



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**EFFECTOS DEL RUIDO ANTROPOGÉNICO EN ANUROS:
UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

Javiera Belén Contreras Lefihuala

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Ciencias Biológicas
Animales

PROFESOR GUÍA: DR. RIGOBERTO ANTONIO SOLÍS MUÑOZ
UNIVERSIDAD DE CHILE
SANTIAGO, CHILE
2023



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS

**EFFECTOS DEL RUIDO ANTROPOGÉNICO EN ANUROS:
UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

Javiera Belén Contreras Lefihuala

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Ciencias Biológicas
Animales

Nota Final:

Firma:

Profesor Guía: Rigoberto Solís Muñoz

Profesor Corrector: André Rubio Carrasco

Profesor Corrector: Diego Elgueda González

SANTIAGO, CHILE
2023

AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Rigoberto Solís por compartir su conocimiento, tiempo, paciencia y dedicación durante el desarrollo de esta Memoria. A los Dres Diego Elgueda y André Rubio por aceptar ser parte de este trabajo y colaborar con sus consejos y conocimientos en cada corrección.
- A mis padres por apoyarme en todas las decisiones y momentos de mi vida y por enseñarme a ser perseverante para alcanzar mis metas.
- A mi hermana por alegrarme hasta los días más grises con un abrazo.
- A mi abuela, porque a pesar de la distancia física, ha estado presente en todo momento.
- A mis amigos Yona, Andrés, Mauro e Iván por hacerme barra siempre. A Vale y Nico por ser mis inseparables durante la carrera.
- A las doctoras Renée y Lina por inspirarme con su enorme vocación y amor hacia los animales y por darme ánimos a diario para concluir este trabajo.

I. ÍNDICE DE CAPÍTULOS

| | |
|----------------------------------------------|----|
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| Percepción del sonido en anuros..... | 5 |
| Producción del sonido en anuros..... | 7 |
| Coros..... | 8 |
| Repertorio vocal en anuros..... | 9 |
| Estrategias adaptativas frente al ruido..... | 10 |
| Ruido natural..... | 11 |
| Ruido antropogénico..... | 11 |
| OBJETIVOS..... | 14 |
| Objetivo General..... | 14 |
| Objetivos Específicos..... | 14 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 15 |
| Fuentes de información..... | 16 |
| Palabras clave..... | 16 |
| Criterios de inclusión..... | 16 |
| Criterios de exclusión..... | 16 |
| Síntesis de resultados..... | 17 |
| RESULTADOS..... | 18 |

| | |
|----------------------------------------------------|----|
| Búsqueda y selección de artículos científicos..... | 18 |
| Tabulación de datos..... | 19 |
| DISCUSIÓN..... | 30 |
| CONCLUSIONES..... | 36 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 37 |
| ANEXOS..... | 52 |

II. ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Artículos seleccionados para el desarrollo de la revisión sistemática..... | 52 |
| Tabla 2: Principales resultados de las investigaciones recopiladas y analizadas en esta revisión..... | 57 |
| Tabla 3: Frecuencia dominante y categoría de conservación de las especies de anuros estudiadas en las investigaciones recopiladas durante esta revisión..... | 24 |
| Tabla 4: Frecuencia dominante y categoría de conservación de algunas especies de anuros chilenos..... | 27 |

III. ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Estructura del oído en anuros..... | 7 |
| Figura 2: Estudios publicados sobre los efectos de los sonidos artificiales en animales..... | 12 |
| Figura 3: Diagrama operativo de PRISMA donde se muestran las diferentes fases de la revisión sistemática..... | 15 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4: Diagrama basado en el modelo PRISMA, donde se muestran las diferentes fases de la selección de artículos para la elaboración de esta revisión sistemática..... | 19 |
| Figura 5: Número de publicaciones por año sobre los efectos del ruido antropogénico en anuros..... | 20 |
| Figura 6: Número de publicaciones sobre los efectos del ruido antropogénico en anuros por país..... | 20 |
| Figura 7: Proporción de estudios de Tipo Observacional o Experimental..... | 21 |
| Figura 8: Proporción de estudios realizados In Situ, Ex Situ o Ambos..... | 21 |
| Figura 9: Proporción de estudios realizados según sexo de los individuos..... | 22 |
| Figura 10: Proporción de fuentes de ruido antropogénico utilizadas como estímulo auditivo..... | 22 |
| Figura 11: Proporción de impactos producidos por el ruido antropogénico en anuros..... | 23 |

RESUMEN

El ruido antropogénico es un contaminante ambiental presente a nivel global, reconocido por sus efectos adversos, tanto en el ser humano como en la vida silvestre. Sin embargo, las investigaciones sobre su impacto en los anfibios anuros son escasas a pesar de la importancia que tiene la comunicación acústica para este grupo taxonómico y de la gran cantidad de factores que amenazan su conservación. En esta Memoria de Título se presenta una revisión sistemática de la literatura con respecto a los efectos del ruido antropogénico en anuros. Se seleccionaron 36 artículos, los cuales evidencian que estos animales presentan respuestas frente al ruido antropogénico y son afectados a nivel conductual, fisiológico y ecológico. Además, se mencionan algunas medidas de mitigación para hacer frente a esta problemática y se hace un contraste con la situación nacional, donde este tema no ha sido estudiado.

Palabras clave: ruido antropogénico, anuros, comunicación acústica, contaminación acústica.

ABSTRACT

Anthropogenic noise is a global environmental pollutant recognized for its adverse effects on both humans and wildlife. However, research on its impact on anuran amphibians is scarce despite the importance of acoustic communication for this taxonomic group and the large number of factors that threaten its conservation. This Title Report presents a systematic review of the literature regarding the effects of anthropogenic noise on anurans. 36 articles were selected, which show that these animals present responses to anthropogenic noise and are affected at a behavioral, physiological and ecological level. In addition, some mitigation measures are mentioned to deal with this problem and a contrast is made with the national situation, where this issue has not been studied.

Keywords: anthropogenic noise, anurans, acoustic communication, noise pollution.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las especies escuchan y emiten sonidos para comunicarse y/o para detectar presas o depredadores. Sin embargo, cuando surge ruido en el ambiente se puede alterar este canal de comunicación. El ruido antropogénico es un contaminante acústico generalizado a nivel mundial, reconocido por tener efectos potencialmente adversos sobre varios aspectos de la función, demografía y fisiología de los animales. Aunque existen numerosas fuentes, el ruido antropogénico se asocia principalmente con cuatro factores principales interrelacionados: crecimiento de la población humana, urbanización, transporte y extracción de recursos, todos los cuales se prevé que aumenten notablemente en las próximas décadas (Jerem y Mathews, 2020).

Tal como en humanos, el ruido antropogénico puede causar una variedad de efectos adversos en los animales, incluidos cambios de comportamiento y fisiológicos, particularmente, daño del sistema auditivo por sobreexposición acústica y enmascaramiento de la comunicación y otros sonidos biológicos importantes (Dooling y Leek, 2018). En este contexto, las aves y los mamíferos acuáticos han sido los grupos taxonómicos más investigados. Sin embargo, otros vertebrados, como los anfibios, han recibido restringida atención a pesar de la relevancia que tiene la comunicación acústica en este grupo (Jerem y Mathews, 2020).

Desde el punto de vista ecológico, los anfibios juegan un rol trascendental para los ecosistemas, debido a que controlan insectos, proporcionan una fuente de energía a sus depredadores, incrementan la dinámica de sedimentos en los cuerpos de agua, y generan un vínculo de materia y energía entre ambientes acuáticos y terrestres. Algunas especies forman parte de la alimentación de poblaciones humanas locales, siendo una importante fuente de proteína, y en la actualidad, son también objeto de estudio en búsqueda de principios activos con fines medicinales. Son considerados centinelas ambientales, porque sus características fisiológicas los hacen muy sensibles a los cambios que sufren los ecosistemas (Lobos *et al.*, 2013).

Entre los vertebrados, los anfibios son la clase más vulnerable, con casi un tercio de sus especies en serio riesgo de extinción, debido a que enfrentan a una variedad de amenazas, tales como la pérdida de hábitat, el cambio climático, la sobreexplotación y la introducción de especies exóticas (Lobos *et al.*, 2013). Sin embargo, no está del todo claro en qué medida

los anfibios se han visto afectados específicamente por la alteración del paisaje acústico. Es previsible que las fuentes de ruido antropogénico afecten la reproducción y las interacciones sociales de los anuros, ya que en este orden de anfibios estos comportamientos dependen en gran medida de las señales acústicas (Simmons y Narins, 2018). Ante este panorama, es de suma importancia realizar estudios que permitan comprender las implicancias de una posible nueva amenaza para este grupo de animales a nivel global.

