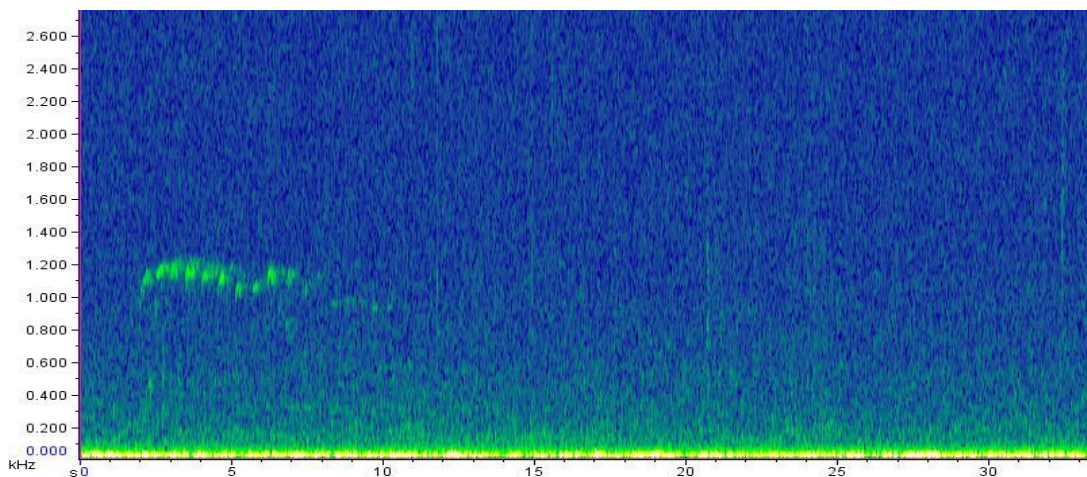
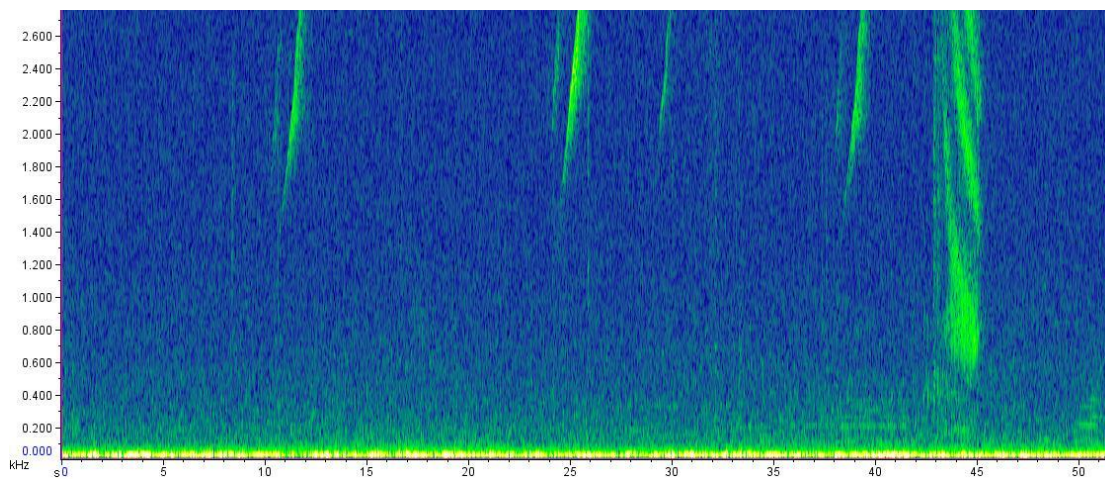
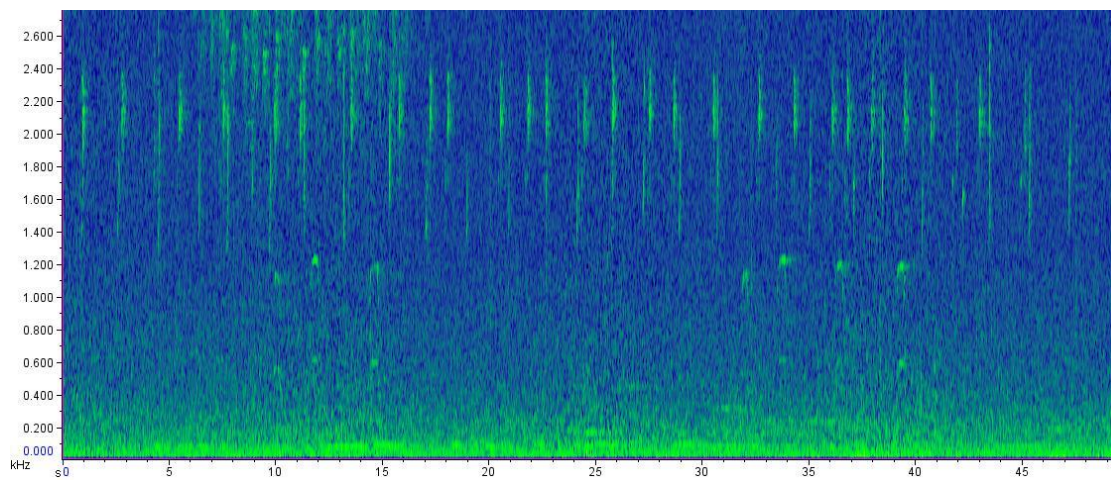
FIGURA 24. Espectrograma de la vocalización de *Penelope purpurascens*.**FIGURA 25.** Espectrograma de la vocalización de *Penelopina nigra*.**FIGURA 26.** Espectrograma de la vocalización de *Chlorophonia occipitalis*.

