

**Patrones de actividad vocal de *Oophaga lehmanni* a lo largo de un
gradiente temporal en la Reserva Forestal Protectora Nacional Río
Anchicayá**

CAMILO SANABRIA CASALLAS

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE CIENCIAS

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

BOGOTÁ COLOMBIA

2022

**Patrones de actividad vocal de *Oophaga lehmanni* a lo largo de un gradiente temporal
en la Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá**

Autor: CAMILO SANABRIA CASALLAS

Director: Wilmar Bolívar-García, PhD

Biólogo-Zoólogo

Departamento de Biología

Universidad del Valle

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas

Presidente de la Asociación Colombiana de Herpetología

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

FACULTAD DE CIENCIAS

PROGRAMA DE BIOLOGÍA

BOGOTÁ – COLOMBIA 2022

Nota de aceptación _____

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 2022

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a Dios, por haberme guiado y permitido completar este trabajo.

A mis padres, por siempre creer en mí y apoyarme sin importar las circunstancias.

A mi director Wilmar Bolívar, por su ayuda, confianza, criterio y por siempre tener buena disposición para dirigir el proyecto.

A Eliana Barona y Mónica Gómez por su gran apoyo durante todo el tiempo del proyecto y su gran disposición en el mismo.

Al Programa de Biología de la Universidad El Bosque, por aportarme durante todos estos años las bases y el conocimiento requerido para llegar a este punto.

Y a mis compañeros y profesores más cercanos, por hacer de esta experiencia universitaria una experiencia inolvidable.

NOTA DE SALVEDAD

Artículo 23 de la resolución N° 23 de junio de 1946 “La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por el Investigador en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este En aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Marco de referencia	3
Pregunta de investigación	7
Justificación	7
Objetivos	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Metodología	9
Área de estudio	9
Fase de campo	10
Revisión y análisis de las grabaciones.	14
Análisis de datos	18
Resultados y análisis.	19
Análisis de clasificación y detección de vocalizaciones	19
Actividad acústica por sitio de muestreo	20
Actividad acústica mensual con parámetros climáticos.	23

Actividad acústica diaria promedio y su relación con variables climáticas	34
Discusión	35
Conclusión	38
Referencias	39

Lista de Figuras

Figura 1. Área de estudio Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá. Fuente: Arcgis	9
Figura 2-3. Reconocimiento del lugar y posterior identificación de <i>Oophaga lehmanni</i> para instalación de equipos.	11
Figura 4-7. Visualización de <i>Oophaga lehmanni</i> y mayor actividad para posterior instalación de grabadoras.	11
Figura 8-12. Instalación de grabadoras junto a su Datalogger en los puntos con mayor frecuencias de <i>Oophaga lehmanni</i>	12
Figura 13-14. Recopilación de datos de la actividad vocal de <i>Oophaga lehmanni</i> en las grabadoras.	13
Figura 15-16. Subida de información en plataforma Arbimon separada por carpetas por sus respectivos puntos de muestreo.	14

Figura 17. Validación de presencias del canto de <i>Oophaga lehmanni</i> .	15
Figura 18. Pattern Matching para mirar presencias y ausencias del canto de <i>Oophaga lehmanni</i> .	16
Figura 19. Modelo de Random Forest el cual brinda información del número de cantos por hora, día y sitio de grabación.	17
Figura 20. Excel con resultados de los clasificadores corridos por Random forest	17
Figura 21. Patrón de actividad acústica de <i>Oophaga lehmanni</i> para interior de bosque 1 (Z1), interior de bosque 2 (Z2), interior de bosque 3 (Z3), Borde de bosque (Z4), Quebrada (Z5).	20
Figura 22. Patrón de actividad acústica de <i>Oophaga lehmanni</i> promediado para todos los sitios.	22
Figura 23. Actividad acústica mensual de <i>Oophaga lehmanni</i> en Z1.	24
Donde las siglas representan los meses , <i>octubre (O)</i> , <i>noviembre (N)</i> , <i>diciembre (D)</i> , <i>enero (E)</i> , la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).	24
Figura 24. Actividad acústica mensual de <i>Oophaga lehmanni</i> en Z1. Donde las siglas representan los meses , <i>octubre (O)</i> , <i>noviembre (N)</i> , <i>diciembre (D)</i> , <i>enero (E)</i> , la línea negra representa la actividad acústica y la azul Humedad Relativa.	25
Figura 25. Actividad acústica mensual de <i>Oophaga lehmanni</i> en Z2.	26
Donde las siglas representan los meses , <i>octubre (O)</i> , <i>noviembre (N)</i> , <i>diciembre (D)</i> , <i>enero (E)</i> , la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).	26
Figura 26. Actividad acústica mensual de <i>Oophaga lehmanni</i> en Z2 Donde las siglas representan los meses , <i>octubre (O)</i> , <i>noviembre (N)</i> , <i>diciembre (D)</i> , <i>enero (E)</i> , la línea negra representa la actividad acústica y la azul Humedad Relativa.	28
Figura 27. Actividad acústica mensual de <i>Oophaga lehmanni</i> en Z3. Donde las siglas representan los meses , <i>octubre (O)</i> , <i>noviembre (N)</i> , <i>diciembre (D)</i> ,	

la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C). 29

Figura 27. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z3. Donde las siglas representan los meses , *octubre (O)*, *noviembre (N)*, *diciembre (D)*, la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C). 30

Figura 29. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z4. 31

Donde las siglas representan los meses , *octubre (O)*, *noviembre (N)*, *diciembre (D)*, *enero (E)*, la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C). 32

Figura 30. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z4. 33

Donde las siglas representan los meses , *octubre (O)*, *noviembre (N)*, *diciembre (D)*, *enero (E)*, la línea negra representa la actividad acústica y la azul Humedad Relativa. 33

Figura 31. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z5. Donde 34

las siglas representan los meses , *octubre (O)*, *noviembre (N)*, la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C). 34

Figura 31. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z5. Donde las siglas representan los meses , *octubre (O)*, *noviembre (N)*, la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C). 35

Lista de tablas

Tabla 1. Detecciones por sitio de muestreo arrojadas mediante los modelos de Patter	19
Machine y Random Forest.	19
Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables climáticas de temperatura y humedad con actividad acústica. Código de color: correlación fuerte (rojo), correlación débil (amarillo)	36

Resumen

La actividad acústica en anuros es una de las estrategias por medio de las cuales estos individuos interactúan, logrando el reconocimiento intraespecífico, mantenimiento de territorios y acceso a reproducción. Las variables como la temperatura y la humedad relativa, pueden tener efectos tanto positivos como negativos sobre la actividad de canto y las dinámicas reproductivas de estos organismos. La actividad acústica representa un comportamiento importante en estos ensamblajes, cuya finalidad es la defensa del territorio y atracción de hembras. Adicionalmente es una herramienta que puede ser utilizada para determinar el efecto de actividades antrópicas y del cambio climático en ensamblajes de anuros. En el presente estudio se describe y evalúa la actividad acústica de *Oophaga lehmanni* que se validó mediante el uso del monitoreo acústico pasivo como una herramienta útil para detectar la presencia de la actividad vocal de la especie de estudio, con los modelos de Pattern Matching y Random Forest, con grabadoras automatizadas, esto como una herramienta novedosa ya que se le hace un seguimiento a una especie en peligro crítico de extinción y endémica de Colombia. Como resultados, se encontró que la actividad acústica de *Oophaga lehmanni* es completamente diurna, iniciando desde las 7:00 h y teniendo picos desde las 9:00 h a 13:00 h; por otro lado, la relación que tiene la actividad acústica con la temperatura es de un 0,93%. En cuanto a la humedad, presentó un 0,2% de relación, lo que evidencia que la temperatura tiene una relación positiva y la humedad no. En cuanto a la actividad acústica entre meses, se encontró poca variación. Por último, esta investigación aporta información valiosa a la comunidad científica, con relevancia para ser incluida en estrategias de monitoreo, estrategias de enriquecimiento de hábitat y estrategias de conservación de la especie.

Palabras clave: Actividad acústica, temperatura, humedad, monitoreo acústico pasivo, estrategias.

Abstract

Acoustic activity in anurans is one of the strategies by which individuals interact, achieving recognition between individuals of the same species, maintenance of territories and access to reproduction, among others. Variables such as temperature and relative humidity can have both positive and negative effects on the singing activity and reproductive dynamics of these organisms. Acoustic activity represents an important behavior in these assemblages, whose purpose is to defend the territory and attract females. Additionally, it is a tool that can be used to determine the effect of anthropogenic activities and climate change on anuran assemblages. In the present study, the acoustic activity of *Oophaga lehmanni* is described and evaluated, which was validated through the use of passive acoustic monitoring as a useful tool to detect the presence of vocal activity in the study species, with the Pattern Matching and Random models. Forest, with automated recorders, this as something very new, since a critically endangered and endemic species of the locality is monitored. As results, it was found that the acoustic activity of *Oophaga lehmanni* is clearly diurnal, starting from 7:00 am and having peaks from 9:00 am to 1:00 pm, on the other hand, the relationship that acoustic activity has with the temperature is of a 0.93% relationship, in terms of humidity it is with a 0.2% relationship, which shows that the temperature has a strong relationship and the humidity weak, in terms of the acoustic activity between months, it varies very little, there are slight

variations and the general pattern is maintained. Finally, this research provides valuable information to the scientific community, with the contribution of relevant data, very important to be included in monitoring strategies, habitat enrichment strategies and species conservation strategies. On the other hand, this helps us to establish a baseline for the design of long-term monitoring strategies, considering the logistical and economic advantages of the PAMs.

Keywords: Acoustic activity, temperature, humidity, passive acoustic monitoring

Introducción

Los anuros también conocidos como ranas y sapos hacen parte de la clase Amphibia y comprenden un aproximado de 8500 especies a nivel mundial (Inecol, 2022). Gran parte de esta diversidad de anfibios se ve representada en países como Colombia, el segundo con mayor diversidad en el mundo; que alberga 21 familias y 866 especies (Batrachia, 2022), donde más de 387 son endémicas (SIB, 2019). Los anuros, se caracterizan por poseer actividad mayormente nocturna y utilizar principalmente señales acústicas con el fin de lograr una comunicación efectiva (Toro, 2014). En cuanto a las señales acústicas producidas por los anuros nos brindan información sobre su presencia en un determinado lugar y momento (Sousa et al., 2018), lo que convierte al monitoreo acústico en una herramienta eficaz para analizar la biodiversidad en diferentes niveles a lo largo del tiempo (Pijanowski et al., 2011; Aide et al., 2017; Deichmann et al., 2018). Los monitoreos acústicos nos permiten contestar a muchas preguntas ecológicas, donde se pueden tomar multitud de datos. Con esto se entienden respuestas de especies ante la degradación de sus hábitats, donde se pueden llevar a cabo estrategias de conservación y manejo de hábitat (Sethi et al., 2020).

La familia Dendrobatidae se distribuye casi en todos los ambientes, especialmente en los ecosistemas muy húmedos, aunque se reporta que su mayor riqueza es en los bosques de niebla de la región amazónica y el Pacífico de Colombia (Braga et al., 2009 Batrachia, 2022). Este

grupo con hábitos diurnos, terrestres, habita en un rango altitudinal entre 200 y 2000 m (Grant et al., 2006; Chavez. & Saenz, 2017). Sus comportamientos reproductivos son bastante complejos puesto que implican el transporte de renacuajos en el dorso y/o la provisión de oocitos para consumo larval; ellos hacen las posturas en la hojarasca o en sitios que les permiten la acumulación de agua lluvia conocidas como fitotelmas (Grant et al., 2006; Bolívar et al., 2016). Un aproximado del 40 % de los dendrobátidos poseen coloraciones aposemáticas muy expresivas y compuestos defensivos en especial de tipo alcaloide, mientras el restante 60 % son considerados como no tóxicos (Parmesan & Yohe, 2003; Ospina et al., 2019).

Oophaga lehmanni es endémica de Colombia. Se localiza sobre la Cordillera Occidental, en la cuenca del río Anchicayá, en un rango altitudinal entre 700 y 1200 m.s.n.m. (Kirlin et al., 2006; Castro & Bolívar, 2010) Actualmente, se han confirmado poblaciones dentro de dos áreas protegidas: PNN Farallones de Cali (Bignotte et al., 2018) y la Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá (Bolívar et al., 2016.)