En esta memoria se realizó una revisión bibliográfica sistemática, con el fin de obtener un conocimiento actualizado de los diversos estudios realizados en relación con los efectos del ruido antropogénico en anuros. De esta forma, se pretende identificar los impactos y efectos descritos en las especies afectadas. Además, se espera que la información recopilada contribuya a que las futuras investigaciones tengan entre sus objetivos proponer medidas preventivas de mitigación y conservación para los anuros.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La Clase Amphibia está compuesta por poco más de 7.100 especies a nivel mundial, que se encuentran agrupadas en tres órdenes. El orden Gymnophiona, con casi 190 especies descritas, habita en zonas tropicales húmedas y reúne a las cecilias, las cuales se caracterizan por la ausencia de extremidades. Le sigue en número el orden Caudata (anfibios con cola), con unas 650 especies, conocidas como salamandras, tritones o ajolotes, y finalmente, el orden Anura (anfibios sin cola) que reúne poco más de 6.200 especies entre ranas y sapos.

Entre los anfibios, los anuros son los más notoriamente vocales y se sabe mucho más sobre su capacidad auditiva y de producción vocal que sobre los otros dos órdenes. Aunque los caudados pueden oír, las vocalizaciones son limitadas en este grupo. Los cecílicos, por otro lado, se desconoce si son capaces de percibir sonido o emitirlo, pero es probable que detecten vibraciones terrestres (comunicación sísmica), y al igual que los caudados, se comunican fundamentalmente mediante señales químicas (Simmons y Narins, 2018; Lobos *et al.*, 2013).

En Chile, donde solamente se encuentran anfibios anuros, la comunicación sonora ha sido ampliamente estudiada en varias de las 61 especies (60 nativas y 1 introducida) que han sido descritas para este país (Correa, 2019). Sin embargo, estas especies de anuros difieren considerablemente en la estructura acústica de sus cantos de advertencia (de apareamiento), en su estructura de coro (agregaciones reproductivas) y en sus hábitats. Por lo tanto, es necesario conocer y comprender todas estas variables para poder construir modelos de los potenciales efectos del ruido antropogénico en la comunicación y comportamiento de los anuros (Simmons y Narins, 2018).

Desde el punto de vista acústico, el ruido corresponde a una mezcla de ondas sonoras de frecuencias audibles para un receptor y de intensidades variables. También se puede definir como una mezcla compleja y desordenada de tonos o como cualquier sonido que es molesto y desagradable (Henaó, 2014). Asimismo, el ruido se ha definido como cualquier condición ambiental que interfiere con la transmisión y detección de señales acústicas (Rabin y Greene, 2002).

El ruido antropogénico es un contaminante acústico ambiental producido por acciones humanas, ya sea de manera intencional o como consecuencia de las actividades diarias. Debido a la diversidad de fuentes que producen ruido, los sonidos varían en nivel, espectro y patrones temporales. La contaminación acústica tiene efectos nocivos, tanto en el ser humano como en animales. Sin embargo, existe mucha variación taxonómica en las frecuencias que las diferentes especies pueden escuchar (Slabbekoorn, 2019).

Excepto por especies altamente especializadas, con sensibilidad ultrasónica, la mayoría de los anuros producen y perciben sonidos dentro del rango de frecuencia de 50 a 6000 Hz. La frecuencia dominante de los sonidos de los anuros puede variar de 400 Hz a 16000 Hz (Röhr *et al.*, 2016). La amplitud de su llamada también difiere notablemente entre especie, variando de 40 a 90 dB SPL a una distancia de un metro (Zhao *et al.*, 2018). Algunas especies, como *Leptodactylus albilabris* y *Agalychnis callidryas*, también producen y detectan señales sísmicas de muy baja frecuencia (10 a 40 Hz), que se propagan a través del sustrato. Otras especies, incluida *Rana catesbeiana* y *Engystomops pustulosus*, vocalizan mientras están parcialmente sumergidas en aguas poco profundas. Los movimientos de sus sacos vocales producen vibraciones (ondas) transmitidas por el agua que emanan en círculos concéntricos. Las señales sísmicas y transmitidas por el agua son de baja frecuencia (<200 Hz) y se propagan a través del sustrato sólido o líquido (Simmons y Narins, 2018).

Percepción del sonido en anuros

Los oídos de la mayoría de los vertebrados terrestres se pueden dividir en tres partes principales: el oído externo, el oído medio y el oído interno. En los mamíferos, el oído externo consiste en el pabellón auricular y el canal auditivo, que termina en el tímpano. Sin embargo, en la mayoría de las especies de ranas, el oído externo está ausente y el tímpano se encuentra en un anillo óseo llamado anillo timpánico en el costado del cráneo. El tímpano marca el límite del oído medio, que es una cavidad llena de aire que contiene una cadena de huesecillos que transfiere las vibraciones del tímpano a la ventana oval del oído interno. En las ranas, la cadena de huesecillos consta de dos estructuras: la extracolumela y la columela (Jørgensen y Kannevorff, 1998; Mason y Narins, 2002a). La columela se ensancha en su extremo medial y se une a la ventana oval del oído interno. La función principal del oído medio es compensar la diferencia de impedancia entre el aire y el líquido del oído interno. Además, las ranas

tienen un disco óseo llamado opérculo que está unido de manera flexible a la ventana oval y posiblemente ayuda a transferir las vibraciones del sustrato al oído interno (Lewis y Narins, 1999; Mason y Narins, 2002b) o proteger los órganos sensoriales del oído interno de estímulos excesivos.

En cuanto al oído interno de la rana, consta de dos ventanas membranosas: la ventana oval y la ventana redonda. La energía acústica ingresa principalmente al oído interno a través de la ventana oval, mientras que la ventana redonda es el punto principal de liberación de esta energía (Purgue y Narins, 2000). A diferencia de los mamíferos, la ventana redonda de la rana se encuentra en la parte superior de la cavidad bucal, debajo de un revestimiento muscular. Dentro del oído interno, hay dos compartimentos membranosos interconectados: el laberinto perilinfático y el laberinto endolinfático. El laberinto perilinfático se conecta tanto a la ventana oval como a la ventana redonda. En el laberinto endolinfático se encuentran los ocho epitelios sensoriales especializados (Lewis y Narins, 1999; Lewis *et al.*, 1985). Estos epitelios se distribuyen de la siguiente manera:

- Tres crestas en los canales semicirculares que son sensibles a la aceleración rotacional de la cabeza.
- Un epitelio en el utrículo, que detecta la aceleración lineal.
- Un epitelio en la lagena, que detecta tanto la aceleración lineal como las vibraciones no acústicas (Caston *et al.*, 1977).
- Un epitelio en el sáculo, que es sensible a las vibraciones del sustrato y también detecta sonidos aéreos de baja frecuencia y alto nivel (Narins, 1990; Yu *et al.*, 1991).
- Un epitelio en la papila anfibia (*papilla amphibiorum*), que detecta estímulos acústicos de frecuencia media-baja (inferiores a 900 Hz).
- Un epitelio en la papila basilar (*papilla basilar*), que es sensible a estímulos aéreos de alta frecuencia (1500 Hz o más agudas) (Penna y Díaz-Páez, 2008; Plaza, 2012).

Estos epitelios sensoriales son responsables de diferentes funciones auditivas y de equilibrio en las ranas. La energía vibratoria que estimula principalmente los órganos auditivos puede ingresar al laberinto endolinfático a través de una membrana delgada cerca del sáculo. Desde

el laberinto endolinfático, la energía puede pasar a través de la papila basilar o del lumen de la papila anfibia hacia la ventana redonda (Schoffelen *et al.*, 2008).

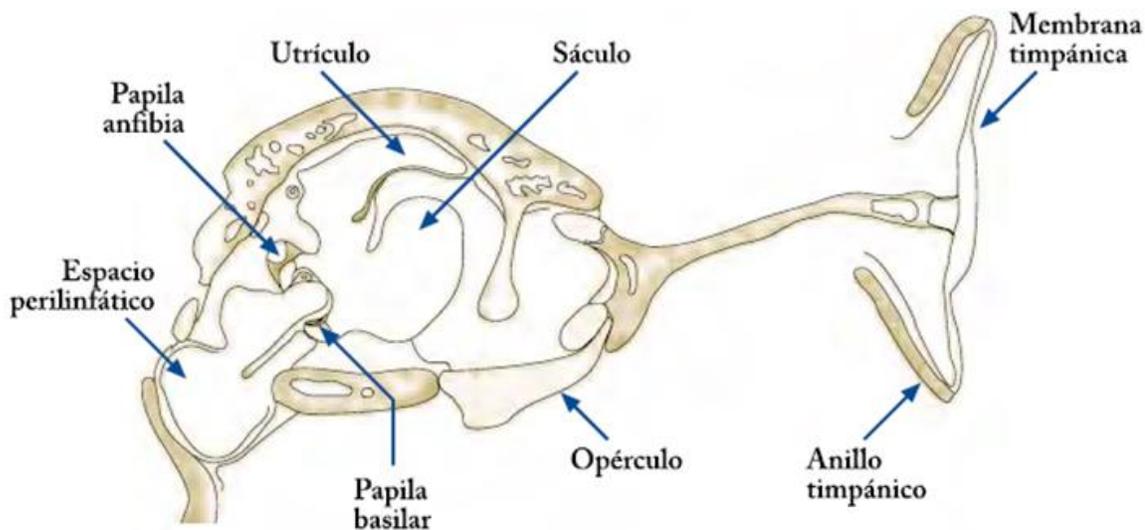


Figura 1. Estructura del oído en anuros (Penna y Díaz-Páez, 2008).