FIGURA 27. Espectrograma de la vocalización de *Cyanocorax melanocyaneus*.

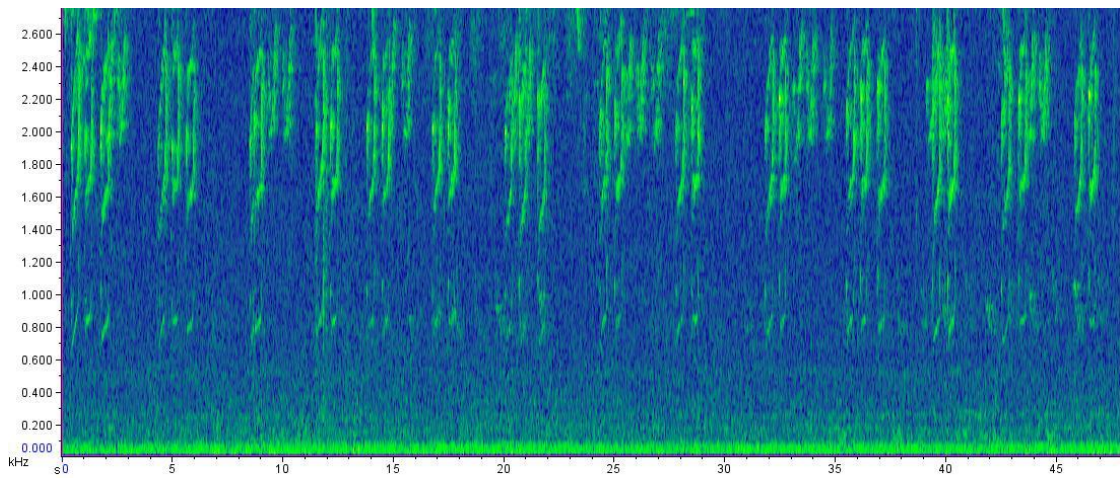


FIGURA 28. Espectrograma de la vocalización de *Henicorhina leucophrys*.

