

**¿FILTRO AMBIENTAL O FUERZA DE ADAPTACIÓN ACÚSTICA? EFECTOS DEL
RUIDO ABIÓTICO AMBIENTAL SOBRE LAS ESTRATEGIAS VOCALES Y
MORFOLOGÍA DE ANFIBIOS ANUROS**

ANDREA CAROLINA GUERRERO MANRIQUE

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
BOGOTÁ-COLOMBIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGÍA**

**¿FILTRO AMBIENTAL O FUERZA DE ADAPTACIÓN ACÚSTICA?
EFECTOS DEL RUIDO ABIÓTICO AMBIENTAL SOBRE LAS
ESTRATEGIAS VOCALES Y MORFOLOGÍA DE ANFIBIOS ANUROS**

ANDREA CAROLINA GUERRERO MANRIQUE

Dra. Concepción Judith Puerta Bula
Decana académica de la facultad de ciencias

Dr. Jorge Jácome Reyes
Director programa de biología

**¿FILTRO AMBIENTAL O FUERZA DE ADAPTACIÓN ACÚSTICA?
EFECTOS DEL RUIDO ABIÓTICO AMBIENTAL SOBRE LAS
ESTRATEGIAS VOCALES Y MORFOLOGÍA DE ANFIBIOS ANUROS**

ANDREA CAROLINA GUERRERO MANRIQUE

Dr. José Nicolás Urbina Cardona.

Jurado.

Dr. Oscar Alberto Laverde Rodríguez.

Director trabajo de grado.

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución No 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velara porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque la tesis no contenga ataques personales contra persona alguna, antes bien, se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”.

RESUMEN

El ruido abiótico ambiental es un factor determinante del hábitat de especies de anuros, pues el ruido puede interferir en sus procesos de comunicación y enmascarar sus señales. Diferentes estudios han demostrado la capacidad de algunas especies de anuros de incrementar la frecuencia de sus vocalizaciones incluso a frecuencias ultrasónicas para así evitar el enmascaramiento de sus señales. Sin embargo, este mecanismo podría restringirse solo a algunas especies, debido a la relación inversa que existe entre la dimensión corporal y la frecuencia del canto. Para determinar si el ruido ambiental producto de una corriente de agua actúa como una fuerza de adaptación acústica, o por el contrario como un filtro ambiental de selección de tamaños de anuros que habitan en estos ambientes ruidosos, se llevó a cabo un estudio en un sitio localizado en el municipio de Medina – Cundinamarca, en donde se obtuvieron grabaciones de los cantos de anuros en sitios adyacentes a un río con diferentes niveles de ruido (*ruido alto, ruido medio y ruido bajo*) y se realizaron mediciones morfológicas (LRC y peso) de las especies encontradas. Se realizaron comparaciones entre el pico de frecuencia del canto y la talla corporal de las especies en cada uno de los sitios con el fin de establecer el efecto del ruido ambiental en las estrategias vocales y la morfología de anfibios anuros.

Palabras clave: *Filtro ambiental, adaptación acústica, ruido ambiental, estrategias vocales.*

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia evolutiva los animales han desarrollado diferentes estrategias de comunicación usando distintos sistemas sensoriales, por medio de señales químicas, visuales, eléctricas, sísmicas y acústicas (Hamilton-west, 2005). Estas señales se relacionan con la eficacia biológica de las especies, pues son determinantes en procesos como atracción y elección de pareja, defensa de territorio, alerta por depredadores, entre otros (Vargas-Salinas & Amézquita, 2014). La comunicación acústica es una estrategia ampliamente usada en el reino animal, y es la modalidad de comunicación primaria en anuros, cumpliendo un papel muy importante para su reproducción pues su éxito biológico está medido en su capacidad de comunicarse (Ryan, 1983). Dentro del repertorio vocal en anuros, el llamado de anuncio es el canto más difundido, el cual puede aportar

información tanto a hembras como a machos conespecíficos del tamaño, posición y hasta la identidad del individuo emisor del canto (Schwartz & Wells, 2009).

Diversos factores del ambiente pueden interferir en la emisión de estas señales, reduciendo la eficacia de su transmisión y recepción. El ruido abiótico generado por las corrientes de agua es un obstáculo importante para los animales que usan señales acústicas para comunicarse. Este ruido interfiere con la señal en un proceso denominado enmascaramiento, reduciendo su eficacia y haciéndola incluso imperceptible para sus receptores (Shen & Xu, 2016). El sonido producto de corrientes de agua rápida se concentra a frecuencias relativamente bajas (Carvajal-Castro & Vargas-Salinas, 2016) y representa una fuente importante de ruido para anuros que habitan junto a estas. Una de las estrategias que han derivado varios organismos para evadir la interferencia, han sido cambios en la estructura de las vocalizaciones, como lo es el incremento de la frecuencia del canto, mecanismo conocido como efecto Lombard (Shen & Xu, 2016). Sin embargo, este mecanismo podría estar muy restringido en numerosas especies de anuros debido a la relación inversa que existe entre el tamaño del cuerpo y la frecuencia de su canto (Carvajal-Castro & Vargas-Salinas, 2016). Esto ha sido establecido dada la correlación directa que existe entre el tamaño corporal y la dimensión de las membranas vocales que producen el sonido; esta relación ha sido llamada adaptación morfológica (Gingras et al. 2013). Teniendo en cuenta esta relación, el presente estudio busca probar si el ruido ambiental producto de una corriente de agua, en vez de promover la adaptación acústica funciona más bien como un filtro ambiental, determinando el uso y la co-ocurrencia de especies, seleccionando cierto rango de tamaños de anuros que habiten áreas junto a las corrientes (Carvajal & Vargas, 2016). Así, ranas pequeñas que cantan a frecuencias altas, serían capaces de establecerse cerca de las corrientes donde el nivel de ruido es alto. Por otro lado, especies de mayor tamaño que emiten llamados a frecuencias bajas, deberían encontrarse lejos de las corrientes donde sus llamados no serían enmascarados. Para el caso en que el ruido ambiental actúe como un filtro ambiental de selección de tamaños se esperaría encontrar en primera instancia (i) una relación inversa entre la dimensión corporal y la frecuencia de llamada, así también (ii) una relación inversa entre el tamaño corporal y el nivel de ruido. Para el caso en el que el ruido ambiental actúe como una presión selectiva que promueva la adaptación acústica, (iii) no se encontraría una relación entre la frecuencia del canto y la talla del individuo, así también (iv) una distribución aleatoria de tamaños de ranas en los diferentes niveles de ruido, en donde ranas de talla grande serían capaces de cantar a frecuencias altas junto a las corrientes (**Figura 1**).

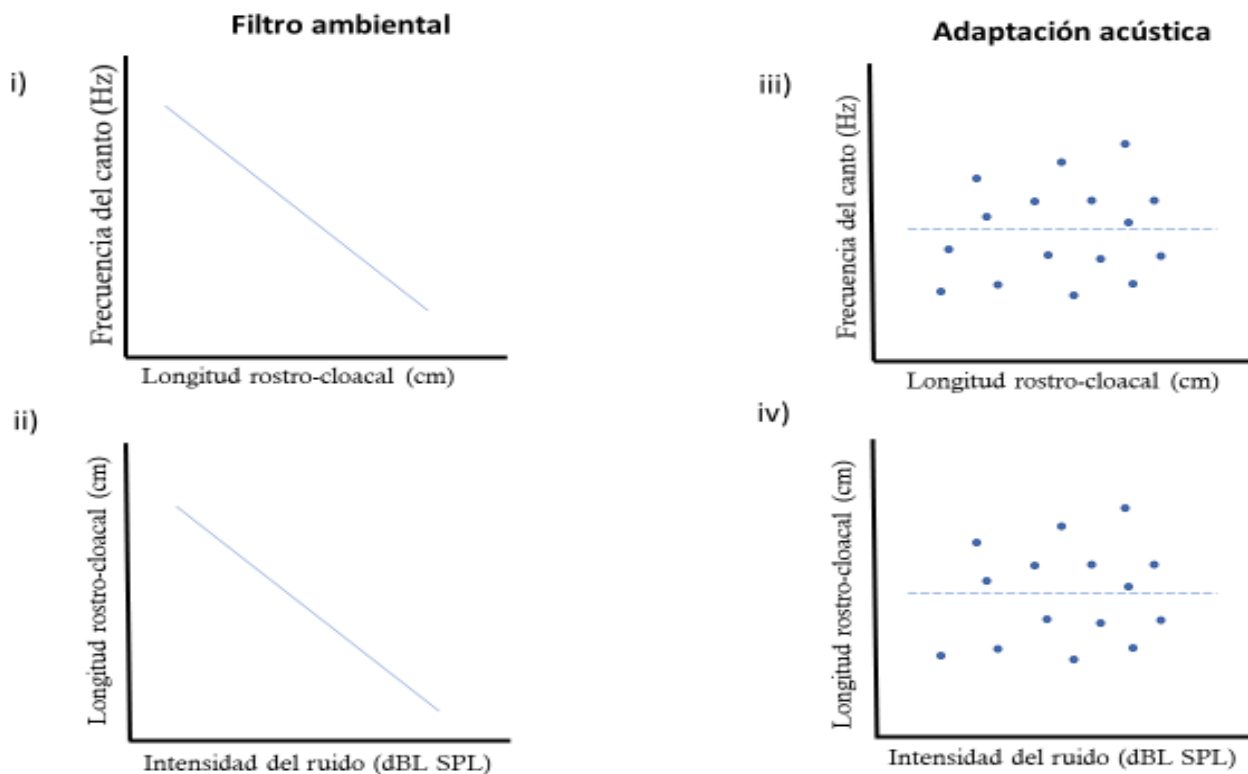


Figura 1. Predicciones sobre las diferencias esperadas para las variables de frecuencia del canto y dimensión corporal con respecto a la intensidad del ruido, en cada uno de los casos: filtro ambiental y adaptación acústica.

JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para anuros, el ruido abiótico ambiental representa un obstáculo importante para su comunicación, ya que este interfiere con la emisión de sus señales en un proceso denominado enmascaramiento. Diferentes estudios han atribuido el ruido ambiental como un factor que promueve la adaptación acústica, llevando a implementar estrategias para hacer frente a la interferencia, como por ejemplo el incremento de la frecuencia de las vocalizaciones. Sin embargo, este mecanismo podría estar limitado solo a algunas especies, debido a la relación inversa que existe entre la frecuencia del canto y el tamaño corporal. Este estudio busca evaluar si el nivel de ruido abiótico ambiental podría ser un filtro ambiental de algunos tamaños de anuros, o por el contrario si la adaptación acústica podría explicar la presencia de anuros grandes cerca de ríos y quebradas. El estudio de esta relación

resulta muy importante para comprender aspectos claves de la ecología y comportamiento de estos organismos.

MARCO TEÓRICO

1. Generalidades de la comunicación acústica y ruido ambiental.

Las señales acústicas son utilizadas ampliamente como estrategia de comunicación por gran parte del reino animal, estas pueden viajar a través de largas distancias y ser transmitidas en diversidad de ambientes. Para el caso de anfibios anuros, estas señales son indispensables en procesos de reproducción y defensa de territorio, constituyendo el principal mediador de su comportamiento social (Penna et al. 2005).

La eficiencia de la comunicación depende de la detección de señales acústicas aún en contra del ruido de fondo del ambiente, el cual puede proceder tanto de factores bióticos como abióticos (Boeckle *et al.*, 2009). Diversos hábitats muestran grandes fluctuaciones en niveles de ruido debido a factores abióticos tales como la lluvia, el viento y corrientes de agua, así también por factores bióticos entre los que se encuentran coros de otros animales y actividades de carácter antropogénico (Halfwerk *et al.*, 2016). Estos factores constituyen una característica importante del ruido de fondo del ambiente y pueden interferir sobre una señal acústica en la medida en que pueden enmascararla, disminuyendo la eficacia de su transmisión (Shen & Xu, 2016). De esta manera, el ruido de fondo es capaz de influir en la evolución de las señales acústicas de diversas maneras, como por ejemplo modulando la frecuencia, la amplitud o la redundancia de una vocalización, así mismo como la sensibilidad para detectarla (Boeckle et al., 2009).

2. Estrategias para evitar el enmascaramiento (adaptación acústica).

La comunicación acústica en un ambiente ruidoso representa un gran reto para animales vocalmente activos, pues estos deben generar estrategias para confrontar la interferencia y transmitir con éxito su señal (Brumm & Slabbekoorn, 2005). En vertebrados, se han registrado diferentes mecanismos para evadir el enmascaramiento, los cuales abarcan estrategias a largo y corto plazo (**Figura 2**). Las adaptaciones a largo plazo hacen referencia a aquellas que consisten en cambios en la estructura de la señal acústica haciéndola más audible para su receptor (Brumm & Slabbekoorn, 2005). Entre estas se encuentra el incremento de la frecuencia de la señal, donde

los cantos emitidos se ubican por encima de la frecuencia del ruido ambiental producido, permitiendo así su transmisión eficaz y la percepción adecuada por parte del receptor de la señal (Shen & Xu 2016). Se ha registrado que una especie de ave (*Abroscopus albogularis*) y una especie de anuro (*Amolops tormotus*), las cuales habitan en ambientes muy ruidosos, son capaces de producir vocalizaciones que incluyen armonías ultrasónicas (Narins et al., 2004). Las adaptaciones a largo plazo incluyen además el uso de diferentes canales de comunicación, es decir, la combinación de señales de dos diferentes modalidades sensoriales incrementando la probabilidad de detección de esta, como ocurre por ejemplo en el despliegue sexual de algunas especies de aves el cual incluye una combinación de componentes visuales y sonoros (Bohner & Veit, 1993). Las estrategias a corto plazo se refieren a ajustes en las características de la señal acústica regulando la amplitud, la duración y la redundancia de la señal (Brumm & Slabbekoorn, 2005).

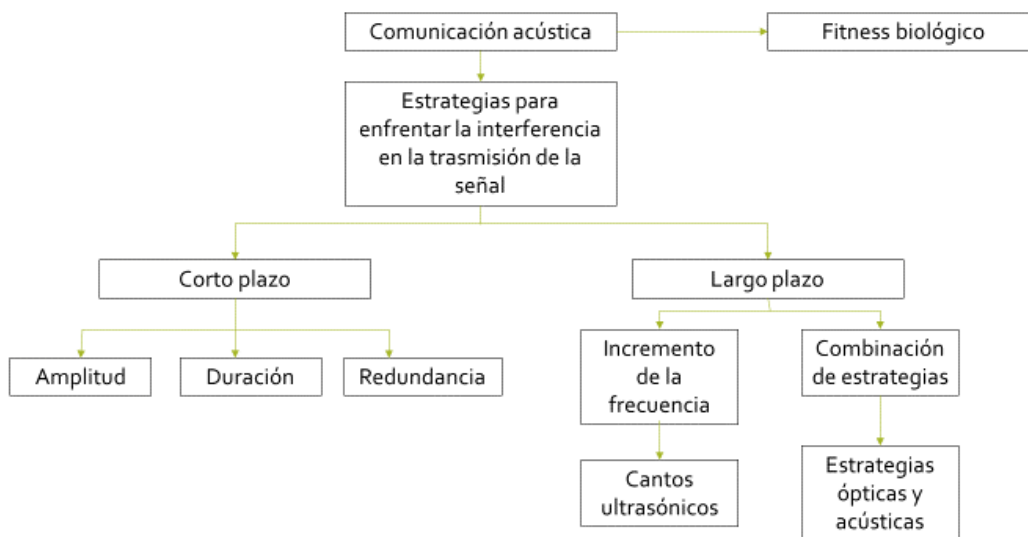


Figura 2. Diagrama conceptual de las estrategias a corto y largo plazo que implementan animales para enfrentar la interferencia en ambientes ruidosos.

3. Alometría acústica

Existen limitaciones en la evolución de los cantos de anuros impuestas principalmente por los mecanismos de producción vocal. El estudio de la relación entre los parámetros de llamada y la dimensión corporal se denomina alometría acústica (Gingras et al., 2013). En numerosas especies

de anuros se ha documentado una relación negativa entre el tamaño corporal y la frecuencia del canto (Gingras et al., 2013), esto debido a que la dimensión corporal impone severas limitaciones en la producción de señales acústicas en la medida en que la frecuencia de la llamada está determinada en gran parte por la tensión y la masa de las cuerdas vocales. Esta última incrementa con el tamaño corporal, así, cuanto más masivas sean las cuerdas vocales, menor será la frecuencia de la llamada (Ryan, 1988), es decir, a mayor tamaño, las ranas producen llamadas a frecuencias bajas y viceversa.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar cómo varía la talla y la frecuencia de las vocalizaciones de anfibios anuros en tres niveles de ruido: alto, medio y bajo.

Objetivos específicos

1. Comparar la frecuencia de las vocalizaciones de las diferentes familias de anuros que habitan en los diferentes sitios de nivel de ruido: alto, medio y bajo.
2. Comparar las medidas morfométricas (talla y peso) de las diferentes familias de anuros que habitan en los diferentes sitios de nivel de ruido: alto, medio y bajo

METODOLOGÍA

Descripción del sitio de estudio

El presente estudio se realizó en las inmediaciones del río Gazamumo, ubicado sobre la vertiente oriental de la cordillera Oriental, aproximadamente entre los 620 y 630 metros de elevación, en la vereda Periquito, jurisdicción del municipio de Medina, departamento de Cundinamarca, Colombia (Figura 2). La región presenta un clima tropical con una temperatura media anual de 24.8°C y un régimen de lluvias bi-estacional con una precipitación anual de 4438 mm, siendo enero y febrero los meses más secos y mayo y junio los meses más húmedos. De acuerdo con su ubicación

geográfica, la región posee relieve e hidrografía típica del piedemonte llanero, en donde predominan zonas de bosque húmedo tropical las cuales albergan una gran riqueza de flora y fauna. Las actividades productivas que rodean los bosques remanentes de la región se basan principalmente en la ganadería y en la agricultura a pequeña escala. La mayor parte de los cultivos se encuentran representados por cultivos de café, yuca, maíz, y caña (Matiz *et al.*, 2013).