Producción de sonido en anuros

La respiración y la vocalización en los anuros involucran el paso de aire a través de la laringe. A diferencia de los reptiles y mamíferos, los anuros carecen de inspiración abdominal debido a la falta de una caja torácica rígida. Para inflar los pulmones, los anuros realizan movimientos bucales de bombeo que implican abrir las fosas nasales, bajar el piso de la boca para inhalar aire, cerrar las fosas nasales y abrir la laringe, y elevar el piso de la boca para enviar el aire a los pulmones (Colafrancesco y Gridi-Papp, 2016).

Durante la vocalización, los anuros producen sonidos durante la espiración, cuando el aire se transfiere desde los pulmones a través de la laringe y la boca hacia el saco vocal. Antes de emitir el sonido, los anuros inflan sus pulmones mediante el bombeo bucal. La laringe se bloquea en una posición cerrada hasta que los músculos constrictores laríngeos se relajan, permitiendo la apertura pasiva de los cartílagos aritenoides. Esto da inicio al flujo de aire laríngeo, la vibración de las cuerdas vocales y la producción del sonido (Martin y Gans, 1972).

Durante la fonación, la boca y las fosas nasales permanecen cerradas, excepto en las llamadas de socorro (Hödl y Gollmann, 1986), y el saco vocal se infla a medida que se produce el sonido. Al final de la vocalización, los músculos del tronco se relajan y el músculo dilatador laríngeo se contrae para evitar el cierre de los cartílagos aritenoides. El aire regresa de los sacos vocales a los pulmones mediante el retroceso elástico y la contracción de la musculatura delgada del saco vocal (Dudley y Rand, 1991; Jaramillo *et al.*, 1997).

Coros

La comunicación acústica juega numerosos papeles en el proceso de reproducción de los anuros. Los machos de muchas especies participan en "coros", vocalizando conjuntamente ya sea para atraer hembras y/o para competir con machos rivales. La co-ocurrencia de vocalizaciones de varios machos puede resultar en sincronía o alternancia, dependiendo de si tales vocalizaciones representan una forma de competir o cooperar con otros machos para atraer hembras. Los machos compiten superponiendo llamadas, aumentando la complejidad de las llamadas, llamando con más vigor, produciendo llamadas agresivas o participando en combates físicos para asegurar oportunidades de apareamiento. También pueden adoptar tácticas alternativas como una estrategia satélite, búsqueda activa de hembras o complejo poliándrico. Las llamadas de alta calidad o "atractivas" de los machos son a menudo aquellas que son energéticamente más costosas y se correlacionan con la salud, el estado físico, la localidad y el cuidado parental. Las hembras tienden a preferir a los machos que producen llamadas de alta intensidad y complejidad, ritmo rápido y larga duración. Estas preferencias llevan a los machos a producir llamadas vigorosas que también los hacen llamativos y aumentan el riesgo de depredación o parasitismo. La actividad vocal implica un alto costo energético, pudiendo la condición nutricional de los integrantes del coro, declinar en relación directa con la duración de la permanencia (cantidad de noches) en el coro. Los individuos con mejor condición nutricional pueden continuar cantando activamente por un largo período de tiempo. Los machos logran reducir sus costos energéticos cuando están en pequeños coros al producir llamadas con pocas notas y a un ritmo bajo. En coros densos con alta competencia, sin embargo, tienden a emitir llamadas a un ritmo alto y con muchas notas. Las características exactas de las llamadas que se consideran atractivas, como la frecuencia, la tasa de llamadas y la permanencia difieren entre las especies. Un estudio en que se midieron los niveles de

testosterona plasmática de machos de *B. taeniata* en condiciones naturales (Solís y Penna, 1997), determinó que el nivel de respuestas vocales evocadas estaba relacionado con los niveles de la hormona. Por lo tanto, la detección y el procesamiento de llamadas conespecíficas es un componente crucial del comportamiento de apareamiento de los anuros. Los machos criados en aislamiento producen llamadas normales cuando son adultos y no hay evidencia de aprendizaje vocal en los anuros. (Ebensperger, 2021; Colafrancesco y Gridi-Papp, 2016; Schou *et al.*, 2021; Penna y Díaz-Páez, 2008).

Repertorio vocal en anuros

Las vocalizaciones de los anuros corresponden a llamadas, cuya clasificación se basa en las circunstancias sociales en que son emitidas. Las llamadas tienen una gran variabilidad, algunas de ellas son las de tipo: (1) agresiva. Estas han sido registradas en machos, en respuesta a vocalizaciones de competidores. (2) De liberación o rechazo sexual (“*release call*”). Llamadas emitidas por individuos amplexados erróneamente (ej. machos amplexados por otros machos; hembras no receptivas) y solo son emitidas en la época reproductiva. Esta señal produce el rechazo del abrazo nupcial o amplexo de los machos en las agregaciones reproductivas. En algunas especies, estas llamadas están asociadas a vibraciones torácicas. (3) De amplexo. Llamadas emitidas por machos durante el amplexo. (4) De contacto. Estas son emitidas cuando los individuos entran en contacto físico, y difieren de las de liberación porque son emitidas durante todo el período de actividad de los animales. (5) De pánico, angustia o peligro (“*distress call*”). Vocalizaciones emitidas cuando los individuos han sido apresados por un depredador, al ser manipulados bruscamente o por estímulos aversivos en condiciones de laboratorio. (6) De advertencia, anuncio o apareamiento (“*advertisement call*”). Son emitidas por los machos durante la atracción de pareja o competencia intra-sexual en época reproductiva. Esta señal especie-específica atrae a las hembras, permitiendo el reconocimiento de machos conespecíficos en agregaciones de varias especies. Se han descrito, también, otras vocalizaciones de anuros, algunas de las cuales carecen de un significado funcional establecido (Labra, 2021; Penna y Díaz-Páez, 2008; Penna y Veloso, 1987).

Estrategias adaptativas frente al ruido

En las especies que se comunican acústicamente, como los anuros, las señales producidas por los emisores pueden no ser percibidas por los receptores debido a la superposición de sonidos con el ruido de fondo de su hábitat. Este fenómeno se conoce como enmascaramiento auditivo. El nivel de enmascaramiento dependerá de la similitud en frecuencia e intensidad entre la señal y el ruido. Esta interferencia de señales acústicas puede ocurrir a partir de fuentes naturales o de fuentes antropogénicas. Existen mecanismos a largo y corto plazo mediante los cuales los emisores pueden reducir el enmascaramiento de las señales auditivas: cambios evolutivos en los rasgos de llamada y ajustes conductuales reversibles, respectivamente. Uno de ellos se denomina "comportamiento de alternancia de llamadas". Esto ocurre cuando los individuos que producen una llamada sincronizan sus vocalizaciones para que coincidan con períodos de bajo ruido de enmascaramiento. Un segundo mecanismo corresponde a la hipótesis de la adaptación acústica (Morton, 1975), la cual especula que los emisores pueden cambiar la frecuencia vocal en respuesta al ruido ambiental, adaptándose a las condiciones del hábitat de tal manera que se vuelven notorias y detectables por los receptores. La energía del ruido ambiental a menudo se concentra en bandas de baja frecuencia, que pueden superponerse con las señales acústicas de baja frecuencia, lo que hace que muchos animales eleven la frecuencia de sus llamadas con el fin de aumentar la relación señal-ruido. Otra estrategia es el efecto Lombard (Lombard, 1911), en el que algunas especies pueden aumentar la amplitud de su llamada en respuesta al aumento de los niveles de ruido y así ampliar la distancia de transmisión de las señales de sonido. Existen otras estrategias adaptativas, como ajustar la duración de la llamada, la complejidad de la llamada y el tiempo de llamada, para reducir la superposición temporal con el ruido (Zhao *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2021; Jiménez-Vargas y Vargas-Salinas, 2021). Discriminar entre cambios asociados a la plasticidad del comportamiento o cambios adaptativos en la comunicación acústica de animales en ambientes perturbados por ruido antropogénico es importante, ya que ayudaría a predecir el efecto de las actividades humanas generadoras de ruido en las poblaciones animales (Parris *et al.*, 2009).