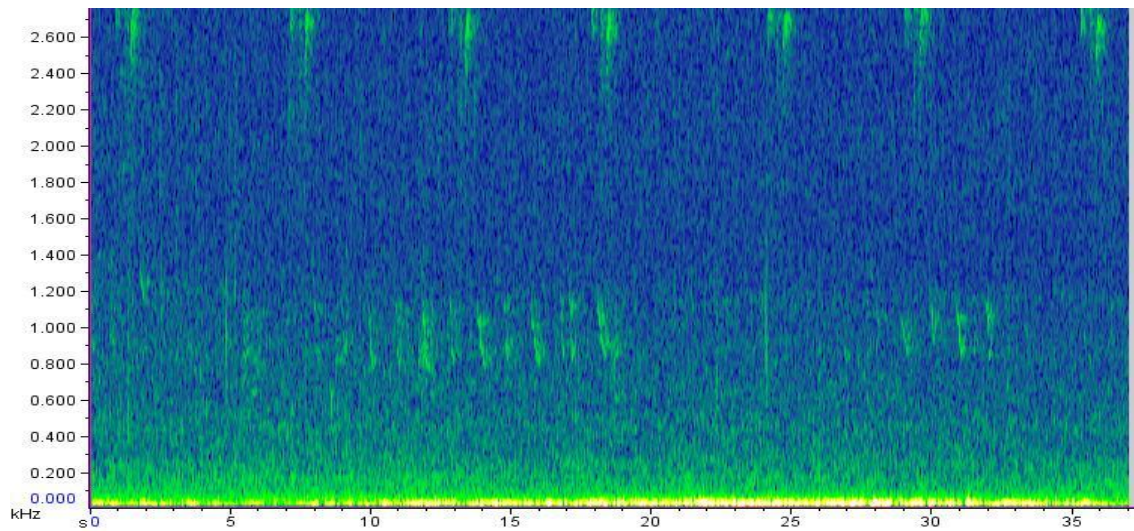


FIGURA 29. Espectrograma de la vocalización de *Henicorhina leucophrys* de 2500 a 700 kHz

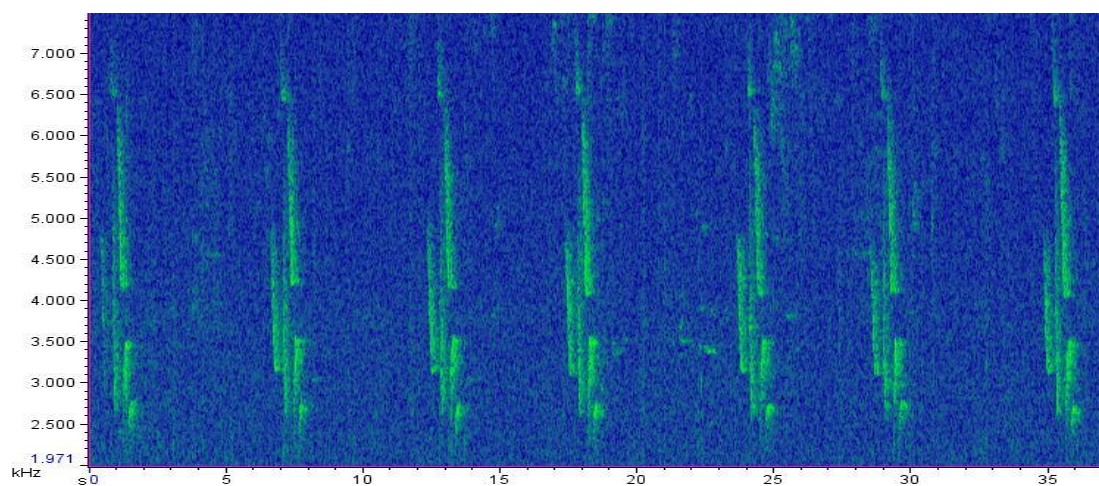


FIGURA 30. Espectrograma de la vocalización de *Myadestes occidentalis* de 2400 a 5800 kHz.