Figura 3. Ubicación del área de estudio. Municipio de Medina, vereda Periquito, Cundinamarca.

Metodología de la investigación

Muestreos

Durante una salida preliminar realizada en el mes de febrero de 2018, se llevó a cabo un reconocimiento general de la zona de estudio y con la ayuda de un sonómetro se determinó la intensidad del ruido ambiental (nivel de presión del sonido ambiental, SPL) en la misma a diferentes distancias con respecto al cauce del río Gazamumo, estableciendo así sectores con diferentes niveles de ruido asociado al río. Adicionalmente, se realizaron recorridos nocturnos para hacer un reconocimiento preliminar de las especies de anfibios encontradas en la zona y se tomó

registro fotográfico de cada una de ellas en orden de establecer los morfotipos de las especies de estudio.

Selección de los sitios de muestreo

Luego de la caracterización preliminar de la condición de ruido en la zona de estudio, se establecieron tres sectores ubicados a diferentes distancias con respecto al cauce del río Gazamumo (Ver Anexo 1) y con diferentes rangos de niveles de ruido asociado a dicha corriente de agua: *ruido alto* (50 - 60 dB), *ruido medio* (40-50 dB) y *ruido bajo* (10-30 dB) como se muestra en la figura 3. Los tres sectores de muestreo tenían un área aproximada de 2500 m² cada uno y mantenían una estructura vegetal similar, en donde predominaba vegetación herbácea, epífita y arbustiva principalmente. Adicionalmente, se tuvo en cuenta que estos sitios estuvieran lejos de cualquier fuente de ruido antropogénico (carreteras, casas campesinas, entre otros) de manera que ruidos externos no interfirieran en la investigación y que los resultados fueran comparables.



Figura 3. Esquema del establecimiento de los sitios de muestreo: Ruido alto (rojo), ruido medio (amarillo) y ruido bajo (verde).

Toma de datos

La toma formal de datos se realizó en dos salidas de campo durante los meses de abril y mayo de 2018. En cada uno de los sitios de muestreo establecidos se hicieron recorridos nocturnos (entre las 18:00 horas y las 22:00 horas, aproximadamente) durante dos noches para cada sitio, en donde se realizó la búsqueda de individuos siguiendo la técnica de encuentro casual o búsqueda libre sin restricciones. Los muestreos consistieron en transectos de aproximadamente 15 metros de distancia desde el cuerpo de agua hacia el interior del bosque para *ruido alto*, e inmediatamente después a 30 metros de distancia desde el cuerpo de agua, a lo largo de un transecto de 15 metros se ubicó *ruido medio*. Por su parte, *ruido bajo* se trataba de un bosque ubicado muy distante al cuerpo de agua (60 metros aproximadamente) así como de los otros dos sitios de estudio en donde se estableció de igual manera un transecto de 15 metros (**Figura 3**). Cada muestreo se realizó en bandas de 20 metros de ancho aproximadamente.

De cada individuo encontrado, se tomó registró de sus medidas morfométricas: longitud rostro-cloacal (LRC) con empleo de un calibrador y su peso con una balanza electrónica digital. Se tomó registro fotográfico para cada morfoespecie encontrada las cuales fueron identificadas hasta género utilizando claves taxonómicas, catálogos e información web.

Grabación de los cantos

Durante los recorridos nocturnos se realizaron grabaciones de todas las vocalizaciones percibidas en cada uno de los sitios. Se identificaron sitios activos de llamada y en cada uno se realizaron grabaciones con un micrófono SENNHEISER ME-66 conectado a una grabadora digital TASCAM DR-100MKII. Las grabaciones de los cantos se realizaron siguiendo las especificaciones técnicas descritas por Angulo (2006), en donde el micrófono se mantuvo sostenido fijamente a 60 cm de distancia con respecto al individuo emisor del canto, en un ángulo aproximado de 45 °. En cada sitio se realizaron grabaciones con una duración de 60 segundos cada una. Si el individuo grabado dejaba de emitir su canto durante el lapso de la grabación, esta continuaba su curso hasta finalizar el total de los 60 segundos y una vez volvía a cantar, se iniciaba una nueva, con el fin de obtener el mayor registro de vocalizaciones posibles. Por cada tipo de canto, se registraron al menos 8 vocalizaciones diferentes. Aunque el muestreo de las grabaciones se realizó durante los meses más húmedos, es importante resaltar que ninguno de estas se realizó durante la lluvia, de manera que este factor no influyó sobre la la toma de datos.

ANÁLISIS DE DATOS

Análisis de las grabaciones de los cantos

Para el análisis de los cantos, las grabaciones obtenidas fueron escuchadas en su totalidad y se identificaron a oído los diferentes tipos de cantos encontrados, los cuales fueron agrupados por acustitipos. Cada acustitipo se refiere al grupo de vocalizaciones semejantes registradas entre el total de las grabaciones, que probablemente corresponde a una especie. Para corroborar la similitud entre cada grupo (acustitipo) se utilizó el programa *Audacity 2.2* en el cual se generó el espectro de cada vocalización para corroborar la clasificación de acuerdo con la similitud entre estos.

Una vez clasificadas en acustitipos, las grabaciones de los cantos para cada sitio fueron analizadas utilizando espectros de frecuencia generados en el software interactivo de análisis de sonido *Raven pro 1.5*. Para cada zona se obtuvo el número de acustitipos registrados y el pico de frecuencia para cada uno de ellos. El pico de frecuencia se obtuvo utilizando como variable respuesta el promedio de la opción “peak frequency” (proporcionada por el software) de al menos seis vocalizaciones por cada acustitipo.

En orden de identificar la identidad de la especie a la cual pertenecía cada acustitipo, se realizó una búsqueda de vocalizaciones en bibliotecas de sonido animal disponibles en la web (www.fonozoo.com). Una vez una vocalización de la biblioteca era identificada como similar a alguno de los acustitipos obtenidos en las grabaciones, se procedía a descargar dicho audio y a generar su espectro de frecuencia, el cual era comparado con el espectro del acustitipo registrado, y de acuerdo con su similitud se corroboraba o no su identidad.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa *R Studio versión 2.5.0*. En primera instancia, se evaluó la variación de los pesos y las tallas de cada familia en cada uno de los tres sitios, así mismo como la variación de las frecuencias de los cantos registrados (acustitipos) para cada nivel de ruido. Se realizó la prueba de Shapiro Wilks para cada variable en orden de establecer la normalidad de los datos. Se realizaron test de ANOVA simple para establecer diferencias significativas para cada variable por cada familia en cada sitio y se generaron gráficos tipo Boxplot para representar dichas diferencias.

RESULTADOS

Para el total de muestreos realizados en los tres sitios, se registraron las medidas morfométricas (LRC y peso) de 83 individuos pertenecientes a cuatro familias: Craugastoridae, Hylidae, Bufonidae y Leptodactylidae, (ver anexo 2) los cuales fueron identificados dentro de cuatro géneros: *Pristimantis*, *Hypsiboas*, *Rhaebo* y *Leptodactylus*. Del total de individuos registrados, las familias más representativas fueron Craugastoridae y Bufonidae con un 31.32% y un 32.53%, respectivamente.

El sitio en el que se registró un mayor número de individuos corresponde al de *ruido bajo* con un total de 41 individuos pertenecientes a cuatro familias, seguido del sitio de *ruido medio*, con un total de 28 individuos de tres familias, mientras que en el sitio de *ruido alto* se registró un total de 14 individuos representantes de dos familias (**Figura 4**).

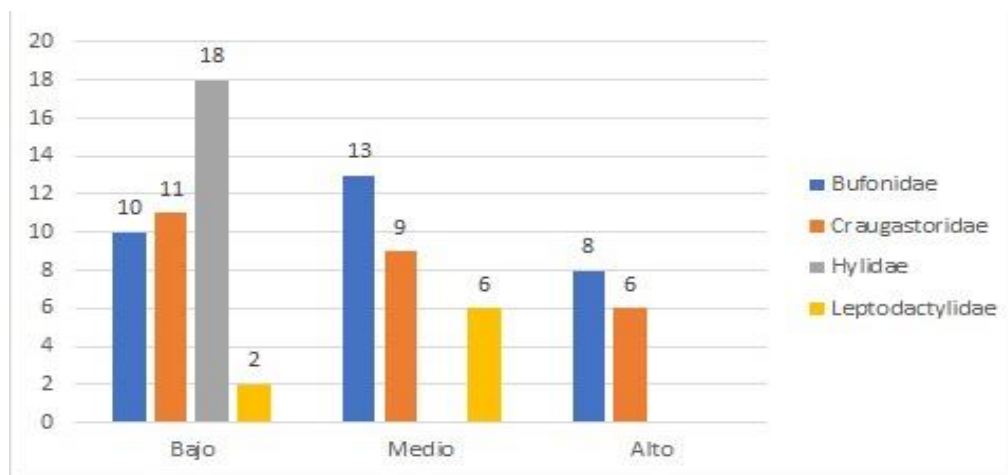


Figura 4. Número de individuos por familia registrados para cada sitio (ruido alto, ruido medio y ruido bajo).