La Rana venenosa de Lehmann conocida científicamente como *Oophaga lehmanni* se observa en bosques conservados o secundarios, con áreas poco intervenidas ya pueda ser por cultivos o tala. Esta especie se observa, en troncos caídos en descomposición, encima de hojarasca, entre los espacios que se forman por las raíces de árboles (Bolívar et al., 2016.) Los machos presentan un comportamiento de territorialidad que incluye una serie de señales acústicas de delimitación y competencia por éxito reproductivo (Kirlin et al., 2006). Estos sitios de canto pueden estar expuestos o escondidos, como raíces, bejucos, roca, ramas y hojas (Lebien et al., 2020).

Marco de referencia

El canto en anuros juega un rol primordial en la comunicación de estos individuos, siendo uno de los componentes fundamentales y principales en el reconocimiento intraespecífico y además en la selección de potenciales parejas (Köhler et al., 2017; Wells, 2007). La emisión de cantos, puede comprometer un gasto energético bastante elevado en animales ectotermos (Gerhardt & Huber, 2002). Así, el esfuerzo de canto puede representar un *trade off* entre el tiempo utilizado en cantar y el gasto energético (Wells, 2007).

El espacio acústico de un lugar está determinado no solo por la presencia de organismos que usan señales acústicas, sino también por las características del hábitat, como la humedad, temperatura, densidad de vegetación y por la presencia de ruidos bióticos y abióticos (Toro, 2014). Todo esto hace que el espacio acústico sea un recurso limitante por el cual las especies deben competir, por lo que, para minimizar la competencia, las especies participan en el uso del espacio acústico (Bignotte et al., 2018).

El particionamiento acústico ha sido objeto de estudio en las comunidades de anuros en las últimas décadas por diversas razones (Parmesan & Yohe, 2003.; Ribeiro et al., 2013; Almendáriz & Batallas, 2008) Por ejemplo, ayudan al mantenimiento de las identidades de las especies simpátricas (Bignotte et al., 2018), así mismo, actúa como un mecanismo de aislamiento que evita el entrecruzamiento entre especies distintas (Bernal et al., 2004). Las especies que tienen cantos similares participan en el uso del espacio o tiempo; adicionalmente, se esperaría que las

especies simpátricas puedan coexistir si hay partición en el uso del recurso por el que las especies compiten (Angulo, 2006).

En un grado de particularidad los anuros llegan a especializar sus cantos, de modo que en determinadas estaciones marcan su reproducción con cantos que son únicos para dichas estaciones (Baugh & Ryan, 2010). Pueden responder a un carácter de comportamiento que varía entre las especies, como los de pelea (Bolívar et al., 1999), teniendo así una variedad que difiere de acuerdo con su contexto social (Wells, 2007).

El monitoreo acústico pasivo (PAM, por su sigla en inglés), se pueden usar en diferentes paisajes, colocando grabadoras en muchos lugares para registrar simultáneamente los sonidos de fuentes bióticas (fauna), abiótica (lluvia, agua, tormentas) y antropogénica, que permite responder preguntas sobre patrones de la diversidad. Se puede usar también para inventariar especies de manera rápida (Pérez et al., 2020), monitorear especies de interés para la conservación o incluso detectar especies invasoras (Acevedo et al., 2018). Mediante el monitoreo acústico, se puede hacer mediciones de la biodiversidad y conocer el estado de diferentes poblaciones, y comunidades de animales para entender sus cambios, y cómo estos van cambiando en el espacio y en el tiempo (Pérez & Ludwig, 2021). Un ejemplo de la aplicabilidad de esta nueva herramienta es el establecimiento de grabadoras automáticas portátiles que se utilizan para el monitoreo de la fauna a diferentes escalas temporales (Acevedo et al., 2018). En este caso, se ubican las grabadoras en un determinado lugar por un periodo definido y luego se retiran o trasladan a otro espacio (Pérez et al., 2020).

La temperatura es uno de los factores abióticos con más influencia en las vocalizaciones y se ha observado que un aumento en ella está positivamente correlacionado con la frecuencia de los cantos (Kirlin et al., 2006), además muestra una correlación negativa con la duración de estos mismos, a pesar de esto, la manera y el grado en que los diferentes factores ambientales influyen en la comunidad de anuros no es clara en todos los casos (Duellman & Trueb, 1996; Boquimpani et al., 2007). Otro factor de importancia es la intensidad de la lluvia. En estudios como el realizado por (Saenz et al., 2006), se demostró que la precipitación y la temperatura del aire influyen positivamente en la actividad acústica.

Los bosques que se presentan allí son bosques primarios, con una alta diversidad tanto en fauna como en flora, estos ecosistemas nos permiten ver la calidad de la vida silvestre que se encuentra allí, las zonas donde se realizaran los monitoreos acústicos, tienen una gran diversidad de plantas, arbustos altos, abundantes fuentes hídricas, riqueza en suelos, además, son de gran importancia debido a su papel en la regulación de la evaporación. (Bolívar et al., 2016.). La zona abarca una franja altitudinal entre 600 y 1300 m.s.n.m. Presenta una temperatura media anual que varía entre 17 y 31 °C y un régimen de precipitación sostenida en el tiempo con poca variación mensual (Jaramillo et al., 2000), cuya media anual oscila entre 5.300 y 7.100 mm.

Aunque en ciertas zonas se encuentran intervenciones antrópicas, ya que, se realizan senderos para el paso de personas y animales de carga, lo que causa un impacto en estos ecosistemas, alterando características biofísicas del ambiente y afectando poblaciones de anfibios presentes en las zonas de estudio. (CVC, 2015)

En algunas especies se ha podido apreciar que durante lluvia intensa la actividad acústica disminuye, debido seguramente a la interferencia acústica producida por la misma, pero que, durante lluvia moderada la actividad acústica en las comunidades de anuros se ve intensificada debido a que podría proveer un ambiente más favorable para las ranas (Ospina et al., 2019; Boquimpani et al., 2007).

Pregunta de investigación

¿Cómo es la actividad acústica de *Oophaga lehmanni*, y su variación en función de factores abióticos?

Justificación

Una de las características más distintivas de los anuros es su vocalización, que se divide en distintos tipos de cantos y constituye un complejo sistema de conductas y comunicación (Cocroft & Ryan, 1995; Dapper et al., 2011). De esta forma los cantos se definen como una unidad funcional de las vocalizaciones (Ospina, 2019).

Uno de los cantos más importantes, es el canto que emite un macho para atraer a las hembras (selección sexual), ya que será por el canto, donde la hembra seleccione al macho reproductor (Gerhardt & Huber, 2002), de tal manera que uno de los comportamientos más importantes para

la permanencia y perpetuación de las especies de anuros es la vocalización (Duellman & Trueb, 1994).

Factores ambientales como la temperatura y humedad relativa son importantes moduladores de la actividad acústica en los ensamblajes de anuros, estos pueden tener un efecto positivo o negativo sobre la misma y en algunos casos pueden influir en ambos sentidos dependiendo de la intensidad con que se manifieste (Navas, 1996). Por lo tanto, los procesos que tienden a influir en estos factores abióticos son de importancia en cuanto al efecto que pueden tener en los ensamblajes de anuros. En términos de conservación es importante tener en cuenta la actividad de canto como una herramienta que puede brindar información sobre las poblaciones que componen un ensamblaje, por otro lado, esto nos sirve para establecer una línea base para el diseño de estrategias de monitoreo a largo plazo, considerando ventajas logísticas y económicas de los PAM (Monitoreo acústico pasivo).

Objetivos

Objetivo general

Describir la actividad acústica de una población de *Oophaga lehmanni* y evaluar si existe un efecto de parámetros climáticos sobre la misma

Objetivos específicos

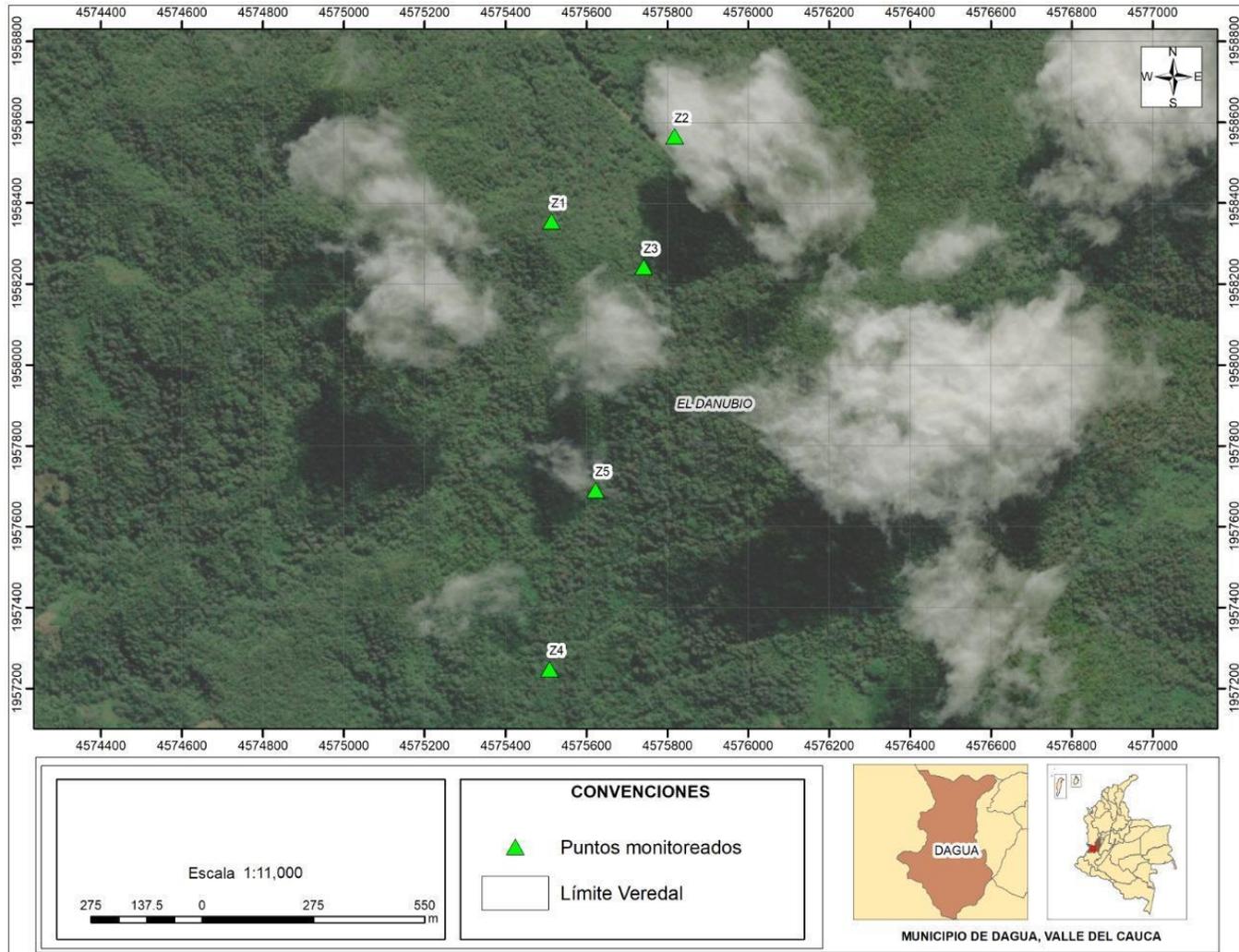
Caracterizar la variación diaria en la actividad acústica de una población de *Oophaga lehmanni*

Evaluar el efecto de la temperatura y humedad relativa en la actividad acústica diaria y mensual de *Oophaga lehmanni*

Metodología

Área de estudio

Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá **Figura 1. Área de estudio Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá. Fuente: arcgis**



La Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá, está localizada en los municipios de Dagua y Buenaventura, el estudio se realizó en la vereda “El Placer “ del municipio de Dagua. El ecosistema predominante es el Bosque medio húmedo en montaña fluvio gravitacional (GeoCVC 2010). La zona abarca una franja altitudinal entre 600 y 1300 m.s.n.m. Presenta una temperatura media anual que varía entre 17 y 31 °C y un régimen de precipitación sostenida en el tiempo con poca variación mensual (Jaramillo et al., 2000), cuya media anual oscila entre 5.300 y 7.100 mm.