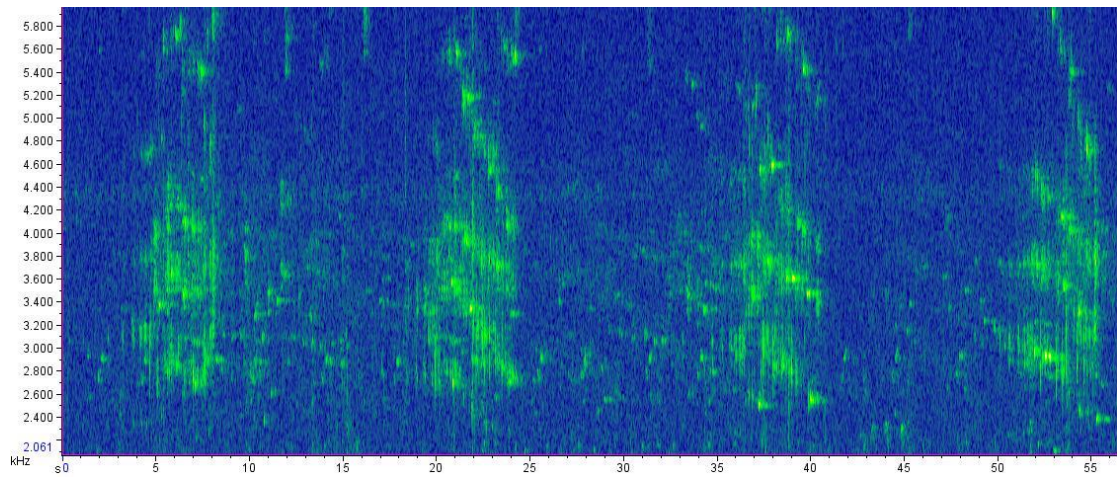


FIGURA 31. Espectrograma de la vocalización de *Myadestes occidentalis*.

