

**Uso del espacio acústico por parte de la avifauna en el Santuario de Flora Isla de la Corota
como un sistema insular Alto Andino.**

Diego Fernando Jiménez Ortega

Cristhian Daniel Rosero Calderón

Universidad de Nariño

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Biología

San Juan de Pasto

2022

**Uso del espacio acústico por parte de la avifauna en el Santuario de Flora Isla de la Corota
como un Sistema Insular Alto Andino.**

Diego Fernando Jiménez Ortega

Cristhian Daniel Rosero Calderón

Trabajo de grado.

Asesores

Jhon Jairo Calderón Leitón

cPhD Ciencias Biológicas

Lucero Estefanía Legarda Solarte

Bióloga

Universidad de Nariño

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Programa de Biología

San Juan de Pasto

2022

“Las ideas y conclusiones aportadas en este trabajo de grado son responsabilidad de sus autores”

Artículo 1° del Acuerdo número 324 de octubre 11 de 1966, emanado por el Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

John Jairo Calderón Leyton

Asesor

Lucero Estefanía Legarda Solarte

Asesora

Diego José Lizcano

Jurado

Carlos Mauricio Trujillo

Jurado

San Juan de Pasto, Abril 22 de 2022.

Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigaciones e Interacción Social de la Universidad de Nariño por el financiamiento y apoyo prestado para la realización del proyecto.

A nuestras familias por habernos brindado el apoyo y constante fortaleza para superar los momentos difíciles que se han presentado a través de estos años.

Al Grupo de Investigación en Ecología Evolutiva GIEE, por el apoyo con el préstamo de equipos necesarios para nuestro proyecto y en especial a los miembros de la línea de Ecología Comportamental y Comunicación Animal que nos brindaron la oportunidad de formar parte y conocer el extenso mundo de la acústica y la comunicación animal.

A nuestros asesores Jhon Jairo Calderón que nos ha orientado a lo largo de varios años, influyendo en gran medida sobre nuestra formación y sin cuyo constante apoyo la realización de este proyecto no habría sido posible y Lucero Estefanía Legarda quien además como amiga supo orientarnos y guiarnos en la construcción de este proyecto con su constante acompañamiento.

A Parques Nacionales Naturales de Colombia, quienes nos permitieron ingresar al Santuario de Flora Isla de la Corota y llevar a cabo nuestra investigación, a sus miembros por habernos recibido con tanta amabilidad y afecto.

A Carlos Trujillo y Diego Lizcano por sus muy valiosas recomendaciones y por la disposición para la aclaración de las dudas.

A los compañeros Luis Recalde, David Guaitarilla, Johana Arévalo y Juan Pablo Ortiz que nos acompañaron y apoyaron en diferentes etapas de la investigación.

Resumen

Los sonidos que confluyen en un espacio y tiempo determinado se encuentran categorizados en diferentes tipos según su fuente de origen: biofonías (de origen biótico), geofonías (derivados de eventos naturales) y antropofonías (provenientes de actividad humana) los cuales en su conjunto conforman el paisaje sonoro. Dentro del paisaje sonoro se llevan a cabo procesos de comunicación de diferentes especies de fauna entre los que se destacan las aves debido a su activo comportamiento vocal. En el presente estudio se llevó a cabo la caracterización del paisaje sonoro y su relación con la actividad vocal de las aves en el Santuario de Flora Isla de La Corota (SFIC) a través de monitoreo acústico pasivo (PAM) empleando 10 grabadoras Audiomoth 1.1.0 dispuestas a lo largo de la zona de estudio durante los días 4 y 5 de enero, 15 y 16 de febrero y finalmente 5 y 6 de septiembre del año 2020. Mediante el índice de complejidad acústica (ACI), el índice de diferencias normalizadas (NDSI), modelos aditivos generalizados mixtos (GAMM), análisis de representación de modularidad, modelos lineales generalizados y árboles de regresión y clasificación CART, se identificaron cambios en la composición del paisaje sonoro entre los diferentes meses y días de muestreo, asociados a eventos culturales con alta afluencia turística en los meses de enero y febrero y a las condiciones climáticas durante el mes de septiembre. La actividad vocal de las aves presentó variaciones relacionadas con la interacción de los componentes geofónicos y antropofónicos y se identificó grupos de actividad vocal distribuidos en módulos en dos franjas del día (primeras horas de la mañana y últimas horas de la tarde) y con mayores valores de modularidad para la tarde, lo que reflejaría un indicio de una partición del espacio acústico para este lugar como una posible estrategia adaptativa frente a aspectos como altos niveles de presión sonora y la heterogeneidad espacial del ambiente. En cuanto a los parámetros de actividad de las vocalizaciones, factores

como el ruido de motores de lanchas y componentes geofónicos como viento y lluvias influyeron en la actividad vocal de especies de aves de la isla, donde los valores del nivel de presión sonora de 52dB, 57dB y 72dB, son mayores a los que se esperaría de un ambiente natural y tuvieron una incidencia notable sobre la distribución de las vocalizaciones a lo largo del día.

Abstract

Sounds that converge in a given space and time are categorized into different types according to their source. These consist of: biophonies (of biotic origin), geophonies (derived from natural events) and anthrophonies (from human activity) which together form the soundscape. In this soundscape animal communication processes are carried out, which are influenced in their communicative and behavioural responses by the changes in the different components of the soundscape. In the present study, we investigate the soundscape and its relation to the vocal activity of birds in the Flora Sanctuary Isla de La Corota (SFIC) was carried out by means of passive acoustic monitoring (MAP) using 10 Audiomoth 1.1.0 recorders arranged throughout the study area during the 4th and 5th of January, 15th and 16th of February and finally 5th and 6th of September, the different components of the soundscape were also characterized using the acoustic complexity index (ACI) and the Normalised Difference Index (NDSI), Mixed Generalized Additive Models (GAMM), modularity representation analysis, generalized linear models, and CART regression and classification trees. Changes in the composition of the soundscape were identified between the different months and days of sampling, associated with cultural events with high tourist influx in the months of January and February and with climatic conditions during the month of September. This was also reflected in the vocal activity patterns of the birds that were studied and that presented changes related to the interaction with the geophony and anthrophony components. Where it was determined that these presented groups of vocal activity distributed in modules in the two bands of the day and with greater modularity values for the afternoon which would reflect an indication of a partition of the acoustic niche for this place as a possible adaptive strategy against aspects such as noise and the spatial heterogeneity of the environment. Regarding the activity parameters of the vocalizations,

factors such as the noise of boat engines and geophonies components such as wind and rain influenced the vocal activity of bird species on the island, where noise values corresponding to 52dB, 57dB y 72dB, represent noise values higher than would be expected from a natural environment and which moreover had a significant impact on the distribution of vocalizations throughout the day.

Tabla de Contenido

1. Introducción	8
2. Objetivos	12
3. Marco teórico	13
4. Materiales y métodos.	32
5. Resultados	45
6. Discusión.....	78
7. Conclusiones.	89
8. Recomendaciones.....	90
9. Bibliografía	92
10. Anexos.....	107

Lista de figuras

Figura 1 Visualización de una señal acústica en un espectrograma.	14
Figura 2 Visualización de los componentes descriptivos de una señal biofónica de diferentes especies en un espectrograma.	17
Figura 3 Representación de los componentes de un paisaje sonoro en un espectrograma.	21
Figura 4 Interacción entre los componentes del paisaje sonoro.....	22
Figura 5 Conformación del sonotopo.....	25
Figura 6 Estructuración del paisaje sonoro.	26
Figura 7 Mapa del área de estudio Santuario de Flora Isla de la Corota.	33
Figura 8 Vista exterior e interior del SFIC.	34
Figura 9 Actividad turística en el Santuario de Flora Isla de la Corota en los meses de enero y febrero de 2020.	36
Figura 10 Instalación de los equipos de grabación (Audiomoth) en el SFIC.	38
Figura 11 Registros de los componentes del paisaje sonoro para los meses de enero, febrero y septiembre.	48
Figura 12 Valores promedio del ACI en los diferentes puntos de muestreo para los meses de enero, febrero y septiembre.....	52
Figura 13 Valores de ACI a lo largo del día en las diferentes fechas de muestreo.....	56
Figura 14 Valores promedio del NDSI en los diferentes puntos de muestreo para los meses de enero, febrero y septiembre.....	58
Figura 15 Valores de NDSI a lo largo del día durante las diferentes fechas de muestreo.	60

Figura 16 Relación entre riqueza de vocalizaciones de aves y las variables de presión sonora y hora según los datos ajustados al modelo GAMM.	63
Figura 17 Matriz de modularidad del uso del espacio acústico por parte de la avifauna para el 05 de enero.	65
Figura 18 Valores de modularidad para la mañana y tarde entre los diferentes días.	66
Figura 19 Matriz de modularidad del uso del espacio acústico por parte de la avifauna para el 05 de enero en el punto 1.	68
Figura 20 Valores promedio de modularidad para todas las fechas en determinados puntos.	70
Figura 21 Actividad vocal de especies de aves en el mes de enero.	72
Figura 22 Actividad vocal de <i>Z. capensis</i> , <i>M. tyrianthina</i> y <i>P. fasciata</i> , especies con notoria respuesta frente a antropofonías y geofonías	74
Figura 23 CART de relación entre riqueza y valores de ruido en función hora y fecha.	75
Figura 24 CART de distribución de la riqueza de vocalizaciones según los puntos de muestreo.	77

Lista de tablas

Tabla 1 Registro de ingresos de personas al muelle, sendero y áreas de infraestructura dentro del SFIC.	45
Tabla 2 Tipos y fuentes de los componentes que fueron registrados en el SFIC durante el proyecto.....	46
Tabla 3 Proporción de los componentes del paisaje sonoro (biofonías, geofonías, antropofonías) para los diferentes días de muestreo en el SFIC.	47

1. Introducción

La comunicación se basa en el proceso de transmisión de información entre un emisor y un receptor y juega un papel importante en la ecología, evolución y comportamiento de las especies (Bradbury & Vehrencamp, 2011; Kaplan, 2014; Seyfarth et al., 2010). Por ende, los animales han desarrollado a lo largo de su historia evolutiva diferentes mecanismos para detectar o emitir señales comunicativas (Gill, 2007; Grafen, 1990; Kaplan, 2014; Seyfarth et al., 2010; J. M. B. Smith, 1991).

La transmisión de información por señales acústicas, ocurre en un medio dinámico conformado por distintos tipos de sonidos, los cuales están categorizados en tres grupos según el tipo y origen de la fuente del sonido: (1) **biofonías** (vocalizaciones de animales, llamadas de contacto o alarma y cantos), (2) **antropofonías** (actividades humanas), y (3) **geofonías** (viento, agua que fluye, tormentas y erupciones) (Farina, 2014; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011; Pijanowski, Farina, et al., 2011); Estos sonidos en conjunto conforman el paisaje sonoro (Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011).

Dentro de este paisaje sonoro; las especies llevan a cabo sus procesos comunicativos de acuerdo con patrones generados por la interacción de los componentes biofónicos, geofónicos y antropofónicos; en donde se ha demostrado que los altos niveles de geofonías y antropofonías disminuyen o modifican la forma en que los organismos emiten sonidos (Farina, 2014). Sumado a esto, el creciente desarrollo de las sociedades humanas ha conllevado a una reducción, degradación y transformación de los ecosistemas, donde el componente acústico también se ha visto afectado con un mayor aumento de las antropofonías (Duarte et al., 2015). Para enfrentar estos problemas las especies vocalmente activas han tenido que adaptarse a nuevas condiciones

con el fin de llevar a cabo una comunicación efectiva y evitar el enmascaramiento de la señal en entornos con altos niveles de ruido, presentando diferencias en el volumen de emisión, variaciones en la frecuencia de la señal y en las franjas horarias de emisión como respuesta a cambios en las condiciones del entorno sonoro (Brumm & Zollinger, 2013; Dumyahn & Pijanowski, 2011; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011).

Dentro de los diferentes grupos taxonómicos con comportamiento vocal activo, las aves se han convertido en uno de los modelos de estudio más investigados en bioacústica debido a su reconocido uso de señales sonoras como mecanismo de comunicación (Zhang et al., 2018), y en los estudios del paisaje sonoro han desempeñado un papel importante por su actividad notoria y por las respuestas en su actividad vocal frente a los componentes sonoros geofónicos y antropofónicos (Gasc et al., 2017). En este contexto, el Santuario de Flora Isla la Corota (SFIC) es un escenario-donde confluye la presencia de una amplia afluencia turística con un ingreso de hasta aproximadamente 6000 personas por día durante eventos culturales como carnavales y eventos religiosos, lo que implica la emisión de altos niveles de presión sonora derivados del ruido antropofónico en determinados momentos del año y por otra parte, el lugar cuenta con características propias de un sistema insular, tales como: aislamiento, fuerte presencia de vientos y sonidos lacustres (Caicedo & Urbano, 2011; Farina, 2014; Gallo-Corona, 2008).

En el Santuario de Flora Isla de La Corota se han reportado 34 especies de aves que llevan a cabo sus actividades comportamentales y procesos comunicativos dentro del parque (Caicedo & Urbano, 2011; Parques Nacionales Naturales de Colombia [PNNC], 2006), sin embargo, se desconocen los efectos derivados de las actividades turísticas, ya que al ser uno de los parques más visitados de Colombia, la alta afluencia de personas podría ser una causa importante de modificación en las dinámicas vocales de las aves, puesto que, la mayoría de aves

dependen del entorno sonoro para llevar a cabo con éxito la comunicación por señales acústicas (Brumm & Naguib, 2009; Sueur & Farina, 2015).

Considerando que la mayoría de aves presentan un determinado patrón de vocalización establecido con un pico de actividad en horas de la mañana, que disminuye hacia el mediodía y finalmente se incrementa hacia horas de la tarde (Farina & Ceraulo, 2017), teniendo en cuenta que la actividad vocal se ve influenciada tanto por antropofonías como por geofonías (Díaz et al., 2011; Gentry & Luther, 2017; Keast, 1994); se esperaría que en el SFIC los patrones de actividad vocal de las aves presenten una variación diaria atribuida a los efectos de las antropofonías derivadas de la actividad turística y por las geofonías derivadas de las condiciones ambientales particulares que se presentan en esta zona de estudio.

Anteriormente en Colombia se han realizado estudios sobre la ecología del paisaje sonoro enfocados en las dinámicas y respuestas de especies a entornos urbanos, relación de las densidades poblacionales de las especies en respuesta a los niveles de presión sonora y evaluación de las comunidades de fauna vocalmente activas asociadas a gradientes ecológicos y sistemas de producción (Bustos-Palacio, 2013; Caycedo-Rosales & Gonzáles, 2018; Morales-Rozo et al., 2021; Pacheco-Vargas & Losada-Prado, 2015). En estos estudios se ha logrado identificar la influencia del entorno sonoro en el comportamiento vocal de especies de aves y otros grupos taxonómicos, lo cual resulta importante para obtener una comprensión más profunda del papel que desempeña el paisaje sonoro en las poblaciones y su relación con los mecanismos que llevan a procesos comunicativos exitosos, en este sentido, se requiere ampliar el conocimiento que se tiene sobre sus dinámicas y las condiciones que afectan la transmisión de señales en diferentes tipos de ecosistemas, especialmente en áreas de importancia para la conservación.

El presente estudio en el SFIC brinda información sobre el estado actual del ecosistema desde el componente sonoro, permitiendo conocer cómo responde la avifauna vocalmente activa frente a estas condiciones, de esta manera, se buscó evaluar la composición y la dinámica del paisaje sonoro asociado a la avifauna en el SIFC (sistema insular alto andino con presencia de turismo), para lo cual se realizó la caracterización de los componentes del paisaje sonoro del SFIC, se identificaron los patrones de actividad vocal de las aves en el paisaje sonoro del SFIC y se determinaron las diferencias en los parámetros de actividad vocal de las aves con respecto a los niveles de presión sonora derivada de las condiciones ambientales y antrópicas dentro del SFIC.

Los resultados encontrados indicaron cambios en la composición del paisaje sonoro entre los diferentes meses y días de muestreo, asociados a eventos culturales con alta afluencia turística en los meses de enero y febrero y a las condiciones climáticas durante el mes de septiembre. La actividad vocal de las aves presentó variaciones relacionadas con la interacción de los componentes geofónicos y antropofónicos y se identificó grupos de actividad vocal distribuidos en módulos en dos franjas del día.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar la composición y la dinámica del paisaje sonoro asociado a la avifauna en el Santuario de Flora Isla la Corota (sistema insular alto andino con presencia de turismo).

2.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar los componentes del paisaje sonoro del Santuario de Flora Isla de la Corota
2. Identificar los patrones de actividad vocal de las aves en el paisaje sonoro del Santuario de Flora Isla de la Corota
3. Determinar las diferencias en los parámetros de actividad de las vocalizaciones de aves con respecto a los niveles de presión sonora derivada de las condiciones ambientales y antrópicas dentro del Santuario de Flora Isla de la Corota.

3. Marco teórico

3.1. Comunicación animal.

La comunicación es ante todo un evento social diseñado para influir en el comportamiento de los receptores (Tobias et al., 2014). A pesar de la naturaleza social de las señales comunicativas, el significado y la función de las señales desde la perspectiva del receptor pueden ser diferentes de los del emisor (Marler, 1961; Seyfarth & Cheney, 2003), esto implica que las interacciones que se desarrollen entre estos conlleven comportamientos específicos, por ejemplo: señales de alerta entre individuos de la misma especie o agresión en conflictos territoriales, generando un patrón de emisión característica de la señal (Seyfarth & Cheney, 2003). Estos patrones de respuesta han evolucionado y se han desarrollado de manera específica, siendo las señales acústicas, una de las más importantes; las cuales requieren un alto costo energético, debido a diferentes exigencias que implica la comunicación; como la elaboración del mensaje que se transmite, la forma en que se percibe y la reacción de los receptores (Catchpole & Slater, 2008).

3.2. Señales auditivas.

La audición es uno de los sentidos clave que permite a los organismos percibir sonidos y de este modo relacionarse entre sí y con el medio ambiente (Gill, 2007). Muchos animales optan por este mecanismo para recibir señales, las cuales pueden estar relacionadas a diversos aspectos comportamentales como: la alimentación, ubicación, peligro y cortejo, viéndose reflejada en la supervivencia de los individuos (Gasc et al., 2017).

Algunos componentes y características de las señales auditivas vienen dadas por fenómenos y propiedades del sonido que se detallan a continuación.

3.3. El sonido.

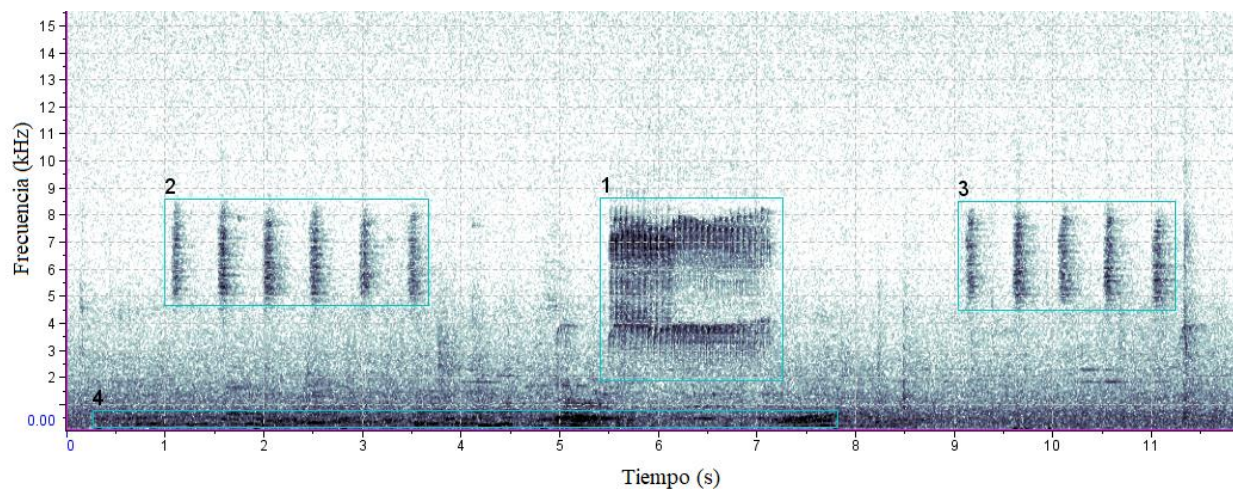
El sonido se conoce como un fenómeno físico de propagación de energía desde un foco emisor, a través de un campo acústico, producido por la vibración o movimiento ondulatorio de una partícula en un medio elástico (Bustos-Palacio, 2013).

3.3.1. Representación gráfica del sonido: Espectrograma.

El espectrograma es la representación visual del sonido en un espacio, donde la dimensión horizontal corresponde al tiempo (lectura de izquierda a derecha), y la dimensión vertical representa la frecuencia (o tono) medida en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo. La amplitud del sonido en cualquier momento y frecuencia en particular está indicada por la intensidad en el color del espectrograma para ese punto. Figura 1 (Oro-Bracco, 2017).

Figura 1

Visualización de una señal acústica en un espectrograma.



Nota: Se observan en los recuadros, distintas vocalizaciones de aves (1, 2 y 3) y fuentes de sonido antropofónico (4), donde representa las frecuencias en Hertzios (Hz) en el eje vertical y el tiempo en el eje horizontal. Tomado de este estudio 2021

Para lograr representar gráficamente los espectros de sonido se realizan mediante un procedimiento conocido como transformada rápida de Fourier (STFT). Este procedimiento divide la señal entera en una serie de segmentos de tiempos cortos sucesivos o registros. Para representar la serie entera, los espectros se trazan tamaño por tamaño (Oro-Bracco, 2017).

3.4. Comunicación vocal en aves.

Los sonidos producidos por las aves pueden ser de origen mecánico cuando no son de órganos vocales como en el caso de carpinteros por medio del pico, o los saltarines por medio de plumas, mientras que los sonidos de origen vocal son producidos por medio de un órgano traqueal llamado siringe, el cual según las diferentes especies puede variar en su morfología y ubicación (Gill, 2007).

La comunicación vocal en las aves tiene lugar mediante dos tipos de conductas, las llamadas y los cantos, pertenecientes propiamente a las aves paseriformes (Gill, 2007). Estos dos tipos de conducta vocal se distinguen tanto en su estructura como en las funciones que desempeña y las pautas de desarrollo ontogénico que exhibe cada una de ellas. Las llamadas consisten en una nota o sucesión de notas asociadas con ciertas actividades funcionales, como la navegación, o con sucesos del entorno, como la presencia de depredadores (Akmajian et al., 2017).

Los cantos son secuencias de notas, generalmente más elaboradas y complejas que las llamadas, cuya función está relacionada con la demarcación del territorio y la selección de pareja. Normalmente constan de secuencias de notas de varios segundos de duración separadas por pausas; las notas se agrupan en unidades en varios niveles jerárquicos para formar *sílabas* (agrupación de dos o más notas), *motivos* (secuencias de varias sílabas que se repiten a lo largo

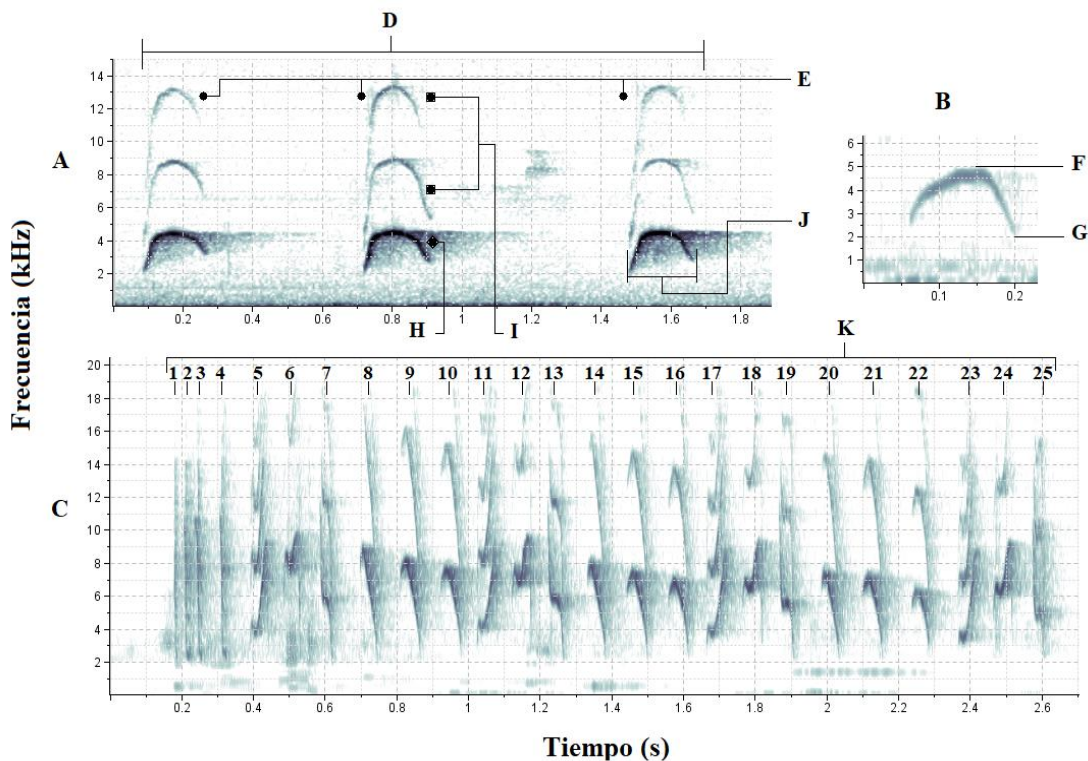
del canto) y *frases* (unidades mayores que encadenan varios motivos y variaciones de estos) (Akmajian et al., 2017).

3.4.1. Representación gráfica de una vocalización.

Los espectrogramas permiten visualizar cómo varía en frecuencia y amplitud una vocalización a través del tiempo. El eje horizontal indica el tiempo transcurrido y el eje vertical indica el valor de la frecuencia de la vocalización. Mientras mayor es el valor de frecuencia, más aguda es la vocalización. Por el contrario, mientras más bajo es el valor de frecuencia, más grave es la vocalización. La amplitud (cuan fuerte o despacio) de las distintas frecuencias a través del tiempo es representada mediante un gradiente de colores (también puede ser de la escala de grises), siendo el color que más se diferencia del fondo el que indica la mayor amplitud. Figura 2 (Bartheld-Villagra et al., 2011).

Figura 2

Visualización de los componentes descriptivos de una señal biofónica de diferentes especies en un espectrograma.



Nota: Vocalizaciones de **A)** *Elaenia pallatangae*, **B)** *Spinus olivaceus*, **C)** *Metallura tyrianthina*, y Elementos vocales correspondientes comúnmente utilizadas para caracterizar los sonidos emitidos donde: **D)** tasa de vocalización que es el número de vocalizaciones producidas en un tiempo dado, **E)** modulación de frecuencia (fluctuaciones en el valor de la frecuencia a través del tiempo), **F)** frecuencia máxima (valor más alto de frecuencia), **G)** frecuencia mínima (valor más bajo de frecuencia), **H)** frecuencia fundamental (frecuencia más baja), **I)** Armónicos (elementos de frecuencia que son múltiplos en frecuencia de la frecuencia fundamental), **J)** duración de la vocalización, **K)** número de elementos (notas) dentro de una vocalización $n = 25$. Fuente: Esta investigación.

3.5. Ecoacústica.

La ecoacústica está definida como una disciplina teórica y aplicada, que busca investigar e interpretar el papel del sonido en el ambiente; es así, como se traduce en una herramienta emergente que estudia las relaciones entre los sonidos producidos en el medio, a escalas espaciales y temporales (Farina & Gage, 2017a; Krause & Farina, 2016). Aunque está estrechamente relacionada con la bioacústica, se diferencia de ésta al considerar que el sonido es tanto un componente como un indicador de procesos ecológicos, mientras que la bioacústica es una disciplina que estudia el comportamiento animal; siendo el sonido una señal que transfiere información entre individuos (Sueur & Farina, 2015).

Los estudios en ecoacústica implican la investigación del sonido como sujeto para comprender las propiedades del sonido, su evolución y su función en el entorno, por lo tanto se considera el sonido como un atributo ecológico, que se puede utilizar para investigar una amplia gama de aplicaciones las cuales incluyen; la diversidad, la abundancia, el comportamiento y la dinámica de los animales en el medio ambiente, entre otros (Farina & Gage, 2017a).

3.6. Paisaje sonoro.

El paisaje sonoro resulta ser un producto generado por los diferentes componentes bióticos o abióticos, en un espacio o matriz, que es percibido e interpretado sucesivamente por los organismos que conviven en él por medio de mecanismos semióticos y cognitivos (Farina, 2014; Farina, Lattanzi, et al., 2011; Farina & Belgrano, 2006; Farina & Fuller, 2017; Farina & Gage, 2017b; Gasc et al., 2017; Mullet, 2017).

Aunque existen diferentes definiciones del paisaje sonoro, la síntesis de este se encuentra dada, por el hecho de resultar de la colección y solapamiento, de sonidos que son de distinto tipo (biológicos, geofísicos y/o antropogénicos), y pueden variar a través de escalas espacio-

temporales, haciendo que, puedan reflejar importantes procesos que ocurren en los ecosistemas y en las actividades humanas (Pijanowski, Farina, et al., 2011).

3.6.1 Componentes del paisaje sonoro

3.6.1.1. De origen biológico, biofonías.

Corresponden a aquellos sonidos producidos por todos los organismos que conviven dentro de un paisaje en un tiempo determinado (Pijanowski, Farina, et al., 2011). De este modo, dentro de cada tipo de ecosistema, las comunidades de fauna vocalmente activa (insectos, aves, mamíferos y anfibios) serán diferentes y, por ende, las biofonías tendrán diferentes patrones de acuerdo a factores como latitud, temporada y hora del día, entre otros (Farina, 2014).

3.6.1.2. De origen geofísico, geofonías.

Están representadas por todos los sonidos que se producen en el entorno geofísico de determinado momento por agentes naturales no biológicos, tales como: vientos, volcanes, olas marinas, corrientes de agua, lluvia, tormentas eléctricas, rayos, avalanchas, terremotos e inundaciones, entre otros (Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011). Estos sonidos se ven fuertemente influenciados por las características geomorfológicas de determinada región (presencia de valles, cañones, crestas y acantilados), por las condiciones climáticas y el clima local, que determina una propagación y degradación de las ondas sonoras de forma muy variable (Farina, 2006, 2014; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011; Pijanowski, Farina, et al., 2011).