Fase de campo

Se realizaron 3 jornadas de campo entre octubre de 2021, diciembre 2021 y enero de 2022, cada jornada tuvo una duración de cuatro noches. Para la localización de los individuos se realizó exploración acústica (Angulo, 2006) (Figura 4 – 7). La búsqueda de los individuos se llevó a cabo en jornadas diurnas (07:00 a 10:00h y de 13:00 a 15:00h). Para identificar las zonas de mayor actividad acústica de la especie, se realizaron recorridos libres, con la intención de identificar los sitios de mayor actividad acústica de *Oophaga lehmanni*. Posteriormente, se tomaron 5 puntos distintos (Figura 1), donde se denominaron Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, separados cada uno por una distancia aproximada de 100 metros, de modo que las detecciones fueran independientes para cada uno de ellos. En cada punto se instaló una grabadora portable AudioMoth y un DataLogger (HOBO BASE U-4) con lo que se registraron parámetros de

humedad relativa y temperatura, cada 15 minutos (Figura 8 – 12). Las grabadoras fueron programadas para grabar con un régimen de muestreo de un minuto cada quince minutos, a una tasa de muestreo y resolución de 22 kHz y 16 bits de resolución. La actividad acústica fue cuantificada durante 100 días seguidos, en tres de las cinco zonas estudiadas; en el punto Z3 solo fue posible durante 90 días, (octubre, noviembre y diciembre), y para Z5 se obtuvo un máximo de 60 días de monitoreo (octubre y noviembre) debido a fallas en los equipos.

*Figura 2-3. Reconocimiento del lugar y posterior identificación de *Oophaga lehmanni* para instalación de equipos.*



Figura 4-7. Visualización de Oophaga lehmanni y zonas de mayor actividad acústica para la posterior instalación de grabadoras.



Figura 8-12. Instalación de grabadoras junto a su Datalogger en los puntos con mayor frecuencia de actividad acústica de Oophaga lehmanni.



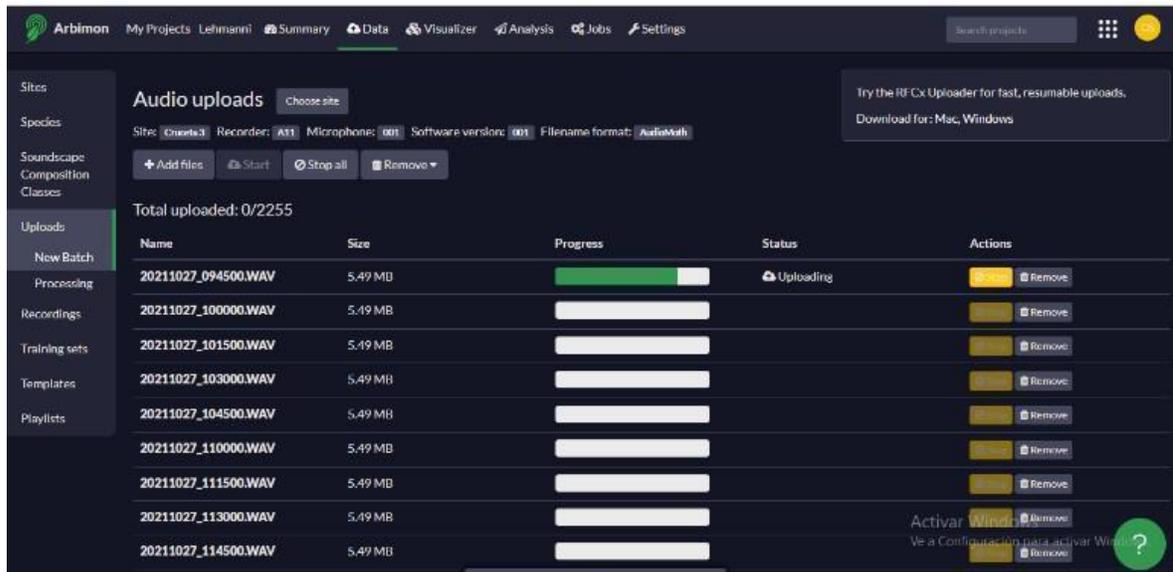
Figura 13-14. Recopilación de datos de actividad vocal de Oophaga lehmanni en las grabadoras.



Revisión y análisis de las grabaciones.

Una vez se obtuvieron y descargaron los datos de las grabadoras, se procedió a subir las grabaciones a la plataforma RFCXArbimon (Figura 15-16), donde se guardaron en carpetas por cada punto de muestreo, mes y día de grabación.

Figura 15-16. Subida de información en plataforma Arbimon separada por carpetas por sus respectivos puntos de muestreo.



Luego de esto se revisó manualmente grabación por grabación por punto de muestreo para evidenciar presencias y ausencias. Posteriormente se seleccionó un subconjunto de una grabación por mes en cada sitio de muestreo, para buscar ejemplos de los cantos de *O. lehmanni* y así también validar presencias y ausencias directamente con la plataforma (Figura 17). Luego de esto, se implementó el algoritmo *Pattern matching*, que es una técnica de aprendizaje de máquina donde permite identificar automáticamente en todas las grabaciones los momentos donde canta la especie (Figura 18) (Lebien et al., 2020).

Figura 17. Validación de presencias del canto de *Oophaga lehmanni*.

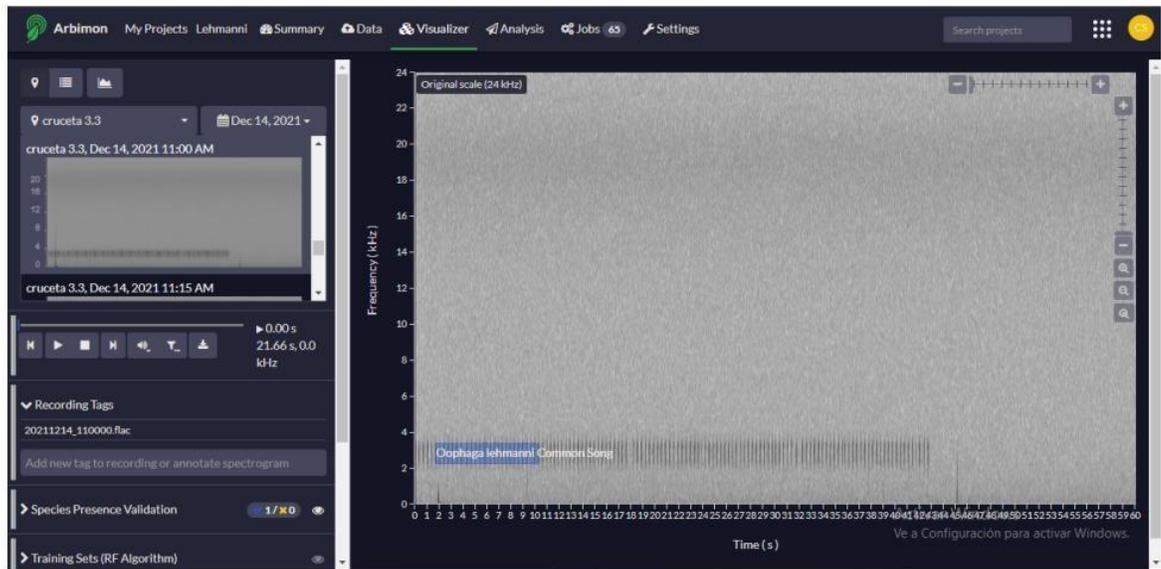
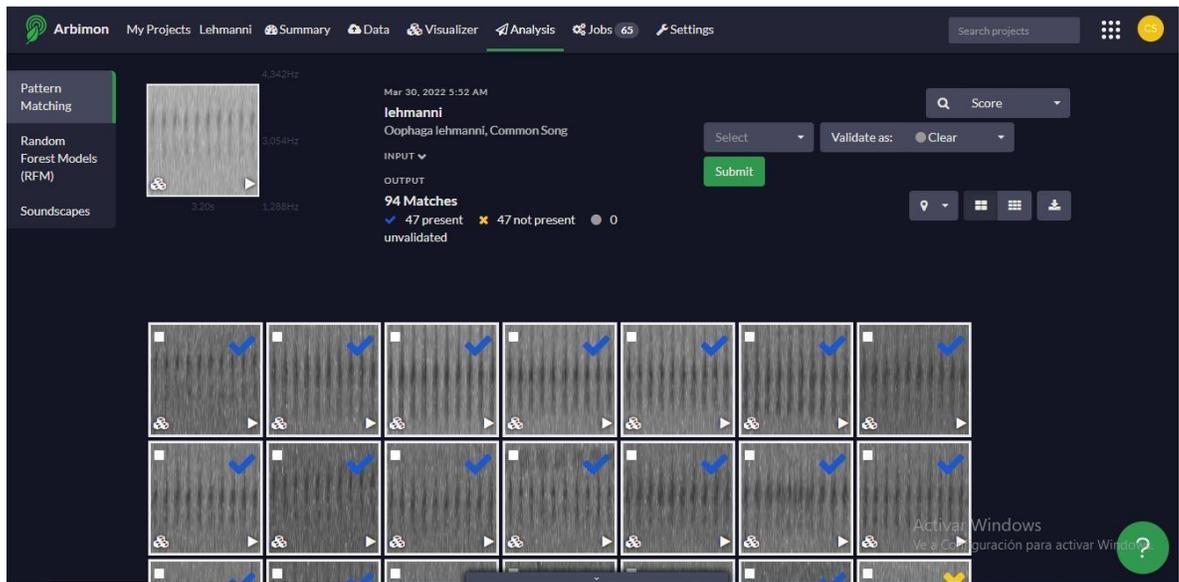


Figura 18. *Pattern Matching para mirar presencias y ausencias del canto de Oophaga lehmanni.*



Considerando que, en estudios previos, el algoritmo obtiene una precisión de entre 70 - 98 % (Pijanowski et al., 2014; Aide et al., 2017), se seleccionó un subconjunto (aproximadamente 100 grabaciones) y se hizo una postvalidación para detectar posibles errores en la identificación. Posterior a esto, se corrió un modelo de *machine learning* - *Random Forest* que brinda información del número de cantos por hora, día y sitio de grabación (Figura 19). Este modelo se corrió por cada punto de muestreo, obteniendo una matriz de clasificación con presencias y ausencias detectadas.

Figura 19. Modelo de Random Forest el cual brinda información del número de cantos por hora, día y sitio de grabación.



Figura 20. Excel con resultados de los clasificadores corridos por Random forest

rec	presence	site	year	month	day	hour	minute	species	songtype
318	1	Cruceta 3	2021	11	16	14	15	Oophaga leh	Common Song
432	1	Cruceta 3	2021	11	15	9	45	Oophaga leh	Common Song
911	1	Cruceta 3	2021	11	10	10	0	Oophaga leh	Common Song
912	1	Cruceta 3	2021	11	10	9	45	Oophaga leh	Common Song
913	1	Cruceta 3	2021	11	10	9	30	Oophaga leh	Common Song
914	1	Cruceta 3	2021	11	10	9	15	Oophaga leh	Common Song
1092	1	Cruceta 3	2021	11	8	12	45	Oophaga leh	Common Song
1189	1	Cruceta 3	2021	11	7	12	30	Oophaga leh	Common Song
1295	1	Cruceta 3	2021	11	6	10	0	Oophaga leh	Common Song
1655	1	Cruceta 3	2021	11	2	16	15	Oophaga leh	Common Song
1667	1	Cruceta 3	2021	11	2	12	45	Oophaga leh	Common Song
1778	1	Cruceta 3	2021	11	1	9	15	Oophaga leh	Common Song
1960	1	Cruceta 3	2021	10	30	11	45	Oophaga leh	Common Song
2032	1	Cruceta 3	2021	10	29	17	45	Oophaga leh	Common Song
2156	1	Cruceta 3	2021	10	28	10	45	Oophaga leh	Common Song
2242	1	Cruceta 3	2021	10	27	13	15	Oophaga leh	Common Song
2245	1	Cruceta 3	2021	10	27	12	30	Oophaga leh	Common Song
2248	1	Cruceta 3	2021	10	27	11	45	Oophaga leh	Common Song
2249	1	Cruceta 3	2021	10	27	11	30	Oophaga leh	Common Song
2250	1	Cruceta 3	2021	10	27	11	15	Oophaga leh	Common Song
2252	1	Cruceta 3	2021	10	27	10	45	Oophaga leh	Common Song
2253	1	Cruceta 3	2021	10	27	10	30	Oophaga leh	Common Song

Se realizó una post validación manual de cada matriz de clasificación por punto de muestreo con la finalidad de detectar posibles errores del modelo *Random Forest*. Para ello, se examinaron las presencias/ausencias en cada hora del día en la matriz de clasificación y se verificó en la plataforma que efectivamente correspondiera a la vocalización de la especie de interés.