Ruido natural

Como fue señalado anteriormente, el ruido natural puede actuar como enmascarador de señales acústicas. Los ruidos de viento, mar y lluvia están principalmente limitados a frecuencias inferiores a 1 kHz y el ruido de los arroyos contiene frecuencias enfatizadas hasta los 3 kHz. Las intensidades de estos ruidos alcanzan hasta niveles de 75 decibeles de presión de sonido (dB SPL) aproximadamente (Penna *et al.*, 2005). Estos ruidos tienen diferentes efectos en la actividad vocal de dos especies de anuros del género *Eupsophus*, cuyos cantos difieren en sus componentes espectrales y desarrollan su actividad vocal en períodos distintos. *Eupsophus calcaratus* incrementa su actividad vocal en presencia de ruidos naturales de arroyo y lluvia. *Eupsophus emiliopugini*, en tanto, reduce su actividad vocal en presencia de estos mismos ruidos. El incremento en la actividad vocal de *E. calcaratus* producido por algunos ruidos abióticos es congruente con las condiciones atmosféricas de mayor nivel de ruido de lluvia, viento y agua corriente en que se reproduce esta especie (Penna y Díaz-Páez, 2008).

La investigación sobre los efectos del ruido ambiental natural y sobre cómo los animales lidian con las limitaciones relacionadas con el ruido puede proporcionar información sobre la evolución de los sistemas de comunicación acústica y el efecto potencial de las actividades humanas en estos sistemas (Love y Bee, 2010).

Ruido antropogénico

El rango espectral de las fuentes comunes de ruido antropogénico, como el tráfico vehicular, el ruido de los aviones y el ruido de la construcción, se extiende desde aproximadamente 50 Hz hasta 7000 Hz, pero se concentra en frecuencias <2000 Hz, dentro de la región de mejor sensibilidad auditiva y de energía espectral máxima en las llamadas de advertencia de muchas especies de anuros. Esto sugiere que el ruido antropogénico, si es lo suficientemente intenso, puede enmascarar las vocalizaciones y, por lo tanto, obstaculizar la comunicación (Simmons y Narins, 2018).

El impacto de las personas en los paisajes sonoros naturales ha incrementado gradualmente con el crecimiento de la población humana (Slabbekoorn, 2019), la cual se espera que alcance los 9700 millones de habitantes a mediados de siglo (United Nations, 2019). Para adaptarse

a este escenario, se pronostica que en las próximas décadas exista un aumento en la cobertura de suelo urbano, en el uso de transportes y en la extracción de recursos como biomasa, combustibles fósiles, metales y minerales. En consecuencia, se espera un aumento en la exposición de la fauna silvestre al ruido antropogénico (Jerem y Mathews, 2020).

Los efectos que produce la exposición al ruido en la población humana son diversos, entre los que podemos encontrar: trastornos del sueño, problemas de aprendizaje, enfermedades cardiovasculares, síndrome metabólico, cardiopatía isquémica por hipertensión, riesgo de diabetes, obesidad y molestias (Yang *et al.*, 2020). Tal como en humanos, este tema ha sido estudiado en peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos terrestres y mamíferos marinos, donde se han reportado efectos nocivos como estrés fisiológico, enmascaramiento y distracción, perturbación y disuasión, daño y muerte (Figura 2) (Slabbekoorn *et al.*, 2018).

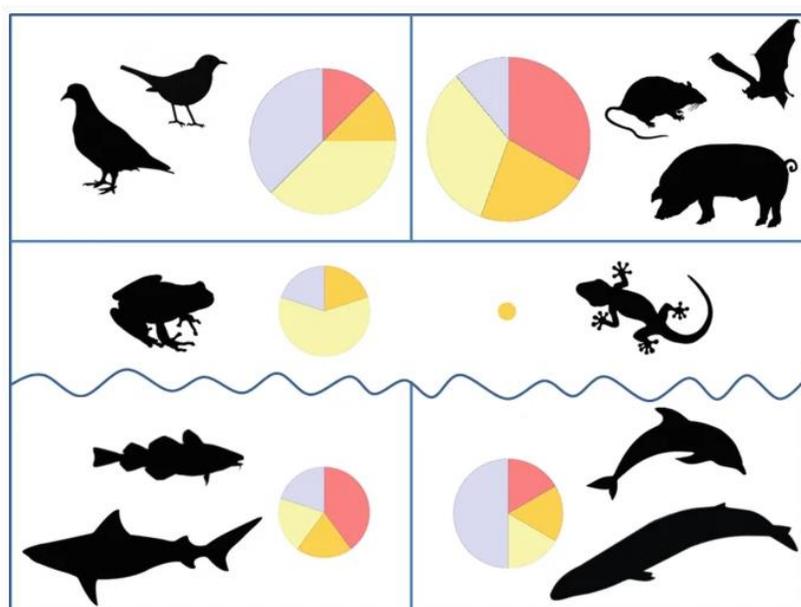


Figura 2. Estudios publicados sobre los efectos de los sonidos artificiales en animales. El tamaño relativo de los gráficos circulares indica la cantidad de estudios. Los colores en los gráficos circulares reflejan la proporción de estudios que abordan efectos particulares: rojo, daño y muerte; naranja, estrés fisiológico; amarillo, enmascaramiento y distracción; lila, perturbación y disuasión (Slabbekoorn *et al.*, 2018).

Comprender cómo y por qué algunas especies son más susceptibles a los efectos negativos del ruido antropogénico mientras que otras parecen no verse afectadas es importante para determinar las situaciones en las que se necesita mitigación (Zhao *et al.*, 2021).

Por lo antes expuesto, el objetivo de esta Memoria es recopilar información actualizada de los efectos del ruido en la biología de los anfibios anuros y sus eventuales consecuencias. A partir de esta información se espera determinar las especies con mayores riesgos de exposición al ruido de origen antropogénico.

OBJETIVO GENERAL

Determinar, a partir de las investigaciones realizadas, las consecuencias biológicas de la exposición al ruido de origen antrópico en especies del orden Anura.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las características de las fuentes y tipos de sonidos de origen antrópico que tienen un impacto en las especies de anuros estudiadas.
2. Identificar los efectos directos e indirectos que produce la exposición al ruido antropogénico en la biología de las especies de anuros.
3. Caracterizar las variaciones en la conducta vocal, en los componentes temporales y espectrales de las vocalizaciones de las especies de anuros, como respuesta a la exposición al ruido de origen antrópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta memoria consistió en una revisión bibliográfica sistemática de la literatura científica, publicada en relación a la producción y efectos del ruido antropogénico en anuros.

Para realizar este trabajo, se siguieron las directrices de la declaración PRISMA (Moher *et al.*, 2009) para la correcta elaboración de revisiones sistemáticas, realizando las modificaciones necesarias para adaptar estas normas a una investigación no clínica como la que aquí se propone (Figura 2).