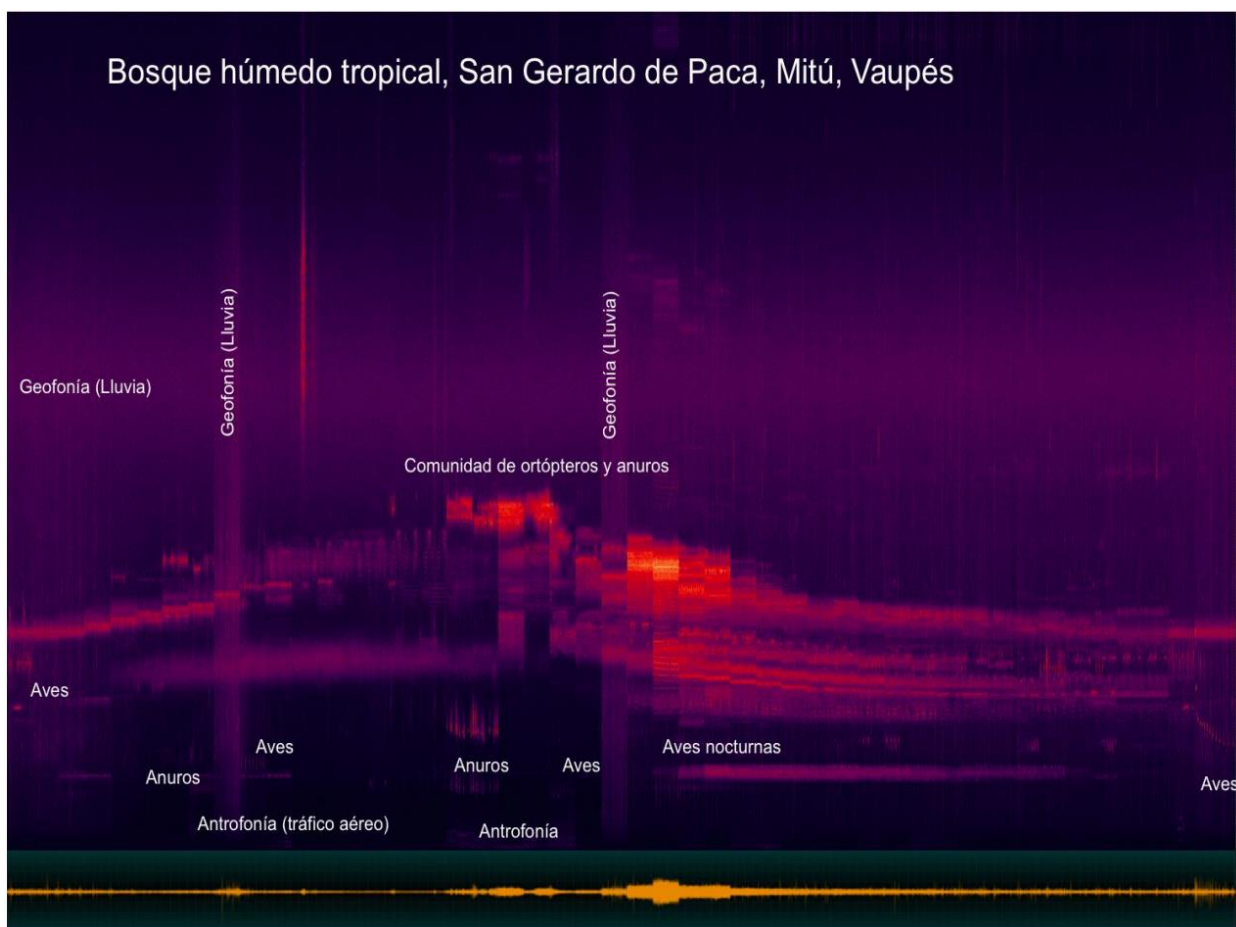
3.6.1.3. De origen antrópico antropofonías/tecnofonías.

Estos sonidos son producidos por objetos de fabricación humana que pueden ser móviles o estacionarios que, al ser un reflejo de las actividades humanas funcionan como una excelente variable para considerar en cualquier estudio dentro de sistemas naturales con incidencia humana (Farina, 2017; Pijanowski, Farina, et al., 2011; J. W. Smith & Pijanowski, 2014). Cabe resaltar que de acuerdo a Farina (2014) los sonidos provenientes de la vocalización humana hacen parte de las biofonías mas no de antropofonías. De esta manera, estudios más recientes suelen emplear la palabra tecnofonía para evitar malentendidos sintácticos (Duarte et al., 2015; Farina & Ceraulo, 2017; Farina & James, 2016; Gage & Joo, 2017; Napoletano, 2017). Sin embargo, aunque el sonido de la voz humana está relacionado perceptivamente con los sonidos naturales, en combinación con los sonidos tecnológicos es ampliamente rechazado y además en el caso de ser generados dentro de un lugar tranquilo, suele ser considerado como una perturbación (Farina, 2014).

Los componentes de un paisaje sonoro pueden verse representados mediante un espectrograma en donde se puedan visualizar como es el arreglo de estos a través del tiempo, tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3

Representación de los componentes de un paisaje sonoro en un espectrograma.



Nota: Espectrograma de una señal de audio, con una frecuencia de 100 a 22100 Hz en el eje vertical, tiempo (24h) en el eje horizontal y la intensidad del sonido en una escala de negro a naranja, en donde se identifican los diferentes componentes de un paisaje sonoro. Tomado de: Caycedo-Rosales & Gonzáles, 2018.

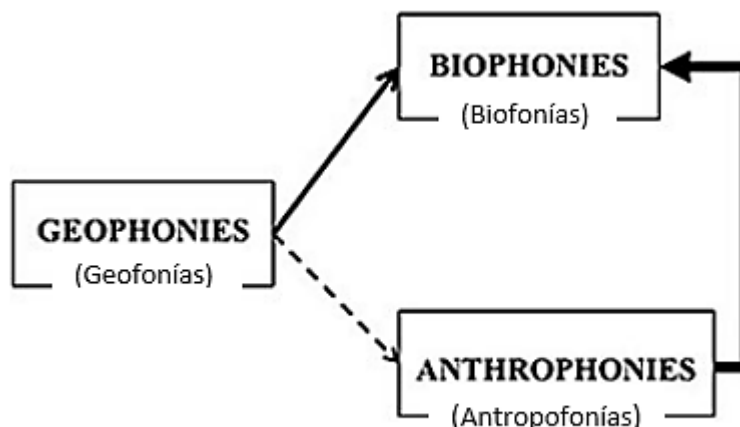
3.6.2. Interacción entre fuentes.

La interacción entre estas tres fuentes de sonido genera patrones peculiares en los sonidos del ambiente, por ejemplo: las geofonías, representan la variable independiente respecto a las biofonías y antropofonías, debido a que, es el principal efector de estas dos últimas, en especial de las biofonías. Cabe resaltar que las antropofonías, aunque no se ven tan afectadas por las

geofonías si ejercen una notable presión sobre las biofonías como observamos en la figura 4 (Farina, Lattanzi, et al., 2011; Farina, 2014; Pijanowski, Farina, et al., 2011).

Figura 4

Interacción entre los componentes del paisaje sonoro.



Nota: Tomado de: Farina, 2014.

3.6.3. Concepto de figura-fondo.

Los eventos sonoros que ocurren dentro de un paisaje tienen características cualitativas (categorías de frecuencias) y cuantitativas (nivel de presión sonora), los cuales varían temporal y espacialmente, creando así, gradientes sonoros dinámicos que generan información en el medio donde se desenvuelven (Farina, 2014). Es así como el ambiente sonoro se transforma en una importante fuente de información, la cual desde el concepto de Figura-Fondo de Gestalt, la totalidad perceptiva del paisaje sonoro se subdivide en; sonidos de primer plano los cuales son impredecibles espacio-temporalmente (Foreground) y sonidos de fondo, más cíclicos los cuales se convierten en marcas de orientación (Background) (Farina, 2014; Farina & Belgrano, 2006; Koffka, 1935; Oro-Bracco, 2017).

3.6.4. Fidelidad del paisaje.

Dependiendo de la intensidad de sonido dentro de un paisaje, se tienen paisajes de alta fidelidad (Hi-fi) en los cuales es posible la distinción de cada componente sonoro sin efectos significativos de enmascaramiento, mientras que en los paisajes de baja fidelidad (Lo-fi), hay un marcado solapamiento de sonidos, resultando en un difícil proceso de distinción de los sonidos individuales (Farina, 2014). Sin embargo, no necesariamente son características que hagan referencia al ruido o polución del sonido (Farina & Gage, 2017b; Oro-Bracco, 2017).

3.7. Ecología del paisaje sonoro.

La Ecología del paisaje sonoro tiene principios similares a la ecología del paisaje tradicional, puesto que se centra en la relación entre patrones espaciales y correspondientes procesos ecológicos que suceden a través de una extensión geográfica (Farina & Fuller, 2017; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011). Por ende, resulta de la inclusión dentro de un contexto geográfico, encargándose de estudiar varios aspectos como; patrones acústicos espaciotemporales de las interacciones sonoras (biofonías, geofonías y antropofonías), la identificación de procesos biológicos y antrópicos, el estudio de patrones espectro-temporales del paisaje sonoro y el análisis sobre cómo los disturbios generan alteraciones en la dinámica del paisaje sonoro, entre otros. De ahí que la ecología del paisaje sonoro en el instante se encuentra dentro la Ecoacústica (Farina, 2014; Farina & Belgrano, 2006; Gage & Farina, 2017; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011; Sueur & Farina, 2015).

Dentro de un paisaje, la irregularidad intrínseca que este presenta conlleva a una determinada heterogeneidad en la distribución de los recursos, por ende, los animales se verán obligados a agruparse de acuerdo a estos patrones en distintos niveles y escalas donde llevarán a

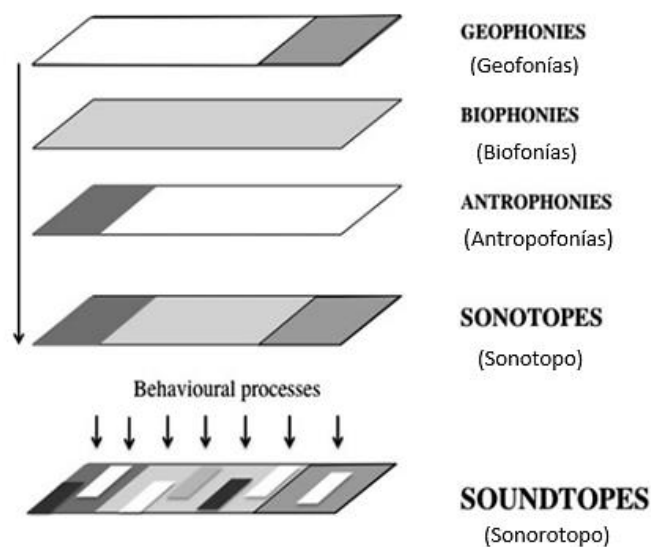
cabo sus funciones comportamentales (Farina, Lattanzi, et al., 2011; Farina & Belgrano, 2006; Kolasa & Pickett, 1991).

De este modo, mientras que en la ecología del paisaje; un ecotopo es el coincidente solapamiento de los geotopos y biotopos con patrones regulares, de manera equivalente, el sonotopo corresponde a un parche sonoro, producto de la interacción de geofonías, biofonías y antropofonías dentro de un mosaico acústico como se observa en la figura 4 (Farina, 2014; Farina & Fuller, 2017).

De forma intrínseca, en un sonotopo se presentan potenciales divisiones creadas solamente por las dinámicas comportamentales, las cuales transcurren en las biofonías emitidas de manera intra e interespecífica por su base semiótica en determinados momentos, permitiendo así, intercambiar información entre miembros colaborativos de una comunidad, a estas capas secundarias se los llama sonorotopos como se observa en la figura 5 (Farina, 2014; Farina & Belgrano, 2006; Malavasi & Farina, 2013).

Figura 5

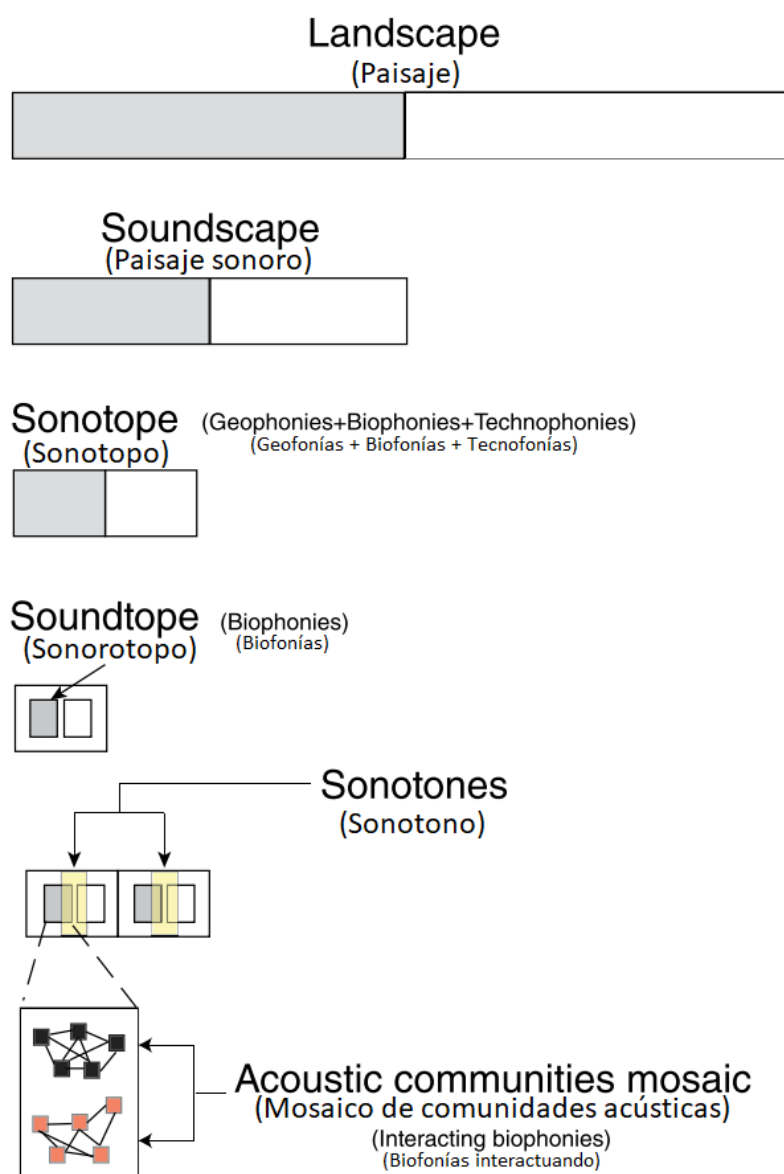
Conformación del sonotopo.



Nota: Integración de los tres componentes del paisaje para conformar lo que se denomina como *Sonotopo*. Tomado de Farina, 2014.

Al igual que ocurre en los ecotonos, los ecotonos acústicos o sonotonos son zonas de tensión entre diferentes parches sonoros, producto de las diferencias y heterogeneidades entre sonorotopos creando complejas configuraciones acústicas, así como se puede apreciar en la figura 6 (Farina & Fuller, 2017).

Por otra parte, dentro de los sonorotopos podemos encontrar subunidades denominadas comunidades acústicas (Farina, 2014; Farina & Fuller, 2017). Las cuales según Farina & James, 2016. corresponden a *“la integración de especies vocalmente activas, presentes en ambientes acuáticos o terrestres, las cuales conforman el componente biofónico de un paisaje sonoro y se caracterizan por su firma acústica, la cual, resulta de la distribución de la información sonora asociada con la amplitud y frecuencia de la señal, en donde estas comunidades pueden ser descritas de acuerdo a su hábitat, el rango de frecuencia de las señales y su temporalidad.”*.

Figura 6*Estructuración del paisaje sonoro.*

Nota: Niveles y subniveles presentes dentro de los paisajes sonoros. Tomado de: (Farina & Fuller, 2017).

3.7.1. Hipótesis de adaptación acústica (HAA)

Las comunidades de especies vocalmente activas emiten señales para cumplir diferentes funciones y se organizan con el fin de evitar el enmascaramiento de dichas señales, en consecuencia, los diferentes procesos comunicativos se ven limitados en la eficacia y eficiencia del proceso en cuanto a diferentes factores como la densidad, el tipo de señal utilizada y las condiciones ambientales (Farina, 2014; Krause & Farina, 2016; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011).

Esta relación de las características sonoras entre el entorno-emisor-receptor están enmarcadas dentro de la Hipótesis de Adaptación Acústica (Ey & Fischer, 2009; Gish & Morton, 1981; Morton, 1975; Nottebohm, 1985). La cual propone que las frecuencias dominantes y otras características de las señales acústicas, son el resultado de una interacción entre los animales y el entorno con el fin de maximizar la eficiencia en la transmisión de los sonidos emitidos, igualmente, tanto la frecuencia como la estructura del repertorio vocal, son los rasgos plásticos que pueden modificarse de acuerdo con la restricción ambiental a través de un rango temporal y que pueden ser evaluados (Ey & Fischer, 2009; Farina, 2014; Morton, 1975). Lo anterior, enmarcado en el contexto de que la producción de sonidos conlleva a un gasto energético valioso que no puede ser desperdiciado incidiendo en procesos adaptativo (Davidson et al., 2017; Farina & Ceraulo, 2017; Krause & Farina, 2016; Morton, 1975; Sueur & Farina, 2015; Velásquez et al., 2018).

3.8. Antecedentes

El término paisaje sonoro (soundscape) fue empleado por primera vez por Michael Southworth (1969), quien analizó la percepción del ruido por parte de las personas dentro de las ciudades (Pijanowski, Farina, et al., 2011). Posteriormente, a principios de la década 1970 el

compositor y humanista Raymond Murray Schafer, emprendió un proyecto titulado “World Soundscape Project” en el cual, se formaliza el término paisaje sonoro, además se realizaron grabaciones del medio natural, el medio urbano y el contraste entre las dos, con el fin de registrar sonidos presentes en el paisaje al momento de la grabación, también en trabajos posteriores con investigadores como Truax (1978), llevan a cabo la profundización en aspectos como la periodicidad y comportamiento de los sonidos y finalmente llevaría a cabo una primera aproximación a la clasificación de los sonidos de acuerdo al solapamiento y distinción de los componentes sonoros (Paisajes sonoros Hi-fi y Lo-fi) (Bustos-Palacio, 2013; Pijanowski, Farina, et al., 2011; Schafer, 1977).

Una década después Krause (1987) realizó la primera mención de los términos geofonía y biofonía, describiendo la compleja organización de los sonidos de origen biológico y otros sonidos de origen ambiental concurriendo en un sitio (Bustos-Palacio, 2013; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011).

A partir del año 2010, los estudios relacionados al paisaje sonoro empiezan a ganar relevancia, sobre todo a partir de los trabajos publicados por Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al. (2011) y Pijanowski, Farina, et al. (2011) en donde compilan la información de trabajos llevados a cabo previamente, además de definir clara y concisamente determinados conceptos que permiten establecer el campo de investigación correspondiente a la ecología del paisaje sonoro, estableciendo el marco de referencia para las investigaciones que se han desarrollado hasta el momento.

Respecto a los procesos de adaptación vocal de las especies, de igual manera durante la década de los 70 los resultados de las investigaciones en la propagación del sonido, claramente venían demostrando que el efecto del ambiente incidía sobre la estructura de las señales

acústicas, es así, como Morton (1975), notó diferencias en la composición de frecuencias en vocalizaciones de aves entre distintos tipos de hábitats, dando así, un primer acercamiento a la hipótesis de adaptación acústica y que además, esta presión de selección impuesta por el medio variaba en diferentes entornos en donde las vocalizaciones de los organismos cambiaban entre lugar (Richards & Wiley, 1980).

Ya en años posteriores estos resultados se comprobarían en diferentes medios en investigaciones como la de Marten & Marler (1977) en hábitats templados, observando selección en frecuencias dependiendo de la composición vertical del medio. Sumado a estos; ensayos a nivel de subespecie como el trabajo de Patten et al. (2004): Donde cada subespecie presentaba adaptaciones respecto al tipo de señal que empleaban con el fin de desenvolverse de manera óptima en su respectivo medio. Por otra parte, altos niveles de presión sonora ambiental también han determinado que las especies tengan que cambiar sus patrones comportamentales, con el fin de poder llevar a cabo el proceso comunicativo, tornándose más simples, altos en frecuencia o vocalizando solo cuando los niveles de presión sonora en el ambiente son bajos (Duarte et al., 2015).

Los trabajos más recientes se centran en aspectos relacionados con el enmascaramiento y modificación de valores acústicos en cantos y llamadas, tales como; frecuencia, amplitud, ancho de banda, o número de elementos de un canto, los cuales, son de vital importancia y por ende, están enfocados a disminuir la atenuación de señales y su distorsión en el medio, por influencia de fuentes de ruido, ya sean, geofonías, antropofonías u otras biofonías (Brumm & Naguib, 2009; Brumm & Slabbekoorn, 2005; Morton, 1975).

Aunque el estudio del paisaje y el efecto de la dinámica sonora ambiental sobre la respuesta en las especies vocales han sido estudiado intensamente en los últimos años

(Deichmann et al., 2018; Gasc et al., 2018). En Colombia, los estudios en la Ecología del paisaje sonoro y procesos de adaptación a los entornos sonoros son escasos y se han enfocado en las dinámicas y respuestas de especies a entornos urbanos.

El estudio llevado a cabo en Colombia por Pacheco-Vargas & Losada-Prado (2015); relaciona la Hipótesis de Adaptación Acústica en relación a las densidades poblacionales de las especies *Cyclarhis gujanensis* e *Hylophilus flavipes* en respuesta al ruido y la intervención antrópica producido por el tráfico en un bosque seco; en este estudio, se encuentran cantos con una frecuencia mayor cuando *Hylophilus flavipes* se presenta en lugares cercanos a una carretera, además de generar cantos más duraderos, con mayor cantidad de notas y con una duración entre notas más corta cuando los individuos se ubican en lugares donde la intensidad del ruido está por debajo de los 40 dB, mientras que la densidad poblacional de *Cyclarhis gujanensis* se relaciona de forma directa con el área de bosque al cual se encuentre asociado.

Por su parte, Caycedo-Rosales & Gonzáles (2018) llevaron a cabo la evaluación y el monitoreo de la heterogeneidad del paisaje del área de la Mojana (humedal) en Córdoba, teniendo en cuenta a las comunidades de fauna vocalmente activas asociadas a gradientes ecológicos y concluyendo que las características espectrales permiten categorizar cada macrohábitat en diferentes momentos del día, esto sugiere que cada macrohábitat tiene una forma acústica característica, que podría utilizarse para estudiar la heterogeneidad en el paisaje.

En su trabajo Bustos-Palacio (2013), caracterizó el paisaje sonoro de un espacio urbano en Bogotá, encontrando al ruido ambiental como responsable de frecuencias similares en un espacio acústico determinado, generando frecuencias bajas e intensidades mayores de sonido.

Cabe resaltar la investigación realizada por Morales-Rozo et al. (2021) los cuales llevaron a cabo el registro del paisaje sonoro en el piedemonte llanero del Meta comparando

diferentes sistemas de producción ganadera, estos encontraron diferencias en la actividad vocal y el uso del espacio acústico relacionado a la distancia con respecto a las quebradas, y encontrando diferencias entre sistemas productivos arbolados y sistemas tradicionales.

Respecto a la comunidad de aves pertenecientes a la isla la Corota, estudios realizados por Caicedo & Urbano (2011), reportan 34 especies de aves presentes en la isla en diferentes momentos del año, presentándose de esta manera una dinámica de fluctuación de estos organismos, relacionada con el uso del hábitat, alimento y reproducción, así como también desempeña la función como sitio de paso y descanso para algunas aves migratorias. En relación a la configuración del entorno como un sistema insular y su relación con el uso del recurso acústico, Gallo-Corona (2008), indica que la comunicación de las aves en este tipo de sistemas tipo isla, las características físicas de ambientes abiertos, como la turbulencia en el medio provocada por el viento es un factor que afecta la transmisión eficiente y efectiva de la señal acústica.

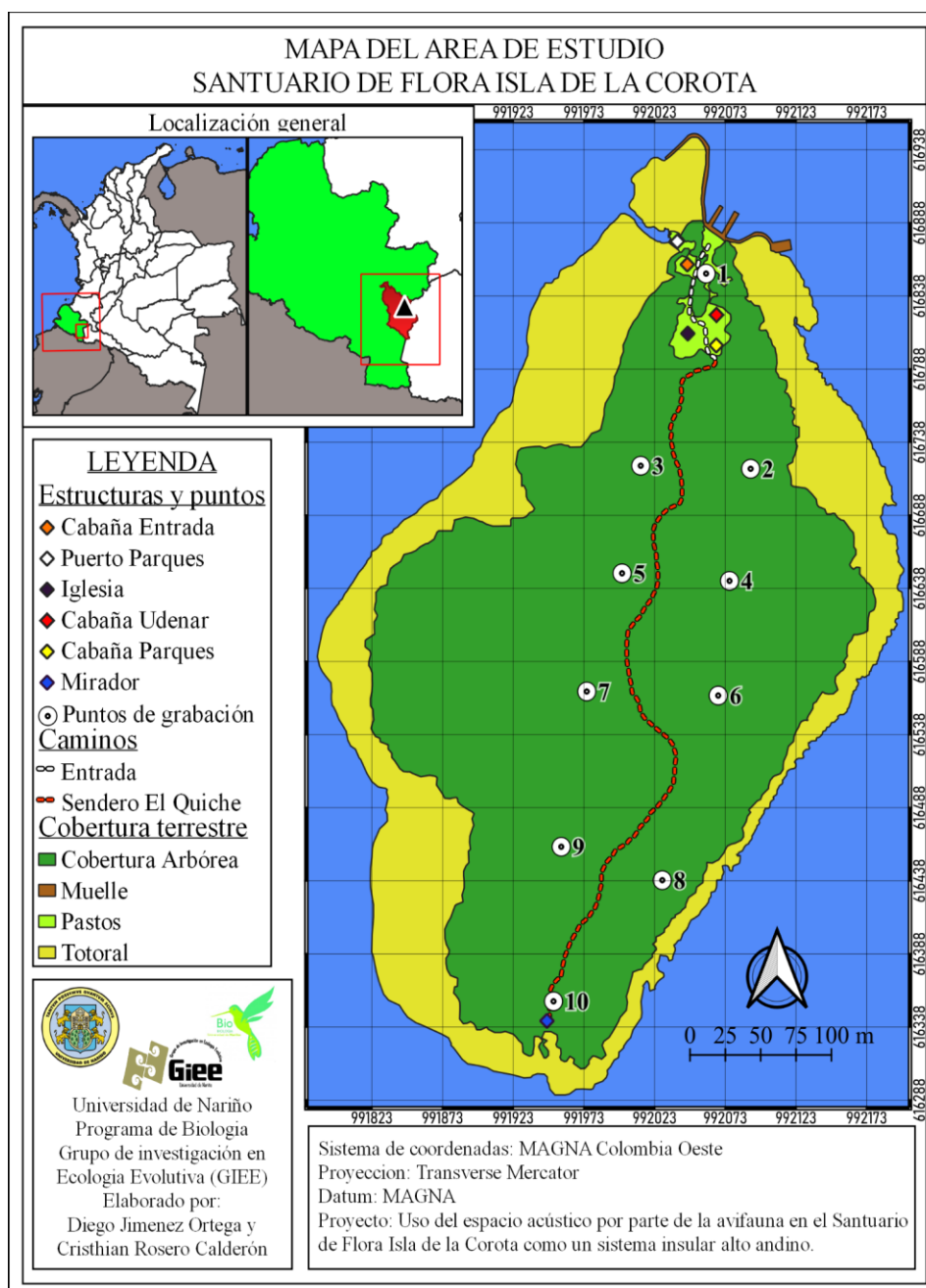
4. Materiales y métodos.

4.1. Área de estudio.

El Santuario de Flora Isla de la Corota (SFIC) se encuentra ubicado en el corregimiento de El Encano, en el Departamento de Nariño; localizado en el norte de la cuenca alta del Río Guamuès, en la vertiente amazónica de la zona andina del sureste de Colombia. Según la información de la estación hidrometereológica del IDEAM localizada en la vereda de Casapamba del corregimiento de El Encano, la temperatura media es 11° C, la precipitación media anual es de 2.000 mm con una distribución monomodal. El mayor valor medio es en junio con 147,5 mm y el valor mínimo 74,7 mm en enero, para un total anual promedio de 1.341,1 mm, el Santuario se encuentra entre las coordenadas geográficas N 01° 07' 56,1'' y 77° 09' 11,24'' (Figura 7) (Caicedo & Urbano, 2011; Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2006).

Figura 7

Mapa del área de estudio Santuario de Flora Isla de la Corota.



Nota: Santuario de Flora Isla La Corota, ubicación de los puntos de grabación (1 a 10) y las diferentes áreas dentro del parque. Punto 1: zona de alta afluencia turística, punto 2, 3, 4, 5 y 6: zona dentro del sendero el Quiche con cobertura arbórea de 15-30 m, punto 7, 8, 9 y 10 zona con cobertura baja y en zona alta con constante incidencia de vientos. Fuente: Este estudio.

Según la clasificación de las zonas de vida establecidas por Holdrige el sitio corresponde a Bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), el cual presenta una humedad relativa del 86% y cuenta con una elevación de 2760 msnm y una extensión de 16 hectáreas (Andrade & Franco, 2004; Cepeda & López, 2009).

Alrededor del 90% de la vegetación de la isla corresponde a bosque andino en un avanzado estado de regeneración, el cual posee una estructura vertical heterogénea con diferentes estratos (estrato rasante, estrato herbáceo, estrato arbustivo y estrato arbóreo) en donde el bosque se encuentra rodeado por un cinturón de vegetación acuática herbácea con predominancia de juncos y totoral, de esta manera, la flora del santuario se encuentra representada por aproximadamente 210 especies de plantas de 65 familias, siendo algunas de las más representativas: Asteraceae, Orchidaceae, Bromeliaceae, entre otras (figura 8) (Muñoz & Rodríguez, 2000).

Figura 8

Vista exterior e interior del SFIC.