Análisis de datos

Para explorar las diferencias de actividad entre sitios de muestreo Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5, se construyeron gráficos de promedio de porcentaje de actividad acústica por hora. Para ver si existe variación temporal en la actividad acústica por sitio, se construyeron gráficos por cada mes de grabación (octubre, noviembre, diciembre y enero).

Para evaluar el efecto de la temperatura y humedad relativa en la actividad acústica diaria y mensual de *O. lehmanni*, se calcularon las temperaturas y humedades mensuales tomando todos los datos de una hora, luego se juntaron por días y se promediaron para tener un solo dato por hora en cada mes. Luego se calcularon estos datos mensualmente y se realizaron promedios para ver en general cómo estas variables se comportaron en todos los meses. Para el análisis de correlación se utilizaron los datos promedio totales de actividad acústica, temperatura y humedad, para así poder observar su relación, se utilizó el análisis de correlación de Pearson con el software Excel.

Resultados y análisis.

Análisis de clasificación y detección de vocalizaciones

Se corrieron los modelos de *Pattern Matching* y *Random Forest* para cada uno de los sitios donde se instalaron las grabadoras, teniendo como resultado un total de 3.683 detecciones para los 5 sitios muestreados (Tabla 1).

*Tabla 1. Detecciones por sitio de muestreo arrojadas mediante los modelos de **Patter***

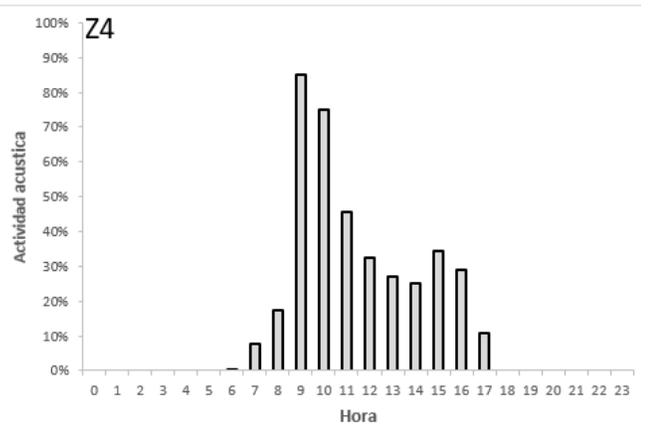
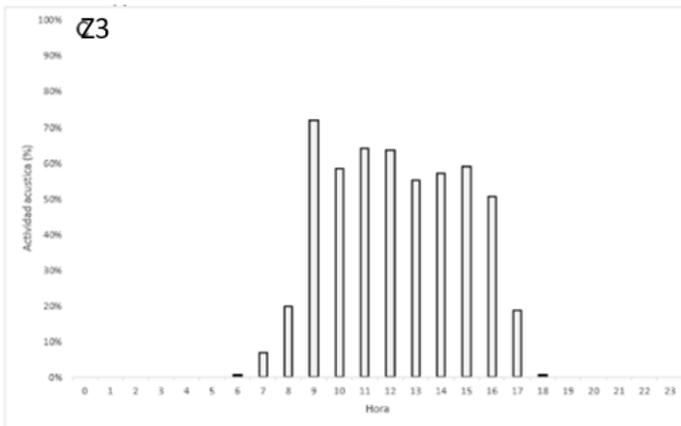
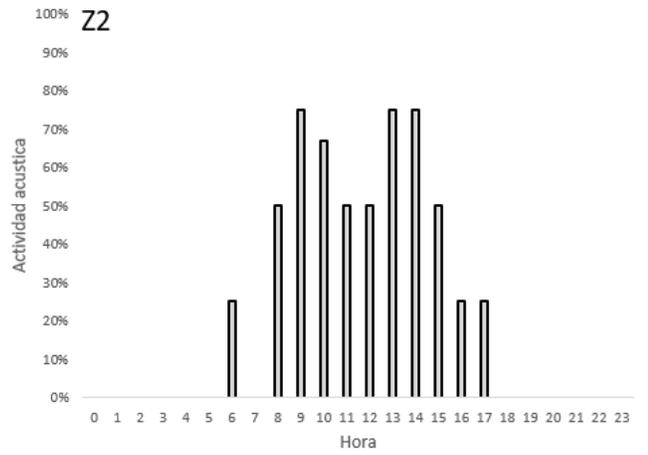
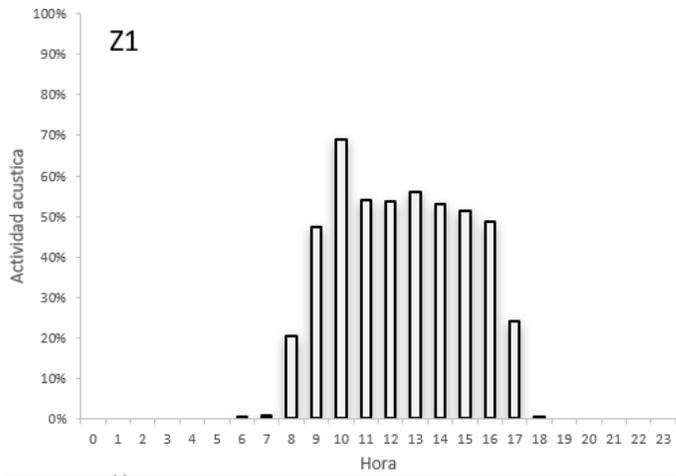
Machine y Random Forest.

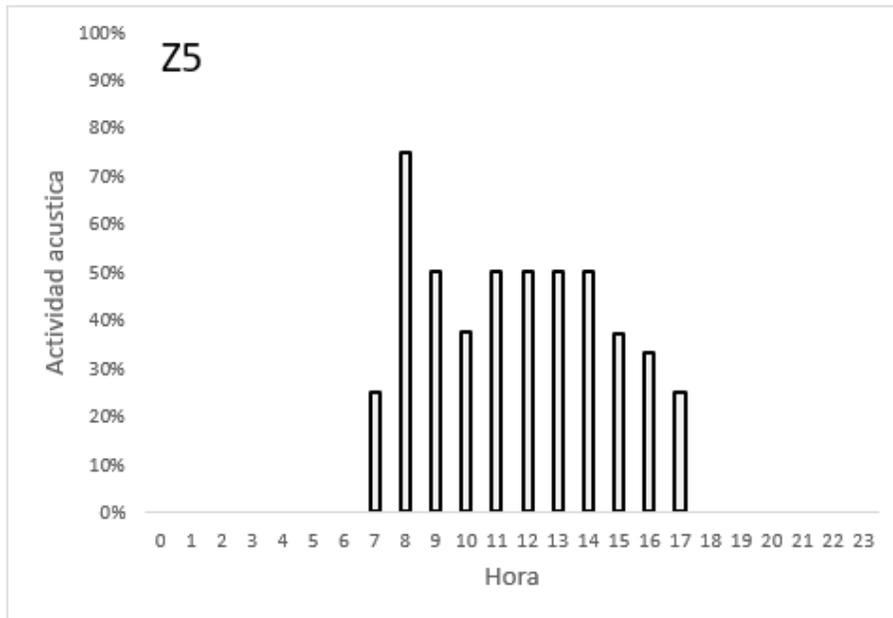
Para el sitio Z1 se obtuvo un total de 1020 detecciones, para Z2, 956 detecciones, para Z3, 962 detecciones, para Z4, 534 detecciones y para Z5, 511 detecciones. El tiempo de grabación para los sitios Z1, Z2, Z4 fueron de 100 días, para Z3, 90 días y para Z5, 60 días.

A continuación, se observan gráficas de actividad acústica de *Oophaga lehmanni* por sitio muestreado.

Actividad acústica por sitio de muestreo

Figura 21. Patrón de actividad acústica de Oophaga lehmanni para Z1, Z2, Z3, Z4, Z5.





Para Z1 se observa que la actividad de cantos de *Oophaga lehmanni* fue continua desde las 8:00 horas hasta las 16:00 horas, con incremento fuerte en a las 09:00 horas, llegando a tener un porcentaje mayor al 70% durante esta hora, durante las siguientes horas la frecuencia de cantos registrados se mantuvo entre el 50-60 %.

En el caso de Z2 muestra que su actividad acústica inicia desde las 6:00 h, pero luego hay un lapso de su actividad a las 7:00 h, posterior a esto *O. lehmanni* tiende a tener una actividad acústica desde las 8:00 h hasta las 17:00 h, y dentro de esa franja horaria hay algunas horas donde se presentan unos picos de actividad acústica, siendo las 9:00 h, 10:00 h, 13:00 h y 14:00 h, las horas con mayor actividad acústica para el sitio.

Por su parte, en Z3 se observa una fuerte actividad acústica desde las 9:00 h hasta las 16:00 h, y al caer la tarde noche, se ve una actividad acústica nula.

Al observar Z4, se ve notoriamente que la actividad acústica en las 9:00 h y 10:00 h presenta su pico máximo, llegando a una actividad acústica de hasta un 80 a 85%, luego que pasan las horas del día, se muestra una actividad acústica casi uniforme desde las 12:00 h a las 16:00 h.

Finalmente, para Z5 se observa un pico de actividad acústica abrupto a las 8:00 h, en comparación de las demás horas del día, luego se evidencia una actividad acústica casi homogénea desde las 9:00 h hasta las 14:00 h, y a medida que cae la tarde va disminuyendo dicha actividad.

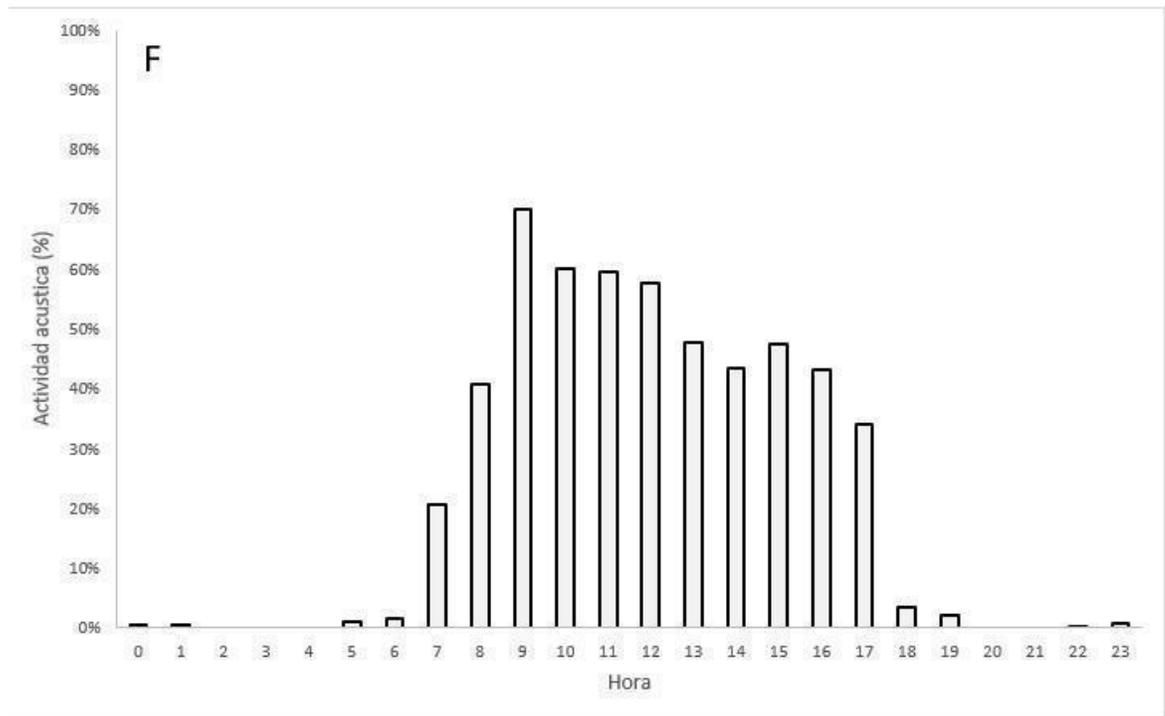
Para los puntos Z1, Z2 y Z3 el hábitat es de buena calidad debido al comportamiento de los cantos , ya que estas zonas tienen los recursos necesarios para que *Oophaga lehmanni* se sienta en buenas condiciones, debido a que este bosque no intervenido les ofrece mejores servicios ambientales como refugios, fuentes de agua, entre otras, necesarias para que los machos cantores de *Oophaga lehmanni* puedan realizar su actividad acústica de manera óptima, y como se muestra en las gráficas sea constante durante las horas de la mañana y al caer la tarde.