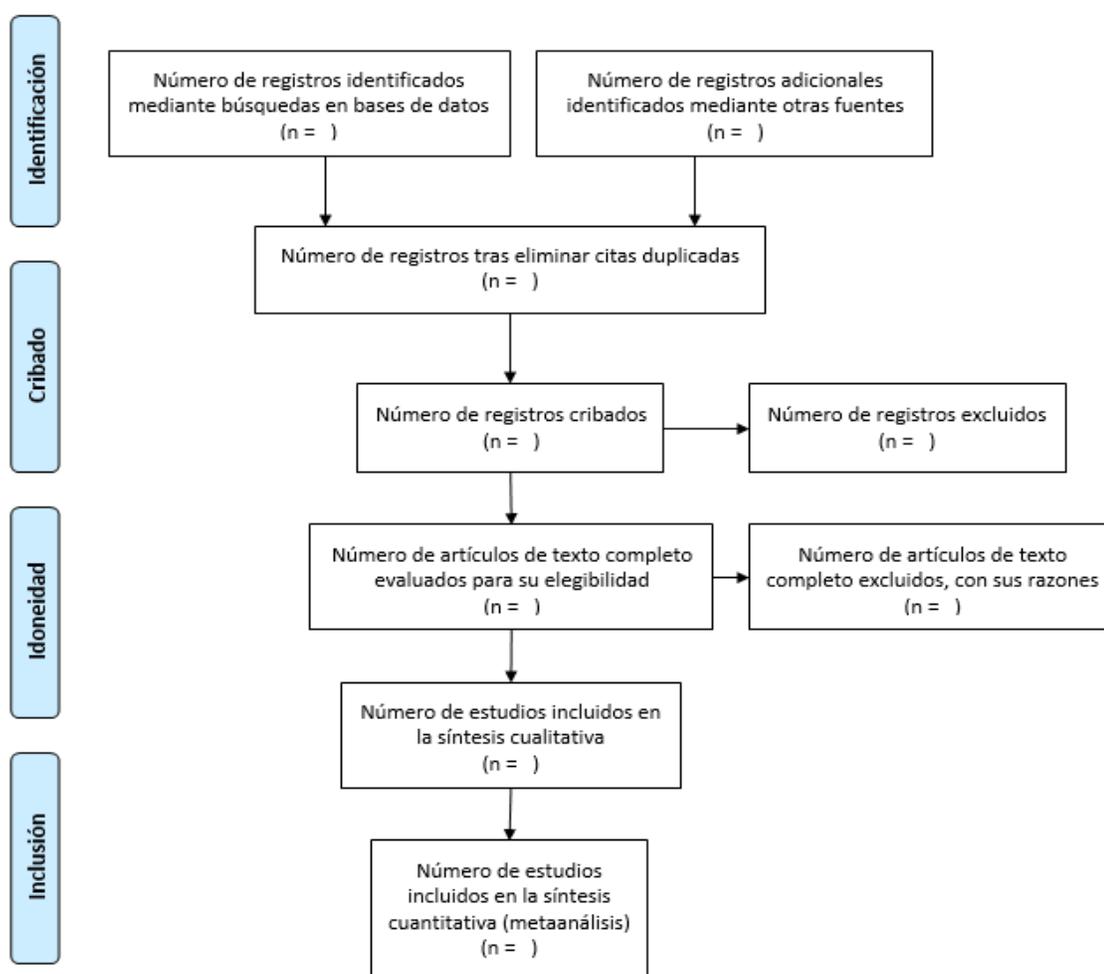


Figura 3. Diagrama operativo de PRISMA donde se muestran las diferentes fases de la revisión sistemática (Modificado de Moher *et al.*, 2009).

Fuentes de información

En primera instancia, se realizaron búsquedas de artículos científicos en las bases de datos Web of Science, ScienceDirect, Wiley Online Library, Scopus (Elsevier), SciELO y SpringerLink, durante el mes de enero del 2022. Solo fueron considerados aquellos artículos escritos en idioma inglés, publicados en revistas indexadas y con comité editorial.

Palabras clave

Las búsquedas se realizaron utilizando los siguientes términos de búsqueda en inglés: *anthropogenic noise, noise pollution, sound pollution, masking auditory, man-made noise, man-made sound, vocal behavior, anuran communication, amphibian, anuran, frog y toad*. Estos términos, conceptos o palabras fueron relacionados mediante los operadores booleanos *AND* y/o *OR*.

Criterios de inclusión

Se incluyeron todos aquellos artículos que informan implícita o explícitamente sobre cualquier tipo de impacto que genere la exposición de los anuros a los sonidos creados por el ser humano, independientemente de sus propiedades acústicas (Ej.: frecuencia, intensidad), su origen (automóviles, aviones, barcos, maquinaria industrial, etc) y sus características espectrales (infrasonido, ultrasonido, ruido blanco, etc). Estos estudios fueron realizados tanto *in situ* (en terreno) como *ex situ* (en laboratorio).

Los criterios de inclusión se aplicaron primero a títulos y resúmenes, donde se eliminaron los registros o citas repetidas en las distintas bases de datos. Posteriormente, se obtuvieron los textos completos de los artículos con títulos y resúmenes que parecían cumplir con los criterios de inclusión o carecían de información necesaria para emitir un juicio. Luego, se aplicaron los criterios de inclusión a los textos completos para confirmar la elegibilidad.

Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión fueron aplicados a todos aquellos artículos que: (1) no representen una fuente primaria de información, como la señalada anteriormente; (2) estudien las consecuencias de ruidos con un origen que no derive de actividades del ser humano y sus tecnologías; (3) la o las poblaciones en estudio no incluya especies de anuros.

Síntesis de resultados

Todos los artículos seleccionados, luego de aplicar los criterios de elegibilidad, fueron agrupados en una tabla elaborada en el software Excel®. Este registro incluyó las siguientes variables: autor, año de publicación, especie animal, sexo del animal, manejo (*in situ* o *ex situ*), características del ruido, origen del ruido, tipo de impacto (uso de espacio, comunicación, fisiológico, reproductivo, conductual, ecosistémico u otro) y un resumen con los principales resultados y conclusiones de la investigación.

Para visualizar y resumir la información derivada de las investigaciones y dar cuenta de las lagunas de conocimiento en el tema central de esta revisión, se realizaron gráficos y tablas con información como tipo de estudio (observacional o experimental), tipo de manejo, cantidad de publicaciones por país y año, sexo de los individuos, así como la fuente del ruido utilizado y el tipo de impacto producido.

De forma complementaria, a partir de publicaciones científicas, se recopilamos datos sobre la vocalización de las especies de anuros que fueron estudiados en los artículos seleccionados en esta revisión y de especies chilenas.

En los capítulos de resultados, discusión y anexos, se encuentran los resultados de esta investigación bibliográfica. En la sección anexos se presenta la tabla con la recopilación de los artículos científicos seleccionados. En resultados, se muestra la información graficada. Mientras que, en discusión, se realiza un análisis de los efectos del ruido antropogénico en anuros.

RESULTADOS

Búsqueda y selección de artículos científicos

Primeramente, se obtuvo un total de 4083 resultados, de los cuales se eliminaron 628 duplicados. De 3455 artículos restantes, 69 fueron elegidos para ser evaluados por texto completo. Sin embargo, adicionalmente se eliminaron 33 por tratarse de revisiones, investigaciones en las que evalúan sonidos de origen natural (por ej., vocalizaciones), que el ruido antropogénico se mide en conjunto con otras variables (por ej., luz artificial) o que no especifica la fuente de ruido. También fueron excluidos artículos en los que la población de estudio no incluía especies de anuros. Por lo tanto, los artículos seleccionados para realizar esta Memoria son 36, los cuales corresponden a investigaciones primarias que tienen como objetivo evaluar las consecuencias del ruido antropogénico sobre una o más especies de anuros (Figura 3). Debido a los alcances y objetivos de esta Memoria, se omitió la etapa de síntesis cuantitativa (metaanálisis) señalada en las directrices PRISMA.