Medidas morfométricas

Se obtuvieron los promedios estadísticos de cada variable morfométrica por familia y por nivel de ruido (**Tabla 1**). Se encontró que el sitio con individuos de mayor talla fue *ruido alto*, con individuos representantes de las familias Bufonidae y Craugastoridae seguido de *ruido bajo* con individuos pertenecientes a las familias Bufonidae, Craugastoridae, Hylidae y Leptodactylidae, y por último *ruido medio* donde se registraron individuos de las familias Bufonidae, Craugastoridae y Leptodactylidae (**Figuras 4 y 5**). Las familias Bufonidae y Craugastoridae estuvieron presentes en los tres sitios lo cual permitió realizar un test de ANOVA para establecer diferencias significativas entre las variables morfométricas obtenidas para estas familias en cada nivel (alto,

medio y bajo). Debido a que no se obtuvieron registros de la familia Leptodactylidae para *ruido alto* los estadísticos se aplicaron teniendo en cuenta *ruido medio* y *ruido bajo* únicamente. Los registros de las variables morfométricas obtenidos para la familia Hylidae no permitieron establecer comparaciones entre los sitios debido a que solo se registraron individuos de esta familia en *ruido bajo*.

Nivel de ruido	Familia	Número de individuos	LRC prom (mm)	Peso prom (g)
Bajo	Craugastoridae	11	32.23	6.935
	Hylidae	18	41.33	12.64
	Bufonidae	10	41.11	16.06
Medio	Leptodactylidae	2	39.8	8.45
	Craugastoridae	9	28.85	5.685
	Bufonidae	13	31.98	13.71
alto	Leptodactylidae	6	37.08	9.42
	Craugastoridae	6	38.28	11.35
	Bufonidae	8	37.3	33.19

Tabla 1. Número total de individuos registrados por familia y sus valores de LRC y peso promedio en cada sitio de muestreo.

Para cada set de datos se comprobó su normalidad usando el test de Shapiro Wilks; se encontró que las variables de LRC y peso para la familia Bufonidae no seguían una distribución normal, por lo que se realizó una transformación logarítmica de los datos para cumplir con dicho supuesto. En orden de establecer diferencias significativas en cada nivel, se aplicaron test de ANOVA simple para cada variable (LRC y peso) por cada familia. Los resultados de los estadísticos se ilustran en la **Tabla 2**.

Familia	LRC				Peso			
	Shapiro Wilks	ANOVA			Shapiro Wilks	ANOVA		
	P value	df	F value	Sig.	P value	df	F value	Sig.
Craugastoridae	0.1217	2	1.54	0.236	0.1124	2	1.574	0.229
Bufonidae	5.03E-06	2	3.681	0.0381*	6.90E-08	2	3.192	0.0231*
Leptodactylidae	0.3054	1	0.208	0.664	0.8056	1	1.358	0.288

Tabla 2. Resultados de las pruebas estadísticas Shapiro Wilks y Anova simple para las variables morfométricas (talla y peso) de cada familia en los diferentes niveles de ruido. *Diferencias significativas

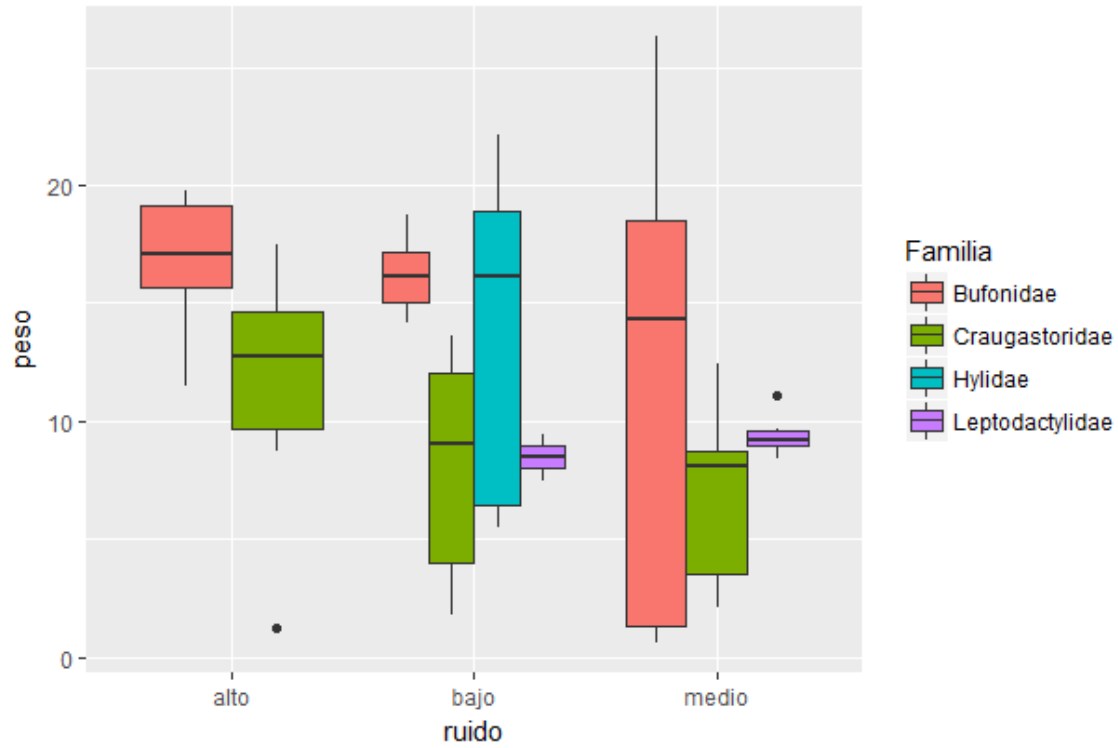


Figura 4. Variación del peso de las diferentes familias de anuros con respecto al nivel de ruido.

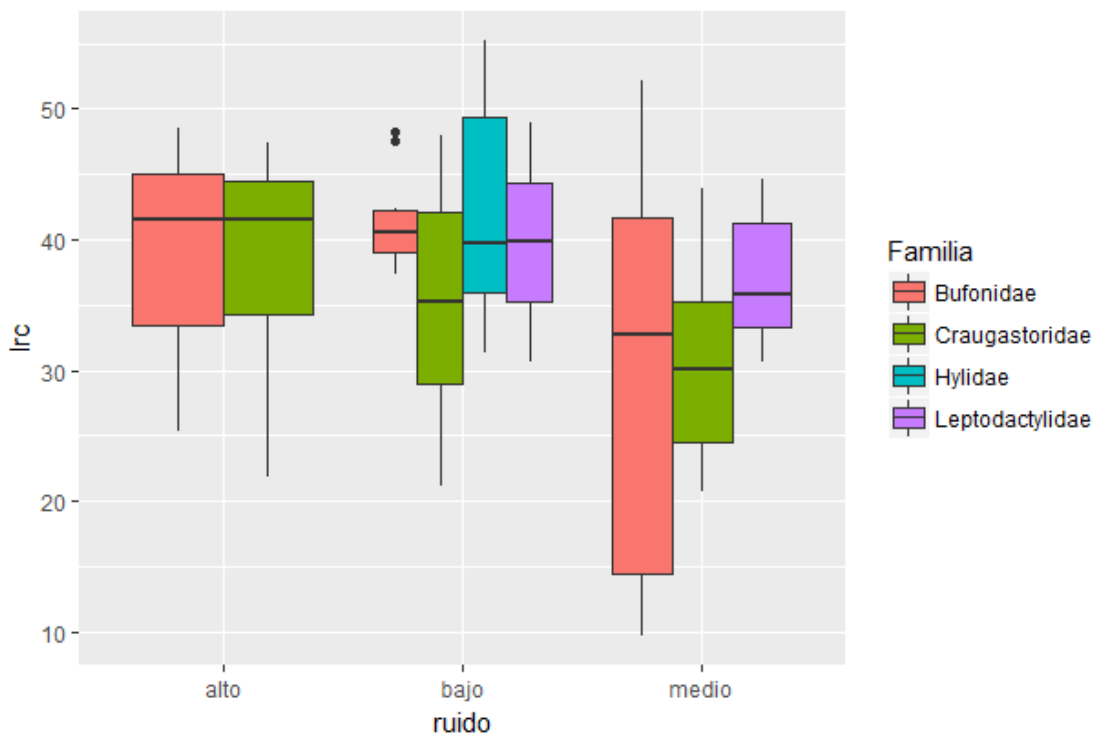


Figura 5. Variación de la longitud rostro-cloacal (LRC) por familia de anuros con respecto al nivel de ruido.