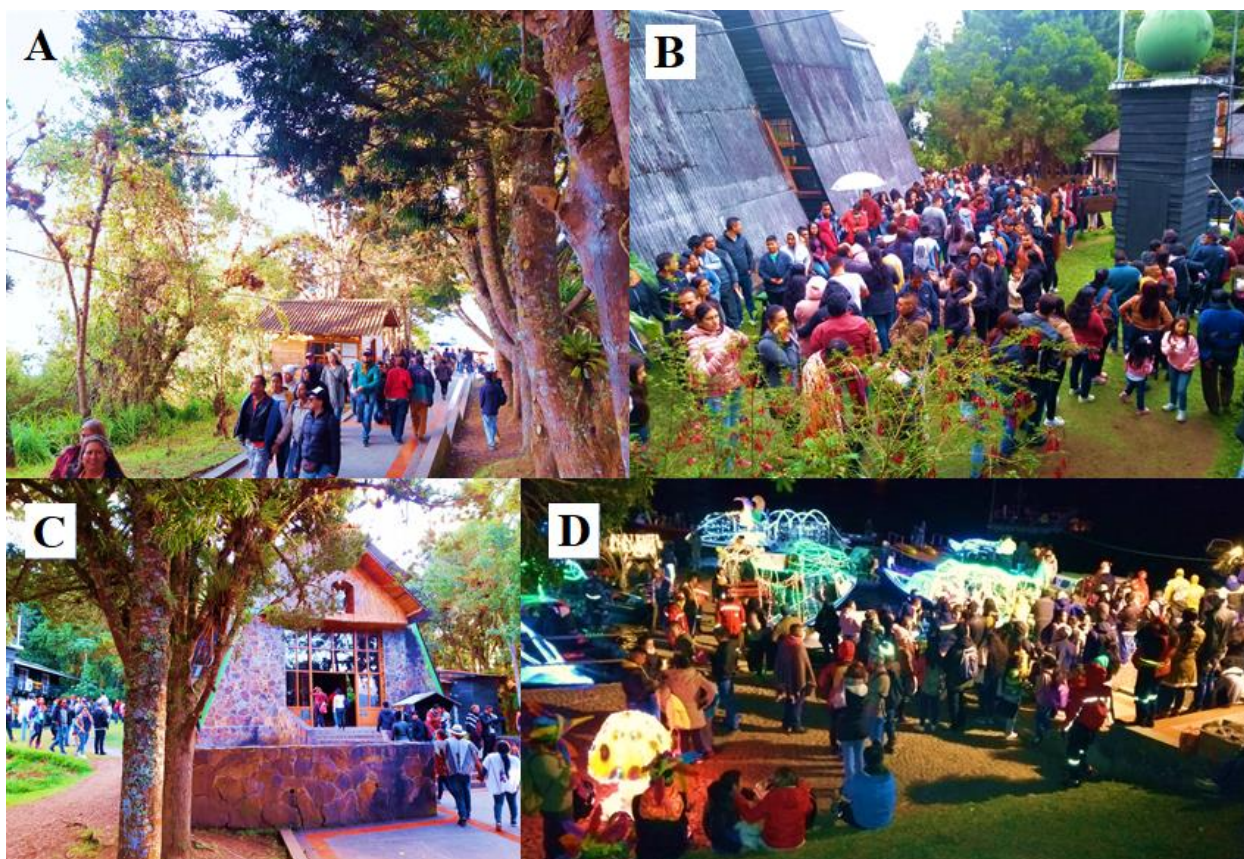
Nota: A) Isla de la Corota, vista dirección vereda Santa Isabel, hacia vereda El Puerto, B) Plataforma de arribo de lanchas con turistas a la isla, C) Vegetación en el Santuario. Fuente: Este estudio.

4.1.1. Actividad turística dentro del Santuario de Flora Isla la Corota.

Generalmente en el SFIC se llevan a cabo actividades turísticas relacionadas con senderismo ecológico y turismo religioso. Durante el mes de enero en el marco del Carnaval de Negros y Blancos de pasto se recibe una afluencia masiva de visitantes tanto de otras partes del país como provenientes de otros países. Sumado a esto, durante el mes de febrero se llevan a cabo las fiestas patronales de la virgen de Lourdes, las cuales son celebradas en su gran mayoría por familias de las veredas que rodean la laguna de La Cocha, como se observa en la figura 9. Estas actividades conllevan altos niveles de ruido en el entorno, puesto que la cantidad de personas que visitan la isla durante estos meses es superior a las actividades regulares de ecoturismo que se adelantan en el Santuario durante el resto del año.

Figura 9

Actividad turística en el Santuario de Flora Isla de la Corota en los meses de enero y febrero de 2020.



Nota: Actividad turística en el santuario de Flora isla de la Corota en el marco del carnaval de negros y blancos en enero y las festividades de la virgen de Lourdes en el mes de febrero, A) Camino principal encementado, B) Aglomeración de personas esperando por lanchas que salgan del SFIC el día de festividades de la virgen de Lourdes, C) Iglesia del SFIC y cabaña de Parques Nacionales, D) Muelle del SFIC en la noche durante las celebraciones de la virgen de Lourdes.

4.2. Obtención de grabaciones.

4.2.1. Ubicación de grabadoras.

Las grabaciones se realizaron utilizando grabadoras automatizadas AudioMoth 1.1.0 a una frecuencia de muestreo de 48 KHz, resolución de 16 bits y formato WAV (Farina, Lattanzi, et al., 2011; Farina, Pieretti, et al., 2011; Merchant et al., 2015). Los archivos de audio fueron almacenados en tarjetas de memoria SDHC de 64 GB de capacidad, de tercera generación con alta capacidad de transferencia de bits por segundo, para obtención de grabaciones de mejor calidad, una por cada grabadora.

Se posicionaron 10 grabadoras automatizadas a lo largo de la isla, (Figura 7), distribuidas de la siguiente forma: 1 grabadora dispuesta en la parte de infraestructura y pastos, las siguientes 8 grabadoras se distribuyeron a lo largo del Sendero El Quiche, separando cada punto de ubicación de las grabadoras en 100 m y ubicando una grabadora a cada lado del sendero a una distancia de 25-50 m aproximadamente, la última grabadora fue ubicada cerca al punto del mirador donde termina el Sendero El Quiche como se observa en la figura 12 (Pieretti et al., 2011; Tenez, 2016).

Cada equipo de grabación se instaló fijándolo sobre árboles a una altura aproximada de 3,5 metros con el fin de poder registrar la actividad vocal en el sotobosque y parte del dosel como se aprecia en la figura 10; se programaron las grabadoras para que registren desde las 05:00 hasta las 18:50 en el horario de actividad de las aves diurnas, las grabadoras se programaron para registrar 1 minuto de grabación con 9 minutos de descanso y grabando los días sábado y domingo en tres salidas de campo programadas en los meses de enero, febrero y septiembre (Merchant et al., 2015; Pieretti et al., 2011; Tenez, 2016). Cabe resaltar que el mes de

septiembre se encuentra dentro del proceso de cuarentena debido a la contingencia generada por el coronavirus SARS-CoV-2.

Figura 10

Instalación de los equipos de grabación (Audiomoth) en el SFIC.



Nota: Procedimiento de programación e instalación de grabadoras sobre los árboles a una altura de 3,5 metros. A) Programación de grabadoras, B), Grabadora instalada dentro de bolsa plástica sellada, C) y D) Instalación de los dispositivos. Fuente: este estudio.

4.3. Configuración del nivel de ganancia en campo de las grabadoras y aproximación a los niveles reales de presión sonora.

Se determinó en campo la ganancia óptima para cada grabadora por medio de ensayos prueba y error; a partir de este nivel de ganancia se realizaron estandarizaciones para calibrar las grabadoras Audiomoth, con una señal comprobada, correspondiente a los sonidos ambientales y sonidos derivados del motor de una lancha con un Sonómetro marca 3M Sound Examiner SE-402 estableciendo la distancia de las fuentes de sonido. De esta manera se determinaron los

niveles estimados de presión sonora en frecuencias bajas de 0 Hz a 2000 Hz de los sonidos presentes en cada grabación, teniendo como referencia la medida de energía promedio (Average Power) propia del software Raven Pro 1.5, de esta forma con los audios generados por las grabadoras Audiomoth se estableció una plantilla base donde se recogieron las medidas promediadas por hora de geofonías y antropofonías que se establecen en este rango de frecuencias (Barron, 2003; Duarte et al., 2015; Echeverri & Gonzáles, 2011; Merchant et al., 2015).

4.4. Caracterización de los componentes del paisaje sonoro del SFIC

Se realizó una descripción de las fuentes de ruido, un conteo de la cantidad de personas que visitaron la isla, las actividades que realizaron, además de la estimación del tráfico de lanchas, teniendo en cuenta la hora de los eventos (Merchan et al., 2014; Tenez, 2016).

Para clasificar los diferentes componentes del paisaje sonoro (biofonías, geofonías y antropofonías) se realizó la inspección visual y auditiva de los archivos obtenidos en campo durante los meses de enero, febrero y septiembre, estos se revisaron por medio del software Raven pro, versión 1.5, ventana de Hann, tamaño de DTF 512 puntos, con superposición 50% (Bioacoustics Research Program, 2017; Gage et al., 2017; Sueur et al., 2008).

Se emplearon índices acústicos para determinar cómo se comportan sus valores en las diferentes grabaciones, se aplicaron dos índices acústicos que se calcularon usando el paquete de análisis *Soundecology 1.3.3* en el programa R 3.1.2 (Barker, 2008; Pijanowski, Villanueva-Rivera, et al., 2011; Villanueva-Rivera et al., 2011).

4.4.1. Índices analizados

4.4.1.1. Índice de complejidad acústica.

Por medio del índice de complejidad acústica (ACI) se produjo una cuantificación directa y rápida de la estructura del paisaje sonoro, puesto que mide variaciones rápidas en frecuencia y amplitud que son típicas de las biofonías. El ACI describe el grado de complejidad sonora de un determinado lugar, atribuyendo a las biofonías en especial cantos de aves un valor mayor de complejidad, mientras que las antropofonías presentan menores valores de complejidad atribuidos a su rango de frecuencias constante (Pieretti et al., 2011). De este modo, este índice calcula la diferencia absoluta entre dos valores adyacentes de intensidad en una sección o bin de frecuencia ($d_k = |I_k - I_{(k+1)}|$) siendo k la posición en una determinada ventana de frecuencia (i) en un set temporal único (j) para finalmente obtener la sumatoria total de intensidad en (j) (Farina, Pieretti, et al., 2011).

$$ACI = \frac{\sum_{k=1}^n I_k - I_{k+1}}{\sum_{k=1}^n I_k}$$

Este índice no tiene un rango definido dado que su valor depende de las intensidades en los audios, la complejidad del audio es mayor a medida que el valor de ACI aumenta, indicando mayor complejidad asociado a la actividad vocal de las aves.

Los valores de este índice se obtuvieron bajo parámetros definidos de la siguiente manera: min_freq = 1000, max_freq = 15000, j = 6, y fft_w = 512 (Tenez, 2016; Villanueva-Rivera & Pijanowski, 2018).

4.4.1.2. Índice de diferencias normalizadas en el paisaje sonoro (NDSI).

Por medio del NDSI se realizó la estimación de los niveles de perturbación antropogénica en el paisaje sonoro analizando las proporciones de antropofonía con respecto a las biofonías.

Los valores de este índice son obtenidos de acuerdo a la fórmula:

$$NDSI = \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha}$$

Donde β representa la densidad de poder espectral para las biofonías (Σ 2-11 kHz) y α representa la densidad de poder espectral para las antropofonías (Σ 1-2 kHz) (Machado et al., 2017). Los parámetros para la obtención de este índice se definieron de la siguiente manera: $fft_w = 1024$, $anthro_min = 1000$, $anthro_max = 2000$, $bio_min = 2000$ y $bio_max = 11000$ (Pijanowski, Farina, et al., 2011; Villanueva-Rivera & Pijanowski, 2018)

4.4.2. Análisis estadístico.

Los resultados de los índices acústicos se analizaron a través de estadística descriptiva para conocer cómo se agrupaban los datos, temporalmente a lo largo del día y espacialmente entre los diferentes puntos de grabación. Se realizaron gráficos de medidas de tendencia central y dispersión, además de gráficos de caja y bigotes para la visualización de los valores obtenidos (Fuchs & Barrantes, 2015; Tenez, 2016).

4.5. Identificación de los patrones de actividad vocal de las aves a lo largo del día en el paisaje sonoro del SFIC.

Para identificar los patrones de actividad vocal de las aves a lo largo del día se realizó un filtrado de selección en la base de datos. Se cuantificó las especies que presentaron actividad vocal a lo largo de las horas de grabación, tomando cada día de grabación como un tratamiento independiente, debido a las diferencias en cantidad de afluencia turística entre los días que se

grabó en la isla. Se realizó un análisis gráfico de la variación y dispersión de los datos obtenidos de las vocalizaciones relacionadas como riqueza total de aves frente a los componentes como: Nivel de presión sonora (dB), horas de grabación, puntos de muestreo y fecha como factor aleatorio: por medio de la comparación de medias, y figuras de barras.

Para analizar los componentes (geofonías, biofonías y antropofonías) se realizó un modelo aditivo mixto generalizado (GAMM) con distribución binomial negativa, ya que los datos que se obtuvieron corresponden a conteos cuya distribución presentó sobredispersión, se tuvo en cuenta la cantidad de cantos de aves como variable predictora, la cual se organizó en una base de datos en términos de riqueza de especies de aves y el nivel de presión sonora de los componentes del paisaje sonoro (geofonías y antropofonías), la hora de grabación y el punto de muestreo se aplicaron como covariables, finalmente la fecha fue tomada como un factor aleatorio.

Para identificar los patrones de actividad vocal de las aves se realizaron matrices de representación de modularidad basados en un enfoque de red bipartita tipo modular (Marín-Gómez et al., 2020). La red de modularidad constituye una forma de determinar cómo se encuentran organizadas las interacciones de las especies en una red, describiendo la predilección de diferentes subconjuntos de especies en la red a interactuar más frecuentemente entre sí que con el resto de las especies en la red y de esta manera formar agrupaciones o módulos (Dehling, 2018; Dormann & Strauss, 2014). Para los criterios de selección de los puntos en los que se realizó la representación de modularidad, se corrió un modelo lineal mixto, teniendo a ACI, como variable predictora y a punto y fecha como covariables; con el fin de observar diferencias en el índice de complejidad y cómo varía a lo largo de los puntos de grabación y tener criterios de selección en los puntos de grabación sobre los cuales realizar las matrices de modularidad.

4.6. Determinación de las diferencias en los parámetros de actividad de las vocalizaciones de aves respecto a los niveles de presión sonora derivada de las condiciones ambientales y antrópicas dentro del santuario.

Con el fin de determinar si la actividad vocal de las aves se ve afectada por los niveles de presión sonora derivada de condiciones ambientales y antrópicas dentro del SFIC, se compararon diferentes modelos lineales generalizados (MLG) con la variable dependiente de actividad vocal de especies, contrastada con los valores del nivel de presión sonora derivados de las actividades antropofónicas y geofónicas. Para obtener estos últimos se procesaron los valores de presión sonora determinados por medio del valor “Average power” arrojado por el programa Raven pro 1.5, considerando solamente los sonidos provenientes de lanchas (ruido antropofónico), viento y lluvias (ruido geofónico) puesto que sus apariciones en los registros sonoros eran constantes y de larga duración. Posteriormente se realizó un ANOVA para analizar el efecto de los factores sobre la media de la variable continua y así tener un criterio de selección de los modelos, para así realizar un análisis del mejor modelo mediante el criterio de selección de Akaike (Leal et al., 2019). Una vez se seleccionó el modelo se observaron los valores de los coeficientes representativos para las especies de aves de las cuales se procedió a realizar gráficos de densidad respecto a la actividad diaria frente a los componentes geofónicos y antropofónicos que permitieran observar las dinámicas entre estos, el MLG se realizó por medio de lenguaje estadístico R, los gráficos también se realizaron en R con los paquetes ggplot2, ggridges, scales y ggpubr (Kassambara, 2020; R Core Team, 2018; Wickham, 2016; Wickham & Seidel, 2022; Wilke, 2021).

También se construyeron árboles de clasificación y regresión (CART, por sus siglas en inglés) con el fin de identificar escenarios de variación de la riqueza frente a los niveles de presión sonora, las horas de grabación y los puntos de muestreo. Los análisis y las gráficas se

realizaron de manera independiente en cada covariable en el lenguaje estadístico R por medio de los paquetes `gamlss`, `ggplot2` (R Core Team, 2018; Rigby & Stasinopoulos, 2005; Wickham, 2016).

5. Resultados

5.1. Caracterización de los componentes del paisaje sonoro del Santuario de Flora Isla La Corota.

Para cada día de muestreo se generaron 84 archivos por grabadora, para un total de 5039 archivos de un minuto de grabación durante los seis días de investigación en los 10 puntos de grabación para un total de 56 horas de grabación.

Cabe destacar que en el SFIC por estudios y lineamientos de PNNC, la capacidad de carga establecida para el ingreso a través del sendero es de 450 personas por día. En el mes de enero el número total de visitantes registrados por Parques Nacionales que ingresaron al sendero El Quiche fue de 5.075 personas y para el mes de febrero se registraron 1.586, para los días de muestreo la cantidad de personas que ingresaron por día se observan en la tabla 1.

Tabla 1

Registro de ingresos de personas al muelle, sendero y áreas de infraestructura dentro del SFIC.

Fecha	Personas en Sendero El Quiche	Personas en área de infraestructuras	Estimado de lanchas que arribaron
*Enero 04	452	6500	950
*Enero 05	452		
Febrero 15	51	5543	710
**Febrero 16	353		
***Septiembre 05	0	30	5
Septiembre 06	0	60	6
Total	1308	12133	1671

Nota: * = Días con presencia turística en el marco de los carnavales de Negros y Blancos, ** = día con presencia turística durante las fiestas de la virgen de Lourdes, *** = día con presencia de

lluvias constantes. Tanto para el mes de enero como para febrero las personas en el área de infraestructuras y el estimado de lanchas que arribaron corresponden al máximo valor de su correspondiente mes.

De igual forma, de acuerdo al tipo de emisión y del componente sonoro del que hiciera parte durante los tres meses de muestreo, los sonidos se categorizaron en varios tipos de elementos como se aprecia en la tabla 2

Tabla 2

Tipos y fuentes de los componentes que fueron registrados en el SFIC durante el proyecto.

Biofonías	Geofonías	Antropofonías
Cantos y llamados de aves Estridulación de insectos Vocalizaciones de mamíferos (murciélagos). Ganado, perros) Vocalizaciones de anfibios	Viento (<i>evidenciado por la intensidad del sonido en los espectrogramas por la saturación en el nivel de reproducción de la grabación</i>) Sonidos movimiento de ramas caída de hojas lluvia	Ruido del motor de las lanchas Voces y conversaciones Sonido de parlantes y música Transformador de luz Gritos (niños y adultos), estornudos, risas y aplausos Pasos o movimiento de personas Ruido de silbatos, silbidos y sirenas

5.1.1. Proporción de biofonías, geofonías y antropofonías en los distintos puntos de grabación a lo largo del SFIC.

En la tabla 3 se observa la variación de los porcentajes de biofonías, geofonías y antropofonías para los tres meses de muestreo, en enero se observó una alta prevalencia de biofonías, y fue el segundo mes con mayor nivel de antropofonías. Por su parte en el mes de febrero los valores de antropofonías presentaron mayor prevalencia en comparación a los otros dos meses y en contraste a este alto valor en antropofonías las biofonías tuvieron menor

prevalencia. Finalmente, el mes de septiembre presentó un escenario diferente con pocos visitantes y lanchas en la isla, durante el día 05 de septiembre se registró un mayor porcentaje de geofonías con un valor de 50.7 %, mientras que las biofonías ocuparon un 47.20 % y las antropofonías únicamente un 2.09 %, estos valores presentan una marcada diferencia con respecto a los registrados el día 06 de septiembre donde se reportó uno de los porcentajes más altos de biofonías con un valor de 83.1 %.

Tabla 3

Proporción de los componentes del paisaje sonoro (biofonías, geofonías, antropofonías) para los diferentes días de muestreo en el SFIC.

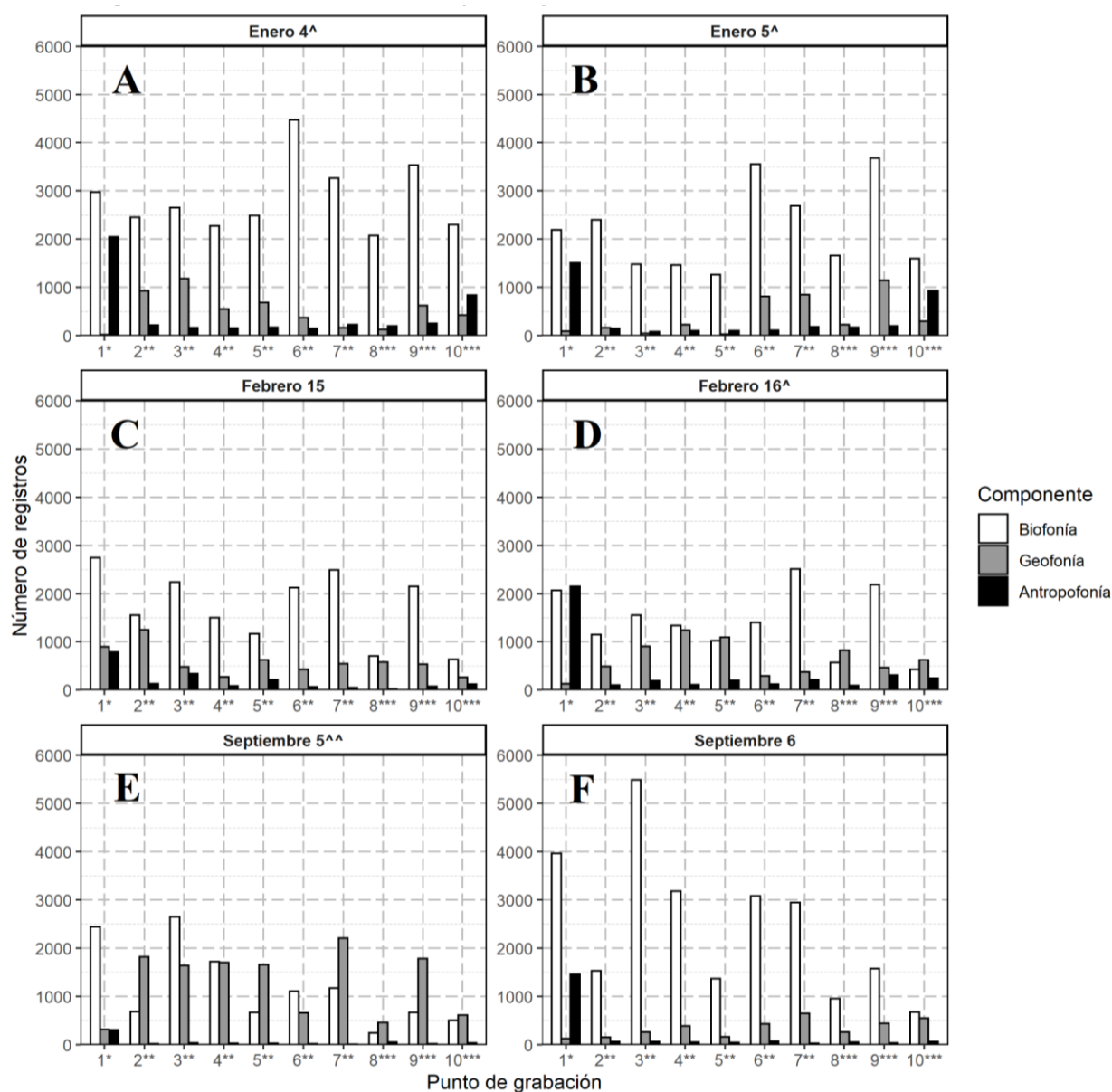
Componente	Ene			Feb			Sep		
	04*	05*	Prom.	15	16**	Prom.	05***	06	Prom.
%Bio	74.17	74.87	74.52	68.94	58.47	63.70	47.20	83.1	65.15
%Geo	11.37	12.39	11.88	7.55	15.19	11.37	50.7	6.34	30.63
%Antro	14.44	12.73	13.58	23.50	26.32	24.91	2.09	10.56	4.21

Nota. * = Días con presencia turística en el marco de los carnavales de Negros y Blancos, ** = día con presencia turística durante las fiestas de la virgen de Lourdes, *** = día con lluvias constantes.

A nivel espacial se registraron variaciones en los componentes del paisaje sonoro a través de los diferentes puntos de muestreo (Fig 11), en general se observó una tendencia de disminución de las biofonías en los puntos más cercanos a las áreas de infraestructuras y pastos.

Figura 11

Registros de los componentes del paisaje sonoro para los meses de enero, febrero y septiembre.



Nota. Número de registros (conteos) para los tres tipos de señales detectadas (biofonías, geofonías y antropofonías) en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de la Isla en los meses de enero, febrero y septiembre. Gráfica A y B: sonidos registrados y variación de los componentes de los días 4 y 5 de enero de 2020. Gráfica C y D: variación de los registros y componentes de los días 15 y 16 de febrero con predominancia de las biofonías en la mayoría de los puntos y con una tendencia similar de enero. Gráfica E y F: días 5 y 6 de septiembre de 2020.

Se observan patrones diferentes respecto a los anteriores meses de grabación y también entre días; en septiembre 5 predominan las geofonías en la isla, mientras que en septiembre 6 predominan las biofonías, (*) punto de grabación en zona abierta y de construcciones, (**) puntos de grabación dentro de la zona forestal, (***) puntos de grabación en zona alta con cobertura forestal baja, (^) días con eventos culturales de alta afluencia turística, (^) día con constantes lluvias.

En la figura 11 se observa que la tendencia general de los componentes del paisaje sonoro de los dos días de enero presenta un incremento de las biofonías en los puntos 6, 7 y 9 del muestreo, mientras que para los dos días de febrero la variación de los registros y componentes del paisaje muestran una predominancia de las biofonías en la mayoría de los puntos de grabación.

El punto 1 se localizó en el área de recepción del parque donde se ubica el muelle, la capilla y las cabañas, aquí es donde se congrega la gente que llega al parque para realizar sus actividades turísticas. En este punto se presentó la mayor proporción de antropofonías y dominaron las frecuencias bajas entre los 100 y 1500 KHZ.

Los puntos 2 y 3 corresponden a un área de transición de sotobosque a bosque con árboles de 15 a 20 m de altura ubicados en los flancos bajos de la isla con una pendiente de aproximadamente 30° de inclinación, en este punto se evidenció una notable disminución de las antropofonías y se observó bandadas mixtas de aves forrajeando en el sotobosque.

Los puntos 4 y 5 se ubicaron al interior del bosque maduro en avanzado estado de regeneración con árboles de 35 m de altura aproximadamente, en estos puntos se registraron nidos activos de la especie *Cacicus chrysnotus* en el estrato medio y alto de los árboles. Aquí, se presentaron eventos de caídas de hojas y ramas categorizados como geofonías que configuran tendencias variables de la dinámica del paisaje sonoro en estos puntos.

Los puntos 6,7 y 9 se ubicaron en la parte final del sendero al interior del bosque maduro donde se presentan pendientes del suelo y un dosel muy denso con pequeños claros de luz, en estos puntos se observó una actividad continua de forrajeo en la copa de los árboles y un notable aumento de las biofonías.

Por último los puntos 8 y 10 fueron los que presentaron menos registros de biofonías debido a su ubicación; el punto 8 fue ubicado en un costado de la isla sobre un peñasco con arbustos de 7 m de altura, esta zona se caracterizó por una alta presencia de vientos y sonidos de motores de lanchas, de igual manera el punto 10 ubicado cerca al mirador presentó una alta cantidad de antropofonías provenientes de personas hablando o pasos de personas, en este punto se detectó el constante sonido de motores de lanchas a lo largo del día.

Para el mes de septiembre se evidencia que los componentes del paisaje sonoro cambiaron a través de los diferentes puntos de grabación, para el mes de septiembre se encontró que los niveles de geofonías y antropofonías variaron con respecto a los anteriores meses de muestreo. Para el 05 de septiembre las geofonías dominaron el entorno sonoro de toda la isla, este día se registraron lluvias constantes y fuertes vientos y los niveles de biofonías y antropofonías permanecieron bajos. Por su parte el día 6 de septiembre se encontró un escenario con niveles bajos de antropofonías y geofonías y los niveles más altos de biofonías registrados durante todo el estudio

5.1.2. Patrones de variación espacial y temporal del paisaje sonoro en el SFIC.

5.1.2.1.1. Índice de Complejidad acústica.

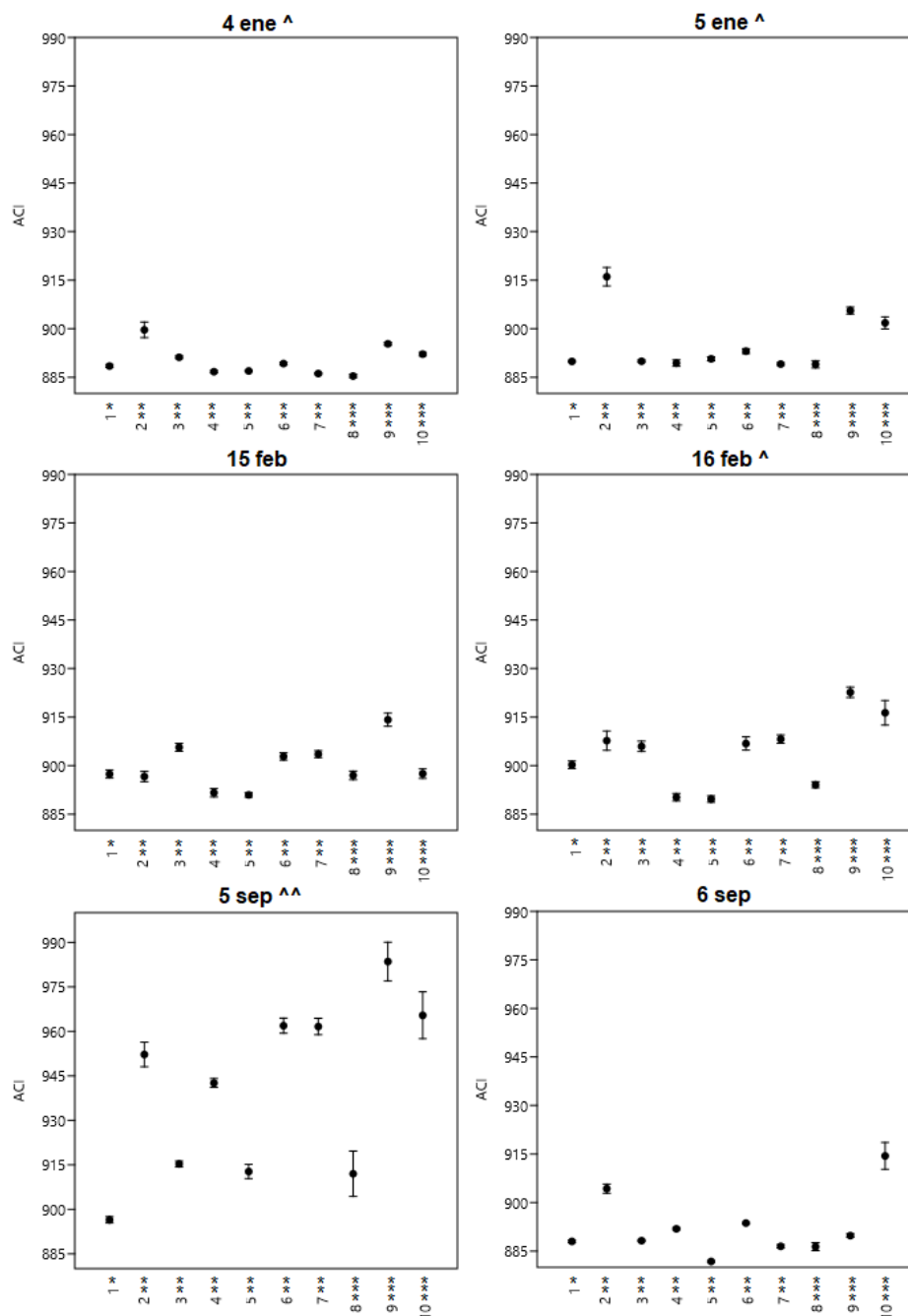
Los resultados del índice de complejidad acústica indican que el paisaje sonoro presentó variaciones a través de las distancias de los puntos de muestreo y entre días, según los valores promedio obtenidos. Para el día 4 de enero se indican valores en un rango de 885 a 900, como se

puede observar en la figura 12, en el punto 2 se presentan valores altos del índice con rangos promedio de 900 que indicarían actividad vocal por parte de la avifauna, así como también un incremento notable en el punto 9. Sin embargo, se debe tener en cuenta como es el comportamiento en cada punto a lo largo del día y cómo varían los valores del índice de complejidad acústica.