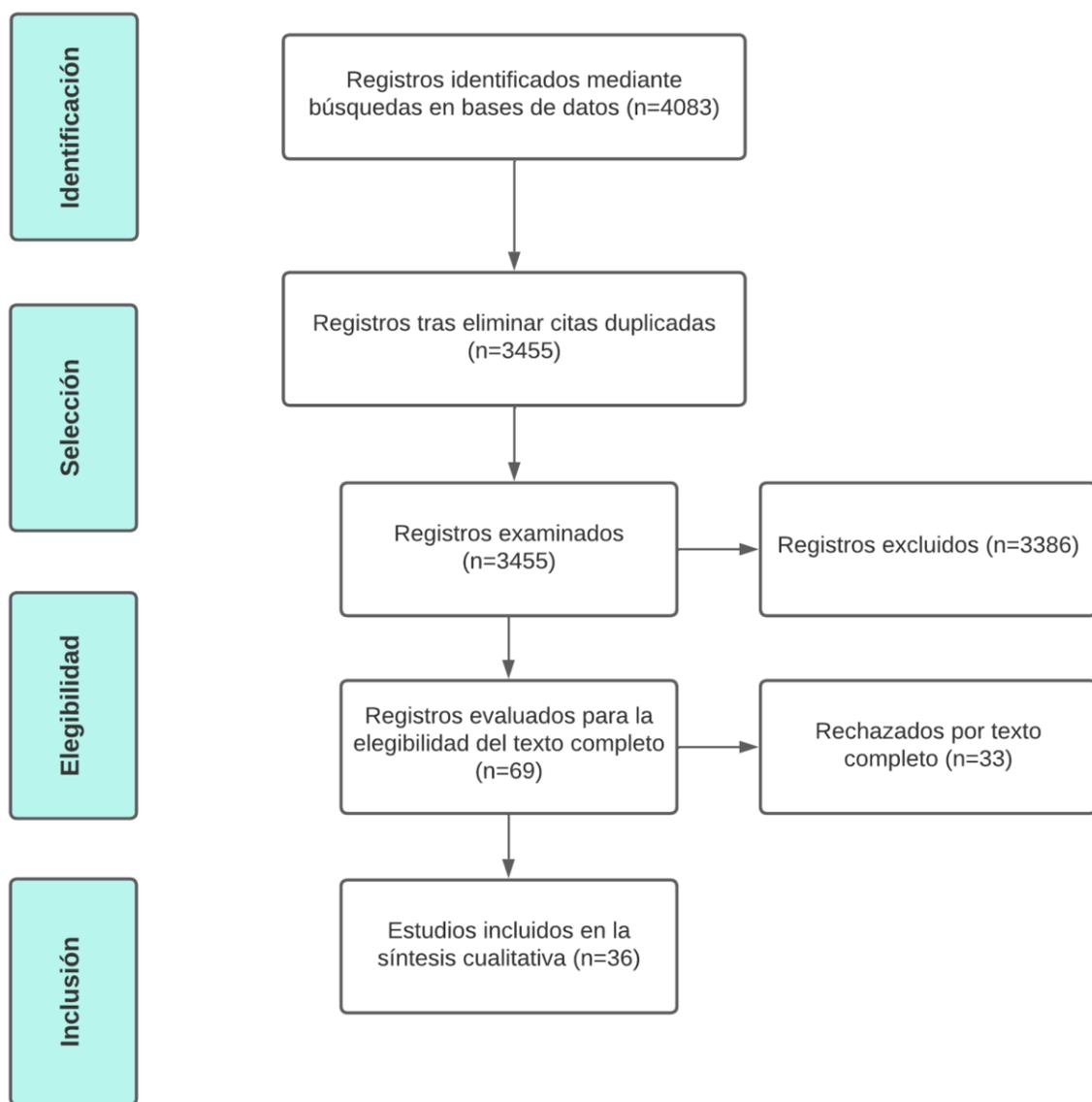


Figura 4. Diagrama basado en el modelo PRISMA, donde se muestran las diferentes fases de la selección de artículos para la elaboración de esta revisión sistemática (Modificado de Moher *et al.*, 2009).

Tabulación de datos

En el Anexo 1, se encuentran las páginas del documento Excel en que se registró la información obtenida de los artículos analizados.

A partir de la información obtenida en la tabulación de datos, se construyeron los siguientes elementos gráficos, que resumen distintos aspectos de carácter general que emergen de su análisis:

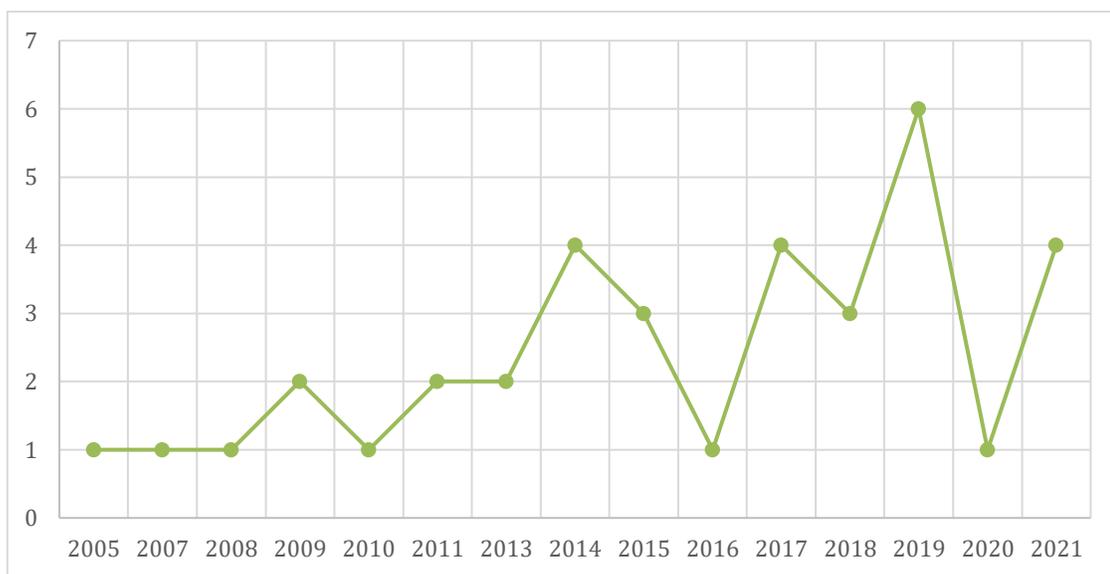


Figura 5. Número de publicaciones por año sobre los efectos del ruido antropogénico en anuros.

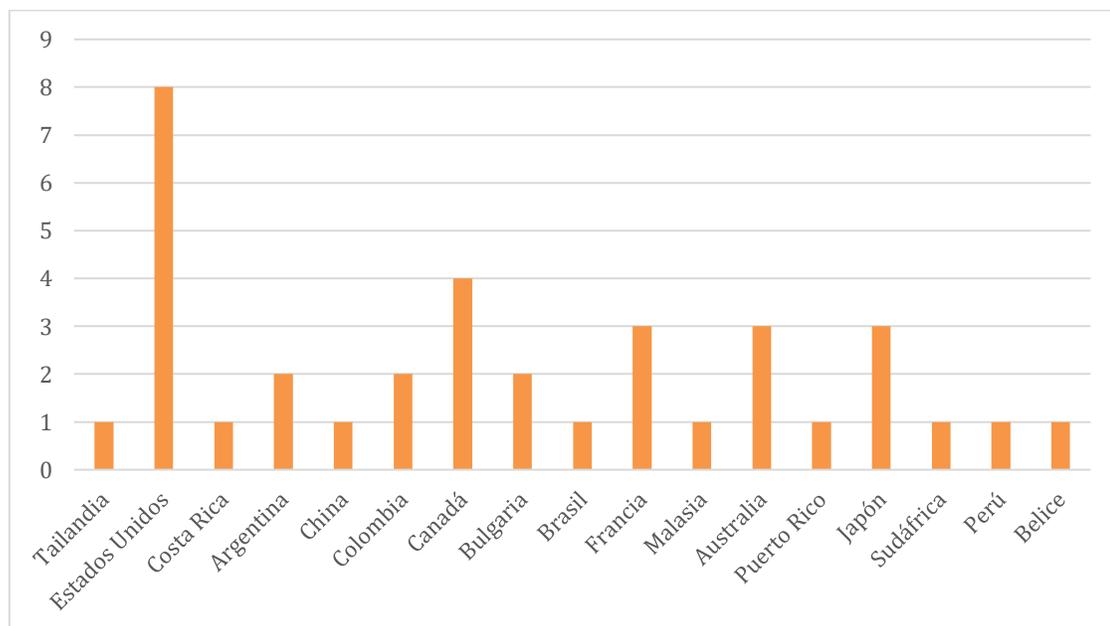


Figura 6. Número de publicaciones sobre los efectos del ruido antropogénico en anuros por país.

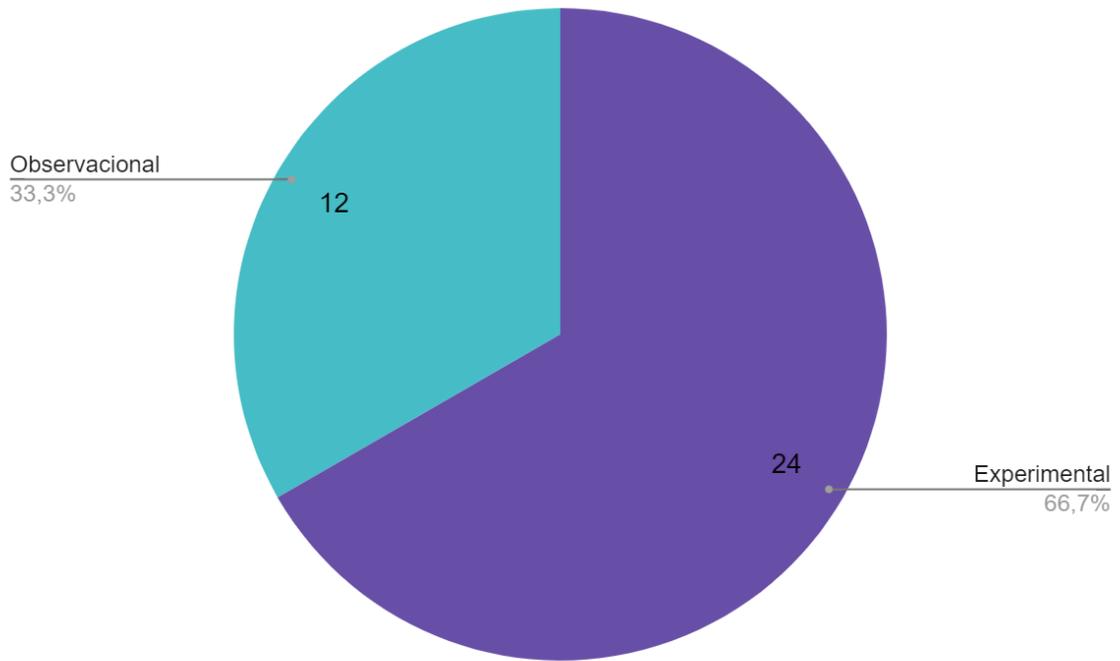


Figura 7. Proporción de estudios de Tipo Observacional o Experimental.