Cantos

Se analizó un total de 108 grabaciones en donde se identificó un total de 12 acustitipos diferentes para los tres sitios de muestreo (ver anexo 3). El sitio con mayor número de acustitipos registrados fue el de *ruido medio*, con un total de ocho acustitipos, seguido de *ruido bajo*, con un total de siete, y, por último, *ruido alto* con tan solo un acustitipo registrado (**Figura 6**). Sólo un acustitipo logró identificarse como la vocalización correspondiente a *Pristimantis peruvianus* de acuerdo con la información suministrada en la biblioteca de sonidos animales (Ver anexo 4) disponible en la página web: www.fonozoo.com. Debido a que se logró identificar la identidad de tan solo un acustitipo, el análisis de la variación de las frecuencias de las vocalizaciones por cada sitio se realizó teniendo en cuenta todo el conjunto de cantos registrados por cada nivel. Para lo anterior se corrió un test de Shapiro Wilks ($p\text{-value} = 0.341$) y un ANOVA simple ($df = 2$, $F\text{-value} = 3.064$, $Sig = 0.041$) lo cual sustenta que existen diferencias significativas entre los valores para la frecuencia en cada sitio, siendo el de *ruido medio* el sitio con valores más altos para la frecuencia, seguido de *ruido alto* y, por último, *ruido bajo* con las vocalizaciones más graves (**Fig. 7**).

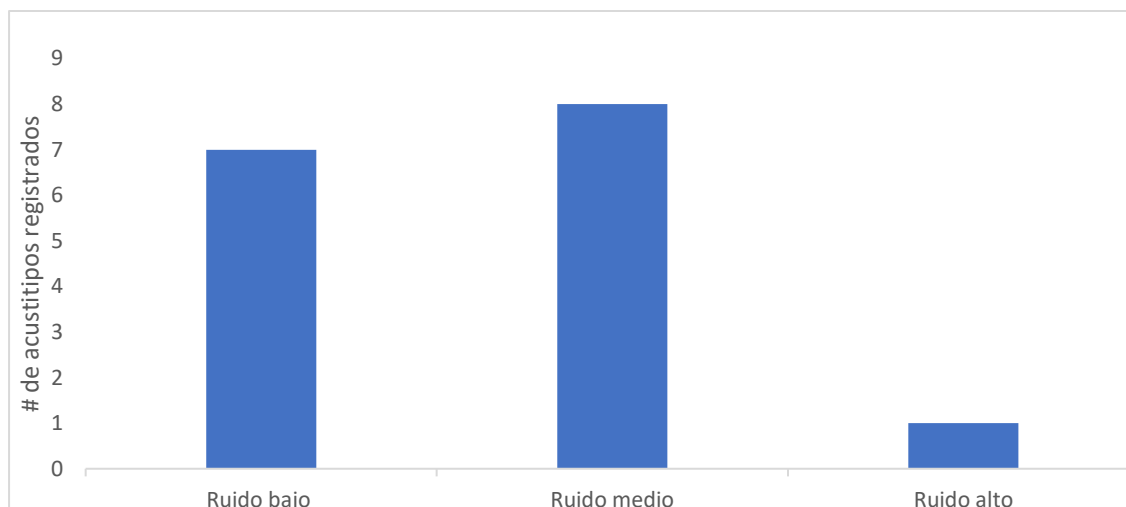


Figura 6. Número de acustitipos diferentes registrados para cada sitio de muestreo (ruido alto, ruido medio y ruido bajo)

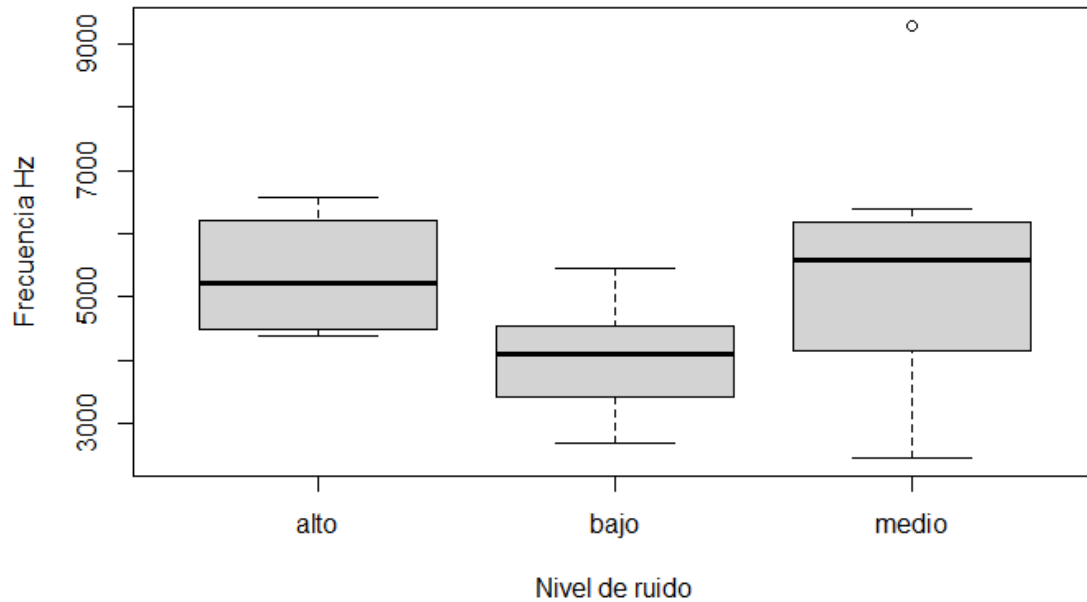


Figura 7. Variación de la frecuencia de las vocalizaciones de anuros con respecto al nivel de ruido

Debido a que se obtuvieron registros de las vocalizaciones de *P. peruvianus* en los tres sitios, se establecieron comparaciones del pico de frecuencia de únicamente esta vocalización con respecto al nivel de ruido. Se corrió un test de Shapiro Wilks (p-value = 0.4593), y un ANOVA simple (df = 2, F-value = 27.22, Sig = 7.41e-08) lo cual evidencia que existen diferencias muy significativas para las frecuencias de *P. peruvianus* en cada uno de los sitios, siendo *ruido alto* el sitio con valores más altos para las frecuencias, seguido de *ruido medio* y *ruido bajo* (**Figura 8**).

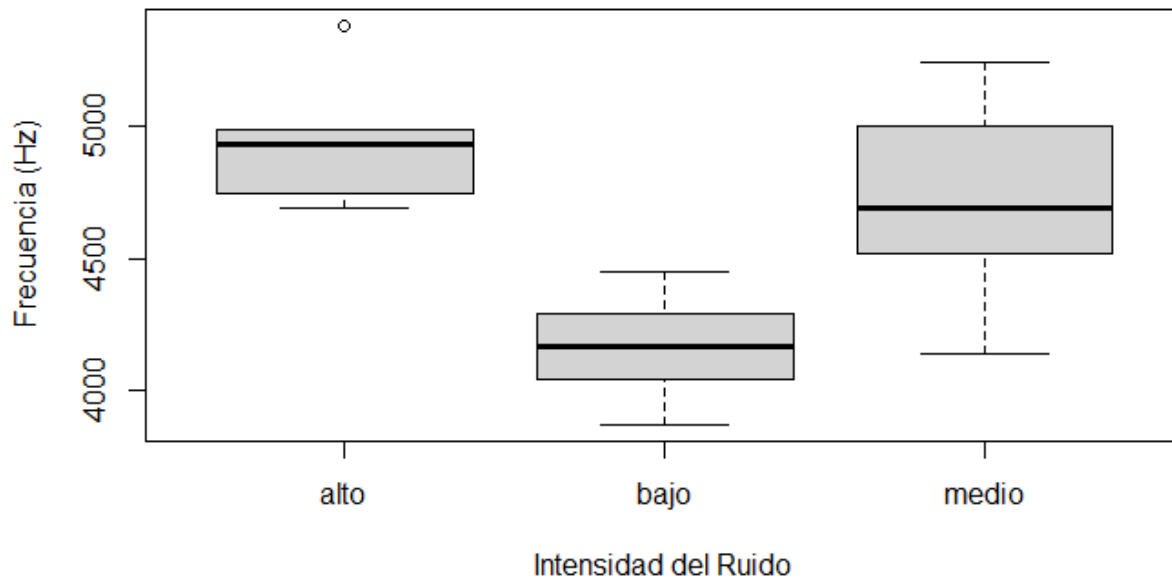


Figura 8. Variación de la frecuencia de las vocalizaciones de *P. peruvianus* con respecto al nivel de ruido.