Por otra parte, para el día 5 de enero los valores de ACI presentaron un rango de promedios de valor más alto que enero 04, de 885 a 920 indicando una complejidad acústica más alta, en algunos puntos de grabación como lo son los puntos: 2, 9 y 10.

Figura 12

Valores promedio del ACI en los diferentes puntos de muestreo para los meses de enero, febrero y septiembre.



Nota: Valores promedio del ACI en los diferentes puntos de muestreo a lo largo de la Isla en los meses de enero, febrero y septiembre. Se observan valores del índice más altos para el día 5 de

septiembre, respecto a los anteriores meses de grabación. (*) punto de grabación en zona abierta y de construcciones, (**) puntos de grabación dentro de la zona forestal, (***) puntos de grabación en zona alta con cobertura forestal baja. (^) días con eventos culturales de alta afluencia turística, (^^) día con constantes lluvias.

En general para los siguientes puntos de grabación se observa una tendencia similar en el comportamiento de los valores, en un rango de valor de 885 a 895, cuyos valores están relacionados con los eventos de antropofonía que se presentaron en estos días, así como también la presencia de picos de actividad entre un punto y otro denotando dinámicas de movimiento de las aves en la isla, por ejemplo valores bajos del índice en las grabadoras 7 y 8 del día 04 de enero indica una baja actividad vocal de la comunidad de aves en estos puntos.

Para el mes de febrero los valores del índice de complejidad acústica presentaron mayor variación con un incremento en los valores de ACI respecto a enero con rangos desde 890 a 925 en los días 15 y 16 de febrero. Para el día 15 se observa varios puntos con valores altos como lo son los puntos 3,6, 7, Y 9. También se puede observar que la complejidad acústica en la parte intermedia de la isla es homogénea presentando valores altos del índice en comparación con enero. Es de resaltar que entre enero y febrero el tráfico de lanchas presentó dos dinámicas diferentes; para enero el tráfico era constante alrededor de la isla durante todo el día, mientras que para febrero el tráfico se concentró principalmente en el muelle de la isla en una sola ruta desde la vereda El Puerto de El Encano hasta el muelle de la isla durante todo el día.

Para el día 16 de febrero (Grafica D), la complejidad acústica varió respecto al día anterior, los valores de ACI fueron más altos desde los 900 hasta los 923, para este día se presentó la mayor afluencia de personas ya que se celebraba el día principal de las fiestas patronales de la Virgen de Lourdes. Observándose valores altos de complejidad acústica en los puntos 2, 6,9 y 10.

Respecto al mes de septiembre los índices de complejidad acústica presentaron variaciones con rangos desde los 900 hasta los 990 para el día 05 de septiembre, registrando los valores más altos de ACI con respecto a los otros meses de grabación, mientras que para el día 06 de septiembre se establecen los valores de ACI en un escenario sin perturbación con valores de 882 a 914 (Gráficas E y F), observándose diferentes valores del índice de complejidad acústica diferente entre un día y otro, puesto que para el primer día se presentaron lluvias y registros de vientos en contraste del segundo día que presentó condiciones climáticas más favorables.

5.1.2.1.2. Variación temporal del índice de complejidad acústica.

El paisaje sonoro presentó variaciones temporales tanto para las horas de grabación, como para los días muestreados. Respecto a los valores de ACI, para el 4 de enero se presentaron picos en el valor del índice, observándose un primer pico notorio desde las 5:40 hasta las 6:00 como se aprecia en la figura 13, posteriormente los valores de ACI disminuyeron desde las 7:00 hasta las 13:00 en donde vuelven a presentar dos picos de actividad no tan altos como el de las 5:49 pero si notables, uno para las 14:00 y un segundo para las 16:00 que terminan estabilizándose en valores bajos hasta las 18:00 horas.

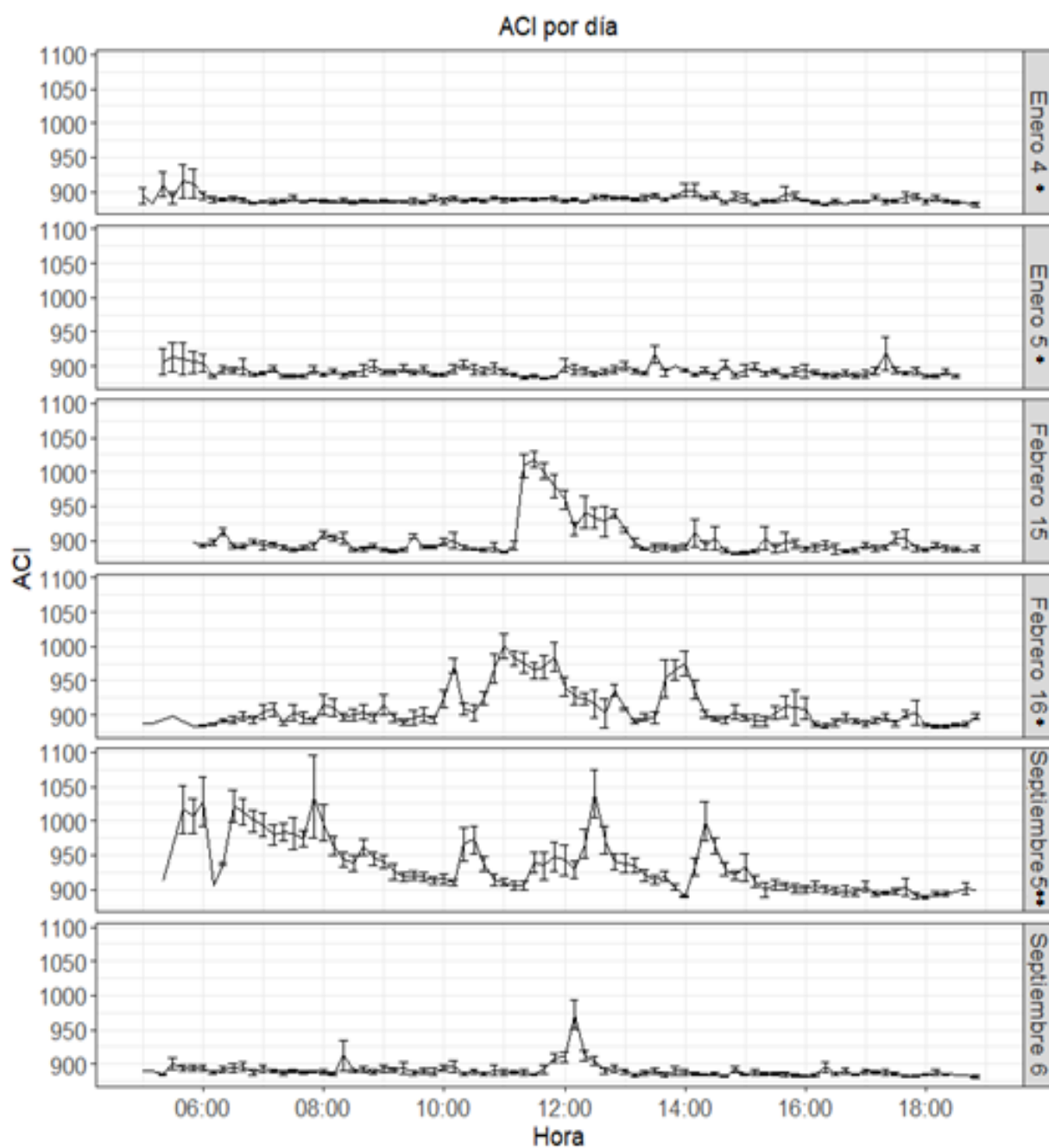
Para el 5 de enero el comportamiento de este índice cambió, aunque presenta el pico del coro diurno similar al del 4 de enero, a partir de las 06:00 no se llega a estabilizar de la misma manera en que ocurre con el día anterior, luego presenta dos picos de actividad a las 13:30 y a las 17:10, cabe resaltar que estos dos días presentan valores estables cercanos entre sí.

Para el mes de febrero este índice, tanto para el día 15 como 16 de febrero presentó valores altos de ACI hacia el mediodía, estos valores del medio día son tan altos que no permiten apreciar picos de actividad en otras horas del día, este mes estuvo marcado por una alta cantidad

de ráfagas de viento y presencia de lluvia alrededor de las 12:00 y también entre las 14:00 y 16:00 horas, especialmente para el día 16 de febrero. Finalmente, el mes de septiembre presentó valores de ACI muy diferentes entre los dos días de muestreo; para el 5 de septiembre se registraron valores muy altos de ACI, siendo estos más altos en las primeras horas de la mañana y con cambios muy abruptos a las 06:10 de la mañana en donde los valores de este índice bajan estrepitosamente a valores de 900 para volver a subir a valores por encima de 1000 alrededor de las 10:00 horas. El patrón de estos valores no se estabiliza y permanece en márgenes muy altos. En cuanto al día 6 de septiembre se presentaron datos más estables rondando valores de 900, se aprecian dos momentos notorios en que aumentan los valores de este índice que corresponden a las 8:10 y a las 12 horas. Cabe resaltar que el día 5 de septiembre se presentaron lluvias intensas en horas de la mañana. Por otra parte, el 6 de septiembre únicamente se presentaron lloviznas leves hacia el mediodía, hora donde se encuentran los mayores valores de ACI de esta fecha.

Figura 13

Valores de ACI a lo largo del día en las diferentes fechas de muestreo.



Nota: (*) días con eventos culturales de alta afluencia turística, (**) día con fuerte presencia de lluvias.

5.1.2.2.1. Índice de diferencias normalizadas en el paisaje sonoro.

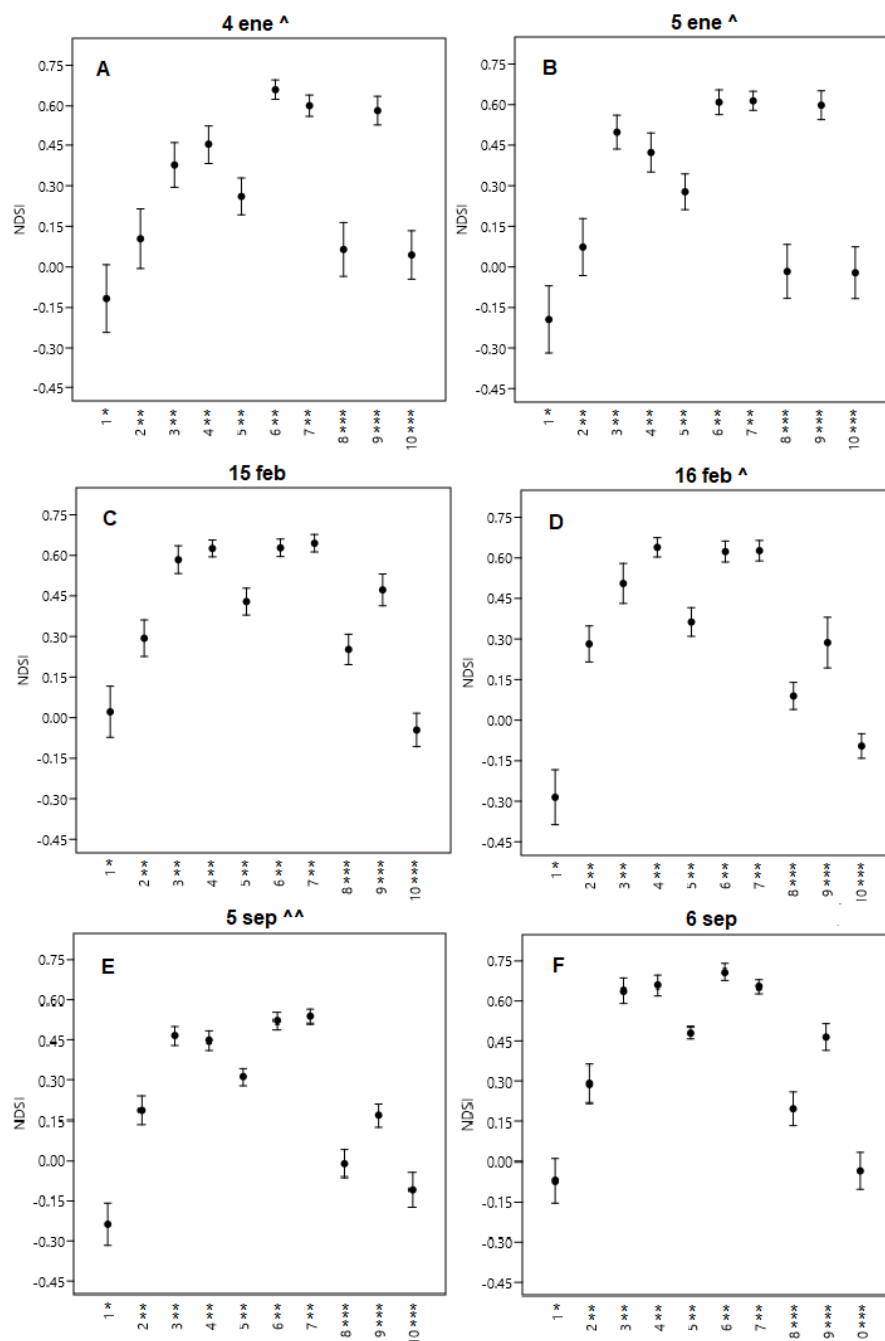
Los valores calculados presentaron variación a nivel espacial para el índice de diferencias normalizadas, evidenciando un nivel de perturbación antropogénica en el paisaje sonoro en los puntos de grabación 1, 8 y 10 a lo largo de los tres meses muestreados. Para los días 4 y 5 de enero los puntos intermedios y finales del transecto presentaron poca prevalencia de antropofonías ya que se obtuvieron valores con variación en un rango de 0,1 a 0,6, siendo este último valor, constante en los puntos 6,7 y 9; como se observa en la figura 14.

La relación entre las antropofonías y las biofonías para los días 15 y 16 de febrero en las grabaciones de campo, presentaron el mismo patrón de distribución espacial en la parte intermedia y alta de la isla para valores con rangos de 0,2 a 0,6 indicando poca intervención sonora de tipo antropogénico al interior de la isla, es así como se evidencia en la figura 21 gráficas C y D; un patrón de distribución similar entre los meses de enero y febrero.

Para el mes de septiembre se presentó el mismo patrón de distribución entre días, observándose una variación mayor en el rango de valores para el día 6 de septiembre desde 0,2 hasta 0,8 como se aprecia en las gráficas E y F.

Figura 14

Valores promedio del NDSI en los diferentes puntos de muestreo para los meses de enero, febrero y septiembre.



Nota: Valores promedio del NDSI. Se observan valores del índice más altos para el día 6 de septiembre, respecto a los anteriores meses de grabación. (*) punto de grabación en zona abierta

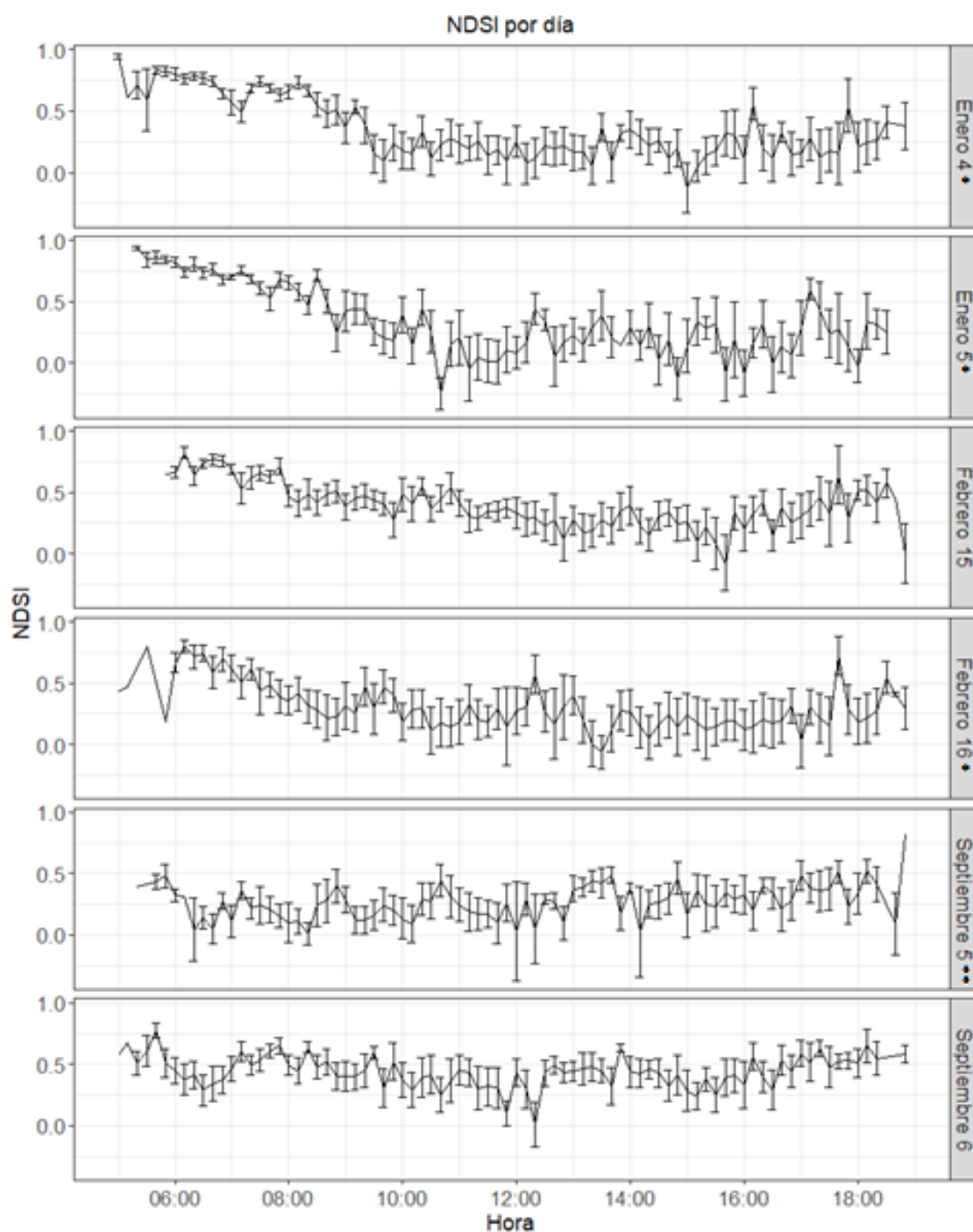
y de construcciones, (**) puntos de grabación dentro de la zona forestal, (***) puntos de grabación en zona alta con cobertura forestal baja. (^) días con eventos culturales de alta afluencia turística, (^^) día con constantes lluvias.

5.1.2.2.2. Variación temporal del índice de diferencias normalizadas en el paisaje sonoro.

Los patrones de variación temporal para el índice de diferencias normalizadas, presentaron un ajuste general de tendencias de 0 a 1 a lo largo de los tres meses de grabación para toda la isla. Se presentaron patrones de valores con tendencia positiva para las horas de la mañana, los cuales a medida que transcurre el tiempo disminuían acercándose a valores con tendencia a cero en las horas del mediodía y con ascensos hacia el final de la tarde, como se observa en la figura 15. Para los dos días del mes de enero, y el día 15 de febrero se registraron valores cercanos al 1 en las primeras horas de la mañana de 5:00 a 7:00 am, por su parte el 05 de septiembre presentó los valores más bajos y constantes, cabe resaltar que fue un día en el cual se presentaron lluvias constantes y fuertes a lo largo de todo el día.

Figura 15

Valores de NDSI a lo largo del día durante las diferentes fechas de muestreo.



Nota: (*) días con eventos culturales de alta afluencia turística, (**) día con fuerte presencia de lluvias.

5.2. Configuración de la ganancia y aproximación a los niveles reales de presión sonora.

Los valores de presión sonora provenientes sonidos de geofonías y antropofonías con frecuencias de 0 Hz a 2000 Hz que se emplearon en la estandarización de ajuste entre las grabadoras Audiomoth y el sonómetro; reportaron un valor de ajuste de + 20 dB con una desviación estándar de 0.3dB desde cualquier distancia examinada con la fuente emisora de sonido, teniendo en cuenta que este valor de ajuste se presentó en todas las grabadoras se prosiguió a realizar los diferentes análisis con los valores de presión sonora obtenidos de las grabaciones en los diferentes muestreos.

5.3. Identificación de los patrones de actividad vocal de las aves a lo largo del día en el paisaje sonoro del SFIC.

Se registró un total de 42 especies de aves vocalmente activas, de las cuales 37 son especies residentes, cinco presentan algún tipo de migración y cuatro especies son de hábitos acuáticos (ver tabla, anexos 1). A continuación, se describe el comportamiento vocal de algunas especies notables dentro del santuario: la especie *Zonotrichia capensis* presentó un activo comportamiento vocal a lo largo del día durante los meses de enero y febrero, sin embargo, para el mes de septiembre su actividad vocal disminuyó drásticamente ya que la especie no emitió ningún tipo de canto y se limitó a emitir llamados esporádicos, esta especie se observó principalmente sobre áreas abiertas y de sotobosque en la zona de recepción de visitantes. La especie *Synallaxis azarae* presentó un activo comportamiento vocal durante los tres muestreos, con dos picos de actividad en la mañana y la tarde.

Por otra parte, se destacan las bandadas mixtas que hicieron presencia de forma permanente a lo largo de los diferentes muestreos, las bandadas se conformaron principalmente

por especies de los géneros *Diglossa*, *Setophaga*, *Elaenia* y *Atlapetes*; quienes permanecían vocalmente activas y en constante movimiento en el sotobosque y el dosel.

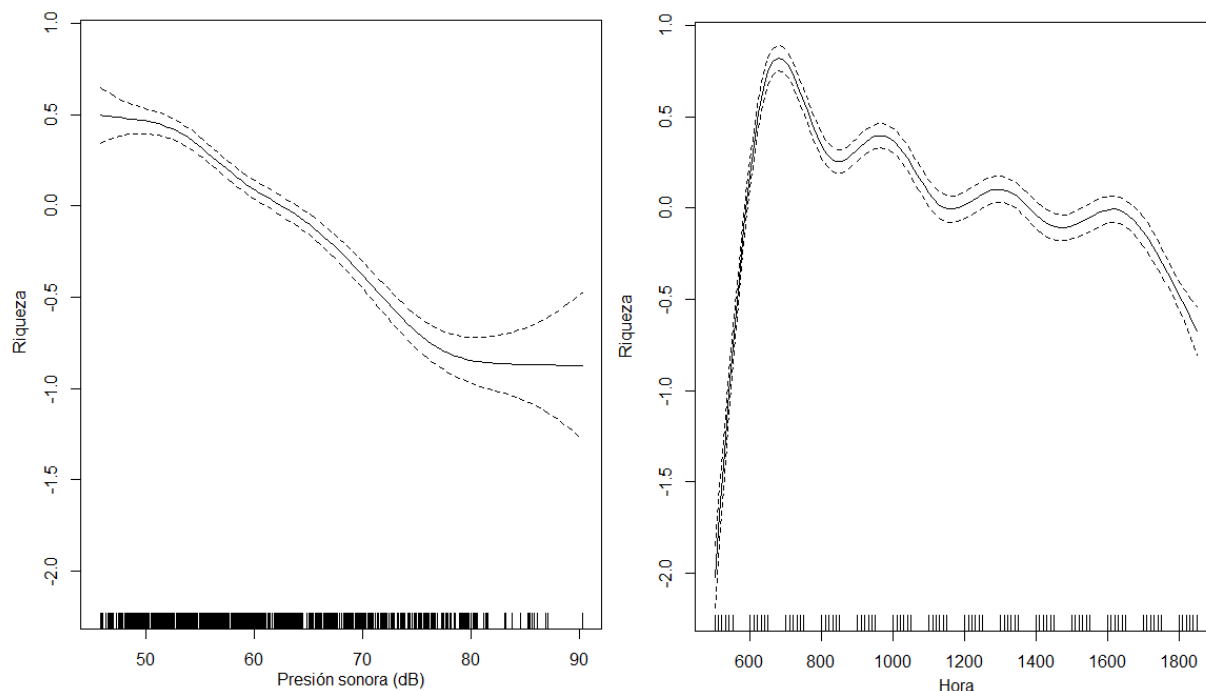
En algunos puntos de grabación específicos como el 1, 6, 7 y 9 se observó nidos activos de la especie *Cacicus chrysnotus*, ésta especie exhibió un activo comportamiento vocal durante diferentes horas del día. Otro de los grupos de aves que presentó una notable actividad vocal fueron los colibríes de la familia Trochilidae (*Colibri coruscans*, *Metallura tyrianthina*, *Coeligena torquata*), quienes permanecían en constantes disputas territoriales en diferentes puntos de la isla, finalmente una de las especies más características en la zona fue *Turdus fuscater*, quien fue registrado durante todos los meses de muestreo con un activo comportamiento vocal.

En la figura 16 se puede observar que los valores de riqueza correspondientes a vocalizaciones de aves con respecto a las variables presión sonora y hora presentan una relación inversamente proporcional, puesto que a medida que aumentan los valores de presión sonora, se genera una disminución de la riqueza de vocalizaciones. Con relación a la variable hora se observa que los valores de riqueza presentan varios picos a lo largo del día, siendo el de la mañana el de mayor valor.

Los resultados encontrados en el modelo GAMM indican que dos de las tres variables analizadas tienen un P value significativo para presión sonora ($F=61.04$, $P < 2e-16$) y punto de muestreo ($F=13.69$ $P= 6.92e-16$) para todas las fechas, indicando una correlación establecida entre ciertos lugares de la isla donde la prevalencia de antropofonías y sonidos de fondo, afecta la incidencia del uso del espacio acústico por parte de la avifauna.

Figura 16

Relación entre riqueza de vocalizaciones de aves y las variables de presión sonora y hora según los datos ajustados al modelo GAMM.



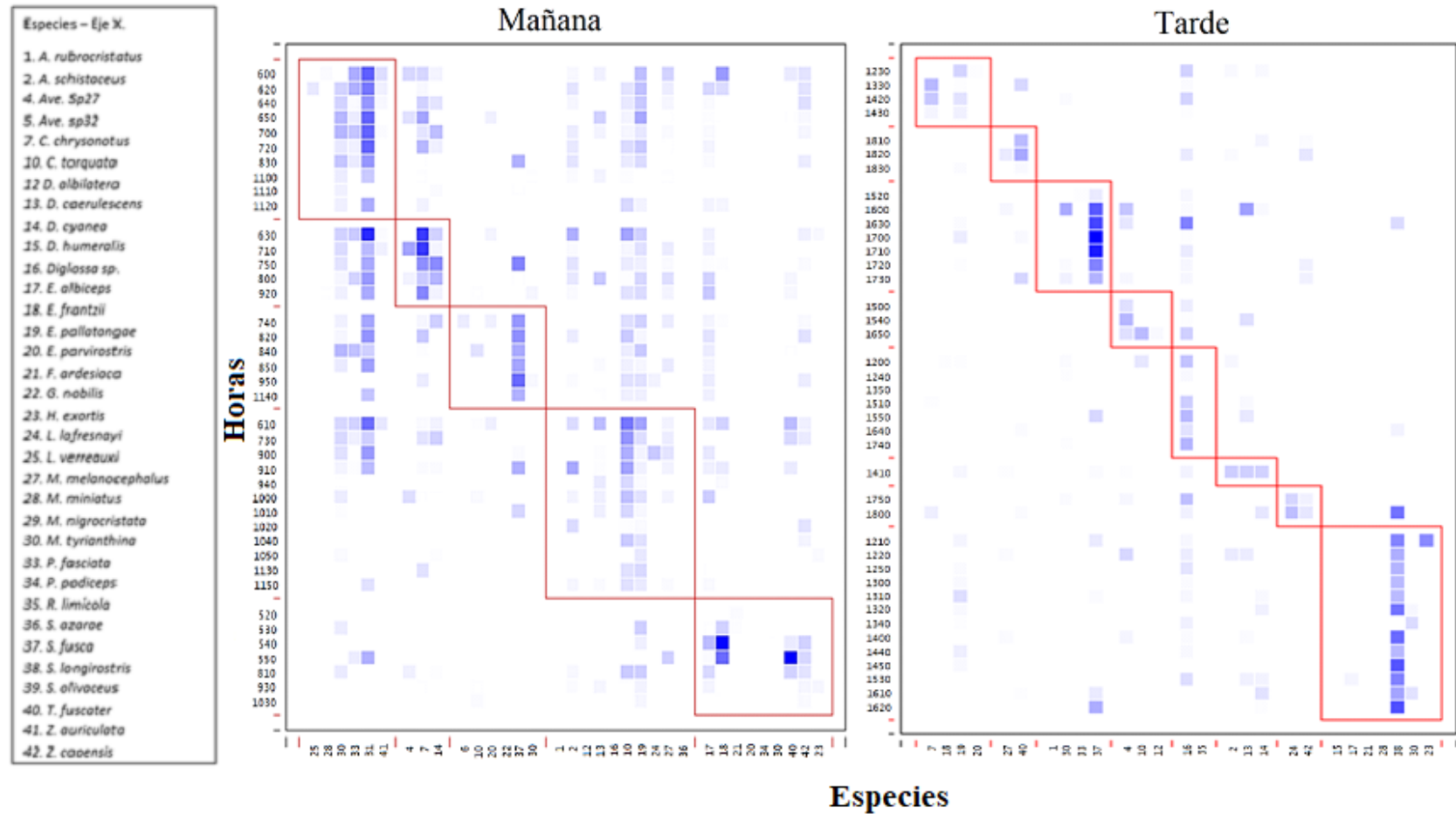
Para identificar los patrones de actividad vocal de las aves a lo largo del día, se generaron matrices de representación de modularidad las cuales indican dos patrones fuertemente marcados para la mañana y para la tarde. En la matriz de modularidad de la figura 17 se indica el uso del espacio acústico por cada especie (Eje X) en cada periodo de tiempo de 10 minutos (Eje Y), es importante resaltar que en la matriz de modularidad no se observa un orden temporal de la actividad vocal tanto en la franja de la mañana como de la tarde.