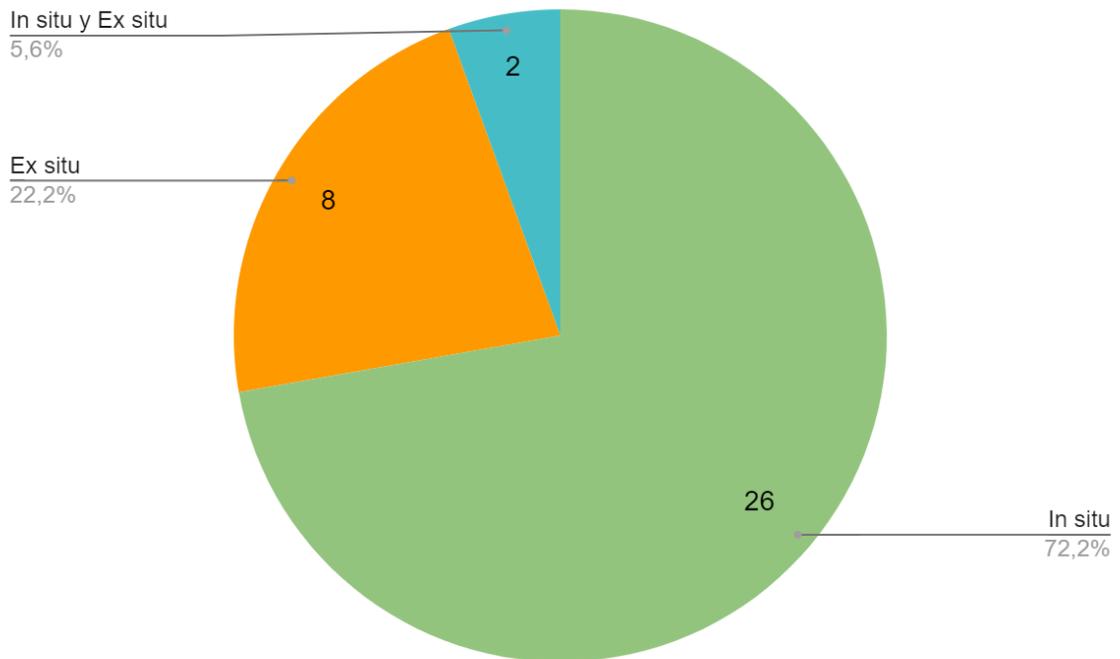


Figura 8. Proporción de estudios realizados In Situ, Ex Situ o Ambos.

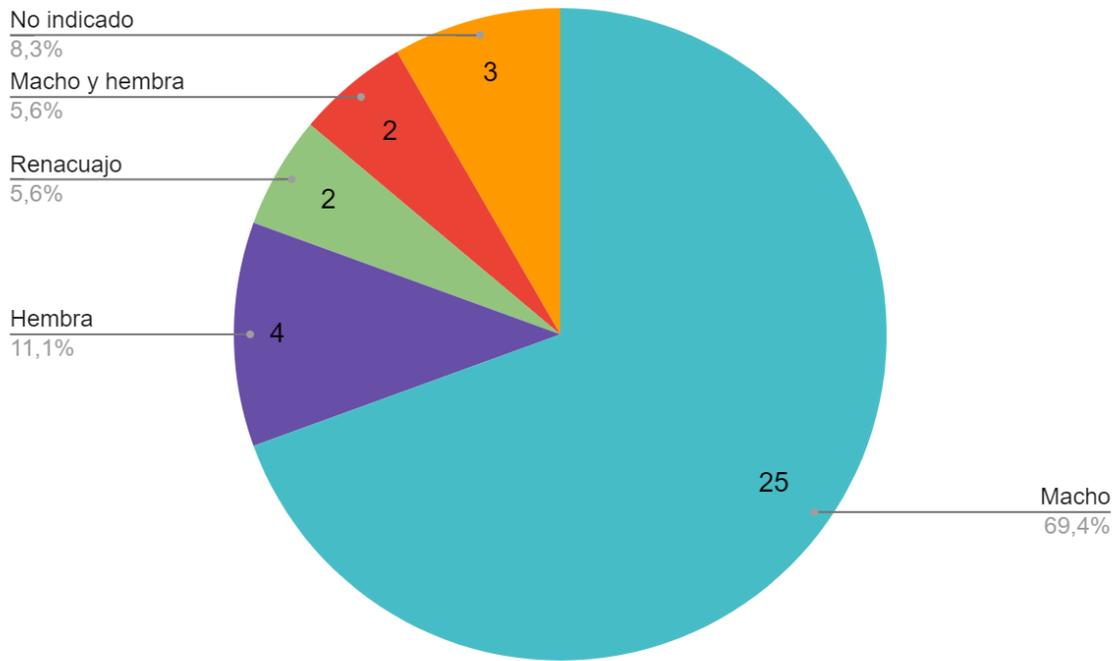


Figura 9. Proporción de estudios realizados según sexo de los individuos.

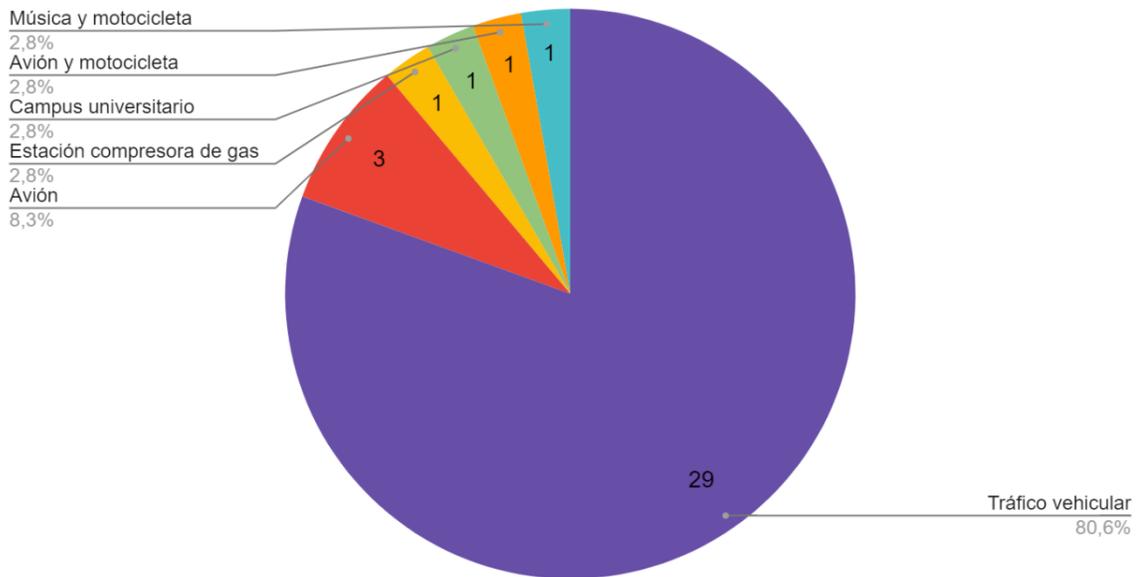


Figura 10. Proporción de fuentes de ruido antropogénico utilizadas como estímulo auditivo.