DISCUSIÓN

Frecuencia de las vocalizaciones en respuesta al ruido ambiental

El ruido ambiental producto de la corriente de agua representa un obstáculo importante para la comunicación de anfibios anuros que habitan en áreas junto a las corrientes. Teniendo en cuenta que la comunicación y por tanto la emisión y recepción de señales acústicas es un proceso indispensable para las interacciones entre estos individuos, y más precisamente para su reproducción, estos deben implementar estrategias para hacer frente al enmascaramiento de sus señales. Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que a nivel general existe una relación directa entre el nivel de ruido del ambiente y la frecuencia de las vocalizaciones emitidas por los individuos que allí habitan. El sitio en el que se registró el mayor promedio para los picos de frecuencia de las vocalizaciones fue *ruido alto* (50-60dB), seguido de *ruido medio* (30-40 dB) y por último *ruido bajo* (10-30 dB) con el promedio de pico de frecuencias más bajo (**Figura 7**). Lo anterior muestra una tendencia hacia el incremento de las frecuencias con respecto al ruido: cuanto más ruidoso es el ambiente, las frecuencias de las vocalizaciones de los individuos que allí habitan

tienden a incrementar, este mecanismo es denominado “Efecto Lombard” (Shen & Xu, 2016). La misma tendencia ha sido encontrada en otros estudios sobre esta relación, como por ejemplo el realizado por Carvajal y Vargas (2016) dónde se encontró que especies de anuros que habitan áreas junto a las corrientes, y que por ende se encuentran expuestas a niveles de ruido considerables, han evolucionado vocalizaciones a frecuencias más altas, como una respuesta adaptativa al ruido. Otras investigaciones que evalúan las estrategias vocales implementadas por anuros que habitan sitios muy ruidosos han encontrado la capacidad de algunas especies de incrementar la frecuencia de sus vocalizaciones (efecto Lombard) incluso emitiendo armonías ultrasónicas, como es el caso de *Amolops tormotus*, una rana procedente de China que habita sitios adyacentes a ríos muy caudalosos (Narins *et al.*, 2004).

Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren además la capacidad de la especie *Pristimantis peruvianus* para modular la frecuencia de sus vocalizaciones con respecto al nivel de ruido de su ambiente. El pico de frecuencia incrementa en la medida en que el nivel de ruido también lo hace, otra evidencia que soporta el mecanismo de efecto Lombard, pero esta vez a nivel de especie (**Figura 8**). Parece ser además que niveles altos de ruido afectan la temporalidad del canto, en la medida en que todas las vocalizaciones registradas en *ruido alto* para *P. peruvianus* tienen una longitud promedio de 0.242 segundos, mientras que para ruido medio y ruido bajo se tiene una duración promedio de 0.866 y 0.8757 segundos respectivamente (Ver anexo 4). Esto podría tratarse de otra estrategia en respuesta al ruido, sin embargo, se requieren más investigaciones de este fenómeno para poder establecer afirmaciones más certeras. Tal parece que el incremento de la frecuencia del canto, aun siendo un proceso muy costoso energeticamente, resulta un mecanismo muy efectivo para contrarrestar la interferencia acústica.

Variables morfológicas y ruido ambiental

Aunque el incremento de la frecuencia de las vocalizaciones sea un mecanismo muy efectivo para contrarrestar el ruido, es claro que no lo es para todas las especies debido a las restricciones morfológicas en los mecanismos de producción vocal para ranas de tamaños grandes que son incapaces de cantar a frecuencias más altas.

Para las cuatro familias de anuros estudiadas (Bufonidae, Craugastoridae, Leptodactylidae e Hylidae) se encontró que las familias Bufonidae y Craugastoridae representan los individuos de mayor talla, los cuales se encuentran habitando los tres sitios. Los individuos pertenecientes a la

familia Leptodactylidae se encuentran habitando los sitios de *ruido medio* y *ruido bajo*, mientras que los individuos pertenecientes a la familia Hylidae se registraron solamente en *ruido bajo* (**Figura 5**). Los individuos con mayores tallas se registraron para *ruido alto*, mientras que los individuos más pequeños se encontraron habitando el sitio de *ruido medio*. Estos resultados contrastan con lo esperado, pues de acuerdo a la relación entre los parámetros de llamada y los mecanismos de producción vocal (alometría acústica), se esperaba encontrar individuos de talla grande habitando *ruido bajo* y *ruido medio* e individuos de talla menor habitando el sitio de *ruido alto*, en la medida en que estos últimos debido a su tamaño, estarían en la capacidad de emitir llamados a frecuencias más altas (Gingras et al., 2013). Para el caso en el que el ruido ambiental se tratará de un filtro ambiental de selección de tamaños, se esperaba encontrar una relación negativa entre los tamaños de los individuos y el nivel de ruido de su ambiente. Contrario a lo esperado, los resultados de las tallas de los individuos en cada sitio, evaluadas con las variables LCR y peso, sugieren que los individuos de tallas más grandes son los que se encuentran habitando zonas cercanas al cauce del río donde el nivel del ruido producido por la corriente de agua es más alto (50-60 dB), mientras que los individuos de tallas más pequeñas se encuentran habitando sitios con nivel de ruido medio (40-50dB). Esto contrasta con lo encontrado por Vargas y Amézquita (2014) quienes realizaron una evaluación de la hipótesis de adaptación acústica para anuros a una escala filogenética, encontrando que el tamaño corporal es significativamente menor y la frecuencia de llamadas es ligeramente mayor en las especies que se encuentran habitando áreas cerca de las corrientes. Los pocos registros de acustitipos obtenidas en el sitio de *ruido alto* (**Figura 6**) podría explicar la presencia de ranas de talla grande en ruido alto. Probablemente, estas especies de talla grande se encuentren en zonas aledañas a la corriente cumpliendo otro tipo de actividades ecológicas como el forrajeo sin necesariamente reproducirse. Esto sugiere que aunque los individuos hagan uso del habitat en sitios cercanos al río, no necesariamente destinen estas zonas para hacer sus despliegues vocales. Lo anterior podría sugerir que los sitios con valores de ruido ambiental muy altos (50 - 60 dB) no son sitios destinados a la reproducción pues debido al enmascaramiento del sonido por el ruido del río, resulta muy difícil y muy costoso energéticamente emitir sus vocalizaciones. Es preciso tener en cuenta el efecto que la temporada climática podría tener en el estudio de esta relación. En época de lluvias, (durante la cual se condujo el estudio) el incremento del cauce del río hace que este sea más ruidoso, incrementando la presión sonora del ambiente. Probablemente en temporada seca, cuando el cauce del río disminuye y por ende el nivel

de presión sonora también lo hace, es de esperarse que algunas de las especies que habitan sitios menos ruidosos se desplacen hasta zonas cercanas del río donde puedan realizar sus despliegues vocales y ovopositar.

Implicaciones de los modos reproductivos

Los anuros exhiben una gran variedad de modos reproductivos impulsados por la evolución de organismos que se criaron exclusivamente en el agua, a organismos que lo hacen de forma independiente a esta (Gomez-Mestre *et al.*, 2012). Entre los modos reproductivos de los anuros se encuentran las especies de desarrollo directo y especies de desarrollo indirecto. Los individuos de desarrollo directo se refieren a aquellos que carecen de una etapa larval y que por ende tienen un desarrollo terrestre, mientras que las especies de desarrollo indirecto nacen como larvas que se desarrollan en el agua (Gomez-Mestre *et al.*, 2012). Entre las familias incluidas en este estudio, se encuentran diferentes modos reproductivos que podrían tener implicaciones muy importantes en los resultados de esta investigación y los cuales se describirán a continuación. La familia Bufonidae corresponde a la única familia en este estudio que incluye en su mayoría especies en las cuales el desove y desarrollo de las larvas se produce en el medio acuático exclusivamente (Shahriza *et al.*, 2012). La familia Hylidae incluye especies que de hábitos arborícolas las cuales depositan sus huevos en la parte superior de las hojas de las plantas y árboles emergentes de los estanques, los cuales una vez eclosionan, caen al agua para continuar allí su desarrollo (Crump & Kaplan, 1979). Las especies incluidas en la familia Leptodactylidae, se refieren en su mayoría a ranas de hábito terrestre las cuales construyen nidos de espuma sobre la tierra o galerías subterráneas en donde depositan sus huevos para protegerlos de la desecación y la depredación (Zina, 2006). Por último, la familia Craugastoridae, denominada comúnmente como ranas de hojarasca, incluye especies de hábitos terrestres y de desarrollo directo, es decir, que carecen de una etapa larvaria acuática, por lo que su desarrollo no depende exclusivamente del agua (Guayara & Bernal, 2012). Las diferencias significativas para las variables morfológicas se encuentran representadas por la familia Bufonidae y Craugastoridae, las cuales se encuentran habitando los tres sitios. *Ruido alto* incluye los valores de tallas más grandes para estas dos familias mientras que las tallas más pequeñas se registran en *ruido medio*. En cuanto al registro de vocalizaciones para estas familias se tiene solo un registro de un acustitipo en el sitio de *ruido alto*, el cual corresponde a una especie de la familia Craugastoridae. Esto podría sugerir que aunque las especies de la familia Bufonidae