Se eligió para el análisis el día 05 de enero, ya que este día presentó la mayor afluencia de personas, en comparación a los demás días muestreados, lo que conllevó a un número elevado de lanchas bordeando la isla a lo largo del día. En la figura 17 los valores de modularidad indican una representación de 5 módulos para la mañana (value: 0.265714), cada módulo lo conformaron

entre 3 a 10 especies vocalizando en franjas de tiempo más extensas y para la franja de la tarde (value: 0.4297173), se formaron 8 módulos conformados por 2 a 7 especies, lo que indica que el espacio acústico fue usado y compartido en menor medida por algunas especies; es de aclarar que en la franja de la mañana vocalizaron un total de 34 especies y en la tarde 27 especies.

Figura 17

Matriz de modularidad del uso del espacio acústico por parte de la avifauna para el 05 de enero.

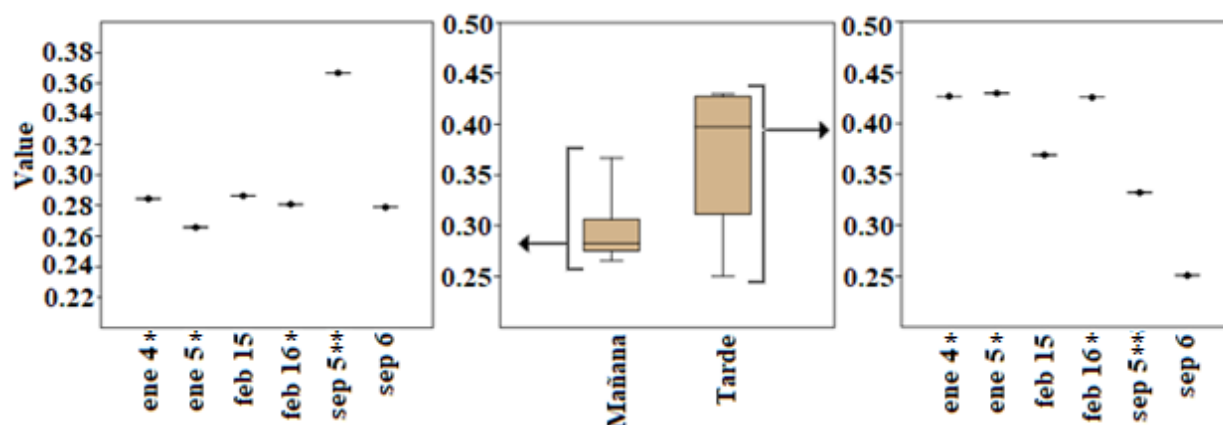


Nota. La intensidad del sombreado de color azul representa el uso del espacio acústico (en determinado momento del día) por cada especie en cada período de 10 minutos, a mayor intensidad, mayor cantidad de registros vocales.

Para los días restantes los valores de modularidad reflejaron una tendencia similar al día analizado tanto para enero como para febrero, mientras que para septiembre se presentó mayor modularidad en horas de la mañana, como se observa en la figura 18. Por ejemplo, para septiembre 5 se tiene: mañana; value= 0.3667894. Tarde; 0.332065. Septiembre 6 se tiene: mañana; value= 0.2788603. Tarde; 0.2505859.

Figura 18

Valores de modularidad para la mañana y tarde entre los diferentes días.



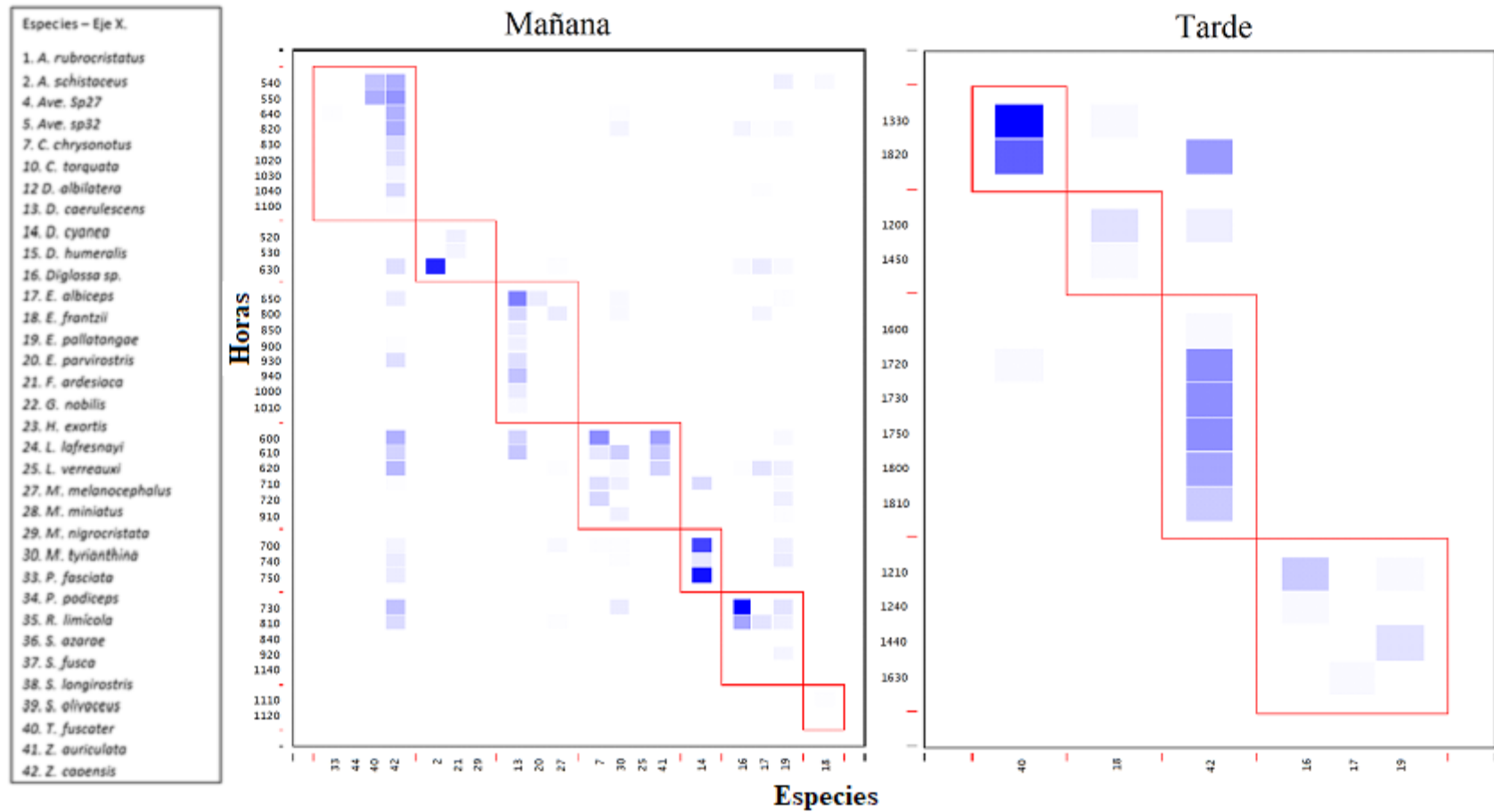
Nota. En general los valores de modularidad son más bajos en la mañana, parte izquierda de la figura, mientras que en la tarde son más altos; parte derecha, (*) días con eventos culturales de alta afluencia turística, (**) día con fuerte presencia de lluvias.

Por otra parte, también se observó que las representaciones de modularidad por punto de grabación, presentaban patrones en el uso del recurso acústico; los criterios de selección sobre cuáles puntos eran más representativos, en la base de datos, de acuerdo a los resultados del modelo lineal generalizado mixto arrojaron un p value significativo para los efectos fijos de punto en función de fecha con un valor de $1.03e-10$ ***. Al observar las comparaciones de las matrices estimadas y la gráfica a lo largo de las fechas, se observaron que los puntos 1, 2, 4, 6 y 9 presentaban un valor de ACI representativo (ver anexos, 2).

Nuevamente para la representación de los puntos seleccionados, se realizó la ejemplificación sobre un punto de muestreo, en este caso se utilizó el punto 1 del día 05 de enero con las dos franjas de actividad, mañana y tarde, como se puede observar en la figura 19.

Figura 19

Matriz de modularidad del uso del espacio acústico por parte de la avifauna para el 05 de enero en el punto 1.



Nota. La intensidad del sombreado representa el uso del espacio acústico (min) por cada especie en cada período de 10 minutos.

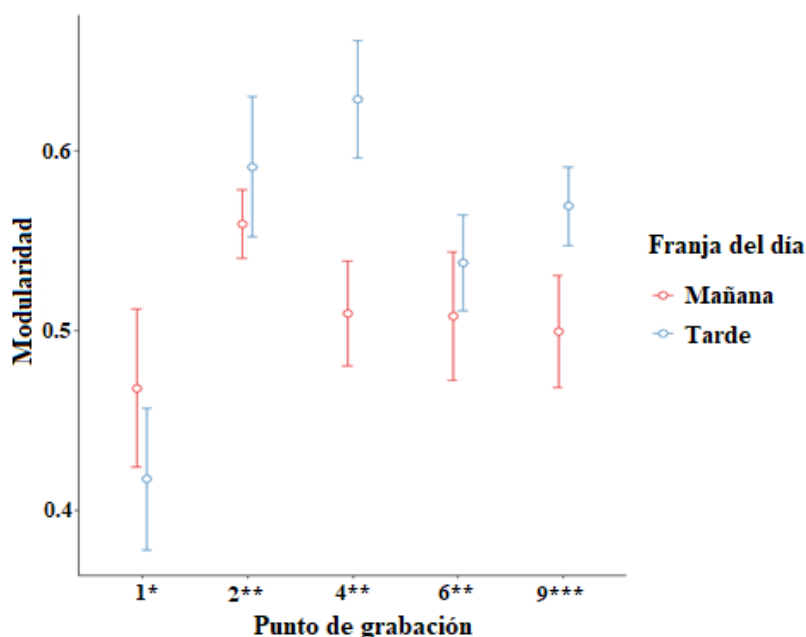
Se puede observar que a nivel de punto en el horario de la mañana se presentan una proporción de 7 módulos similar a la matriz general presentada anteriormente, en este caso con 19 especies emitiendo algún tipo de vocalización o llamada en segmentos de horas con bloques amplios de uso del recurso acústico por parte de diferentes grupos de aves en diferentes arreglos temporales.

Para la matriz de modularidad de la tarde se presentó un panorama distinto por la perturbación antropogénica, ya que se presentan 4 módulos con 6 especies vocalizando en distintos horarios. En estos módulos 3 especies se ubican en franjas individuales con horas no consecutivas como es el caso para *T. fuscater* vocalizando en dos bloques horarios correspondientes a las 13:30 horas y las 18:20 y para *E. frantzii* vocalizando en dos bloques horarios que corresponden a las 12:00 y las 14:50, mientras que *Z. capensis* vocaliza en 6 bloques horarios cercanos que están conformados por las 16:00, 17:20, 17:30, 17:50, 18:00 y 18:10. Por otra parte las otras 3 especies se encuentran compartiendo el espacio acústico durante horas no consecutivas, estas son *Diglossa sp.*, *E. albiceps* y *E. pallatangae*, vocalizando en los bloques horarios de las 12:10, 12:40, 14:40 y 16:30.

Para el resto de puntos estudiados, los análisis de los promedios de todas las fechas de modularidad se pueden observar en la figura 20. donde la franja de la tarde nuevamente presentó valores más altos en los puntos 2, 4, 6, y 9, a excepción del punto 1 donde el modularidad fue mayor en la mañana.

Figura 20

Valores promedio de modularidad para todas las fechas en determinados puntos.



Nota. Se observa la misma tendencia de valores de modularidad más grandes en la tarde, asociado a una mayor segmentación de los módulos. * = punto grabación alta antropofonía, ** = punto de grabación dentro de sendero, *** = punto grabación zona alta expuesta a vientos y lluvia.

5.4. Determinación de diferencias en los parámetros de actividad de las vocalizaciones de aves respecto a los niveles de presión sonora derivada de las condiciones ambientales y antrópicas dentro del santuario.

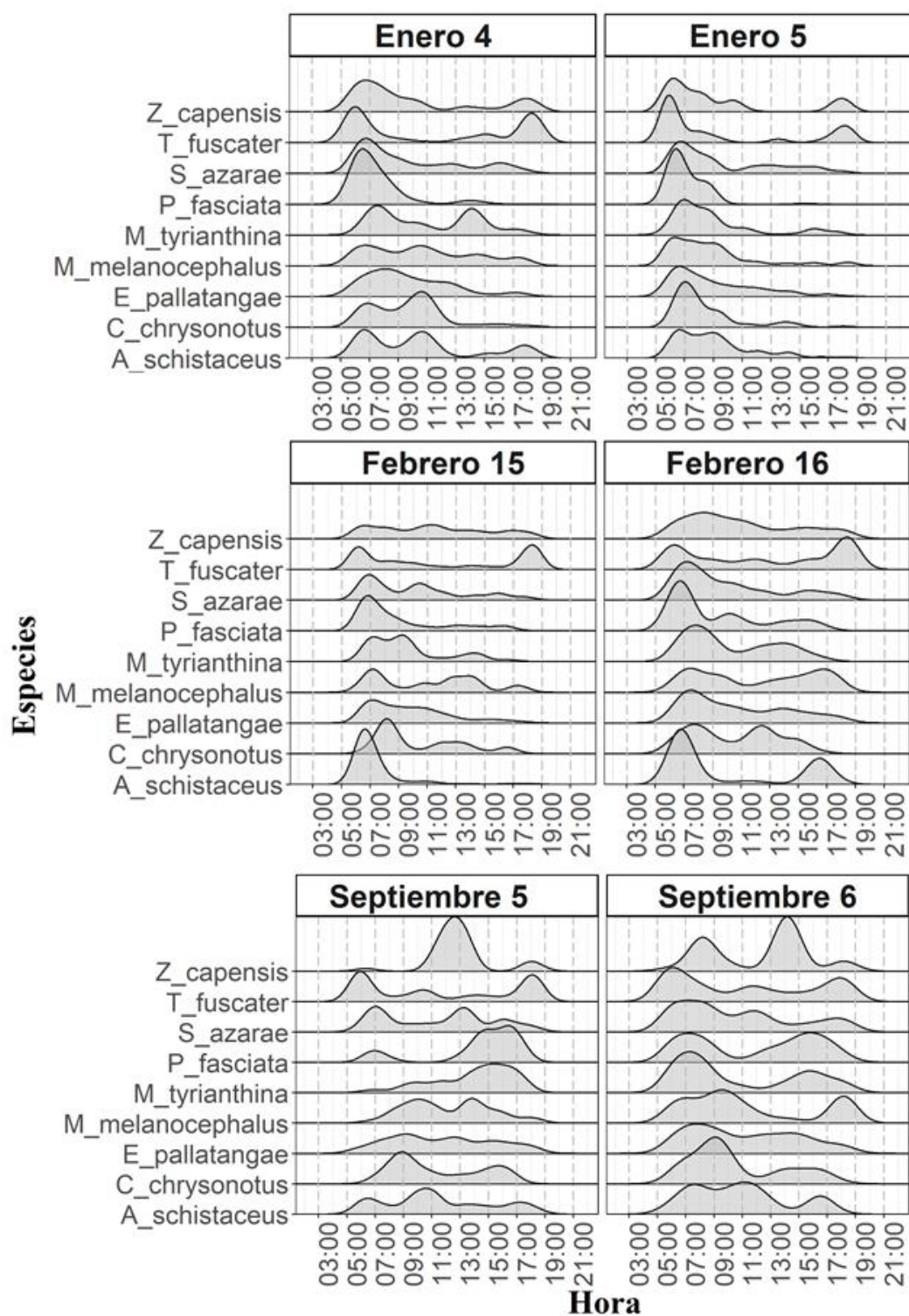
El Modelo Lineal Generalizado (GML) realizado para determinar los parámetros de incidencia, de presión sonora, derivados de antropofonías y geofonías sobre la relación de la actividad vocal de las aves arrojó valores significativos para el modelo 10 (AIC= 54862.45), el estimado del porcentaje de variación del modelo, viene explicada por la formula; $(\text{devianza nula} - \text{devianza residual} / \text{devianza nula}) * 100$, donde arroja un 91% de ajuste de las variables explicativas en relación a la actividad vocal de las aves. Donde las variables del valor de presión

sonora derivadas del ruido por grabación, ($\chi^2 = 28$, grados de libertad: 1, $p = 1.568e-07$) y ruido de geofonías, ($\chi^2 = 24$, grados de libertad: 1, $p = 1.051e-06$), se ven implicadas en la actividad vocal diaria de algunas especies de aves esto se ve reflejado al analizar los coeficientes de correlación de actividad vocal en ciertas especies de aves (ver anexos 3).

En los gráficos de densidad se pueden apreciar cambios en la cantidad de vocalizaciones entre los diferentes días de muestreo. En enero, por ejemplo, se puede apreciar en la figura 21 que la cantidad de vocalizaciones cambia entre el día 4 y 5 de enero. El día 4 de enero se observa una mayor cantidad de vocalizaciones distribuidas en diferentes picos de actividad, mientras que para el día 05 de enero se puede observar que las aves no presentan picos de actividad secundarios notorios diferentes del patrón común en el coro del amanecer y del atardecer y si lo hacen, se presentan en menor medida que el día anterior.

En el mes de febrero de la figura 21, se puede observar que la densidad de vocalizaciones presenta cambios en la actividad orientada hacia horas de la tarde, donde los picos de densidad de la mayoría de especies son más notorios en el 16 de febrero.

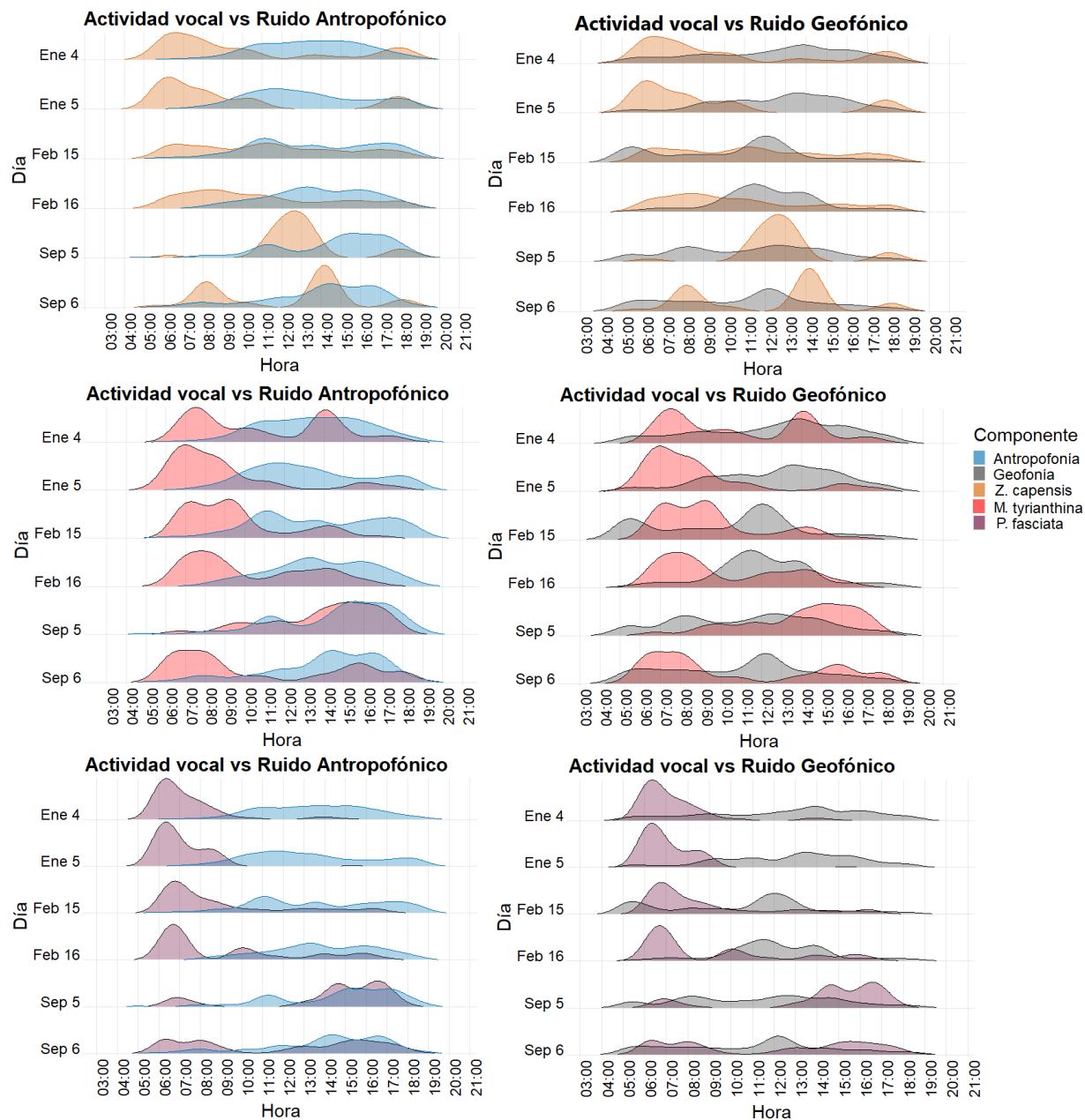
Por otra parte, respecto al mes de septiembre para el día 05, se evidenció picos de actividad muy marcados en horarios de tiempo fuera de lo habitual en la mañana para especies como *Z. capensis*, *M. tyrianthina*, *M. melanocephalus* y *C. chrysonotus*. Respecto al día 06 de septiembre se identificaron patrones de vocalización acordes a un día normal sin perturbaciones antropogénicas ni geofónicas, observándose unas tendencias de actividad esperadas en todas las especies con un primer pico al amanecer, para algunas la presencia de un segundo pico de actividad al mediodía, y un tercer pico de actividad al final de la tarde.

Figura 21*Actividad vocal de especies de aves en el mes de enero.*

Al graficar la actividad diaria frente a las antropofonías y geofonías (Figura 22 y anexos), se observó una relación de traslapes y alternancia en los picos de emisión en cada uno de los componentes, observándose como el componente vocal, dependiendo de la especie de ave, tiende a ser más activo en ciertas horas del día y cambia entre las diferentes fechas, dependiendo de la cantidad de los componentes antropofónicos y geofónicos con los que se traslape. En este sentido para el análisis de la actividad vocal se escogieron aquellas especies de aves que presentaron mayor registro de vocalizaciones de manera constante a lo largo del día.

Figura 22

Actividad vocal de Z. capensis, M. tyrianthina y P. fasciata, especies con notoria respuesta frente a antropofonías y geofonías

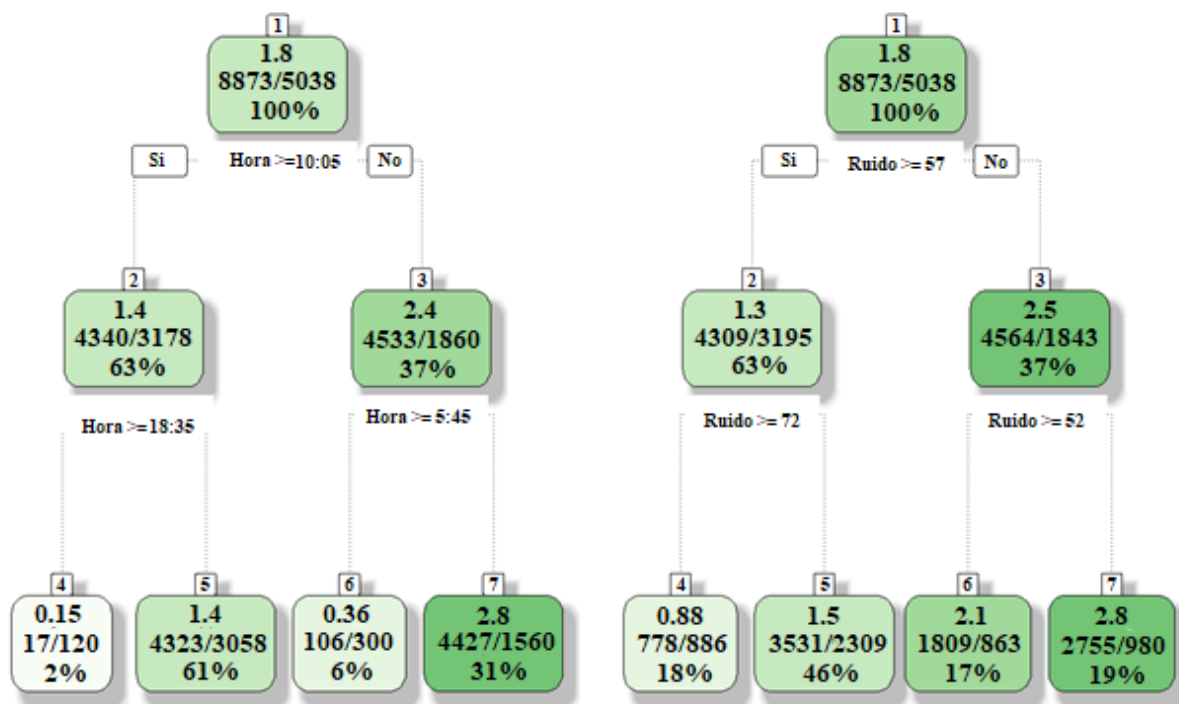


Nota. La actividad vocal respecto a las antropofonías y geofonías se aprecia de manera diferente para cada especie y en las diferentes fechas. (Para ver otras especies en anexos)

En el modelo CART de la figura 23 que relaciona las variables de riqueza de aves, ruido de fondo y hora de grabación, indicó que el paisaje sonoro de la isla la Corota presenta 2 escenarios donde: A) la hora de los eventos determina valores de riqueza que a su vez está relacionado con valores de ruido de geofonías y antropofonías. B) Los puntos de grabación a lo largo de la isla denotan una preferencia de uso del espacio tanto físico como acústico, si se tiene en cuenta que la comunidad de aves se mantiene en movimiento a lo largo de esta (figura 20).

Figura 23

CART de relación entre riqueza y valores de ruido en función hora y fecha.



Nota. La relación entre la riqueza y la hora de los eventos (árbol 1, izq.) y en función del ruido (árbol 2, der.) para todos los muestreos realizados. Los recuadros indican la proporción de riqueza presente por cada evento sucedido.

El CART de valores de riqueza y puntos de muestreo (figura 24) mostró que a lo largo de los meses la riqueza vocal de aves se ve reflejada en una distribución horaria; para el árbol 1 se

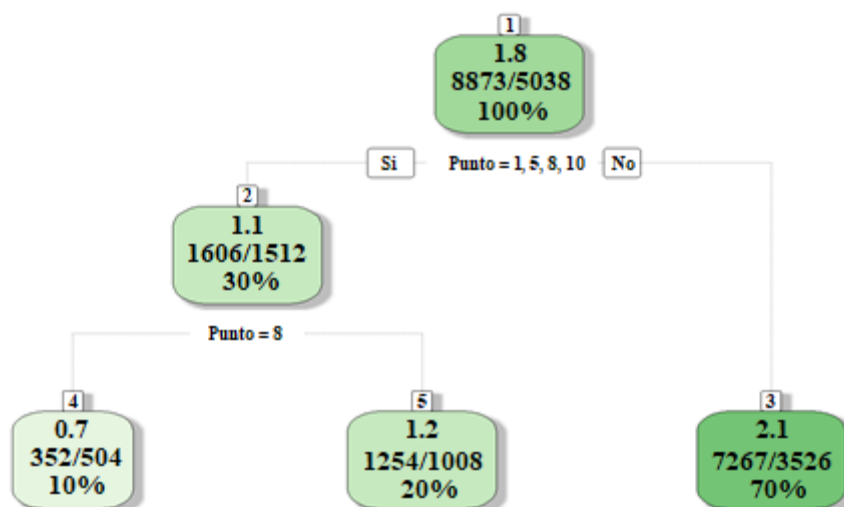
observa que sobre las horas de la mañana hay 2 proporciones de ajustes donde se observa que, en un primer evento de vocalizaciones este sucede después de las 5 y 45 am donde se concentran un 31% (value= 2.8) de los datos en la rama más lejana, la segunda proporción se da para un 37% de los datos (value= 2.4), sobre las horas anteriores a las 10 y 05 de la mañana. Para la franja de la tarde los datos se agrupan nuevamente en dos proporciones; el primero probablemente después del mediodía agrupando el 63% de los datos (value= 1.4) y finalmente la segunda proporción de agrupación que se observó es antes de las 6 y 35 de la tarde con una agrupación del 61% de los datos (value =1.4).

De forma paralela, en el árbol 2 los valores de ruido determinaron proporciones similares de riqueza, a su vez estando intrínseca la hora de los eventos, agrupando estos en valores de ruido inferiores a 57 y 52 Db. Por otra parte, valores de ruido superiores a 57 y 72 Db agrupan en menor proporción los valores de riqueza (value de 1.5 y 1.3).

Finalmente, para determinar cómo se comportan los valores de riqueza respecto al punto de grabación en el CART de la figura 24 se aprecia que los puntos 5, 8 y 10 presentaron una alta perturbación antropogénica ya que fuera de estos puntos es donde se agrupó el 70% de los datos (value= 2.1), y explica además que el punto 8 es un punto sensible donde solo se presentan el 10% de los datos (value= 0.7).

Figura 24

CART de distribución de la riqueza de vocalizaciones según los puntos de muestreo.



Nota. CART respecto a los puntos de grabación de todos los muestreos, indica la relación entre la riqueza de vocalizaciones y los puntos donde se encontraron distribuidas en menor medida.

6. Discusión

6.1 Componentes del Paisaje Sonoro del Santuario de Flora Isla de la Corota.

El paisaje sonoro es el resultado de la interacción de los componentes acústicos que lo constituyen: biofonías, geofonías y antropofonías (Farina, 2014). La proporción de los componentes varían de acuerdo a las características del paisaje, las condiciones climáticas y las actividades de tipo antrópico que se lleven a cabo (Farina, 2014; Farina & Fuller, 2017). De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la caracterización de los componentes del paisaje sonoro del SFIC, se observó que los niveles de biofonías y en general la actividad vocal de las especies estuvo influenciada por los niveles de antropofonías y geofonías. En primer lugar, los meses de enero y febrero presentaron una alta afluencia turística y en segundo lugar el mes de septiembre, se caracterizó por la presencia de vientos y lluvias fuertes tal como se observó tanto en la tabla 3 y en las figuras 21 y 22. Lo anterior de acuerdo con Farina (2014) se enmarca bajo la premisa de que altos niveles de geofonías o antropofonías disminuyen las biofonías o modifican la forma en que los organismos emiten sonidos (cantos, llamadas, alarmas, vocalizaciones).