En cuanto a Z4, se tiene que el entorno donde *Oophaga lehmanni* se encuentra, está delimitado por factores antrópicos, los cuales causan un efecto en estas poblaciones ya que debido al cambio de características biofísicas como, la falta de refugios, tala de árboles producto del senderismo y paso constante de personas, causen un cambio en factores como la temperatura y humedad, y por ende disminuya y se vea afectada su actividad acústica.

Por otro lado, para Z5, los factores naturales que se presentan allí, como lo son sonidos producidos por el agua, la exposición directa del sol, el paso constante de otro tipo de fauna debido a la fuente hídrica cercana, cause que haya en menores proporciones actividad acústica

en los machos cantores de *Oophaga lehmanni* y se vea afectada, esta pueda ser una razón por la cual la actividad vocal se vea en porcentajes menores.

Figura 22. Patrón de actividad acústica de *Oophaga lehmanni* promediado para todos Los sitios (F).



Finalmente en esta gráfica se observa como en todos los cinco sitios varía la actividad acústica de *O. lehmanni*, que nos permite definir que la actividad acústica es predominantemente diurna, con un gran pico de actividad continua entre las 8:00 h y las 17:00 h, luego su actividad acústica es casi nula.

De acuerdo con esto, se observan datos atípicos que nos muestran cantos que inician desde las 5:00 h, otros a las 19:00 h , 22:00 h, hasta las 01:00 h, donde se observa que su pico empieza a las 7:00 h hasta las 17:00 h, por ende, en las horas frescas del día y antes del atardecer ocurre la mayor actividad acústica de *O. lehmanni*, pero dentro de este horario hay unos rangos adicionales, en donde la mayor frecuencia de cantos se da entre las 9:00 h y 12:00 h.

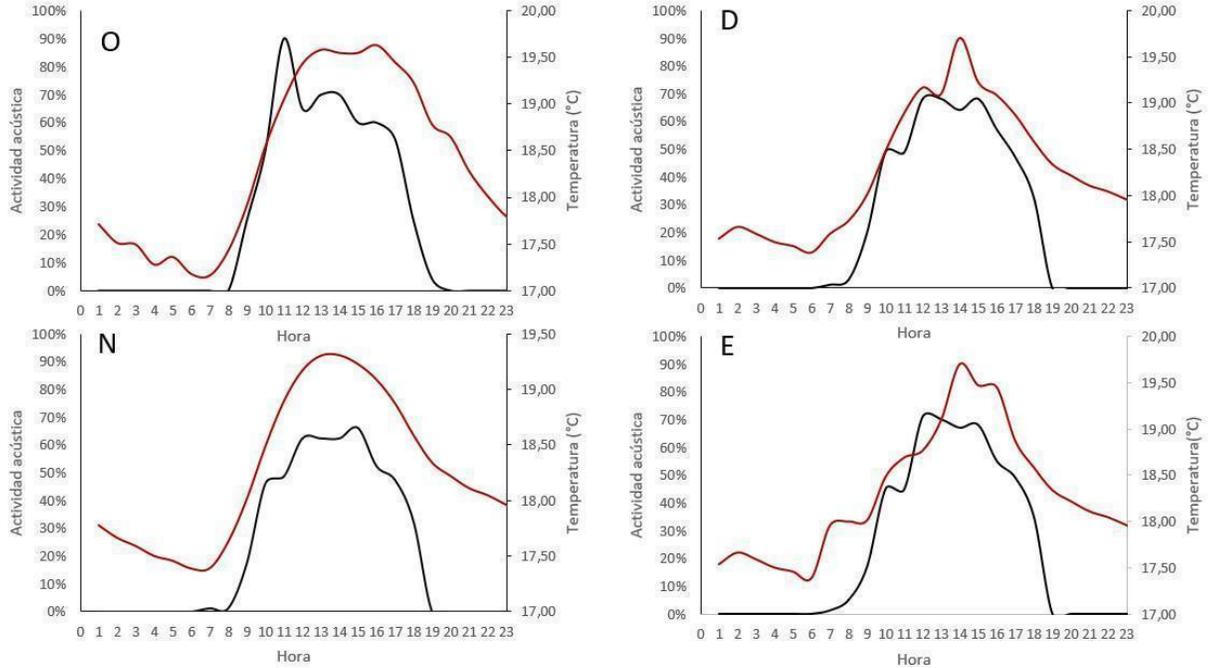
Actividad acústica mensual con parámetros climáticos.

En cuanto a los parámetros climáticos que se generaron en este estudio, estas gráficas nos muestran los meses muestreados para cada sitio, donde se evaluó el efecto de la temperatura y humedad relativa con respecto a la actividad acústica.

Interior de bosque

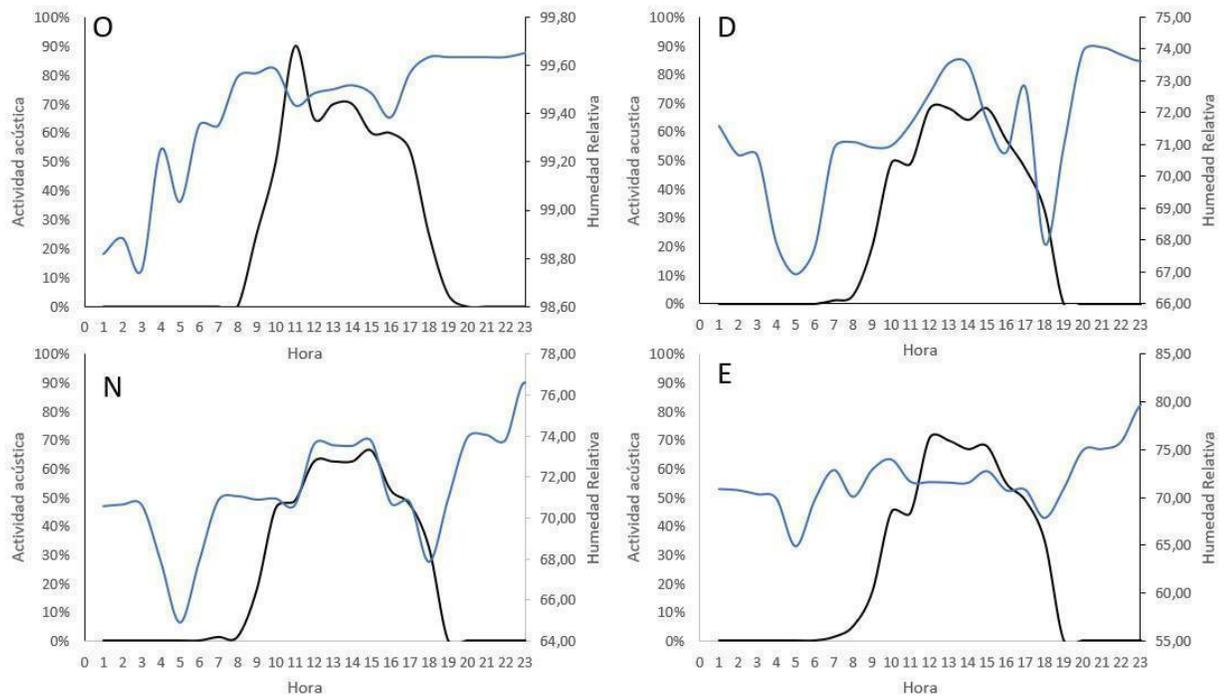
Figura 23. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z1.

Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), diciembre (D), enero (E), la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).



Se observa que a medida que la actividad acústica de *O. lehmanni* va aumentando en las horas del día, la temperatura y la actividad acústica aumenta, viéndose así un “efecto espejo”. Por otro lado, durante los 4 meses de muestreo hubo una actividad de más del 65%, comenzando a las 7:00 h, con un mayor pico de actividad acústica en las horas 9, 10 11 y 12 del día, precisamente cuando la temperatura va aumentando esta aumenta también. La actividad acústica no varía notoriamente, a excepción del mes de octubre donde se ve una variación considerable, en general hay variaciones leves y el patrón acústico por lo general se mantiene.

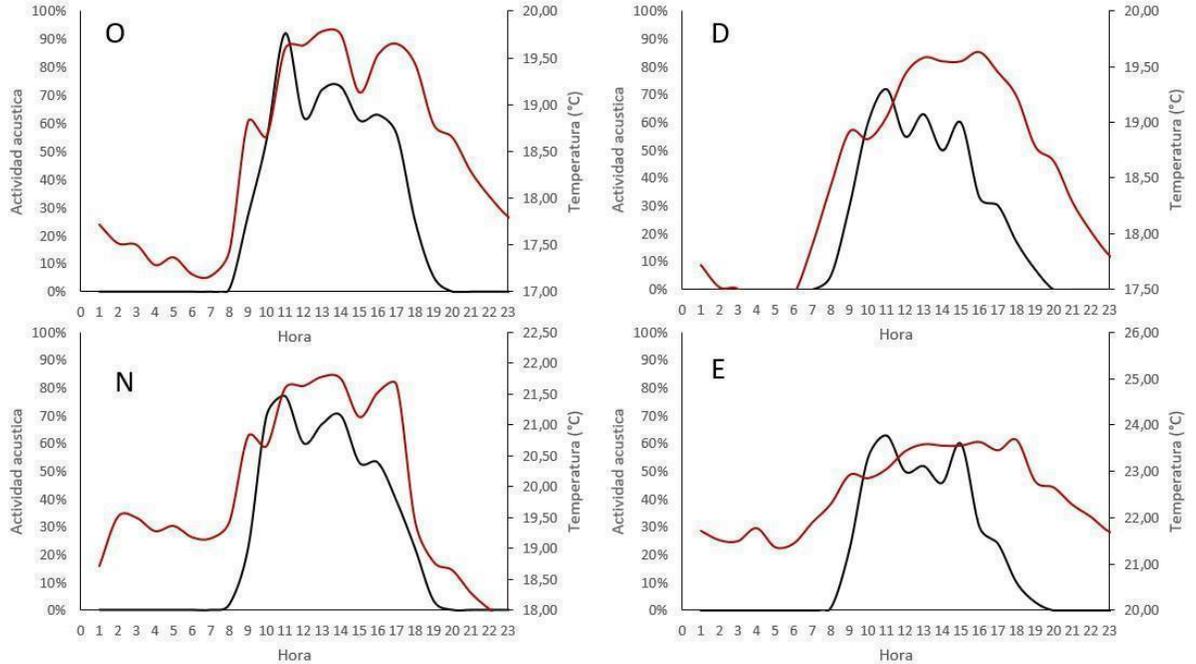
Figura 24. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en ZI. Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), diciembre (D), enero (E), la línea negra representa la actividad acústica y la azul Humedad Relativa.



En esta gráfica se observa que durante los meses de muestreo la humedad relativa no bajó del 65%, y cuando la actividad acústica de *O. lehmanni* aumenta, la humedad relativa se mantiene constante. La actividad acústica en el mes de octubre llega a un 90% como máximo, siendo el mes en este punto donde más se elevó su actividad acústica, pero en los demás meses se mantiene en un 50% a un 60% en promedio durante las horas 9:00 h a 13:00 h, luego empieza a disminuir su actividad acústica a medida que cae la tarde.