dependen exclusivamente del agua para su reproducción, las especies incluidas en esta familia serían muy susceptibles al ruido debido a sus grandes tamaños y no destinarían zonas aledañas a la corriente para emitir sus vocalizaciones, y en cambio podrían estar allí cumpliendo otras funciones como por ejemplo de alimentación o refugio. La familia Craugastoridae por su parte, al tratarse de especies en su mayoría terrestres muestran una mayor plasticidad de ambientes, razón por la cual las especies de esta familia se encuentran habitando y vocalizando en los tres sitios estudiados. Al parecer las especies de la familia Leptocatyliidae, de las cuales solo se tuvo registro para ruido *ruido medio* y *ruido bajo*, resultan también especies susceptibles al nivel de presión sonora del ambiente, estableciéndose en lugares con ruido moderado lejos de las corrientes donde realizarían sus despliegues vocales y construirían sus nidos de espuma para ovopositar. Por último, las especies incluidas en la familia Hylidae de hábitos arborícolas, serían las más susceptibles al ruido en la medida en que sólo se tienen registros de estas especies para *ruido bajo*. Al tratarse de los organismos de mayor talla (**Figura 5**) estos se verían restringidos a ocupar sitios de ruido bajo donde sus vocalizaciones, las cuales incluyen frecuencias muy bajas, no se verían enmascaradas. De esta manera, el fenotipo favorecido para las ranas que cantan cerca de las corrientes serían tamaños pequeños y llamadas a frecuencias altas.

Por último, cabe resaltar como aspecto muy importante, que además la talla de los anuros depende entre otras cosas, de otros factores asociados como la fecundidad, el tipo de dieta y de la fuerza física del individuo (Wells, 2007).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que el ruido ambiental constituye una característica muy importante del ambiente para anfibios anuros, y que probablemente el nivel de presión sonora de un ambiente sea un predictor muy fuerte de la selección de los sitios de llamada de estos organismos. Aunque el incremento de la frecuencia de las vocalizaciones resulte un proceso efectivo para evadir la interferencia del ruido ambiental, se evidencia a nivel general que el ruido promueve un proceso de filtro ambiental en especies que se encuentran limitadas morfológicamente a este mecanismo. Los valores de las tallas corporales para los individuos se hacen más pequeños con respecto al nivel de ruido, así, probablemente, el nivel del filtro ambiental aumente en la medida en que el nivel de ruido también lo haga.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se sugiere incluir comparaciones directas entre la frecuencia de las vocalizaciones y la talla por cada individuo, en orden de generar una posible relación causal entre el ruido abiótico sobre las estrategias vocales y la morfología de anfibios. Es importante que sean considerados otros aspectos importantes como: 1) un análisis por especie en diferentes temporadas climáticas, 2) comparar si existen diferencias estadísticas entre el ruido ambiental y el canto de cada especie, 3) analizar los efectos del ruido en las estrategias vocales a partir del análisis de otros parámetros adicionales por vocalización como: la amplitud, redundancia, temporalidad, entre otros, 4) Realizar comparaciones morfológicas estadísticas incluyendo los individuos que vocalizan y los que no. Adicionalmente, y de manera muy importante, se recomienda realizar grabaciones en franjas horarias más extendidas o incluso durante 24 horas, de manera que el estudio logre incluir la totalidad de especies que vocalizan sin excluir aquellas que cantan en horarios diferentes al muestreo.

BIBLIOGRAFÍA

- Angulo, A. 2006. Fundamentos de bioacústica y aspectos prácticos de grabaciones y análisis de cantos. En: Angulo, A., Rueda-Almondacid, J.V.; Rodriguez-Mahecha, J.V. & Marca, E. (Eds.). Técnicas de inventario y monitoreo para los anfibios de la Región Tropical Andina. Bogotá, Conservación Internacional. p. 93-134. (Serie Manuales de Campo)
- Boeckle, M., Preininger, D., & Hödl, W. (2009). Communication in Noisy Environments i: Acoustic Signals of *Staurois Latopalmatus* Boulenger 1887. *Herpetologica*, 65(2), 154–165. <https://doi.org/10.1655/07-071R1.1>
- Brumm, H., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic Communication in Noise. *Advances in the Study of Behavior*, 35(December 2005), 151–209. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(05\)35004-2](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(05)35004-2)
- Carvajal-Castro, J. D., & Vargas-Salinas, F. (2016). Stream noise, habitat filtering, and the phenotypic and phylogenetic structure of Neotropical anuran assemblages. *Evolutionary Ecology*, 30(3), 451–469. <https://doi.org/10.1007/s10682-016-9817-8>
- Gingras, B., Boeckle, M., Herbst, C. T., & Fitch, W. T. (2013). Call acoustics reflect body size across four clades of anurans. *Journal of Zoology*, 289(2), 143–150. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2012.00973.x>
- Gomez-Mestre, I., Pyron, R. A., & Wiens, J. J. (2012). Phylogenetic analyses reveal unexpected patterns in the evolution of reproductive modes in frogs. *Evolution*, 66(12), 3687–3700. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2012.01715.x>
- GUAYARA-BARRAGÁN, M. G., & BERNAL, M. H. (2012). Fecundidad Y Fertilidad En Once Especies De Anuros Colombianos Con Diferentes Modos Reproductivos. *Caldasia*, 34(2), 483–496. <https://doi.org/10.2307/23641969>
- Halfwerk, W., Lea, A. M., Guerra, M. A., Page, R. A., & Ryan, M. J. (2016). Vocal responses to noise reveal the presence of the Lombard effect in a frog. *Behavioral Ecology*, 27(2), 669–676. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv204>
- Hamilton-west, C. (2005). Efectos dl ruido en la conducta vocal de machos de *Eupsophus emiliopugini* (amphibia, Leptodactylidae), 54.
- Matiz Acosta, alberto jose, Arciniegas Riveros, E., Arias Walteros, C. H., & Ruiz Romero, A.

- (2013). Proyecto Sistema De Información Geografica Municipal 2013 Ministerio De Agricultura Y Desarrollo Rural, 19. Retrieved from http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11438/8055/1/SIG-MUNICIPALES_MEDINA_CUNDINAMARCA.pdf
- Narins, P. M., Feng, A. S., Lin, W., Schnitzler, H.-U., Denzinger, A., Suthers, R. A., & Xu, C. (2004). Old World frog and bird vocalizations contain prominent ultrasonic harmonics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *115*(2), 910–913. <https://doi.org/10.1121/1.1636851>
- Penna, M., Pottstock, H., & Velasquez, N. (2005). Effect of natural and synthetic noise on evoked vocal responses in a frog of the temperate austral forest. *Animal Behaviour*, *70*(3), 639–651. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2004.11.022>
- Ryan, M. J. (1983). Sexual Selection and Communication in a Neotropical Frog, *Physalaemus pustulosus*. *Evolution*, *37*(2), 261–272. <https://doi.org/10.2307/2408335>
- Ryan, M. J. (1988). Constraints and patterns in the evolution of anuran acoustic communication. *The Evolution of the Amphibian Auditory System*. Retrieved from http://www.biosci.utexas.edu/IB/faculty/ryan/pubs/1988_EvolAmphAudSys_637.pdf
- Schwartz, J. J., & Wells, K. D. (2009). the Influence of Background Noise on the Behavior of a Neotropical Treefrog, *Hyla Ebraccata*. *Herpetologica*, *39*(2), 121–129. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/10.2307/3892551>
- Shahriza, S., Ibrahim, J., & Shahrul Anuar, M. S. (2012). Breeding activities of *Ingerophrynus parvus* (Anura: Bufonidae) in Kedah, Malaysia. *Sains Malaysiana*, *41*(11), 1431–1435.
- Shen, J. X., & Xu, Z. M. (2016). The Lombard effect in male ultrasonic frogs: Regulating antiphonal signal frequency and amplitude in noise. *Scientific Reports*, *6*(June), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep27103>
- Silva, A., & Eliosa, H. (2013). Comunicación acústica en anfibios y su trascendencia evolutiva.
- Vargas-Salinas, F., & Amézquita, A. (2014). Abiotic noise, call frequency and stream-breeding anuran assemblages. *Evolutionary Ecology*, *28*(2), 341–359. <https://doi.org/10.1007/s10682-013-9675-6>

Zina, J. (2006). Communal nests in *Physalaemus pustulosus* (Amphibia: Leptodactylidae): experimental evidence for female oviposition preferences and protection against desiccation. *Amphibia Reptilia*, 27(1), 148–150. <https://doi.org/10.1163/156853806776052092>

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

ANEXOS

NIVEL DE RUIDO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS PUNTO CENTRAL DEL ÁREA DE MUESTREO		ALTURA (msnm)
	LATITUD	LONGITUD	
Alto	4°31'2.74"N	73°25'16.26"O	626
Medio	4°31'1.57"N	73°25'16.76"O	623
Bajo	4°30'55.43"N	73°25'12.98"O	619