En el SFIC existen dos aspectos a tener en cuenta que incidieron en la dinámica del paisaje sonoro; la afluencia de visitantes y la estructura física de la isla. El primero está relacionado con la cantidad de visitantes y el número de lanchas circundantes a lo largo del día. Durante el estudio, la cantidad de turistas que visitaron la isla en los meses de enero y febrero fue de 6500 y 5543 personas respectivamente, y los niveles de presión sonora estimada alcanzaron los 72 dB para valores reales del sonómetro, de igual forma los porcentajes de los componentes antropofónicos fluctuaron entre un 14% a 26% al igual que el componente geofónico con un porcentaje de 50.7 % de incidencia para el mes de septiembre.

Estudios previos realizados en ambientes naturales tanto terrestres como lagos de agua dulce, con alta presencia de turistas y la correspondiente infraestructura de transporte fluvial han determinado que los efectos de las perturbaciones antrópicas tienen un impacto negativo en las comunidades bióticas; Merchan et al. (2014) y Tenez (2016), indican una degradación del paisaje sonoro por causa del sobrevuelo de aeronaves, el tráfico de automóviles y en menor medida voces y conversaciones de los visitantes en parques nacionales naturales en España y Costa Rica.

En este sentido, los resultados evidenciaron el potencial efecto negativo del tráfico continuo de lanchas, sumado a la cantidad de visitantes durante los días 04 y 05 de enero en la isla, donde se observó una drástica reducción de la tasa de vocalizaciones en 6 de las 9 especies analizadas para el día 05 de enero (figura 22). Por otro lado, para el mes de febrero el trayecto de lanchas únicamente operó desde el muelle de la vereda El Puerto del Encano al muelle de la isla, lo que configuró un escenario completamente diferente, concentrando todo el ruido en una sola área, esto se puede evidenciar en la gráfica D de la figura 11 donde las antropofonías son superiores a las biofonías en el punto 1 de grabación, al igual que en la figura 12 donde se observa el cambio entre los meses de enero y febrero en el índice de complejidad acústica, para enero los valores del índice se mantuvieron bajos en la mayoría de puntos de grabación de la isla con excepción del punto 2, mientras que para febrero los valores de ACI se observaron distribuidos diferencialmente en todos los puntos de grabación.

Schummer & Eddleman (2003) indican que las actividades recreativas en un santuario nacional de vida silvestre representan casi el 87% de todas las perturbaciones en las actividades de aves acuáticas migratorias, es así como el efecto del paso continuo de lanchas y el sonido emitido por los motores provocan altos niveles de presión sonora recurrente que pueden afectar

la fauna, provocando cambios en su comportamiento (Barber et al., 2010; Carreño & Lloret, 2021; Cominelli et al., 2018; Slabbekoorn & Ripmeester, 2008).

El segundo aspecto está relacionado con la configuración espacial de la isla, donde el bosque maduro cumple una función vital de barrera atenuando el ruido que se genera alrededor de la isla. Cabe mencionar que, tanto las geofonías como las antropofonías se concentraron en los puntos de grabación ubicados en áreas abiertas. Desde la perspectiva de la transmisión física del sonido se tiene que la atenuación del sonido durante la transmisión, se ve afectada principalmente por los fenómenos de: refracción, absorción atmosférica, atenuación del suelo (reflexión), dispersión geométrica y desviación por medios estratificados, entendiendo que la propagación del sonido tiene una degradación de 6 dB por el doble de la distancia recorrida (Halfwerk et al., 2011; Lyon, 1973; Wiley & Richards, 1978).

De esta forma, para eventos geofónicos y antropofónicos, se tienen escenarios donde: el ruido en frecuencias bajas no se atenúa fácilmente con la distancia, además de que la temperatura, la dirección y velocidad del viento tienen un efecto en los niveles de ruido (Halfwerk et al., 2011). Bajo estos parámetros la zona de vegetación, desde el totoral, sotobosque y bosque maduro de la isla cumplen el papel de barrera de aislamiento, esto concuerda con los estudios realizados por Cook & Haverbeke (1974), donde demuestran que configuraciones del espacio físico con árboles de 30.48 m de altura con depresiones y declinaciones en el terreno circundante brindan reducciones en el rango de 10 a 18 dBA y la absorción por tierra puede representar de 10 a 15 dB de atenuación desde una fuente emisora de ruido.

En general, las relaciones entre las biofonías y las características espaciales y temporales reflejadas a través de los índices acústicos (ACI y NDSI) brindaron información importante de las condiciones de la isla y lo cambiantes que pueden ser a lo largo de los meses, puesto que

estos índices permiten conocer de manera rápida un primer plano del estado de perturbación (nivel acústico) de un determinado lugar (Pieretti et al., 2011; Sittler & Paz, 2016). Los valores de ACI (figura 12), indicaron que en el santuario de Flora Isla la Corota, la complejidad acústica presento variaciones a nivel espacial, donde los sitios con valores de complejidad más bajos (intensidades constantes atribuidas a fuentes de ruido geofónicas), se ubicaron en las zonas abiertas dentro de la isla, mientras que los puntos de grabación del interior del bosque presentaron un mayor valor de ACI. Por otra parte, a nivel temporal, fueron notorios los picos en los valores de ACI durante las primeras horas de la mañana y las variaciones entre días de muestreo, sin embargo, se debe tener en cuenta que los análisis como el Índice de Complejidad Acústica pueden arrojar falsos positivos.

Según diversos estudios como los realizados por Pieretti et al. (2011), Bradfer-Lawrence et al. (2019), Sánchez-Giraldo et al. (2020), Sánchez-Giraldo et al. (2021) y Dröge et al. (2021), han reportado variaciones respecto a los valores de complejidad acústica, debido a factores como viento, lluvia y estridulaciones de insectos. Teniendo en cuenta estos factores, las gráficas de la figura 13, si bien fueron ajustadas a las frecuencias de vocalización de las aves en la base de datos, también podrían estar describiendo eventos de lluvia, o viento que se presentaron durante las fechas de muestreo en toda la isla y, por lo tanto, los resultados del índice de complejidad acústica, se verían alterados presentándose como valores por encima del valor real de ACI para la comunidad de aves.

Por otra parte el índice de diferencias normalizadas en el paisaje sonoro a nivel espacial indicó que las antropofonías sólo tienen incidencia en los puntos de la isla ubicados en zonas abiertas y que el estado de perturbación según el índice es bajo para la isla en general, mostrando que los valores que tienden a (+1), en la mayoría de los puntos de grabación en todas las fechas

de muestreo dan un balance positivo para la actividad biofónica, estos resultados concuerdan con el estudio realizado por VanSchaik (2017), quien indica que el índice NDSI puede variar a pequeña escala, donde además está sujeto a autocorrelación espacial en diferentes entornos, y se ajusta a los recambios de sitios y tipos de hábitat.

Si se tiene en cuenta que el principio de este índice se basa en la separación de las bandas de frecuencia con las antropofonías concentradas principalmente en las frecuencias bajas (entre 1 y 2 kHz) y las biofonías en las frecuencias altas (entre 2 y 11kHz), explica entonces de manera adecuada la variación temporal del índice a lo largo del día durante todas las fechas de grabación, ya que de acuerdo a estudios realizados por Bradfer-Lawrence et al. (2019) y Fuller et al. (2015)), durante el día el índice NDSI discrimina de manera acertada la disparidad de las antropofonías respecto de las biofonías, y en este estudio se evidenció una tendencia general de valores positivos en la mañana, valores con tendencia a (-1) durante el medio y día y un pequeño ascenso de los valores sobre el final de la tarde.

6.2. Actividad vocal de las aves a lo largo del día en el paisaje sonoro del SFIC

El paisaje sonoro de un determinado lugar constituye una huella acústica única del paisaje (Farina, Pieretti, et al., 2011; Rodriguez et al., 2014). El estudio de esta huella acústica enmarcado en la caracterización y descripción del paisaje sonoro del SFIC, en este caso enfocado al estudio de las aves presentes en este sistema insular altoandino, brindó información que permitió dilucidar cómo la actividad vocal de las aves se configura a lo largo del tiempo.

Los resultados mostraron un patrón modular del paisaje sonoro durante las horas de la mañana y de la tarde del día 5 de enero (figura 17), sin embargo, no se registró un ordenamiento temporal de las vocalizaciones (eje Y) para ninguna de las dos franjas del día. Marín-Gómez et al. (2020) explican que la pérdida del orden temporal en las matrices de modularidad de los coros

del amanecer en áreas urbanas puede estar relacionada con el empobrecimiento de la comunidad de aves generado por procesos de urbanización, en este sentido, los autores también mencionan que las especies vocalmente activas presentan ajustes comportamentales en respuesta al ruido antropogénico y la luz artificial.

En cuanto al análisis GMM, indicó un mayor número de vocalizaciones inversamente proporcional al nivel de presión sonora y también permitió observar un mayor pico de actividad vocal a las 6:00 de la mañana, seguido de tres picos de menor intensidad durante el día. Una mayor actividad vocal durante las primeras horas de la mañana (coro del amanecer) se ha relacionado con factores intrínsecos como las necesidades fisiológicas individuales y los niveles circadianos de testosterona, factores ambientales como la intensidad lumínica, el movimiento de aire y la estructura del hábitat, y finalmente factores sociales como la atracción de pareja, defensa del territorio y la resolución de dinámicas sociales (Farina & Ceraulo, 2017). Por otro lado, una mayor actividad vocal en horas de la mañana implica un mayor uso del espacio acústico, que en el caso de este estudio también se vio reflejado en los valores de modularidad (figura 18), donde se encontró valores bajos para la mañana en los meses de enero y febrero, y valores altos en el mes de septiembre, de igual forma, para el día 5 de enero se encontró un mayor número de módulos para las horas de la tarde (figura 17), lo que se asocia con una mayor partición del espacio acústico. De acuerdo con Marín-Gómez et al. (2020) en el contexto del espacio acústico, un patrón modular representaría grupos de especies de aves que coexisten cantando en diferentes momentos, generando compartimentos de vocalizaciones en periodos de tiempo establecidos (es decir, partición temporal del espacio acústico).

La partición temporal del espacio acústico consiste en la selección por características acústicas específicas de la señal y conductas de señalización que no se superpongan o se solapen

lo menos posible con las de otras especies y que además sorteen el ruido de fondo (Brumm, 2006; Luther, 2009; Luther & Wiley, 2009; Sueur, 2002). Esta partición es probablemente generalizada en las redes de comunicación de múltiples especies, como en el coro del amanecer, cuando es más difícil para las especies detectar o discriminar señales por la alta actividad vocal (Brumm & Slabbekoorn, 2005; Wollerman & Wiley, 2002).

Por otra parte, el estudio realizado por Robert et al. (2019) encontró que para la parte continental en áreas bajas tropicales se presenta una mayor competencia interespecífica por el uso del espacio acústico, puesto que la actividad vocal proveniente de insectos tiene una mayor intrusión en el rango de frecuencias que generalmente es ocupado por la avifauna; las especies de aves tropicales continentales tienen un espacio acústico más estrecho para comunicarse y son más diversas (la riqueza y el recambio de especies que vocalizan son mayores). Para la parte insular el estudio indica que las estrategias de comunicación en islas templadas sugieren una menor pronunciación de los rangos de frecuencia ya que la abundancia de insectos es menor y esto conduce a una relajación de la competencia interespecífica. Para este estudio, si bien se presentaron estridulaciones de insectos en los análisis de los espectrogramas, estos no eran constantes a lo largo del día y por lo tanto la partición del espacio acústico encontrada en el santuario de flora isla de la Corota probablemente se deba al ruido de fondo en intensidades constantes.

6.3. Diferencias en los parámetros de actividad de las vocalizaciones de aves respecto a los niveles de presión sonora derivada de las condiciones ambientales y antrópicas dentro del SFIC.

La actividad vocal de las aves representa un mecanismo que éstas emplean para mediar una serie de interacciones de tipo social, territorial y reproductivo (Kleist et al., 2016; Robert et

al., 2019). En este contexto la producción de una señal acústica está considerablemente limitada por factores como el ruido, lluvias o el viento, que pueden afectar la eficiencia en la transmisión de la señal debido a la interferencia con la detección, la discriminación o el reconocimiento de una señal (Catchpole & Slater, 2008; Naguib & Riebel, 2013). De este modo, los cambios en el diseño de las vocalizaciones para mantener la información en un ambiente ruidoso pueden ser categorizados en dos escalas temporales:

- Cambios a largo plazo: Son cambios microevolutivos donde las señales se configuran para sobresalir frente al ruido de enmascaramiento. Estas respuestas evolutivas operan dentro de poblaciones y conllevan a determinadas características en las señales típicas de una especie.
- Cambios a corto plazo: Se relacionan con la plasticidad de la señal en función de los ajustes que se lleven a cabo sobre todo en individuos que mantienen su comunicación dentro de ambientes con niveles de ruido fluctuante (Brumm & Zollinger, 2013).

Para la presente investigación, de acuerdo a los resultados obtenidos del modelo lineal generalizado; se observa que la comunidad de aves de la isla tiende a seguir las dos vías, puesto que al analizar las gráficas de actividad diaria frente a los componentes de biofonías y antropofonía, se infiere que:

- Varias especies de aves pertenecientes a distintas familias están ajustando sus tasas de vocalizaciones, lo que cumple con los parámetros del primer punto y se visualizan además con el gráfico de modularidad.
- Las aves del santuario de Flora Isla la Corota están ajustando el tiempo de la señalización para evitar o reducir los efectos de enmascaramiento. La forma más

sencilla de hacer esto es simplemente cambiar la señalización a períodos en los que los niveles de ruido ambiental son bajos, como se observa en las gráficas de la figura 24.

Fuller et al. (2007) en una investigación realizada con la especie *Erithacus rubecula*, encontraron que los altos niveles de ruido en horas del día producían cambios en la actividad vocal de los individuos que llegaban a vocalizar incluso durante la noche con el fin de llevar a cabo sus actividades comportamentales ligadas a territorialidad y reproducción, en otros estudios se ha determinado que en áreas con ruido crónico intenso, el enmascaramiento de señales puede no solo reducir la aptitud de los individuos, sino que en última instancia podría afectar la dinámica y la viabilidad de poblaciones enteras (Brumm, 2010; Kight & Swaddle, 2011). En el estudio realizado por O’neill & Yurk (2017) se encontró que el enmascaramiento de señales acústicas emitidas por aves podía ser superado a una distancia de 197 m de la fuente emisora, por lo tanto, podían aparecer alteraciones del comportamiento vocal en distancias inferiores a la estimada.

En este estudio los valores de ruido determinados por medio de los niveles de presión sonora arrojados por los árboles de decisión teniendo en cuenta el ajuste realizado entre las Audiomoth (72dB, 77dB, 92dB valores estimados en Raven “Average Power”) y el sonómetro (52dB, 57dB y 72dB valores de presión sonora), reflejan un escenario con valores de ruido muy por encima de los valores típicos de un ambiente natural que normalmente oscilan entre 35 a 45 dB (valores obtenidos con el sonómetro en momentos sin actividad antrópica). Estudios realizados por Dooling et al. (2019) y Saunders & Dooling (1974), muestran que niveles altos de ruido por encima de aproximadamente 93 dB (A) SPL, aunque no causen daños permanentes, pueden causar una elevación temporal del umbral auditivo de un ave y enmascarar importantes

señales de comunicación. Por otro lado, Díaz et al. (2011) encontraron que para la especie *Serinus serinus* la actividad de cantos en postes eléctricos aumentaba hasta llegar al umbral de 70 db de ruido, debido a que la especie presenta una vocalización con alto tono y poco dinamismo, sin embargo, una vez los valores de ruido pasaban el umbral de 70 db, la especie disminuyó su actividad vocal drásticamente para evitar pérdida de energía en actividades de vocalización y vigilancia.

Los sonidos generados por las geofonías durante el mes de septiembre representan otra fuente de ruido frente a la cual algunas especies como *Z. capensis*, *P. fasciata* y *M. tyrianthina* presentaron respuesta en su actividad vocal (figura 22). Tanto el ruido del viento como la lluvia pueden ocurrir en ciertos momentos del día y consecuentemente, el evitar el enmascaramiento por parte de las especies vocalmente activas en respuesta a este ruido, puede explicar los patrones diurnos de actividad de canto en algunas especies (Vokurková et al., 2018). En este sentido, Henwood & Fabrick (1979) sugirieron que la razón por la que tantas aves muestran un pico marcado de actividad de canto al amanecer, es debido a que el viento y las turbulencias del aire son particularmente bajas a esta hora del día, sin embargo, como vemos en los resultados cuando las condiciones sonoras no son adecuadas algunas especies evitan vocalizar.

Al igual que el ruido antrópico, las fuentes de ruido naturales pueden tener efectos de enmascaramiento similares en la producción de señales acústicas (Davidson et al., 2017; Goutte et al., 2018; Keast, 1994). Por ejemplo, estudios en aves y otros taxones también han mostrado un efecto del ruido de fondo natural en la comunicación (Brumm & Slater, 2006; Davidson et al., 2017; Feng et al., 2006; Kirschel et al., 2009; Lengagne et al., 1999; Lengagne & Slater, 2002). Por lo tanto, es probable que el ruido ambiental natural sea tan impactante como el ruido antropogénico y con éste estando presente en escalas de tiempo evolutivas, es probable que tenga

implicaciones a largo plazo en la comunicación por señales acústicas (Davidson et al., 2017). De acuerdo con los valores más altos estimados de ruido en el presente estudio (aproximadamente 80dB) los individuos en este lugar se encuentran bajo una presión sonora alta en determinadas fechas con alta afluencia turística o debida a condiciones climáticas características del lugar. Sumado a lo anterior se encuentra el hecho del poco espacio con que se cuenta para una total disipación de los sonidos antropofónicos derivados de lanchas razón por la cual los individuos, aunque no están presentando presiones sonoras tan altas que repercutan en daños permanentes, si están sufriendo de procesos de enmascaramiento de sus señales a razón de los altos niveles de ruido.

7. Conclusiones.

El paisaje sonoro del SFIC presentó variaciones en sus componentes a lo largo del tiempo, donde la interacción de las geofonías con las antropofonías afectó las biofonías y éstas a su vez presentaron patrones particulares de distribución a lo largo del medio físico, en donde el sendero de la isla que es donde comienza el bosque maduro juega un papel fundamental al servir como barrera natural atenuando los sonidos propios de ruido de fondo.

Los índices acústicos pueden caracterizar de manera temporal y estructural cada punto de grabación, es decir que se puede observar el cambio temporal entre los diferentes momentos del día, así como también la ocurrencia del uso del espacio acústico por parte de la avifauna en determinadas horas del día y las características estructurales del área, esto permite realizar un análisis rápido del estado de perturbación de un lugar. Sin embargo, se debe tener cautela respecto a grabaciones con presencia de geofonías para el caso del ACI.

Se encontraron diferencias en el uso del espacio acústico en las franjas de la mañana y la tarde a lo largo de los días analizados, encontrando que la estructuración del espacio acústico presenta un patrón modular, esto representaría grupos de especies de aves que coexisten cantando en diferentes momentos y generando compartimentos de coros durante las horas del día. Además, ese patrón modular está segmentado en mayor medida para la franja de la tarde, para todas las fechas analizadas y por lo general es donde se presentan valores de ruido altos.

La actividad vocal de las aves se vio influenciada por condiciones ambientales y antrópicas que se presentaron en la isla, estos factores incidentales a lo largo del tiempo generan presiones de selección lo que obliga a la comunidad de aves a utilizar estrategias adaptativas que ayudan a sortear estos obstáculos y tener una comunicación eficiente.

8. Recomendaciones.

Reconociendo las características especiales que se presentan en el SFIC (biofonías, geofonías y antropofonías). Se recomienda establecer una estación de monitoreo acústico pasivo con el fin de tener un seguimiento de la actividad vocal de la comunidad de aves, lo cual permitiría tener una mayor comprensión de las incidencias de los componentes geofónicos y antropofónicos con el fin de poder evaluar con mayor rigurosidad las estrategias comportamentales que estas presentan a lo largo de escalas de tiempo más amplias.

Evaluar las transmisiones de señales acústicas en distintas especies de aves para determinar con exactitud los valores acústicos que pueden estar siendo enmascarados en distintos escenarios de ruido antropogénico y según las características de cada señal.

Evaluar otros índices acústicos y su respuesta frente a este ecosistema con el fin de determinar la respuesta de estos a las condiciones presentes.

Contrastar resultados de revisión y detección visual/auditiva de vocalizaciones en los sonogramas con los mecanismos automatizados de detección por medio de machine learning.

Replicar investigación en una zona aledaña en la cocha con vegetación similar.

Evaluar otros grupos biológicos que pueden estar siendo afectados por la incidencia de altos valores de ruido antropogénico y geofónico en escalas temporales amplias, que permita establecer las bases de un registro acústico completo.

-Evaluar los niveles de atenuación del ruido en el SFIC para tener un mejor panorama de cómo es el funcionamiento de la dinámica de transmisión del ruido.

-Desarrollar y ejecutar un Plan de Conservación del Paisaje Sonoro Natural destinado a la protección de las biofonías propias del SFIC y al manejo de las antropofonías ocasionadas por el turismo y demás actividades dentro del parque. Debe contener medidas para la mitigación del

ruido, además, debe incorporar un programa de educación ambiental con actividades puntuales de concientización sobre la importancia ecológica y social del paisaje sonoro.

9. Bibliografía

- Akmajian, A., Farmer, A. K., Bickmore, L., Demers, R. A., & Harnish, R. M. (2017). *Linguistics : an introduction to language and communication* (7th ed.). MIT Press Ltd.
- Andrade, F., & Franco, L. (2004). *Evaluación y Sistematización de mejores prácticas en el Uso de la Biodiversidad en los Paramos de los Andes*. Fundación Humedales.
- Barber, J. R., Crooks, K. R., & Fristrup, K. M. (2010). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(3), 180–189.
<https://doi.org/10.1016/J.TREE.2009.08.002>
- Barker, N. K. (2008). Bird song structure and transmission in the neotropics: Trends, methods and future directions. *Ornitología Neotropical*, 19(2), 175–199.
- Barron, R. F. (2003). *Industrial noise control and acoustics*. CRC Press.
- Bartheld-Villagra, J. L., Moreno-Gómez, F. N., Soto-Gamboa, M., Suazo-Olivía, C., & Silva-Escobar, A. (2011). *Monitoreo Acústico de Aves y Anfibios en el Bosque Costero Valdiviano*. Imprenta America.
- Bioacoustics Research Program. (2017). *Raven Pro: Interactive Sound analysis Software* (1.5). The Cornell Lab of Ornithology.
- Bradbury, J. W., & Vehrencamp, S. L. (2011). *Principles of animal communication* (2nd ed.). Sinauer Associates, Inc.
- Bradfer-Lawrence, T., Gardner, N., Bunnefeld, L., Bunnefeld, N., Willis, S. G., & Dent, D. H. (2019). Guidelines for the use of acoustic indices in environmental research. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(10), 1796–1807. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13254>
- Brumm, H. (2006). Signalling through acoustic windows: Nightingales avoid interspecific competition by short-term adjustment of song timing. *Journal of Comparative Physiology. A, Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 192(12), 1279–1285.
<https://doi.org/10.1007/S00359-006-0158-X>

- Brumm, H. (2010). Anthropogenic Noise: Implications for Conservation. *Encyclopedia of Animal Behavior*, 89–93. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045337-8.00289-8>
- Brumm, H., & Naguib, M. (2009). Chapter 1 Environmental Acoustics and the Evolution of Bird Song. *Advances in the Study of Behavior*, 40, 1–33. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(09\)40001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(09)40001-9)
- Brumm, H., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic Communication in Noise. *Advances in the Study of Behavior*, 35, 151–209. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(05\)35004-2](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(05)35004-2)
- Brumm, H., & Slater, P. J. B. (2006). Ambient noise, motor fatigue, and serial redundancy in chaffinch song. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 2006 60:4, 60(4), 475–481. <https://doi.org/10.1007/S00265-006-0188-Y>
- Brumm, H., & Zollinger, S. A. (2013). Avian Vocal Production in Noise. In H. Brumm (Ed.), *Animal Communication and Noise* (pp. 187–227). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7_7
- Bustos-Palacio, A. P. (2013). *Paisaje sonoro en la ciudad de Bogotá: una aproximación a las características de frecuencia e intensidad del sonido en el espacio urbano* [Tesis en Ecología, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Caicedo, Y. L., & Urbano, S. M. (2011). *Relación De La Comunidad De Aves Frugívoras Con La Composición Y Estructura De La Comunidad Vegetal Del Santuario De Flora Isla La Corota (Nariño-Colombia)*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Nariño].
- Carreño, A., & Lloret, J. (2021). Environmental impacts of increasing leisure boating activity in Mediterranean coastal waters. *Ocean & Coastal Management*, 209, 105693. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2021.105693>
- Catchpole, C., & Slater, P. J. B. (2008). *Bird song : biological themes and variations* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Caycedo-Rosales, P., & Gonzáles, C. (2018). *Caracterización y monitoreo de aves y paisajes*

sonoros en tres macrohábitats de la región de La Mojana. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Universidad de Córdoba.

Cepeda, B., & López, N. (2009). *Santuario de Flora Isla la Corota. Sistema de Monitoreo y Evaluación de los Objetos de Conservación*. Unidad Administrativa Especial de Parques Nacionales. Territorial Surandina.

Cominelli, S., Devillers, R., Yurk, H., MacGillivray, A., McWhinnie, L., & Canessa, R. (2018). Noise exposure from commercial shipping for the southern resident killer whale population. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 177–200.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2018.08.050>

Cook, D., & Haverbeke, D. (1974). Tree-Covered Land-Forms for Noise Control. *Historical Research Bulletins of the Nebraska Agricultural Experiment Station*, 263, 51pp.

Davidson, B. M., Antonova, G., Dlott, H., Barber, J. R., & Francis, C. D. (2017). Natural and anthropogenic sounds reduce song performance: insights from two emberizid species. *Behavioral Ecology*, 28(4), 974–982. <https://doi.org/10.1093/BEHECO/ARX036>

Dehling, D. M. (2018). The Structure of Ecological Networks. In W. Dáttilo & V. Rico-Gray (Eds.), *Ecological Networks in the Tropics* (pp. 29–42). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-68228-0_3

Deichmann, J. L., Acevedo-Charry, O., Barclay, L., Burivalova, Z., Campos-Cerqueira, M., D'Horta, F., Game, E. T., Gottesman, B. L., Hart, P. J., Kalan, A. K., Linke, S., Nascimento, L. Do, Pijanowski, B. C., Staaterman, E., & Mitchell Aide, T. (2018). It's time to listen: there is much to be learned from the sounds of tropical ecosystems. *Biotropica*, 50(5), 713–718. <https://doi.org/10.1111/BTP.12593>

Díaz, M., Parra, A., & Gallardo, C. (2011). Serins respond to anthropogenic noise by increasing vocal activity. *Behavioral Ecology*, 22(2), 332–336.
<https://doi.org/10.1093/BEHECO/ARQ210>

Dooling, R. J., Buehler, D., Leek, M. R., & Popper, A. N. (2019). The Impact of Urban and Traffic Noise on Birds. *Acoustics Today*, 15(3), 19–27.