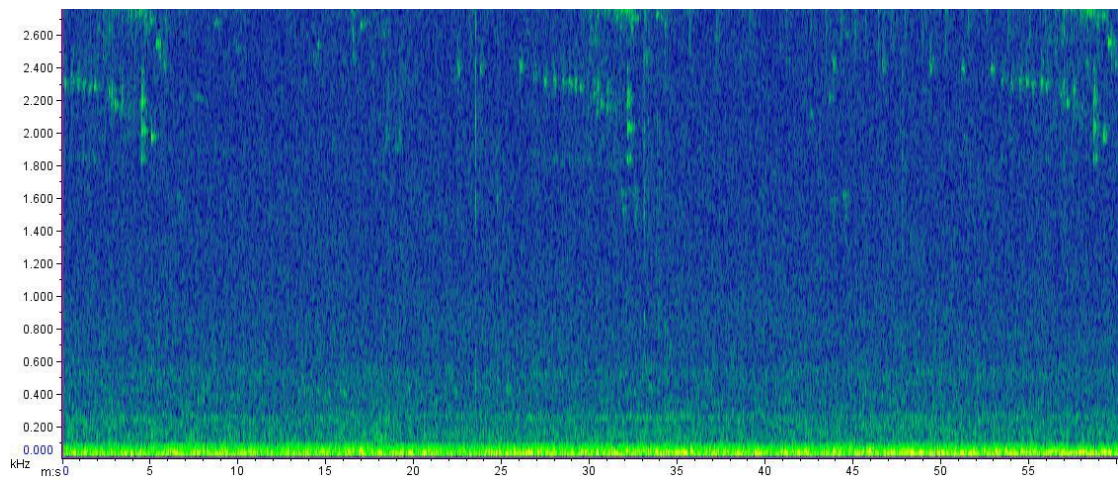


FIGURA 32. Espectrograma de la vocalización de *Catharus ustulatus*

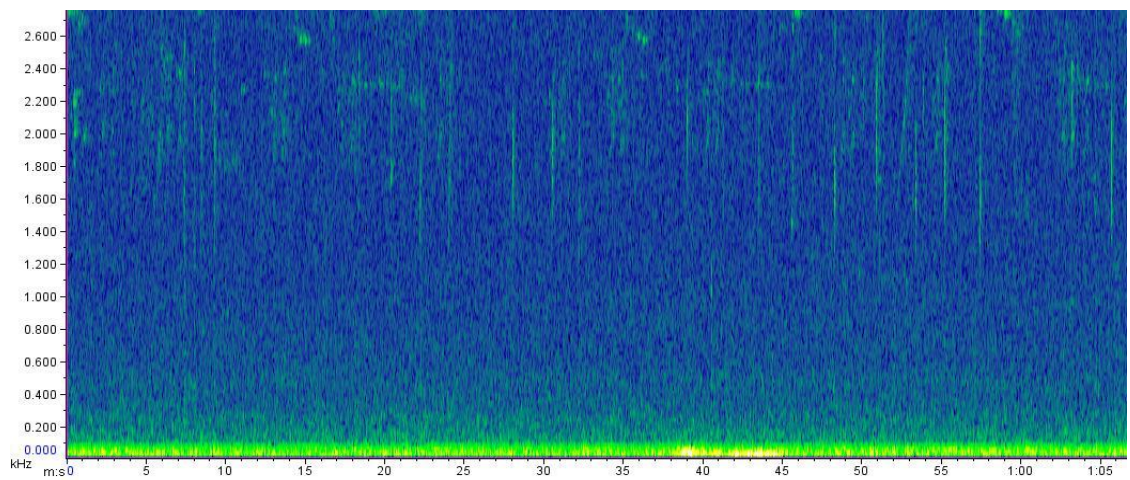


FIGURA 33. Espectrograma de la vocalización de *Xiphorhynchus erythropygius*.

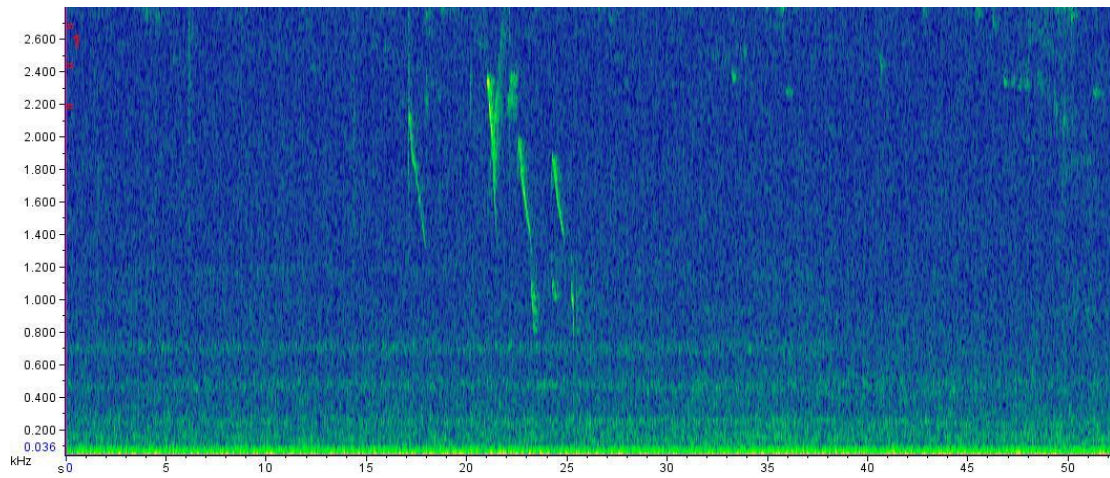


FIGURA 34. Espectrograma a de la vocalización de *Aulacorhynchus prasinus*.