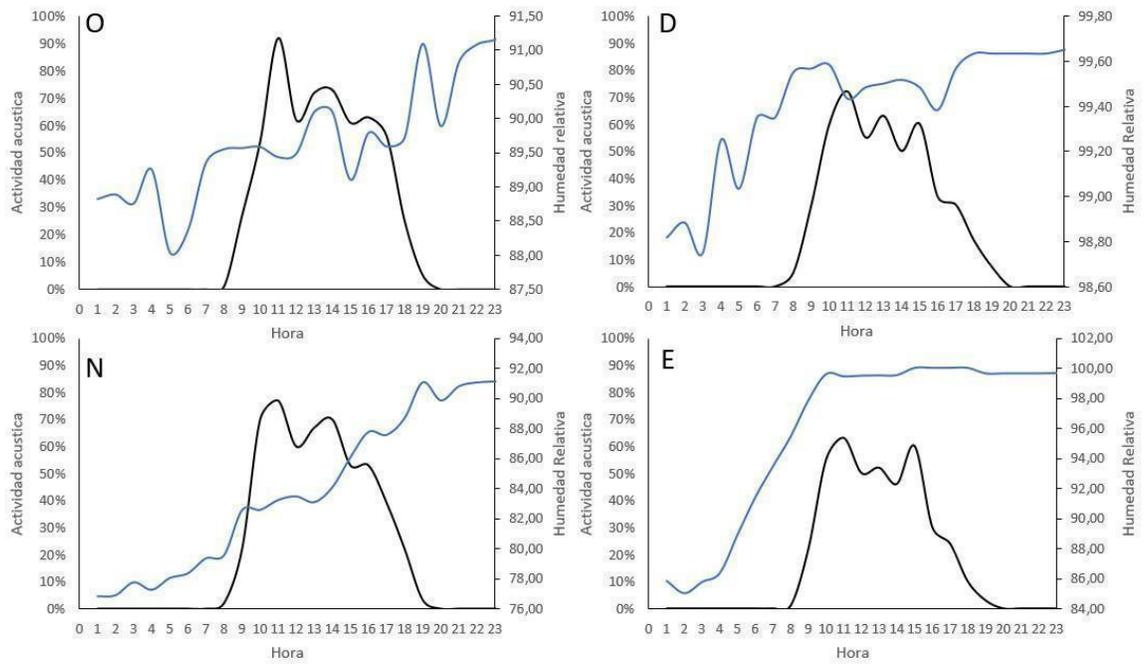
Figura 25. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z2.

Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), diciembre (D), enero (E), la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).



Para Z2 en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero se ve una actividad acústica elevada, especialmente en las horas de la mañana, donde se ve una relación con la temperatura y a medida que aumenta la temperatura, va aumentando también la actividad acústica de *O. lehmanni*. Por lo general los porcentajes de actividad acústica del organismo son bastante positivos, ya que se evidencian picos en su actividad acústica de hasta un 90%, la actividad acústica entre meses no varía drásticamente, a excepción del mes de octubre donde se ve una variación evidente, aunque el patrón acústico por lo general se mantiene.

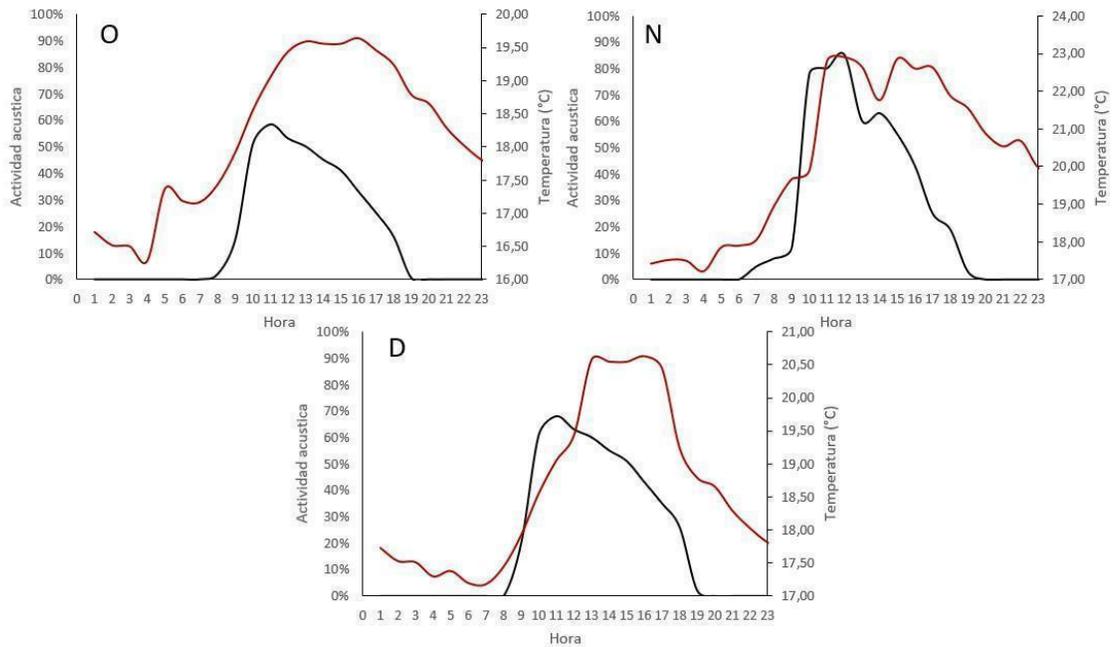
Figura 26. Actividad acústica mensual de *Ophaga lehmanni* para Z2. Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), diciembre (D), enero (E), la línea negra representa la actividad acústica y la azul Humedad Relativa.



La humedad relativa para Z2 con respecto a los picos de actividad acústica, no generan ningún efecto en *O. lehmanni* al momento de su actividad vocal, ya que cuando la especie se presenta en canto, la humedad no se relaciona con su actividad acústica.

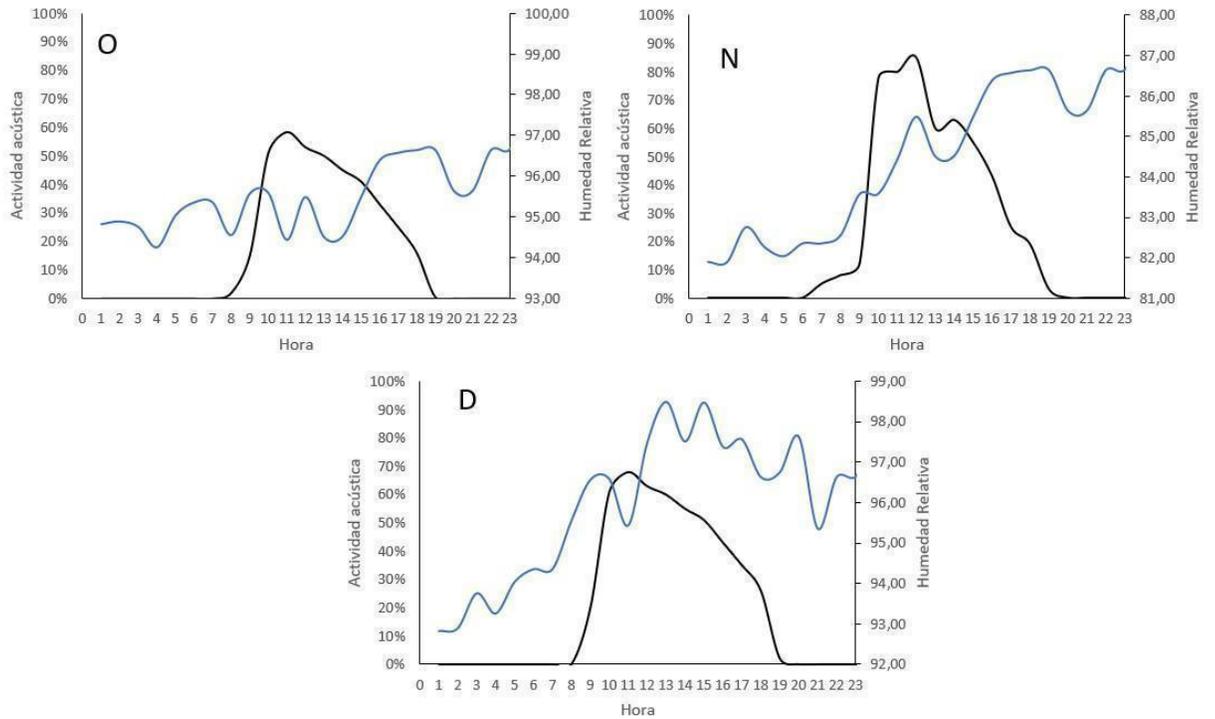
Figura 27. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z3. Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), diciembre (D),

la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).



Se observa que los meses de octubre y diciembre la actividad acústica de *O. lehmanni* estuvo en un promedio de un 40% a un 50%, pero se ve una relación fuerte al momento que *O. lehmanni* hace presencia de su canto, ya que cuando aumenta la temperatura, la actividad acústica también aumenta. Para el mes de noviembre se ve notoriamente que la actividad acústica aumenta bastante, llegando a más de un 85% a casi un 90% cuando la temperatura va aumentando, viéndose así una relación bastante fuerte entre esta variable y el efecto que causa en la actividad acústica de *O. lehmanni*. La actividad acústica varía considerablemente en el mes de noviembre, aunque el patrón acústico por lo general no varía.

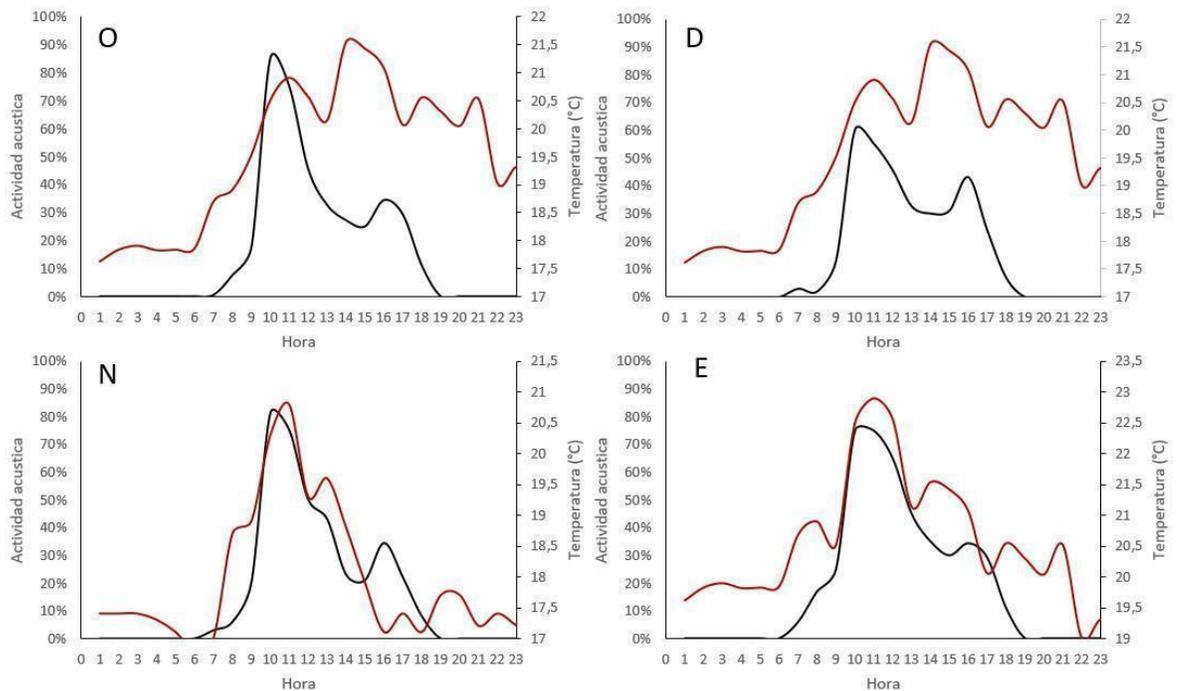
Figura 28. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z3. Donde las siglas representan los meses, octubre (O) noviembre (N), diciembre (D), la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).



En esta gráfica se observa que desde las 6:00 h inicia la actividad acústica de *Oophaga lehmanni*, además de mostrarnos un patrón que no tiene variación dentro de esa franja horaria, sin embargo se evidencia que en los meses de octubre, noviembre y diciembre muestra una relación muy débil entre las actividad acústica y la humedad.

Figura 29. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z4.

Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), diciembre (D), enero (E), la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).