<https://doi.org/10.1121/AT.2019.15.3.19>

- Dormann, C. F., & Strauss, R. (2014). A method for detecting modules in quantitative bipartite networks. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 90–98. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12139>
- Dröge, S., Martin, D. A., Andriafanomezantsoa, R., Burivalova, Z., Fulgence, T. R., Osen, K., Rakotomalala, E., Schwab, D., Wurz, A., Richter, T., & Kreft, H. (2021). Listening to a changing landscape: Acoustic indices reflect bird species richness and plot-scale vegetation structure across different land-use types in north-eastern Madagascar. *Ecological Indicators*, 120, 106929. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106929>
- Duarte, M. H. L., Sousa-Lima, R. S., Young, R. J., Farina, A., Vasconcelos, M., Rodrigues, M., & Pieretti, N. (2015). The impact of noise from open-cast mining on Atlantic forest biophony. *Biological Conservation*, 191, 623–631. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2015.08.006>
- Dumyahn, S. L., & Pijanowski, B. C. (2011). Soundscape conservation. *Landscape Ecology*, 26(9), 1327–1344. <https://doi.org/10.1007/S10980-011-9635-X>
- Echeverri, C., & Gonzáles, A. (2011). Protocolo para medir la emisión de ruido generado por fuentes fijas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(18), 51–60.
- Ey, E., & Fischer, J. (2009). THE “ACOUSTIC ADAPTATION HYPOTHESIS”—A REVIEW OF THE EVIDENCE FROM BIRDS, ANURANS AND MAMMALS. *Bioacoustics*, 19(1–2), 21–48. <https://doi.org/10.1080/09524622.2009.9753613>
- Farina, A. (2006). Principles and methods in landscape ecology. In *Principles and methods in landscape ecology* (2nd ed.). Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3329-X>
- Farina, A. (2014). Principles, patterns, methods and applications. In *Soundscape Ecology*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5>
- Farina, A. (2017). The Ecological Effects of Noise on Species and Communities. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 95–107). John Wiley

& Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH6>

Farina, A., & Belgrano, A. (2006). The Eco-field Hypothesis: Toward a Cognitive Landscape. *Landscape Ecology*, 21(1), 5–17. <https://doi.org/10.1007/S10980-005-7755-X>

Farina, A., & Ceraulo, M. (2017). The Acoustic Chorus and its Ecological Significance. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 81–94). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH5>

Farina, A., & Fuller, S. (2017). Landscape Patterns and Soundscape Processes. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 193–209). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH11>

Farina, A., & Gage, S. H. (2017a). Ecoacoustics: A New Science. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 1–11). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH1>

Farina, A., & Gage, S. H. (2017b). The Duality of Sounds: Ambient and Communication. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 13–29). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH2>

Farina, A., & James, P. (2016). The acoustic communities: Definition, description and ecological role. *Bio Systems*, 147, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2016.05.011>

Farina, A., Lattanzi, E., Malavasi, R., Pieretti, N., & Piccioli, L. (2011). Avian soundscapes and cognitive landscapes: theory, application and ecological perspectives. *Landscape Ecology*, 26, 1257–1267. <https://doi.org/10.1007/S10980-011-9617-Z>

Farina, A., Pieretti, N., & Piccioli, L. (2011). The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A Mediterranean Europe case-study. *Ecological Informatics*, 6(6), 354–363. <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2011.07.004>

Feng, A. S., Narins, P. M., Xu, C., Lin, W. Y., Yu, Z. L., Qiu, Q., Xu, Z. M., & Shen, J. X. (2006). Ultrasonic communication in frogs. *Nature* 2006 440:7082, 440(7082), 333–336. <https://doi.org/10.1038/nature04416>

- Fuchs, E., & Barrantes, G. (2015). *El Lenguaje Estadístico R Aplicado a las Ciencias Biológicas*. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Fuller, R. A., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2007). Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. *Biology Letters*, 3(4), 368–370. <https://doi.org/10.1098/RSBL.2007.0134>
- Fuller, S., Axel, A. C., Tucker, D., & Gage, S. H. (2015). Connecting soundscape to landscape: Which acoustic index best describes landscape configuration? *Ecological Indicators*, 58, 207–215. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2015.05.057>
- Gage, S. H., & Farina, A. (2017). Ecoacoustics Challenges. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 313–319). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH18>
- Gage, S. H., & Joo, W. (2017). Urban Acoustics: Heartbeat of Lansing, Michigan, USA. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 259–272). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH15>
- Gage, S. H., Towsey, M., & Kasten, E. P. (2017). Analytical Methods in Ecoacoustics. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 273–296). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH16>
- Gallo-Corona, S. F. (2008). *Variación geográfica en los llamados de Salpinctes obsoletus (AVES: Troglodytidae) de Isla Guadalupe, México*. [Maestría en Ciencias, Centro De Investigación Científica Y De Educación Superior De Ensenada].
- Gasc, A., Francomano, D., Dunning, J. B., & Pijanowski, B. C. (2017). Future directions for soundscape ecology: The importance of ornithological contributions. *The Auk*, 134(1), 215–228. <https://doi.org/10.1642/AUK-16-124.1>
- Gasc, A., Gottesman, B. L., Francomano, D., Jung, J., Durham, M., Mateljak, J., & Pijanowski, B. C. (2018). Soundscapes reveal disturbance impacts: biophonic response to wildfire in the Sonoran Desert Sky Islands. *Landscape Ecology*, 33, 1399–1415. <https://doi.org/10.1007/S10980-018-0675-3>

- Gentry, K. E., & Luther, D. A. (2017). Spatiotemporal patterns of avian vocal activity in relation to urban and rural background noise. *JEA*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.22261/JEA.Z9TQHU>
- Gill, F. B. (2007). *Ornithology* (3rd ed.). WH Freeman and Co.
- Gish, S. L., & Morton, E. S. (1981). Structural Adaptations to Local Habitat Acoustics in Carolina Wren Songs. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, 56(1), 74–84. <https://doi.org/10.1111/J.1439-0310.1981.TB01285.X>
- Goutte, S., Dubois, A., Howard, S. D., Márquez, R., Rowley, J. J. L., Dehling, J. M., Grandcolas, P., Xiong, R. C., & Legendre, F. (2018). How the environment shapes animal signals: a test of the acoustic adaptation hypothesis in frogs. *Journal of Evolutionary Biology*, 31(1), 148–158. <https://doi.org/10.1111/JEB.13210>
- Grafen, A. (1990). Biological signals as handicaps. *Journal of Theoretical Biology*, 144(4), 517–546. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(05\)80088-8](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(05)80088-8)
- Halfwerk, W., Holleman, L. J. M., Lessells, C. M., & Slabbekoorn, H. (2011). Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology*, 48(1), 210–219. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2010.01914.X>
- Henwood, K., & Fabrick, A. (1979). A Quantitative Analysis of the Dawn Chorus: Temporal Selection for Communicatory Optimization. *The University of Chicago Press Journals*, 114(2), 260–274. <https://doi.org/10.1086/283473>
- Kaplan, G. (2014). Animal communication. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(6), 661–677. <https://doi.org/10.1002/WCS.1321>
- Kassambara, A. (2020). *ggpubr: “ggplot2” Based Publication Ready Plots*. (0.4.0). R package. <https://cran.r-project.org/package=ggpubr>
- Keast, A. (1994). Temporal Vocalization Patterns in Members of a Eucalypt Forest Bird Community: the Effects of Weather on Song Production. *Emu*, 94(3), 172–180. <https://doi.org/10.1071/MU9940172>

- Kight, C. R., & Swaddle, J. P. (2011). How and why environmental noise impacts animals: An integrative, mechanistic review. *Ecology Letters*, 14(10), 1052–1061.
<https://doi.org/10.1111/J.1461-0248.2011.01664.X>
- Kirschel, A. N. G., Blumstein, D. T., Cohen, R. E., Buermann, W., Smith, T. B., & Slabbekoorn, H. (2009). Birdsong tuned to the environment: green hylia song varies with elevation, tree cover, and noise. *Behavioral Ecology*, 20(5), 1089–1095.
<https://doi.org/10.1093/BEHECO/ARP101>
- Kleist, N. J., Guralnick, R. P., Cruz, A., & Francis, C. D. (2016). Anthropogenic noise weakens territorial response to intruder's songs. *Ecosphere*, 7(3), e01259.
<https://doi.org/10.1002/ECS2.1259>
- Koffka, K. (1935). Principles of gestalt psychology. In *Principles of Gestalt Psychology* (1st ed.). Routledge.
- Kolasa, J., & Pickett, S. (1991). *Ecological Heterogeneity* (J. Kolasa & S. T. A. Pickett (eds.); 1st ed.). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3062-5>
- Krause, B. L. (1987). Bioacoustics: Habitat Ambience & Ecological Balance. *Whole Earth Review*, 57, 14–18.
- Krause, B. L., & Farina, A. (2016). Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Biological Conservation*, 195, 245–254.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2016.01.013>
- Leal, F., Lizcano, D. J., Moreno, G., & Sanchez, F. (2019). *Bat pass analysis in three vegetation covers (Forest, pastures and silvopastoral)*. RPubS - Bats in Cubarral Meta, Pass Activity.
https://rpubs.com/dlizcano/Bats_Cubarral2
- Lengagne, T., Aubin, T., Lauga, J., & Jouventin, P. (1999). How do king penguins (*Aptenodytes patagonicus*) apply the mathematical theory of information to communicate in windy conditions? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1429), 1623–1628. <https://doi.org/10.1098/RSPB.1999.0824>

- Lengagne, T., & Slater, P. J. B. (2002). The effects of rain on acoustic communication: tawny owls have good reason for calling less in wet weather. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 269(1505), 2121–2125.
<https://doi.org/10.1098/RSPB.2002.2115>
- Luther, D. A. (2009). The influence of the acoustic community on songs of birds in a neotropical rain forest. *Behavioral Ecology*, 20(4), 864–871. <https://doi.org/10.1093/BEHECO/ARP074>
- Luther, D. A., & Wiley, R. H. (2009). Production and perception of communicatory signals in a noisy environment. *Biology Letters*, 5(2), 183–187.
<https://doi.org/10.1098/RSBL.2008.0733>
- Lyon, R. H. (1973). Propagation of Environmental Noise. *Science*, 179(4078), 1083–1090.
<https://doi.org/10.1126/SCIENCE.179.4078.1083>
- Malavasi, R., & Farina, A. (2013). Neighbours' talk: interspecific choruses among songbirds. *Bioacoustics*, 22(1), 33–48. <https://doi.org/10.1080/09524622.2012.710395>
- Marín-Gómez, O. H., Dáttilo, W., Sosa-López, J. R., Santiago-Alarcon, D., & MacGregor-Fors, I. (2020). Where has the city choir gone? Loss of the temporal structure of bird dawn choruses in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 194, 103665.
<https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2019.103665>
- Marler, P. (1961). The logical analysis of animal communication. *Journal of Theoretical Biology*, 1(3), 295–317. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(61\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0022-5193(61)90032-7)
- Marten, K., & Marler, P. (1977). Sound transmission and its significance for animal vocalization. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 2(3), 271–290. <https://doi.org/10.1007/BF00299740>
- Merchan, C., Diaz-Balteiro, L., & Soliño, M. (2014). Noise pollution in national parks: Soundscape and economic valuation. *Landscape and Urban Planning*, 123, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2013.11.006>
- Merchant, N. D., Fristrup, K. M., Johnson, M. P., Tyack, P. L., Witt, M. J., Blondel, P., & Parks, S. E. (2015). Measuring acoustic habitats. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(3), 257–

265. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12330>

Morales-Rozo, A., Lizcano, D. J., Montoya Arango, S., Velásquez Suarez, Á., Álvarez Daza, E., & Acevedo-Charry, O. (2021). Diferencias en paisajes sonoros de sistemas silvopastoriles y potreros tradicionales del piedemonte llanero, Meta, Colombia. *Biota Colombiana*, 22(1), 74–95. <https://doi.org/10.21068/C2021.V22N01A05>

Morton, E. S. (1975). Ecological Sources of Selection on Avian Sounds. *The American Naturalist*, 109(965), 17–34. <https://doi.org/10.1086/282971>

Mullet, T. C. (2017). Connecting Soundscapes to Landscapes: Modeling the Spatial Distribution of Sound. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 211–223). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH12>

Muñoz, A., & Rodríguez, E. (2000). *Estudio Ecológico Comparativo de Bromeliaceae epifitas en dos zonas de vida: bmh-MB “Isla la Corota, Lago Guamuès”. Dpto. de Nariño y bh-T “Centro Experimental CEA” Dpto. del Putumayo*. [Tesis pregrado, Universidad de Nariño].

Naguib, M., & Riebel, K. (2013). Biocommunication of animals. In W. Guenther (Ed.), *Biocommunication of Animals* (Springer D, Issue January, pp. 233–247). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7414-8>

Napoletano, B. M. (2017). Integrating Biophony into Biodiversity Measurement and Assessment. In A. Farina & S. H. Gage (Eds.), *Ecoacoustics: The Ecological Role of Sounds* (pp. 169–192). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119230724.CH10>

Nottebohm, F. (1985). Sound transmission, signal salience, and song dialects. *Behavioral and Brain Sciences*, 8(1), 112–113. <https://doi.org/10.1017/S0140525X00019919>

O’neill, C., & Yurk, H. (2017). In-Air Noise Impact Assessment for Birds and Reptiles Based on a Preliminary Design of the Third Crossing of the Cataraqui River, Kingston, ON In-Air Noise Impact Assessment for Birds and Reptiles. *JASCO Applied Sciences*, 1–29. www.jasco.com

- Oro-Bracco, M. I. (2017). *Ecología acústica*. [Proyecto de fin de carrera, Universidad Politécnica de Madrid].
- Pacheco-Vargas, G., & Losada-Prado, S. (2015). Efecto del ruido del tráfico vehicular en cantos de *Hylophilus flavipes* y *Cyclarhis gujanensis*. (Effect of the Trac Noise on the Songs of *Hylophilus Flavipes* and *Cyclarhis gujanensis*.). *Ciencia En Desarrollo*, 6(2), 177–184. <https://doi.org/10.19053/01217488.3788>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2006). *Plan de manejo 2006-2010 Santuario de Flora Isla Corota*. <http://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2013/12/PMSFFIsladeLaCorota.pdf>
- Patten, M. A., Rotenberry, J. T., & Zuk, M. (2004). Habitat selection, acoustic adaptation, and the evolution of reproductive isolation. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*, 58(10), 2144–2155. <https://doi.org/10.1111/J.0014-3820.2004.TB01593.X>
- Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 11(3), 868–873. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2010.11.005>
- Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S. H., Dumyahn, S. L., & Krause, B. L. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecology*, 26(9), 1213–1232. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9600-8>
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: The science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- R Core Team. (2018). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>.
- Richards, D. G., & Wiley, R. H. (1980). Reverberations and Amplitude Fluctuations in the Propagation of Sound in a Forest: Implications for Animal Communication. *The American Naturalist*, 115(3), 381–399. <https://doi.org/10.1086/283568>

- Rigby, R. A., & Stasinopoulos, D. M. (2005). Generalized additive models for location, scale and shape. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 54(3), 507–554. <https://doi.org/10.1111/J.1467-9876.2005.00510.X>
- Robert, A., Lengagne, T., Melo, M., Gardette, V., Julien, S., Covas, R., Gomez, D., & Doutrelant, C. (2019). The theory of island biogeography and soundscapes: Species diversity and the organization of acoustic communities. *Journal of Biogeography*, 46(9), 1901–1911. <https://doi.org/10.1111/JBI.13611>
- Rodriguez, A., Gasc, A., Pavoine, S., Grandcolas, P., Gaucher, P., & Sueur, J. (2014). Temporal and spatial variability of animal sound within a neotropical forest. *Ecological Informatics*, 21, 133–143. <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2013.12.006>
- Sánchez-Giraldo, C., Bedoya, C. L., Morán-Vásquez, R. A., Isaza, C. V., & Daza, J. M. (2020). Ecoacoustics in the rain: understanding acoustic indices under the most common geophonic source in tropical rainforests. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 6(3), 248–261. <https://doi.org/10.1002/RSE2.162>
- Sánchez-Giraldo, C., Correa Ayram, C., & Daza, J. M. (2021). Environmental sound as a mirror of landscape ecological integrity in monitoring programs. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(3), 319–328. <https://doi.org/10.1016/J.PECON.2021.04.003>
- Saunders, J., & Dooling, R. J. (1974). Noise induced threshold shift in the parakeet (*Melopsittacus undulatus*). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 71(5), 1962–1965. <https://doi.org/10.1073/PNAS.71.5.1962>
- Schafer, R. M. (1977). *The tuning of the world*. McClelland and Stewart.
- Schummer, M. L., & Eddleman, W. R. (2003). Effects of Disturbance on Activity and Energy Budgets of Migrating Waterbirds in South-Central Oklahoma. *The Journal of Wildlife Management*, 67(4), 789. <https://doi.org/10.2307/3802686>
- Seyfarth, R. M., & Cheney, D. (2003). Signalers and Receivers in Animal Communication. *Annual Review of Psychology*, 54(1), 145–173. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.PSYCH.54.101601.145121>

- Seyfarth, R. M., Cheney, D. L., Bergman, T., Fischer, J., Zuberbühler, K., & Hammerschmidt, K. (2010). The central importance of information in studies of animal communication. *Animal Behaviour*, 80(1), 3–8. <https://doi.org/10.1016/J.ANBEHAV.2010.04.012>
- Sittler, P. R., & Paz, F. (2016). Paisaje sonoro en bosques de montaña de Guatemala. *Revista de La Universidad Del Valle de Guatemala*, 32, 13–24.
- Slabbekoorn, H., & Ripmeester, E. A. P. (2008). Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, 17(1), 72–83. <https://doi.org/10.1111/J.1365-294X.2007.03487.X>
- Smith, J. M. B. (1991). Honest signalling: the Philip Sidney game. *Animal Behaviour*, 42(6), 1034–1035. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(05\)80161-7](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(05)80161-7)
- Smith, J. W., & Pijanowski, B. C. (2014). Human and policy dimensions of soundscape ecology. *Global Environmental Change*, 28(1), 63–74. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2014.05.007>
- Southworth, M. (1969). The Sonic Environment of Cities: *Environment and Behavior*, 1(1), 49–70. <https://doi.org/10.1177/001391656900100104>
- Sueur, J. (2002). Cicada acoustic communication: potential sound partitioning in a multispecies community from Mexico (Hemiptera: Cicadomorpha: Cicadidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 75(3), 379–394. <https://doi.org/10.1046/J.1095-8312.2002.00030.X>
- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Equipment review: Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>
- Sueur, J., & Farina, A. (2015). Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound. *Biosemitics*, 8(3), 493–502. <https://doi.org/10.1007/S12304-015-9248-X>
- Tenez, E.-D. (2016). *CARACTERIZACIÓN DEL PAISAJE SONORO ASOCIADO A LAS CARRETERAS INTERNAS DEL PARQUE NACIONAL SANTA ROSA, COSTA RICA*. [Tesis

de Maestría, Universidad Nacional de Costa Rica].

- Tobias, J. A., Planqué, R., Cram, D. L., & Seddon, N. (2014). Species interactions and the structure of complex communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(3), 1020–1025.
<https://doi.org/10.1073/PNAS.1314337111>
- Truax, B. (1978). *The World Soundscape Project's Handbook for acoustic ecology*. A.R.C. Publications.
- VanSchaik, J. (2017). Spatial Soundscape Ecology: Application in a Paleotropical Rainforest. *The Journal of Purdue Undergraduate Research*, 7(1), 10.
<https://doi.org/10.5703/1288284316399>
- Velásquez, N. A., Moreno-Gómez, F. N., Brunetti, E., & Penna, M. (2018). The acoustic adaptation hypothesis in a widely distributed South American frog: Southernmost signals propagate better. *Scientific Reports*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25359-y>
- Villanueva-Rivera, L. J., & Pijanowski, B. C. (2018). *Soundecology: soundscape ecology* (1.3.3). R package. <https://cran.r-project.org/package=soundecology>
- Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecology*, 26, 1233–1246.
<https://doi.org/10.1007/S10980-011-9636-9>
- Vokurková, J., Motombi, F. N., Ferenc, M., Hořák, D., & Sedláček, O. (2018). Seasonality of vocal activity of a bird community in an Afrotropical lowland rain forest. *Journal of Tropical Ecology*, 34(1), 53–64. <https://doi.org/10.1017/S0266467418000056>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (2nd ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>
- Wickham, H., & Seidel, D. (2022). *scales: Scale Functions for Visualization* (1.2.0). R Package. <https://scales.r-lib.org/>

- Wiley, R. H., & Richards, D. G. (1978). Physical constraints on acoustic communication in the atmosphere: Implications for the evolution of animal vocalizations. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 1978 3:1, 3(1), 69–94. <https://doi.org/10.1007/BF00300047>
- Wilke, C. O. (2021). *ggridges: Ridgeline Plots in “ggplot2”* (0.5.3). R package. <https://cran.r-project.org/package=ggridges>
- Wollerman, L., & Wiley, R. H. (2002). Possibilities for error during communication by neotropical frogs in a complex acoustic environment. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 52(6), 465–473. <https://doi.org/10.1007/S00265-002-0534-7>
- Zhang, S. H., Zhao, Z., Xu, Z. Y., Bellisario, K., & Pijanowski, B. C. (2018). Automatic Bird Vocalization Identification Based on Fusion of Spectral Pattern and Texture Features. *ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 271–275. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2018.8462156>

10. Anexos

A. Listado de aves detectadas en las grabaciones de paisaje sonoro.

Orden	Familia	Género	Especie
PODICIPEDIFORMES	Podicipedidae	Podilymbus	<i>Podilymbus podiceps</i> (Linnaeus, 1758)
COLUMBIFORMES	Columbidae	Patagioenas	<i>Patagioenas fasciata</i> (Say) 1823
COLUMBIFORMES	Columbidae	Leptotila	<i>Leptotila verreauxi</i> (Bonaparte) 1855
COLUMBIFORMES	Columbidae	Columba	<i>Columba livia</i>
COLUMBIFORMES	Columbidae	Zenaida	<i>Zenaida auriculata</i> (Des Murs) 1847
CAPRIMULGIFORMES	Caprimulgidae	Systellura	<i>Systellura longirostris</i> (Bonaparte) 1825
STRIGIFORMES	Strigidae	Ciccaba	<i>Ciccaba virgata</i> (Cassin) 1849
STRIGIFORMES	Strigidae	Ciccaba	<i>Ciccaba albitarsis</i> (Cassin) 1849
APODIFORMES	Trochilidae	Lafresnaya	<i>Lafresnaya lafresnayi</i> (Boissonneau) 1840
APODIFORMES	Trochilidae	Colibri	<i>Colibri coruscans</i> (Gould) 1846
APODIFORMES	Trochilidae	Coeligena	<i>Coeligena torquata</i> (Boissonneau) 1840
APODIFORMES	Trochilidae	Heliangelus	<i>Heliangelus exortis</i> (Fraser) 1840
APODIFORMES	Trochilidae	Metallura	<i>Metallura tyrianthina</i> (Loddiges) 1832
GRUIFORMES	Rallidae	Fulica	<i>Fulica ardesiaca</i> (Tschudi) 1843
GRUIFORMES	Rallidae	Rallus	<i>Rallus limicola</i> (Vieillot) 1819
CHARADRIIFORMES	Scolopacidae	Gallinago	<i>Gallinago nobilis</i> (Sclater) 1856
CICONIIFORMES	Phalacrocoracidae	Phalacrocorax	<i>Phalacrocorax brasilianus</i> (Gmelin, 1789)
PELECANIFORMES	Ardeidae	Nycticorax	<i>Nycticorax nycticorax</i>
PASSERIFORMES	Tyrannidae	Elaenia	<i>Elaenia albiceps</i>
PASSERIFORMES	Tyrannidae	Elaenia	<i>Elaenia frantzii</i> (Lawrence) 1865
PASSERIFORMES	Tyrannidae	Elaenia	<i>Elaenia pallatangae</i> (Sclater, PL) 1862
PASSERIFORMES	Tyrannidae	Elaenia	<i>Elaenia parvirostris</i> (Pelzelin) 1868
PASSERIFORMES	Tyrannidae	Myiotheretes	<i>Myiotheretes fumigatus</i> (Boissonneau, 1840)
PASSERIFORMES	Turdidae	Turdus	<i>Turdus fuscater</i> (Lafresnaye & Orbigny) 1837
PASSERIFORMES	Traupidae	Diglossa	<i>Diglossa albilatera</i> (Lafresnaye) 1843
PASSERIFORMES	Traupidae	Diglossa	<i>Diglossa caerulescens</i> (Sclater, PL) 1856
PASSERIFORMES	Traupidae	Diglossa	<i>Diglossa cyanea</i> (Lafresnaye) 1840
PASSERIFORMES	Traupidae	Diglossa	<i>Diglossa humeralis</i> (Fraser) 1840
PASSERIFORMES	Fringillidae	Spinus	<i>Spinus olivaceus</i> (Berlepsch y Stolzmann) 1894
PASSERIFORMES	Parulidae	Setophaga	<i>Setophaga fusca</i> (Statius Muller) 1776
PASSERIFORMES	Parulidae	Mioborus	<i>Mioborus melanocephalus</i> (Tschudi) 1844
PASSERIFORMES	Parulidae	Mioborus	<i>Mioborus miniatus</i>
PASSERIFORMES	Parulidae	Myiothlypis	<i>Myiothlypis nigrocristata</i> (Lafresnaye, 1840)
PASSERIFORMES	Icteridae	Cacicus	<i>Cacicus chrysnotus</i> (Lafresnaye & Orbigny) 1838
PASSERIFORMES	Hirundinidae	Orechelidon	<i>Orechelidon murina</i> (Cassin) 1853
PASSERIFORMES	Furnariidae	Synallaxis	<i>Synallaxis azarae</i> (Orbigny) 1835
PASSERIFORMES	Pasarellidae	Atlapetes	<i>Atlapetes schistaceus</i> (Boissonneau) 1840
PASSERIFORMES	Emberizidae	Zonotrichia	<i>Zonotrichia capensis</i> (Statius Muller) 1776
PASSERIFORMES	Cotingidae	Ampelion	<i>Ampelion rubrocristatus</i> (Orbigny & Lafresnaye) 1837

B. Resultados modelo lineal ajustado.

Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']

Fórmula: $ACI \sim \text{Punto} + \text{fecha} + \text{Punto} * \text{fecha} + (1 | \text{Horar})$

Data: MLGM

REML criterion at convergence: 50665.1

Scaled residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.9163	-0.5227	-0.2017	0.1702	7.8447

Random effects:

Groups	Name	Variance	Std.Dev.
--------	------	----------	----------

Horar	(Intercept)	144	12.00
-------	-------------	-----	-------

Residual	1314	36.25
----------	------	-------

Number of obs: 5038, groups: Horar, 84

Fixed effects:

Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)
----------	------------	----	---------	----------

(Intercept)	8.973e+02	2.134e+00	4.292e+02	420.411 < 2e-16 ***
-------------	-----------	-----------	-----------	---------------------

Punto	-4.667e-01	2.716e-01	4.951e+03	-1.719 0.0857 .
-------	------------	-----------	-----------	-----------------

fecha	6.938e-03	3.115e-03	4.951e+03	2.228 0.0260 *
-------	-----------	-----------	-----------	----------------

Punto:fecha	3.250e-03	5.019e-04	4.951e+03	6.476 1.03e-10 ***
-------------	-----------	-----------	-----------	--------------------

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

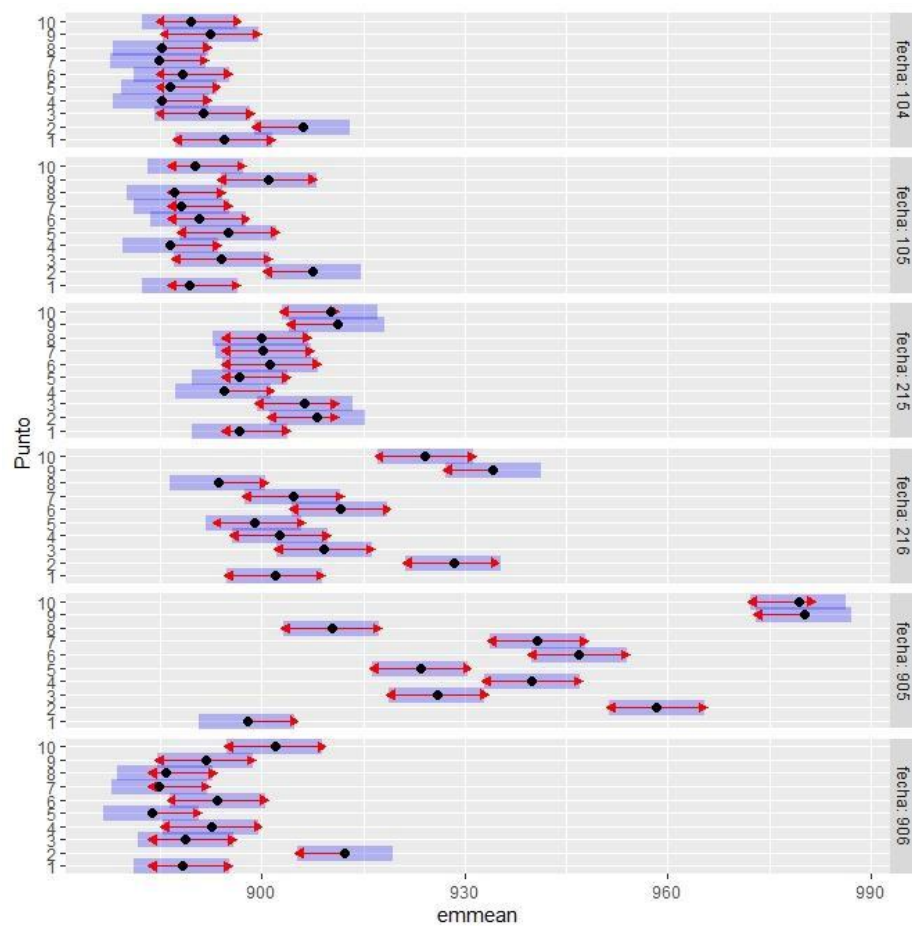
Correlation of Fixed Effects:

(Intr) Punto fecha

Punto -0.700

fecha -0.597 0.670

Punto: fecha 0.529 -0.756 -0.886



Modelo GAMM.