Anexo 1. Coordenadas geográficas de cada uno de los tres sitios de muestreo

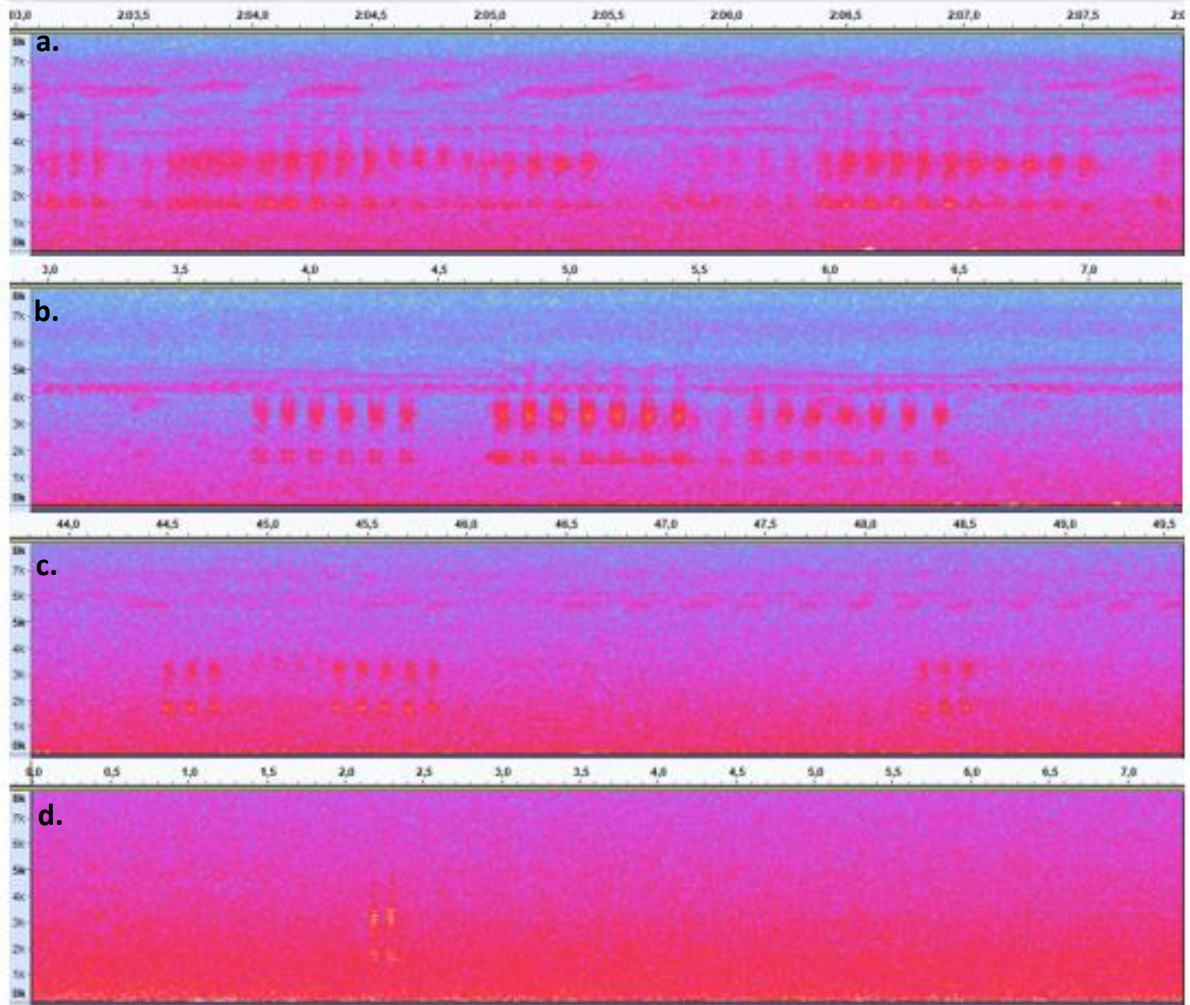
Número	Familia	LRC (mm)	Peso (g)	Nivel de ruido
1	Craugastoridae	46.6	13.6	bajo
2	Craugastoridae	27.7	1.8	bajo
3	Craugastoridae	30.1	8.2	bajo
4	Craugastoridae	35.3	9	bajo
5	Craugastoridae	38.4	11.7	bajo
6	Craugastoridae	39.5	12.4	bajo
7	Craugastoridae	47.9	11.7	bajo
8	Craugastoridae	44.8	12.7	bajo
9	Hylidae	51.5	19.8	bajo
10	Hylidae	43.4	18.5	bajo
11	Hylidae	53.8	20.1	bajo
12	Hylidae	45.5	17.9	bajo
13	Hylidae	55.2	21.3	bajo
14	Hylidae	44.2	18.9	bajo
15	Hylidae	54.3	22.1	bajo
16	Hylidae	40.4	16.5	bajo
17	Hylidae	38.9	15.7	bajo
18	Hylidae	50.6	18.8	bajo
19	Hylidae	35.8	6.7	bajo
20	Hylidae	38.6	6.4	bajo
21	Hylidae	33.1	5.9	bajo
22	Hylidae	36.4	7.2	bajo
23	Hylidae	31.6	5.5	bajo
24	Hylidae	31.3	6	bajo
25	Hylidae	39.1	6.8	bajo
26	Hylidae	33.2	6.1	bajo
27	Bufo	47.5	18.1	bajo
28	Bufo	39.2	15.4	bajo
29	Bufo	41.1	16.9	bajo
30	Bufo	38.2	14.9	bajo
31	Bufo	48.2	18.7	bajo
32	Bufo	42.4	17.2	bajo

33	Bufo	38.9	14.5	bajo
34	Bufo	40	15.8	bajo
35	Bufo	41.5	16.5	bajo
36	Bufo	37.4	14.2	bajo
37	Leptodactylus	30.7	7.5	bajo
38	Leptodactylus	48.9	9.4	bajo
39	Craugastor	21.1	3.2	bajo
40	Craugastor	25.6	3.8	bajo
41	Craugastor	30.3	4.2	bajo
42	Craugastor	30.1	8.2	medio
43	Craugastor	35.3	9	medio
44	Craugastor	43.9	12.4	medio
45	Craugastor	37.7	8.1	medio
46	Craugastor	32.5	8.7	medio
47	Craugastor	24.5	2.6	medio
48	Leptodactylus	33.5	8.9	medio
49	Leptodactylus	42.3	9.7	medio
50	Leptodactylus	30.7	8.4	medio
51	Leptodactylus	33.2	9	medio
52	Leptodactylus	44.6	11.1	medio
53	Leptodactylus	38.2	9.4	medio
54	Craugastor	20.8	2.1	medio
55	Craugastor	24.5	3.5	medio
56	Craugastor	25.8	4	medio
57	Bufo	52.1	26.3	medio
58	Bufo	44.8	22.4	medio
59	Bufo	45.9	23.1	medio
60	Bufo	41.7	18.5	medio
61	Bufo	39.3	17.7	medio
62	Bufo	37.6	16.2	medio
63	Bufo	28.9	14.3	medio
64	Bufo	32.8	14.1	medio
65	Bufo	10.2	0.6	medio
66	Bufo	14.5	1.3	medio
67	Bufo	11.3	1.1	medio
68	Bufo	9.7	0.8	medio
69	Bufo	15.4	1.5	medio
70	Bufo	48.5	19.8	alto
71	Bufo	44.2	16.7	alto
72	Bufo	39.7	15.8	alto
73	Bufo	43.4	17.5	alto
74	Bufo	47.7	19	alto
75	Craugastor	39.8	12.8	alto
76	Craugastor	43.4	17.5	alto
77	Craugastor	21.8	1.2	alto
78	Craugastor	32.5	8.7	alto
79	Craugastor	44.8	12.7	alto
80	Craugastor	47.4	15.2	alto
81	Bufo	25.4	11.5	alto
82	Bufo	29.6	15.4	alto
83	Bufo	34.8	19.4	alto

Anexo 2. Set de datos de las medidas morfométricas de cada individuo identificado dentro de cada familia.

Nivel de ruido	Acustitipo	Pico de frecuencia (Hz)
Bajo	P. peruvianus	4104.725
	R. pitido	4869.925
	R. taladrito	2681.125
	R. burbuja	3485.825
	R. silbido	3344.975
	R. vibradora	5440.625
	R. pito	4208.2
Medio	P. peruvianus	5118.575
	R. pitido	5233.65
	R. sopladora	3165.075
	R. grito	6382.075
	R. aguda	9289.35
	R. vibradora	5953.395
	R. tic-tic	5947.7
	R. Rana	2450.8
Alto	P. peruvianus	5868.05

Anexo 3. Base de datos del promedio del pico de frecuencia para cada acustitipo en los diferentes niveles de ruido



Anexo 4. Espectrogramas de frecuencia de las vocalizaciones de *Pristimantis peruvianus*: **a.** Vocalización descargada de la biblioteca de sonidos animales FonoZoo; **b.** Vocalización registrada en ruido bajo; **c.** Vocalización en ruido medio; **d.** Vocalización en ruido alto.