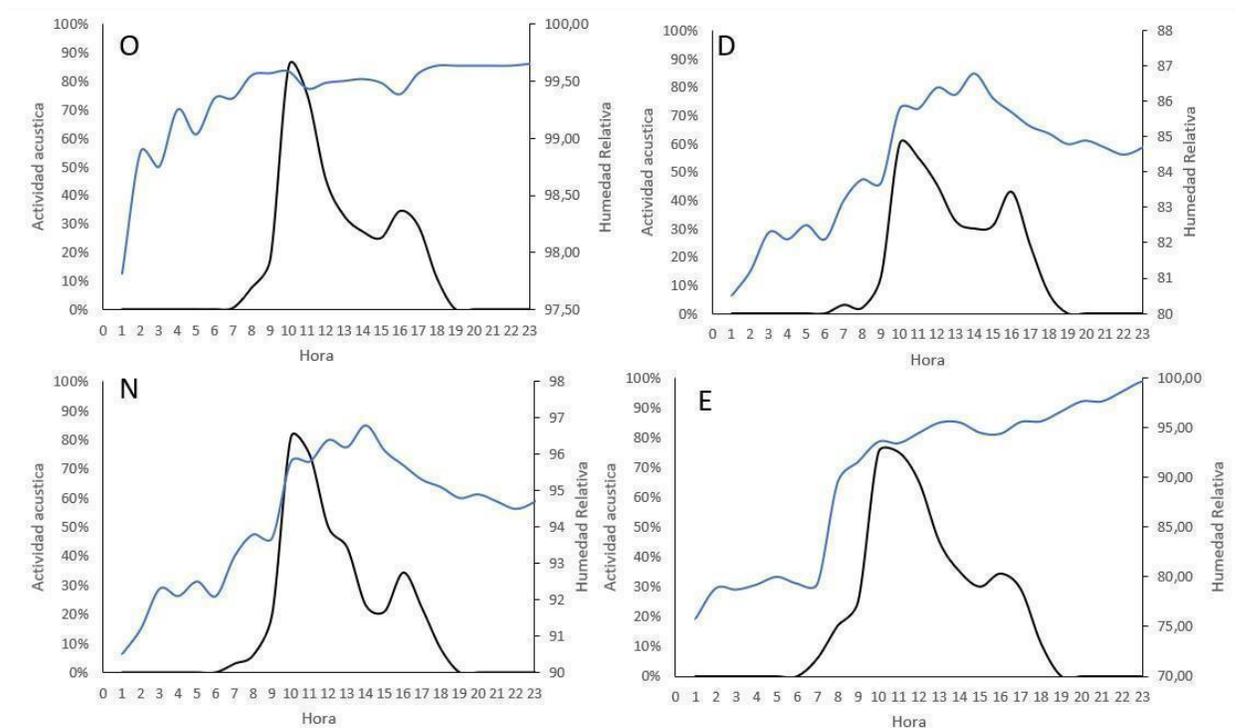


Para esta zona, se ve una relación bastante fuerte y evidente con la variable temperatura, ya que a medida que va aumentando la temperatura, la actividad acústica de *Oophaga lehmanni* aumenta de la misma forma, esto con un pico en su actividad acústica desde las 9:00 h a las 14:00 h, donde se ve claramente la relación entre ambas, formando así un efecto

espejo. La actividad acústica entre estos cuatro meses no varía considerablemente, hay variaciones leves y el patrón general se mantiene.

Figura 30. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z4.

Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), diciembre (D), enero (E), la línea negra representa la actividad acústica y la azul Humedad Relativa.



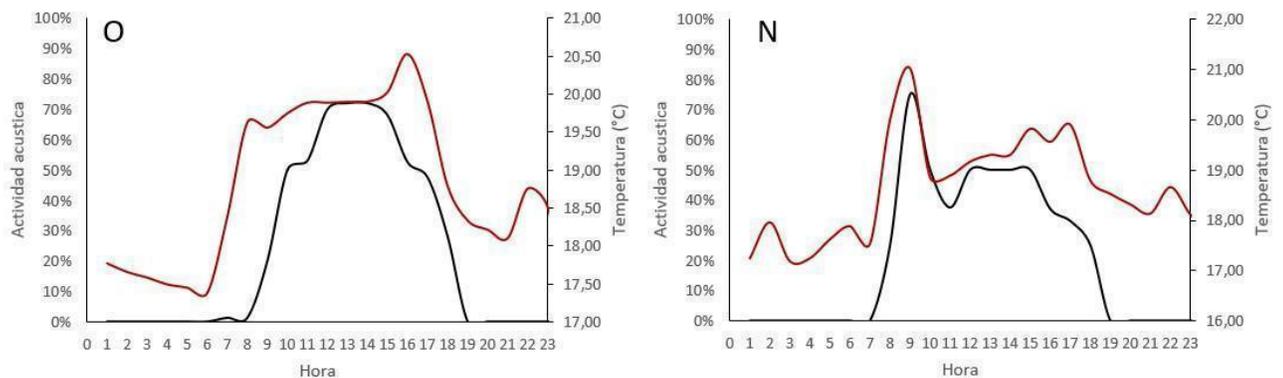
En Z4, se puede evidenciar que en el mes de octubre *Oophaga lehmanni* empieza a tener actividad acústica a las 6:00 h, con su mayor pico de actividad a las 10:00 h, y para los otros meses, se puede ver que, al aumentar la humedad relativa, la actividad acústica de *Oophaga*

lehmanni disminuye, lo que nos muestra que no tiene relación con respecto a la actividad vocal del organismo.

Quebrada

Figura 31. Actividad acústica mensual de *Oophaga lehmanni* en Z5. Donde

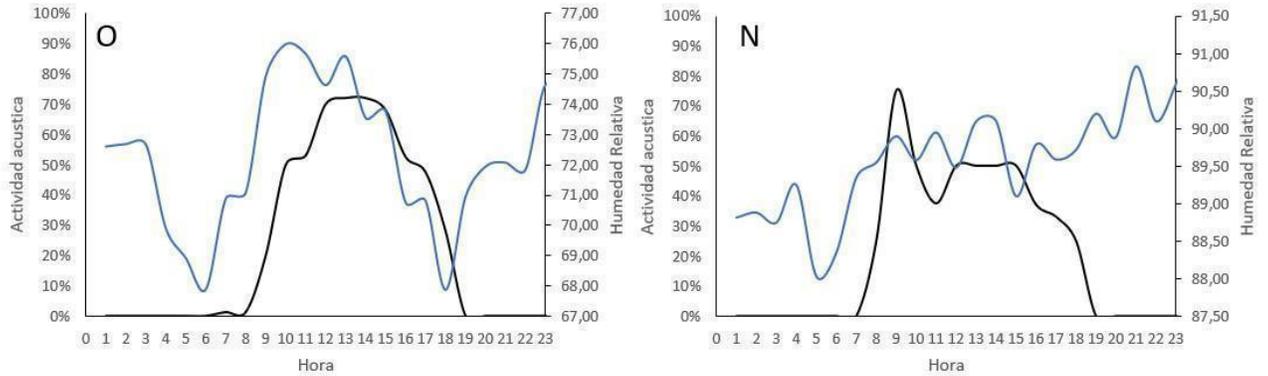
las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).



Para Z5, se observa que la actividad acústica de *Oophaga lehmanni* fue alta, llegando a un 75% en su actividad acústica, además que en las horas del mediodía la actividad acústica suele mantenerse constante, es decir homogénea. Por otra parte, a medida que va aumentando la temperatura, la actividad acústica de *Oophaga lehmanni* va aumentando, viéndose así una relación fuerte con esta variable climática. La variación en la actividad acústica en los meses

de octubre y noviembre son muy leves, no hay cambios significativos o drásticos y el patrón se mantiene.

Figura 31. *Actividad acústica mensual de Oophaga lehmanni en Z5. Donde las siglas representan los meses, octubre (O), noviembre (N), la línea negra representa la actividad acústica y la roja Temperatura (°C).*



Se puede observar que cuando hay mayor humedad en el punto Z5, esta no muestra relación con la actividad acústica de *Oophaga lehmanni*, ya que en las horas del mediodía en el mes de octubre, la actividad acústica se encuentra en su máximo pico, y la humedad relativa va disminuyendo, lo mismo para el mes de noviembre. Por otra parte, la humedad relativa no muestra ninguna relación con la actividad acústica de *O lehmanni*, por el contrario se muestra débil y no se ve que afecte el patrón acústico.

Actividad acústica diaria promedio y su relación con variables climáticas

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables climáticas de temperatura y humedad con actividad acústica. Código de color: correlación positiva (rojo), correlación negativa (amarillo).

Sitio	Coeficiente de correlación	
	Temperatura	Humedad
Z1	0,909	0,076
Z2	0,937	0,283
Z3	0,987	0,266
Z4	0,944	0,213
Z5	0,889	0,461
Promedio total	0,9323	0,2598

Al realizar el coeficiente de correlación de Pearson para determinar que variables ambientales y en que sitio están más correlacionadas, para observar qué relación tienen, si es fuerte o débil, lo que se encontró, es que para la variable temperatura, la relación es positiva, ya que a medida que una variable aumenta, la otra variable aumenta de igual forma, llegando a un promedio total de un 0,93 % de relación, lo que nos dice que es positiva, en cuanto a la humedad, se ve notoriamente que no tuvo ningún tipo de correlación con las vocalizaciones de *Oophaga lehmanni*, ya que su relación no sobrepasa el 0,2%, lo que nos muestra que su relación es baja.

Discusión

En este estudio se describe y evalúa la actividad acústica de una de las poblaciones conocidas de *Oophaga lehmanni*, esta actividad fue validada mediante el uso del monitoreo acústico pasivo, como una herramienta útil para detectar las especies que producen vocalizaciones, y adicionalmente, hacer seguimiento a la actividad acústica temporal. De igual forma fue posible definir los patrones acústicos de *O. lehmanni*, durante una época del año, patrones que resultan muy importantes para la toma de decisiones en el monitoreo a largo plazo.

Las detecciones que se obtuvieron fueron eficaces para este estudio, ya que, permite observar las relaciones entre estos parámetros climáticos y determinar que variables ambientales están asociadas unas a las otras, y con esto ver su relación. El aire, la temperatura y la humedad relativa son factores importantes, afectando la actividad reproductiva y actividad acústica en anuros e insectos (Acevedo et al., 2018).

La actividad de vocalizaciones de *Oophaga lehmanni* estuvo influenciada por la hora del día y positivamente condicionada por la temperatura ambiente, lo que muestra que prefieren vocalizar durante las horas frescas del día y antes del atardecer. Estudios como los de Maragno & Cechin en 2009, muestran que las poblaciones de *L. fuscus* presentan una

plasticidad en sus respuestas a variables climáticas como es la temperatura, humedad y fotoperiodo, variando de acuerdo a la región geográfica en la que habitan (Maragno & Cechin, 2009).

El inicio de emisión de cantos de anuncio por parte de los machos de *Oophaga lehmanni* se da en las primeras horas de la mañana, los resultados obtenidos en este estudio sobre la relación positiva entre la actividad vocal y la temperatura, nos muestran que los machos tienden a tener su mayor actividad acústica en horas donde la temperatura está en aumento, es decir después de las 9:00 a.m hasta las 3:00 p.m.

VARIABLES MICRO CLIMÁTICAS COMO MAYOR HUMEDAD, TEMPERATURA CONSTANTE, Y MENOR GRADO DE ILUMINACIÓN SE HA VISTO QUE INFLUYEN EN EL AUMENTO DE LA ACTIVIDAD ACÚSTICA DE LOS ANUROS (Bernal et al., 2004; Oseen & Wassersug, 2002; Ospina et al., 2019). Aunque en los resultados de este estudio, no se obtuvo significancia, posiblemente porque no se hizo el estadístico apropiado para ver si esta relación existe o no. Estudios como los de Hayes en 1991, datan que niveles mayores de humedad como los que se ven en los bosques favorecen el aumento en la cantidad de cantos que producen los machos en algunas especies de anuros como *Oophaga pumilio*, donde se ha encontrado que si la humedad relativa baja del 93 % la actividad vocal también decrece drásticamente (Hayes, 1991).