Family: Negative Binomial(1.761)

Link function: log

Fórmula:

Riqueza ~ s(Ruido) + s(Horar) + s(Punto)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.33542	0.05924	5.662	1.58e-08 ***

(Intercept) 0.33542 0.05924 5.662 1.58e-08 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(Ruido)	5.452	5.452	61.04	< 2e-16 ***
s(Horar)	8.914	8.914	134.53	< 2e-16 ***
s(Punto)	7.803	7.803	13.69	6.92e-16 ***

s(Ruido) 5.452 5.452 61.04 < 2e-16 ***

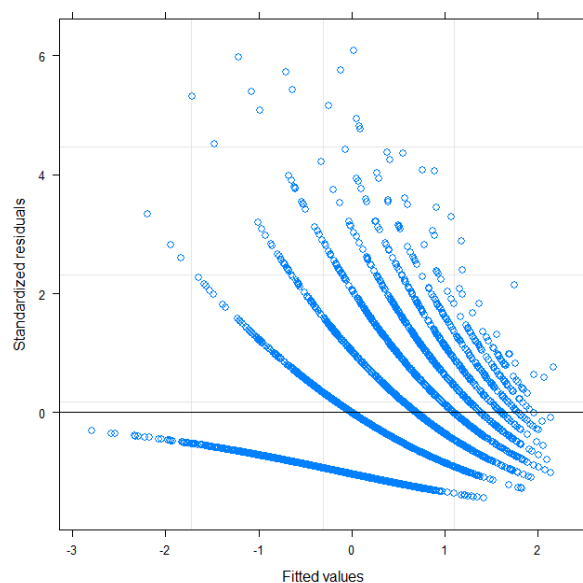
s(Horar) 8.914 8.914 134.53 < 2e-16 ***

s(Punto) 7.803 7.803 13.69 6.92e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.368

Scale est. = 0.59451 n = 5038



C. Resultados del test de probabilidad de modelos negativos binomiales.

Likelihood ratio tests of Negative Binomial Models

Response: riqueza

Model

- 1 punto - 1
- 2 punto - 1 + fecha
- 3 punto - 1 + fecha + horar
- 4 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar
- 5 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora
- 6 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora + ruidoporgrabacion
- 7 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora + ruidoporgrabacion + ruidolancha
- 8 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidoporgrabacion + ruidolancha + ruidogeo
- 9 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora + ruidolancha + ruidogeo
- 10 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora + ruidoporgrabacion + ruidogeo
- 11 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora + ruidoporgrabacion + ruidolancha
- 12 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora + ruidoporgrabacion + ruidolancha + ruidogeo
- 13 punto - 1 + fecha + fuente_ave + horar + ruidohora + ruidoporgrabacion + ruidolancha + ruidogeo

theta	Resid. df	2 x log-lik.	Test	df	LR stat.	Pr(Chi)
1	0.9345819	8891	-58308.16			
2	0.9380699	8886	-58271.33	1 vs 2	5	36.82784343 6.484764e-07
3	0.9734708	8803	-57913.23	2 vs 3	83	358.09281863 0.000000e+00
4	1.4120080	8762	-54627.73	3 vs 4	41	3285.50504895 0.000000e+00
5	1.4154988	8761	-54605.61	4 vs 5	1	22.12247860 2.557969e-06
6	1.4165656	8760	-54599.27	5 vs 6	1	6.33829651 1.181583e-02
7	1.4165734	8759	-54599.25	6 vs 7	1	0.01665351 8.973193e-01
8	1.4205325	8759	-54576.45	7 vs 8	0	22.80278620 0.000000e+00
9	1.4203104	8759	-54577.47	8 vs 9	0	-1.02544978 1.000000e+00
10	1.4203177	8759	-54577.80	9 vs 10	0	-0.32768022 1.000000e+00
11	1.4165734	8759	-54599.25	10 vs 11	0	-21.44965621 1.000000e+00
12	1.4206173	8758	-54575.75	11 vs 12	1	23.50494461 1.245931e-06
13	1.4206173	8758	-54575.75	12 vs 13	0	0.00000000 1.000000e+00

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.6088	-1.0103	-0.4013	0.2843	7.7047

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
punto01	1.4049908	0.4504921	3.119	0.001816 **
punto02	1.4882092	0.4500548	3.307	0.000944 ***
punto03	1.2402946	0.4470151	2.775	0.005527 **

punto04	1.2745437	0.4475999	2.848	0.004406	**
punto05	1.4243833	0.4483200	3.177	0.001487	**
punto06	1.2224619	0.4464571	2.738	0.006179	**
punto07	1.3709549	0.4463633	3.071	0.002131	**
punto08	1.1036269	0.4507039	2.449	0.014338	*
punto09	1.2786110	0.4472995	2.859	0.004256	**
punto10	1.4841788	0.4547877	3.263	0.001101	**
fecha0105	0.0379695	0.0330971	1.147	0.251292	
fecha0215	0.1490513	0.0353622	4.215	2.50e-05	***
fecha0216	0.1718097	0.0362401	4.741	2.13e-06	***
fecha0905	0.1483495	0.0415184	3.573	0.000353	***
fecha0906	0.0293957	0.0342679	0.858	0.390992	
fuelle_aveA_schistaceus	0.7866248	0.1861150	4.227	2.37e-05	***
fuelle_aveAve_sp12	-0.3638580	0.6825493	-0.533	0.593974	
fuelle_aveAve_sp27	1.6338106	0.2151003	7.596	3.06e-14	***
fuelle_aveAve_sp32	0.6048850	0.5767403	1.049	0.294270	
fuelle_aveC_albitarsis	-0.6379999	0.5323952	-1.198	0.230778	
fuelle_aveC_chrysonotus	1.5214655	0.1829050	8.318	< 2e-16	***
fuelle_aveC_coruscans	2.7229709	0.1911872	14.242	< 2e-16	***
fuelle_aveC_livia	0.4055907	0.5824777	0.696	0.486229	
fuelle_aveC_torquata	0.6841197	0.1977310	3.460	0.000540	***
fuelle_aveC_virgata	-0.8901999	1.3493198	-0.660	0.509421	
fuelle_aveD_albilatera	0.3625359	0.2630202	1.378	0.168093	
fuelle_aveD_caerulescens	1.1332047	0.1901373	5.960	2.52e-09	***
fuelle_aveD_cyanea	1.0909381	0.1850995	5.894	3.77e-09	***
fuelle_aveD_humeralis	0.1306943	0.4886744	0.267	0.789125	
fuelle_aveDiglossa_sp	0.8561257	0.1810127	4.730	2.25e-06	***
fuelle_aveE_albiceps	0.1557208	0.1874959	0.831	0.406240	
fuelle_aveE_frantzii	0.7080585	0.1848379	3.831	0.000128	***
fuelle_aveE_pallatangae	0.4767218	0.1803209	2.644	0.008200	**
fuelle_aveE_parvirostris	-0.2727038	0.2019435	-1.350	0.176889	
fuelle_aveF_ardesiaca	-0.6421950	0.2150758	-2.986	0.002827	**
fuelle_aveG_nobilis	2.0272109	0.6373295	3.181	0.001469	**
fuelle_aveH_exortis	1.2579814	0.1976928	6.363	1.97e-10	***
fuelle_aveL_lafresnayi	1.6813675	0.2511557	6.695	2.16e-11	***
fuelle_aveL_verreauxi	-0.7738215	0.4861664	-1.592	0.111457	
fuelle_aveM_fumigatus	1.1376415	0.3369899	3.376	0.000736	***
fuelle_aveM_melanocephalus	0.8446334	0.1829974	4.616	3.92e-06	***
fuelle_aveM_miniatus	-0.1318666	0.2237253	-0.589	0.555584	
fuelle_aveM_nigrocristata	-0.4542574	0.3445240	-1.319	0.187334	
fuelle_aveM_tyrianthina	0.4449775	0.1838833	2.420	0.015525	*
fuelle_aveN_nycticorax	0.6155146	0.3190984	1.929	0.053741	.
fuelle_aveP_fasciata	1.0959187	0.1837074	5.966	2.44e-09	***
fuelle_aveP_infuscatus	0.8937250	0.2711894	3.296	0.000982	***
fuelle_aveP_podiceps	-0.4298740	0.3174078	-1.354	0.175632	
fuelle_aveR_limicola	-0.8691952	0.3273941	-2.655	0.007933	**

fuelle_aveS_azarae	2.1074839	0.1842663	11.437	< 2e-16	***
fuelle_aveS_fusca	2.5354426	0.1966483	12.893	< 2e-16	***
fuelle_aveS_longirostris	-1.0236458	0.8149008	-1.256	0.209058	
fuelle_aveS_olivaceus	1.0206840	0.2269963	4.496	6.91e-06	***
fuelle_aveT_fuscater	1.0362255	0.1828355	5.668	1.45e-08	***
fuelle_aveZ_auriculata	0.2101086	0.2415876	0.870	0.384465	
fuelle_aveZ_capensis	1.0700176	0.1854250	5.771	7.90e-09	***
horar0510	0.0414416	0.5456784	0.076	0.939463	
horar0520	-0.1714538	0.4760651	-0.360	0.718737	
horar0530	1.3505588	0.4221582	3.199	0.001378	**
horar0540	1.2718873	0.4081224	3.116	0.001831	**
horar0550	0.9428516	0.4057692	2.324	0.020146	*
horar0600	0.6190478	0.4026876	1.537	0.124222	
horar0610	0.2929724	0.4021864	0.728	0.466339	
horar0620	0.2154335	0.4020834	0.536	0.592102	
horar0630	0.2803023	0.4019712	0.697	0.485603	
horar0640	0.1151318	0.4026825	0.286	0.774945	
horar0650	-0.0609862	0.4023200	-0.152	0.879513	
horar0700	0.0690910	0.4024282	0.172	0.863685	
horar0710	0.1431123	0.4027168	0.355	0.722315	
horar0720	0.0260866	0.4033883	0.065	0.948438	
horar0730	-0.0879235	0.4032479	-0.218	0.827399	
horar0740	-0.0073571	0.4032494	-0.018	0.985444	
horar0750	0.1715965	0.4033997	0.425	0.670563	
horar0800	0.1054886	0.4035722	0.261	0.793794	
horar0810	0.1132176	0.4046095	0.280	0.779616	
horar0820	0.0992349	0.4045903	0.245	0.806245	
horar0830	0.0448586	0.4042728	0.111	0.911647	
horar0840	0.2103756	0.4043046	0.520	0.602827	
horar0850	0.0363598	0.4055114	0.090	0.928554	
horar0900	-0.0528142	0.4047591	-0.130	0.896184	
horar0910	-0.0003938	0.4039880	-0.001	0.999222	
horar0920	0.1379260	0.4053860	0.340	0.733680	
horar0930	0.0542913	0.4066204	0.134	0.893783	
horar0940	-0.0731900	0.4075572	-0.180	0.857481	
horar0950	0.1435861	0.4054395	0.354	0.723227	
horar1000	0.0720857	0.4049796	0.178	0.858724	
horar1010	0.0550331	0.4079785	0.135	0.892697	
horar1020	0.0310488	0.4084608	0.076	0.939408	
horar1030	0.0666496	0.4078486	0.163	0.870190	
horar1040	0.0143708	0.4084430	0.035	0.971933	
horar1050	0.0441844	0.4090596	0.108	0.913984	
horar1100	0.0122118	0.4083232	0.030	0.976141	
horar1110	-0.0311718	0.4089638	-0.076	0.939243	
horar1120	-0.0370787	0.4092612	-0.091	0.927811	
horar1130	0.0768159	0.4106620	0.187	0.851618	

horar1140	0.1978975	0.4105647	0.482	0.629797
horar1150	0.1353592	0.4103966	0.330	0.741532
horar1200	-0.0214958	0.4089781	-0.053	0.958083
horar1210	0.2048315	0.4096571	0.500	0.617070
horar1220	0.0764878	0.4106138	0.186	0.852228
horar1230	0.0996442	0.4089158	0.244	0.807479
horar1240	0.3249684	0.4118824	0.789	0.430122
horar1250	0.0369011	0.4105488	0.090	0.928381
horar1300	-0.1113781	0.4085335	-0.273	0.785138
horar1310	-0.2236743	0.4095130	-0.546	0.584931
horar1320	-0.0556670	0.4101970	-0.136	0.892052
horar1330	0.0353757	0.4079389	0.087	0.930896
horar1340	-0.1076944	0.4110729	-0.262	0.793334
horar1350	0.1153641	0.4125003	0.280	0.779730
horar1400	0.3252243	0.4109400	0.791	0.428702
horar1410	0.2220450	0.4116736	0.539	0.589630
horar1420	0.1283003	0.4111040	0.312	0.754974
horar1430	0.0475944	0.4110447	0.116	0.907820
horar1440	-0.1213076	0.4100278	-0.296	0.767343
horar1450	0.0345155	0.4085592	0.084	0.932674
horar1500	-0.1429054	0.4092907	-0.349	0.726974
horar1510	0.2135322	0.4112041	0.519	0.603562
horar1520	0.0241544	0.4125455	0.059	0.953311
horar1530	0.0384100	0.4096423	0.094	0.925296
horar1540	-0.1145418	0.4130461	-0.277	0.781542
horar1550	0.2405156	0.4122956	0.583	0.559653
horar1600	0.1649090	0.4098567	0.402	0.687421
horar1610	0.0244707	0.4097104	0.060	0.952373
horar1620	-0.0966174	0.4121649	-0.234	0.814663
horar1630	0.2075252	0.4116340	0.504	0.614156
horar1640	0.0945872	0.4129164	0.229	0.818814
horar1650	0.0330788	0.4124222	0.080	0.936073
horar1700	0.1237763	0.4130748	0.300	0.764447
horar1710	-0.0503911	0.4125531	-0.122	0.902785
horar1720	-0.0646244	0.4114146	-0.157	0.875183
horar1730	0.0819767	0.4100452	0.200	0.841542
horar1740	0.1996984	0.4150881	0.481	0.630446
horar1750	0.0676739	0.4131884	0.164	0.869901
horar1800	-0.0507996	0.4114118	-0.123	0.901730
horar1810	0.3736063	0.4076973	0.916	0.359467
horar1820	0.4032937	0.4057745	0.994	0.320278
horar1830	0.4457973	0.4182642	1.066	0.286502
horar1840	0.1546304	0.5081878	0.304	0.760916
horar1850	0.0815693	0.4777952	0.171	0.864444
ruidoporgrabacion	-0.0060581	0.0020519	-2.952	0.003153 **
ruidolancha	-0.0006071	0.0004466	-1.359	0.174026

ruidogeo -0.0025680 0.0005257 -4.884 1.04e-06 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(1.4205) family taken to be 1)

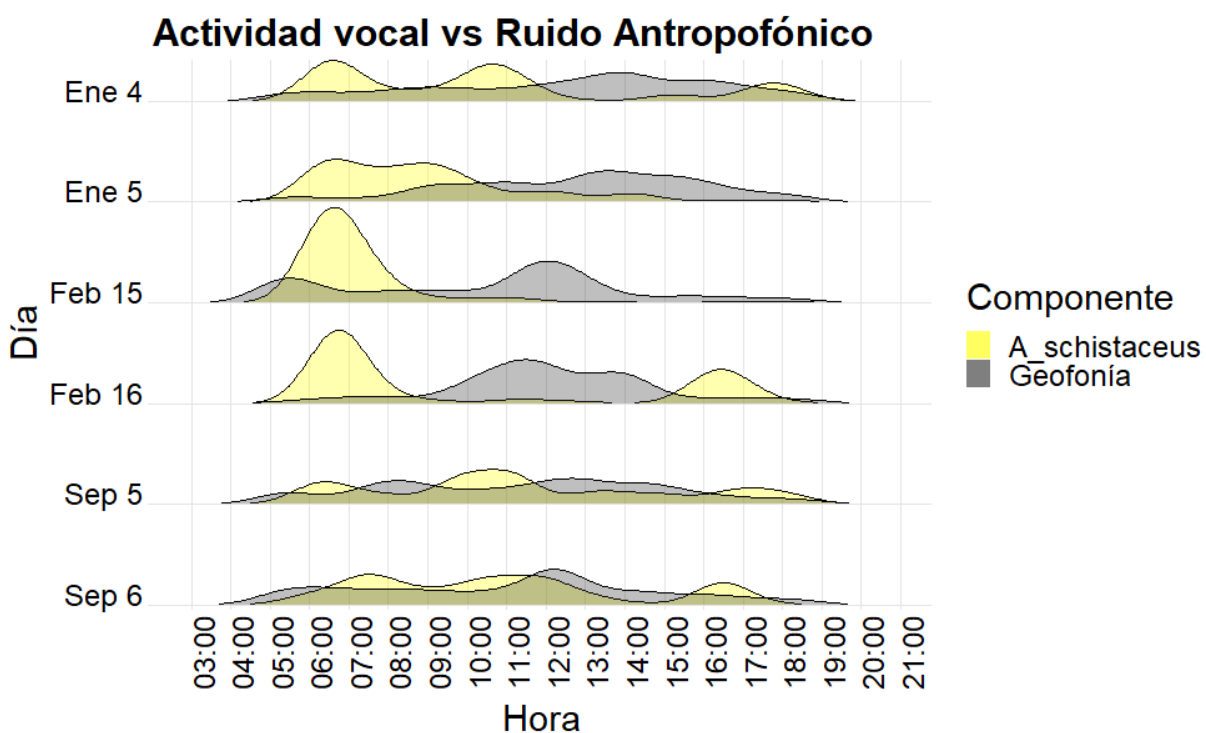
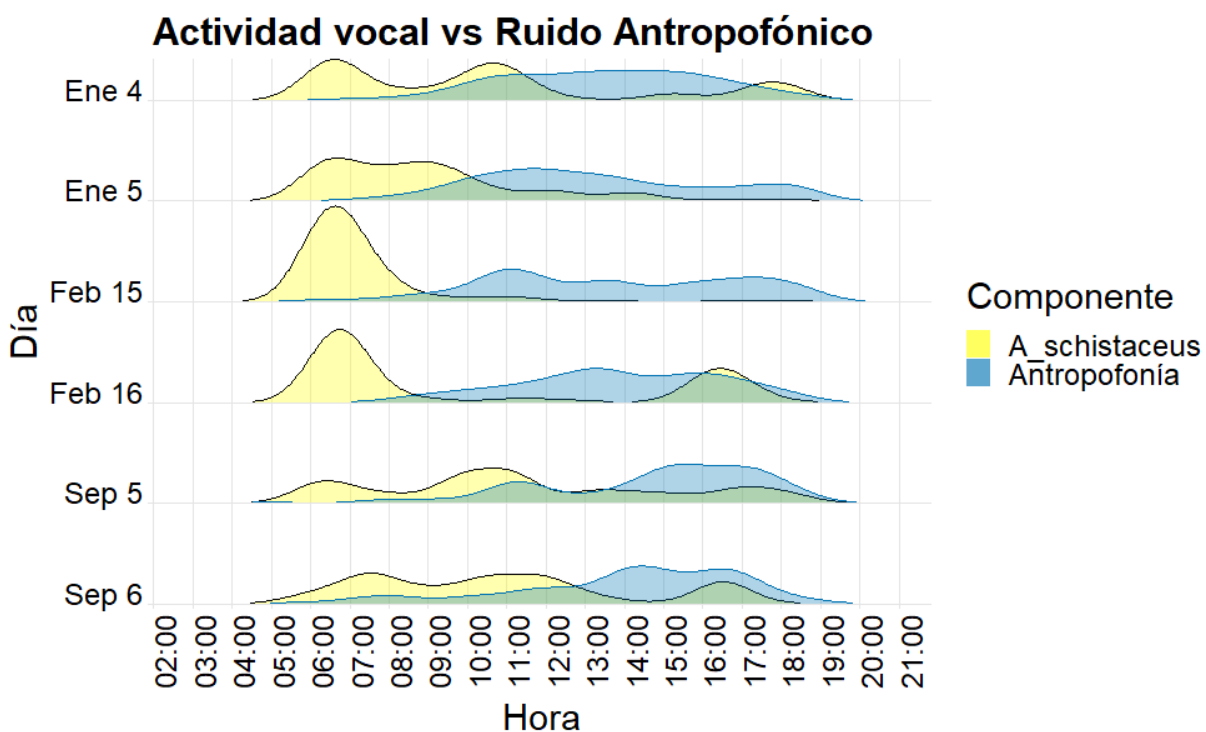
Null deviance: 101041.6 on 8901 degrees of freedom
Residual deviance: 9102.2 on 8759 degrees of freedom
AIC: 54862

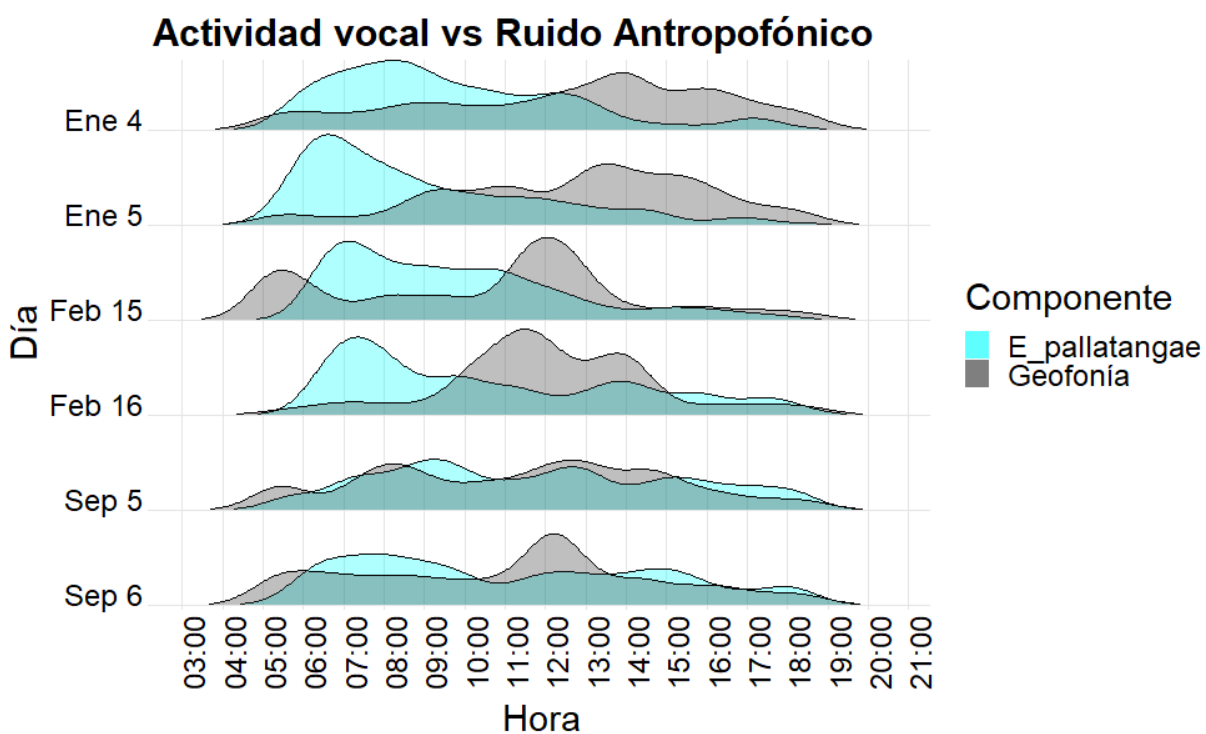
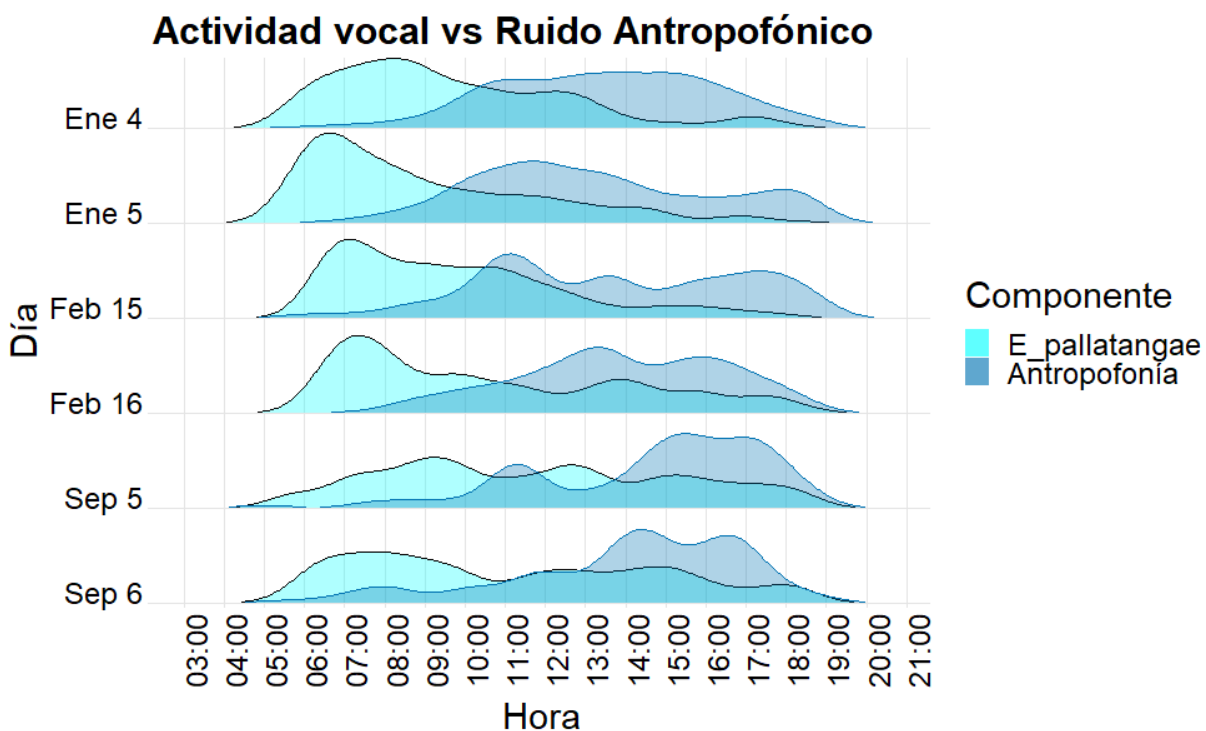
Number of Fisher Scoring iterations: 1

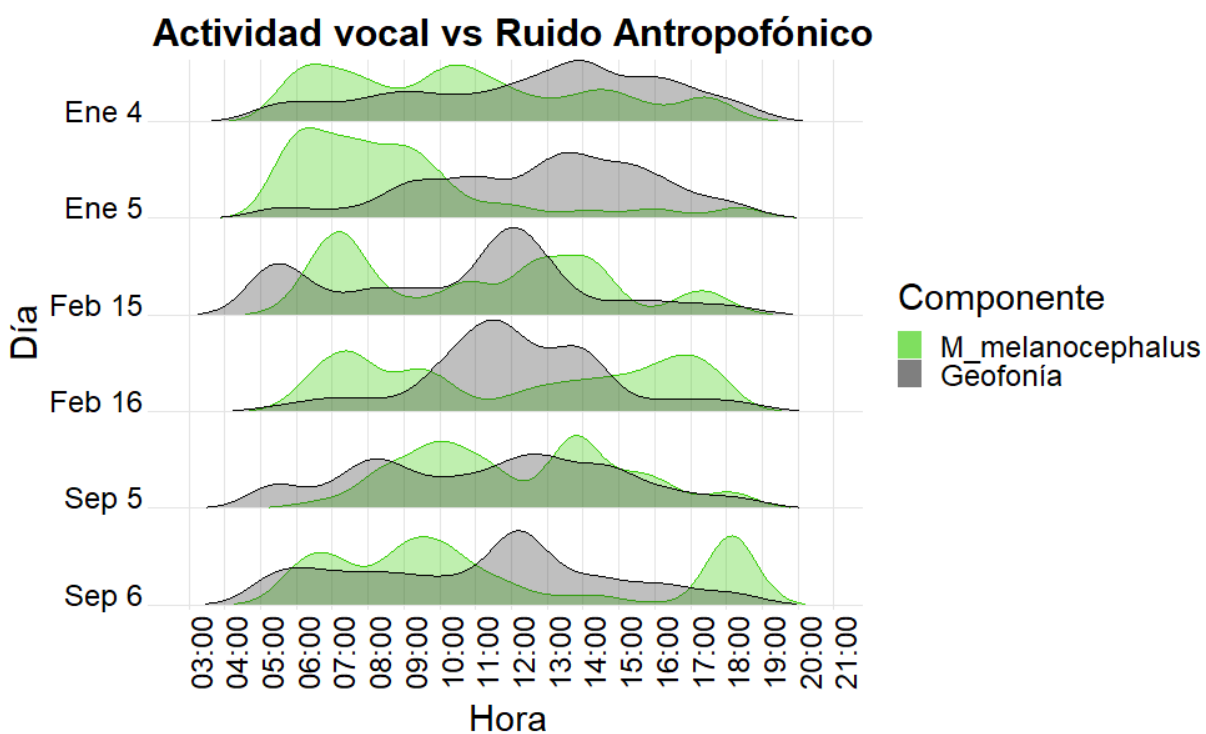
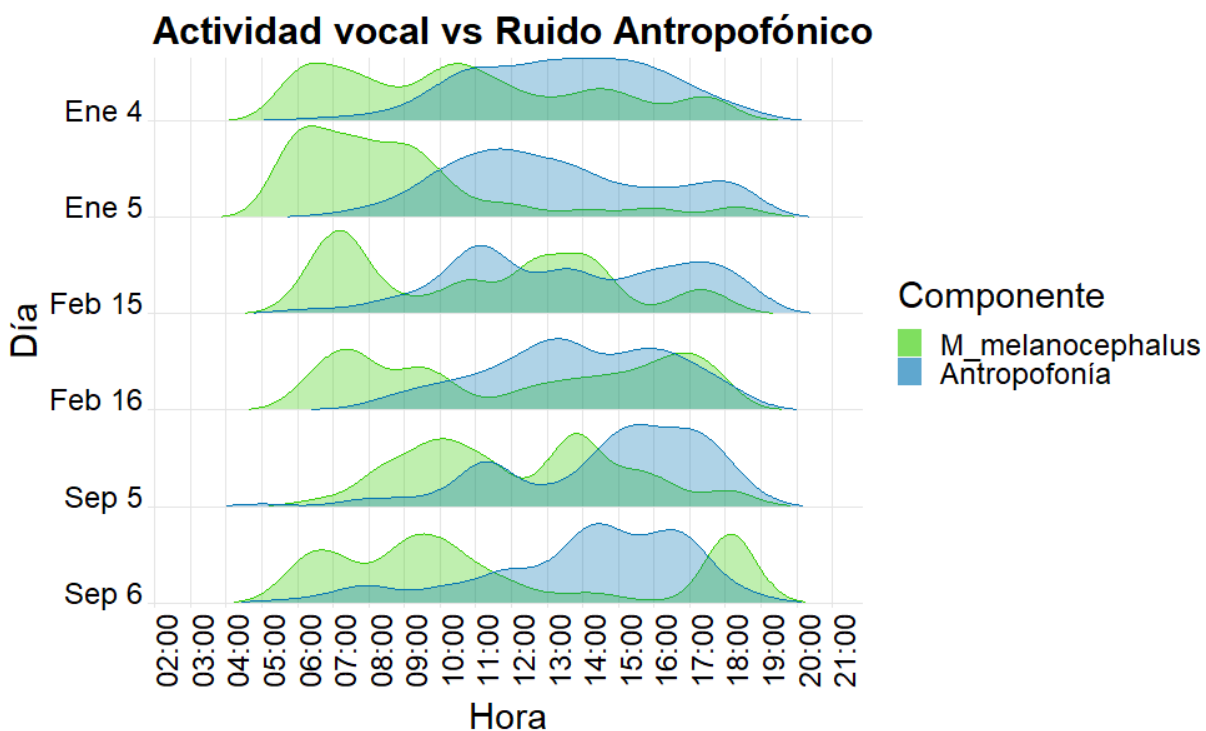
Theta: 1.4205
Std. Err.: 0.0240

2 x log-likelihood: -54576.4490

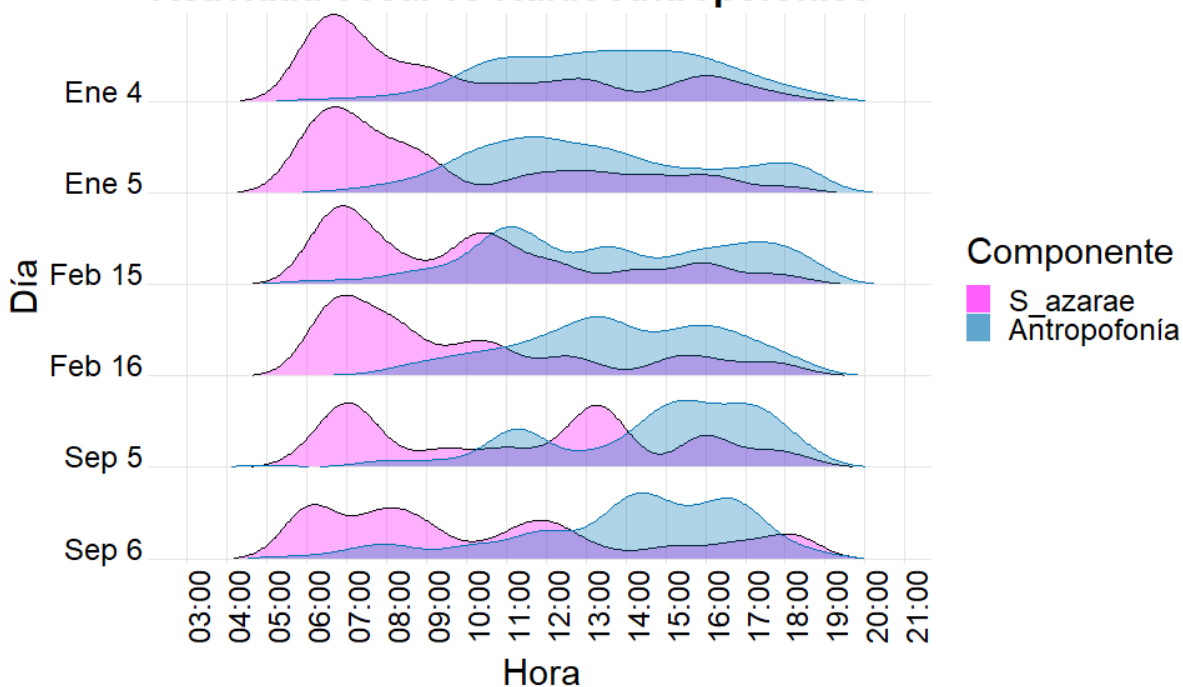
D. Actividad vocal frente a ruido antropofónico y geofónico de diferentes especies.







Actividad vocal vs Ruido Antropofónico



Actividad vocal vs Ruido Antropofónico