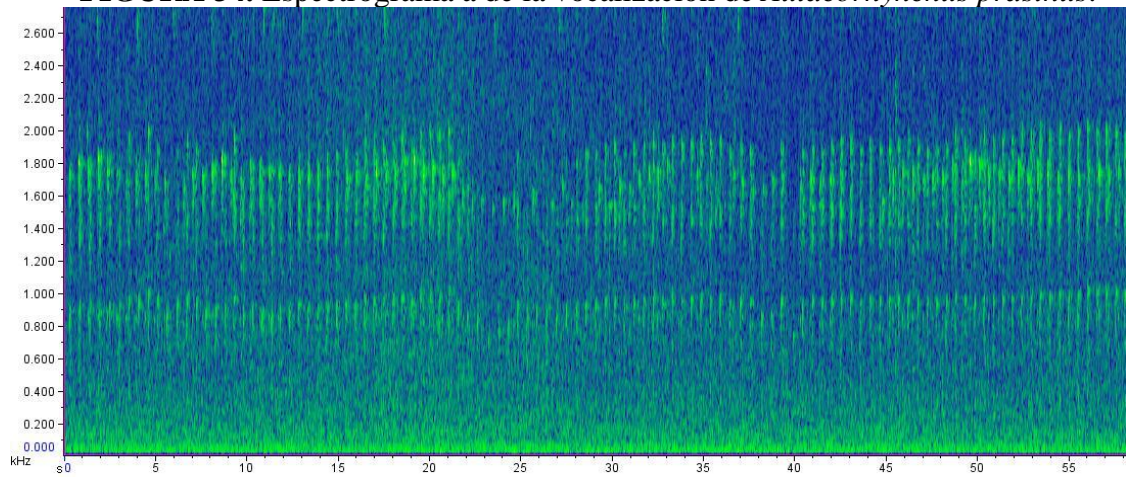


FIGURA 35. Espectrograma b de la vocalización de *Aulacorhynchus prasinus*.

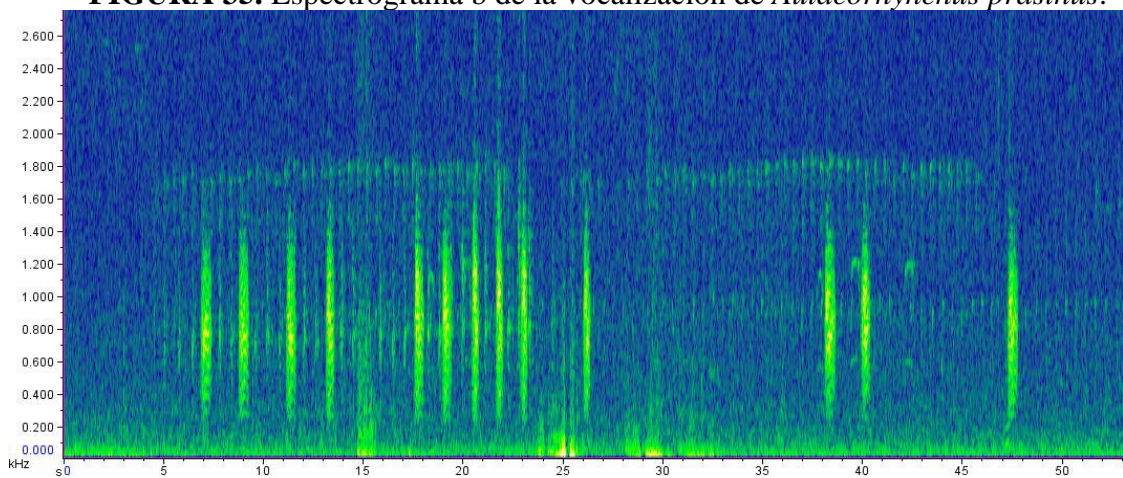


FIGURA 36. Espectrograma de la vocalización de *Glaucidium brasilianum*.