Conclusión

- ❖ Con el uso de los sensores remotos fue posible establecer las frecuencias temporales de los cantos de *Oophaga lehmanni*, para la zona de estudio, con los datos obtenidos, se puede entender el comportamiento acústico de la especie durante un periodo de 24 horas, o incluso por meses.
- ❖ La caracterización acústica temporal lograda, permite a futuro el monitoreo de la especie en las zonas estudiadas, ya que este trabajo, representa la línea base en los temas acústicos/temporales para *Oophaga lehmanni*.
- ❖ El inicio de la actividad vocal de los machos cantores de *Oophaga lehmanni* empieza a las 6:00 am, pero su mayor actividad acústica, se da en horas donde la temperatura está en aumento, es decir, en horas frescas del día y antes del atardecer, pero donde ocurre la mayor frecuencia de actividad acústica de *Oophaga lehmanni* es entre las (9:00 am-12:00 pm.).
- ❖ La temperatura fue la variable predictora con mayor importancia, para describir la fenología del canto de *Oophaga lehmanni* en la Reserva Forestal Protectora Nacional Río Anchicayá. A su vez, la humedad relativa fue la variable con menor importancia. Además, *Oophaga lehmanni* muestra una actividad acústica diurna, con unos picos de actividad acústicos en la mañana (9:00h- 11:00h) y en la tarde de (14:00h- 15:00h), donde el amanecer y atardecer del sol puede llegar a tener un rol muy importante en la regulación del inicio y el fin de la actividad acústica en esta especie de anuro.
- ❖ Analizar la influencia que ejercen las condiciones ambientales en la actividad vocal de *Oophaga lehmanni* es de gran importancia, para comprender los efectos que estos

causan en estos organismos, y como actividades antrópicas están siendo sensibles, y causando disminuciones en las vocalizaciones de *O. lehmanni*.

Recomendación

- ❖ La adición de otras variables climáticas tanto bióticas como abióticas, por ejemplo fotoperiodo, precipitación, cobertura boscosa, iluminación, entre otras, son muy importantes, ya que son factores determinantes en cuanto a la actividad acústica en anuros y sus patrones, y a este tipo de estudios aportará información más precisa e importante para futuros trabajos.

Referencias

Acevedo, O, Aide, M., Hernández, A., Campos, M., and Deichmann, J. (2018). “Species Richness Drives the Use of Acoustic Space in the Tropics”. *Remote Sens.* Vol. 9 , No. 1096.

Almendáriz A, Batallas D. (2008) Nuevos datos sobre la distribución, historia natural y el canto de *Centrolene condor* Cisneros-Heredia y Morales-Mite, (Amphibia:Anura: Centrolenidae). *Politécnica.* 2012; 30:42-53 *Alytes*, 16 (1999), pp. 3-4

Ángulo , H. (2006). Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana.* 56: 3-14.

Aide, T. M., Corrada-Bravo, C., Campos-Cerqueira, M., Milan, C., Vega, G. & Alvarez, R. (2017). Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ*, 1, e103.

Bolívar G, Grant T, Osorio A. (1999). Behavior in *Centrolene buckleyi* and other centrolenid frogs. Laboratorio de Herpetología, departamento de Biología, Universidad del Valle. Cali Valle del Cauca, Colombia. Volumen 16, N 3-4.

Bolívar G, Gomez M, Burbano C. (2016). Actualización del plan de manejo para la rana venenosa de Lehmann *Oophaga lehmanni* (Myers y Daly 1976). Convenio interadministrativo Universidad del Valle, Corporación Autónoma Regional Del Valle Del Cauca, Grupo de investigación en ecología animal de la Universidad del Valle.

Baugh J, Ryan M, (2010).The development of sexual behaviour in túngara frogs *Journal of Comparative Psychology*, 124 (2010), pp. 66-80

Batrachia , 2022. Lista de anfibios de Colombia. V12.

Braga ACR, Motta-Junior JC. 2009. Climatic conditions and the influence of climatic factors in Andean animals. 97(4):395–401. doi:10.5253/078.097.0401

Belamendia, G. (2009). Las comunidades de anfibios y reptiles en el humedal de Laku (Gaceo, Álava). Diputación Foral de Álava. Informe inédito.

Bernal M.H, Montealegre D.P, Páez C.A. 2004. Estudio de la vocalización de trece especies de anuros del municipio de Ibagué, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2004; 28:385-90

Bernal, M.H., Montealegre, D.P. & Páez, C.A. (2004). Estudio de la vocalización de trece especies de anuros del municipio de Ibagué, Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 28(108), 385-390.

Bignotte, G. I., Fong, G. A., López, I. G. M., (2018). Acoustic niche partitioning in five Cuban frogs of the genus *Eleutherodactylus*. *Amphibia-Reptilia* 39.

Bignotte, M. C. (2018). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*. 348 (6234): 571 – 573.

Boquimpani, F., Ventura, R., Van Sluys, M. and Duarte., C. (2007). “Temporal niche of acoustic activity in anurans: interspecific and seasonal variation in a neotropical assemblage from south-eastern Brazil”. *Amphibia-Reptilia*, Vol. 28, pp. 269-276.

Clark KA, Anderson SH. 2005. Temporal Colombian temperatures and humidity factors affecting vocalizations frogs *J Raptor Res*. 31:358–363.

Corporacion Autonoma Regional Del Valle Del Cauca. 2015. Caracterizacion de ecosistemas Del Valle del Cauca. Version 01.Codigo 0130.06

Cristian Pérez-Granados , Karl-L. Schuchmann & Marinez I. Marques (2020): Vocal activity of the Ferruginous pygmy-owl (*Glaucidium brasilianum*) is strongly correlated with moon phase and nocturnal temperature, *Ethology Ecology & Evolution*, DOI

Cristian Perez; Karl- Ludwig. 2021. Passive acoustic monitoring of the diel and annual vocal behavior of the Black and Gold Howler Monkey

Chavez. and Saenz, D. (2017). “Environmental drivers of anuran calling phenology in a seasonal Neotropical ecosystem”. *Austral Ecology*. Vol. 41, pp16-27.

Cocroft y Ryan, 1995 Patterns of advertisement call evolution in toads and chorus frogs *Animal Behaviour*, 49 (1995), pp. 283-303

Dapper, A.T. Baugh, M.J. Ryan, 2011. The sounds of silence as an alarm cue in túngara frogs, *Physalaemus pustulosus* *Biotropica*, 43 (2011), pp. 380-385

Deichmann, J., Acevedo-Charry, O., Barclay, L., Burivalova, Z., Campos-Cerqueira, M., D'Horta, F., Game, E., Duellman, W. and Trueb, L. (1986) “Biology of amphibians”. JHU Press, Baltimore.

Deichmann, J. L., Acevedo-Charry, O., Barclay, L., Burivalova, Z., Campos-Cerqueira, M., d’Horta, F., & Linke, S. (2018). It’s time to listen: there is much to be learned from the sounds of tropical ecosystems. *Biotropica*, 50(5), 713-718

Duellman, W.E. & L. Trueb. 1994. Biology of amphibians. The Johns Hopkins University Press, Baltimore

Erdtmann, L. and Lima, P. (2013) "Environmental effects on anuran call design: what we know and what we need to know". *Ethology Ecology & Evolution*, Vol. 25, pp. 1-11.

Frost, J. 2019. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat. *Science*. 323: 240 – 244.

Gottesman, B., Hart, P., Kalan, A., Linke, S., Do Nascimento, L., Pijanowski, B., Staaterman, E., Aide, M.T. 2018. It's time to listen: there is much to be learned from the sounds of tropical ecosystems. *Biotropica*, 50(5): 713-718.

Grant F, JV Rueda-Almonacid, JV Rodríguez-Mahecha & E La Marca (Eds) (1998). Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la región tropical andina. Conservación Internacional. Serie Manuales de Campo N° 2. Panamericana Formas e Impresos S. A., Bogotá D.C. 298 pp.

Grant, T.; Frost, D. R.; Caldwell, J. P.; Gagliardo, R.; Haddad, C. F. B.; Kok, P. J. R.; Means, D. B.; Noonan, B. P.; Schargel, W. E. & Wheeler, W. C. (2006). Phylogenetic systematic of Dart-poison frogs and their relatives (Amphibia: Athesphatanura: Dendrobatidae). *Bulletin of the american museum of natural history*, 299, 1-262.

LeBien, J., Zhong M., Campos, M. 2020. A pipeline for identification of bird and frog species in tropical soundscape recordings using a convolutional neural network

- Hayes, M. P. (1991). A study of clutch attendance in the Neotropical frog *Centrolenella*
- Incecol, (2022). Instituto de ecología. Los anfibios: animales con cualidades sorprendentes y útiles para la humanidad. Gobierno de Mexico.
- Kirlin k, Owel T, Still R. (2006) “The Effect of Temperature on the Vocal Activity of Tropical Anurans: A Comparison of High and Low-elevation Species. *Journal of Herpetology*. Vol. 30, No. 4, pp488-497.
- Gerhardt H, Huber F, 2003. Acoustic Communication in Insects and Anurans: Common Problems and Diverse Solutions.
- Lötters, S.; Jungfer, K.-H.; Henkel, F. W. & Schmidt, W. (2007). Poison frogs. Biology, species and captive husbandry. Germany: Edition Chimaira.
- Malhi, Y. y Wright, J. 2004. Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 359: 311 – 329.
- Maragno F; Cechi S . 2009. Biología reproductiva de *Lectodactylus fuscus* (Anura: Leptodactylidae) en clima subtropical. Rio grande del sul..
- Narins J, Feng T, Fay V, Popper.(2007)Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*. 19 (1): 134-143.
- Navas, C. (1996). “The Effect of Temperature on the Vocal Activity of Tropical Anurans: A Comparison of High and Low-elevation Species. *Journal of Herpetology*. Vol. 30, No. 4, pp488-497.

Ospina, L.A., Vargas, S.F., Rueda, S.L., Rivera, C.M. (2019). Señales de comunicación acústica en anuros de Colombia: estado de conocimiento y perspectivas de investigación.

Resumen: V Congreso colombiano de zoología, II Congreso colombiano de Herpetología. H7- II simposio sobre monitoreo de la herpetofauna neotropical: perspectivas y avances p. 385

Oseen, K. and Wassersug, R. (2002). “Environmental factors influencing calling in sympatric anurans”. *Oecologia*. Vol. 133, pp616-625.

Rivera-Correa, M., Ospina, A., Rojas-Montoya, M., Venegas, K., Rueda, L., Gutierrez, P., Vargas, F. (2021). Cantos de las ranas y los sapos de Colombia: estado actual del conocimiento y perspectivas de investigación en ecoacústica. *Neotropical biodiversity* 2021, 7(1), pp.352–365

Sethi, S. S., Ewers, R. M., Jones, N. S., Signorelli, A., Picinali, L. & Orme, C. D. L. (2020). SAFE Acoustics: an open-source, real-time eco-acoustic monitoring network in the tropical rainforests of Borneo. *bioRxiv*

Sousa-Lima, R. S., Norris, T. F., Oswald, J. N. & Fernandes, D. P. (2018). A review and inventory of fixed autonomous recorders for passive acoustic monitoring of marine mammals. *Aquatic Mammals*, 39(1), 23-53.

Kohler, M. (2017). “Soundscape analysis and acoustic monitoring document impacts of natural gas exploration on biodiversity in a tropical forest”. *Ecological indicators* Vol. 74, pp39-48.

Parmesan, C. y Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*. 421: 37 – 42.

Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., & Pieretti, N. (2011). Soundscape ecology: the science of sound in the landscape. *BioScience*, 61(3), 203-216.

Ribeiro, W., Valetti, J. A., Salas, N. E., Martino A. L. (2013). Bioacústica del canto de advertencia de *Ceratophrys cranwelli* (Anura: Ceratophryidae). *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop.*

Saenz, R., Sluys, M., Rico, M. and Rocha, C. (2006). “SEASONAL AND HOURLY PATTERNS OF REPRODUCTIVE ACTIVITY IN *SCINAX TRAPICHEIROI* (ANURA, HYLIDAE), RIO DE JANEIRO STATE, SOUTHEASTERN BRAZIL”. *HERPETOLOGICAL JOURNAL*. Vol. 16, pp15-20.-0034-7744) Vol. 61 (1): 273-280.

TORO, S. (2014). Caracterización y análisis acústico de los anuros de la estación forestal bajo calima. Universidad del Tolima. Ibagué, Tolima.

Tubaro, M (1999). Upslope migration of Andean trees. *Journal of Biogeography*. 38: 783 – 791.

Navas, C. (1996). “The Effect of Temperature on the Vocal Activity of Tropical Anurans: A Comparison of High and Low-elevation Species. *Journal of Herpetology*. Vol. 30, No. 4, pp488-497.

Vargas J, Aubin T, Simonis C (2008). "Seewave: una herramienta modular gratuita para análisis y síntesis de sonido". *Bioacústica*, 18, 213-226.

Wells D, (2007). *The ecology and behavior of amphibians* University of Chicago, Chicago