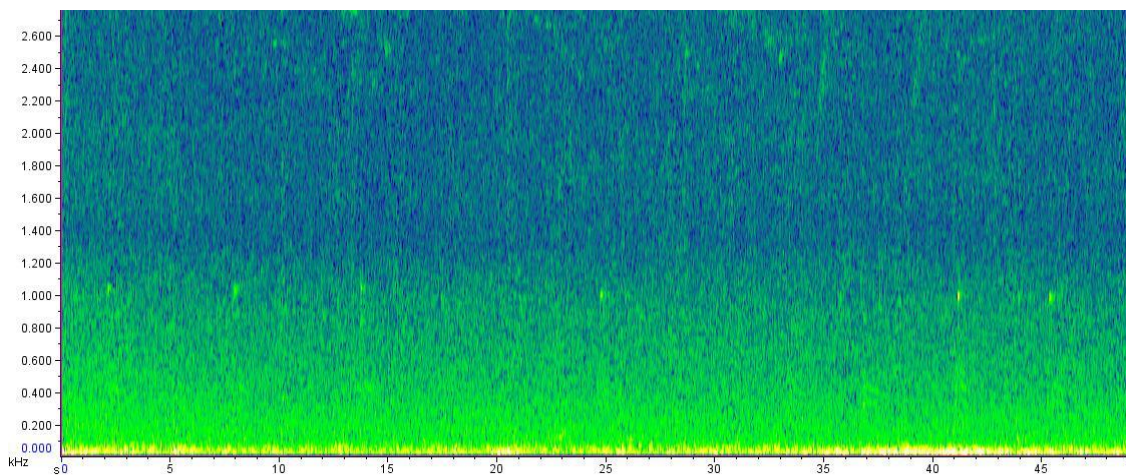


FIGURA 37. Espectrograma de la vocalización de *Trogon collaris*.

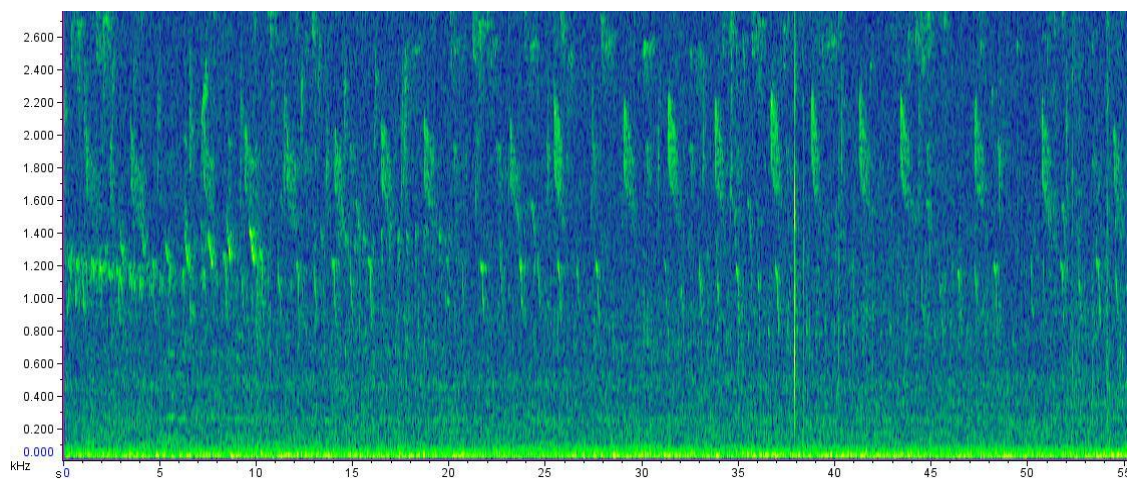


FIGURA 38. Espectrograma de la vocalización de *Trogon mexicanus*.