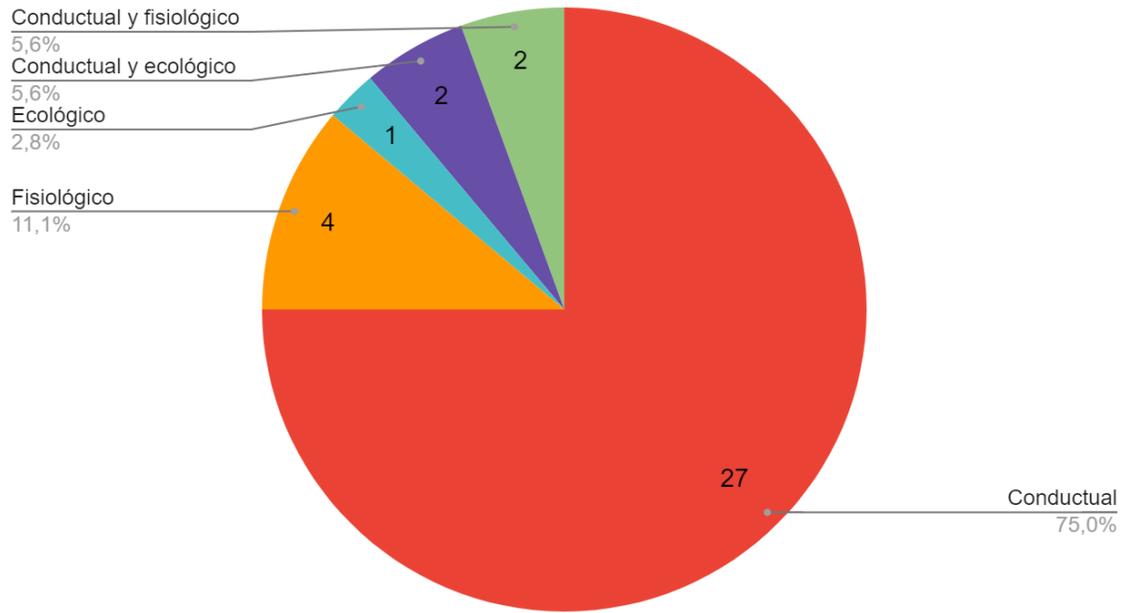


Figura 11. Proporción de impactos producidos por el ruido antropogénico en anuros.

Al analizar el número de publicaciones por año (Figura 5), se observa que en la última década ha aumentado significativamente el interés de los investigadores por este tema. El país que lidera la cantidad de investigaciones realizadas corresponde a Estados Unidos, seguido de otros países desarrollados como Canadá, Francia, Australia y Japón (Figura 6).

Respecto a los estudios seleccionados en esta revisión, se puede ver que la mayoría (66,7%) son de tipo observacional, es decir, se registraron datos sin manipular las condiciones en las cuales se encontraban los individuos (Figura 7). En este marco, se hace previsible que el 72,2% de investigaciones se realizaran en el lugar de origen (*in situ*), mientras que solo un 22,2% se llevara a cabo exclusivamente *ex situ*, en sitios como laboratorios (Figura 8).

En cuanto a los individuos, el sexo más estudiado corresponde a machos (Figura 9), los cuales, como fue mencionado anteriormente, participan activamente en coros. Sin embargo, en el 8,3% de las investigaciones no fue señalado el sexo y en un 5,6% utilizaron renacuajos, en los que aún no se definía esta característica.

De los 36 artículos revisados, 29 se centraron en el ruido procedente del tráfico vehicular (Figura 10). Estos estudios fueron realizados mayormente en sitios cercanos a carreteras, donde transitaba una gran cantidad de transporte rodado. Referente a los efectos producidos por el ruido antropogénico en anuros, se puede observar que los impactos son principalmente conductuales (Figura 11), donde se evidenciaron en su mayoría cambios en los parámetros vocales. En menor cantidad, aunque no menos relevantes, se observaron efectos fisiológicos y ecológicos. Entre los impactos fisiológicos se puede destacar el cambio en la coloración del saco vocal, la disminución en la calidad espermática y el aumento en la cantidad de hormonas relacionadas al estrés.

Tabla 3. Frecuencia dominante y categoría de conservación de las especies de anuros estudiadas en las investigaciones recopiladas durante esta revisión. Fuente: Las categorías de conservación se obtuvieron a partir de la página web de la Lista Roja de Especies de la UICN (<https://www.iucnredlist.org/>).

| Especie | Frecuencia dominante (Hz) | Referencia | Estado de conservación UICN |
|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Agalychnis callidryas</i> | 1500-2500 | Gray y Rand, 1997 | LC (2016) |
| <i>Agalychnis moreletii</i> | 1100-1260 | Lee, 1996, citado por AmphibiaWeb, 2011 | LC (2016) |
| <i>Anaxyrus americanus (Bufo americanus)</i> | 1783 | Howard y Palmer, 1995. | LC (2020) |
| <i>Anaxyrus terrestris</i> | 2000 | Leary, 2001 | LC (2021) |
| <i>Anaxyrus quercicus</i> | 5000 | Blair, 1958a | LC (2021) |
| <i>Andinobates bombetes</i> | 4000-4800 | Myers y Daly, 1980 | VU (2016) |
| <i>Boana bischoffi</i> | 1400-2100 | Pombal, 2010 | LC (2008) |
| <i>Boana leptolineata</i> | 3500-5200 | Kwet, 2001, citado por Zaffaroni <i>et al.</i> , 2017 | LC (2004) |
| <i>Buergeria japonica</i> | 3341.5 ± 46.1 | Wang <i>et al.</i> , 2017 | LC (2020) |
| <i>Crinia signifera</i> | 2550 | Littlejohn, 1964 | LC (2021) |
| <i>Dendropsophus ebraccatus</i> | 3000 | Wells y | LC (2019) |

| | | | |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|
| | | Schwartz, 1984 | |
| <i>Dendropsophus microcephalus</i> | 6210 | Tárano, 2010 | LC (2008) |
| <i>Dendropsophus triangulum</i> | 2830 (2200-3200) | Hödl, 1977 | LC (2008) |
| <i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i> | 4100 | Kubicki <i>et al.</i> , 2015 | LC (2021) |
| <i>Hyla arborea</i> | 2121.5 | Castellano <i>et al.</i> , 2002 | LC (2019) |
| <i>Hyla chrysoscelis</i> | 1473-2796 | Mable y Bogart, 1991 | LC (2021) |
| <i>Hyla japonica</i> | 2980 | Park y Choe, 1998 | LC (2004) |
| <i>Hyla versicolor</i> | 1785.55 | Mitchell y Pague, 2011 | LC (2020) |
| <i>Hylarana guentheri</i> | 1447* | Zhao <i>et al.</i> , 2021 | LC (2020) |
| <i>Hyperolius pickersgilli</i> | 2890-3573 | Kruger y Du Preez, 2016 | EN (2016) |
| <i>Incilius valliceps</i> | 1300-1590 | Wagner y Sullivan, 1995 | LC (2019) |
| <i>Kaloula pulchra</i> | 250 | Heyer, 1971 | LC (2020) |
| <i>Kurixalus chaseni</i> | 2490-2960 | Yi y Sheridan, 2019 | LC (2021) |
| <i>Lithobates areolatus</i> | 690 Hz (llamada no reproductiva o <i>upland calling</i>) y 810 Hz (llamada reproductiva) | Engbrecht <i>et al.</i> , 2015 | NT (2021) |
| <i>Lithobates catesbeianus</i> | 187.5 | Both y Grant, 2012 | LC (2020) |
| <i>Lithobates clamitans (Rana clamitans)</i> | 1000 | Brauer <i>et al.</i> , 2016 | LC (2020) |
| <i>Lithobates sylvaticus</i> | 1,700-2,000 | Porter, 1969 | LC (2020) |
| <i>Litoria caerulea</i> | 1440 | Watson y Gerhardt, 1997 | LC (2021) |
| <i>Litoria ewingii</i> | 2054-2622 | Littlejohn, 1965 | LC (2021) |
| <i>Litoria fallax</i> | 4000-6000 | Gan <i>et al.</i> , 2021 | LC (2021) |
| <i>Microhyla butleri</i> | 1200-4500 | Heyer, 1971 | LC (2021) |
| <i>Microhyla fissipes</i> | 2952* | Zhao <i>et al.</i> , 2021 | LC (2021) |
| <i>Occidozyga lima</i> | 3006* | Zhao <i>et al.</i> , 2021 | LC (2021) |
| <i>Odontophrynus americanus</i> | 1050 (1025-1075) | Martino y | LC (2008) |

| | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------------------------|-----------|
| | | Sinsch, 2002 | |
| <i>Osteopilus septentrionalis</i> | 2100-2500 | Blair, 1958b | LC (2019) |
| <i>Pelophylax ridibundus</i> | 2200-2800 | Hubl y Schneider, 1979 | LC (2008) |
| <i>Polypedates megacephalus</i> | 1486* | Zhao <i>et al.</i> , 2021 | LC (2020) |
| <i>Pseudacris crucifer</i> | 2588-3212 | Wilczynski <i>et al.</i> , 1984 | LC (2020) |
| <i>Pseudacris regilla</i> | 2350 (2200-2600) | Straughan, 1975 | LC (2019) |
| <i>Rana miopus</i> | - | | LC (2021) |
| <i>Rana nigrovittata</i> | 900-1500 | Heyer, 1971 | LC (2004) |
| <i>Rana pipiens</i> | 1207 ± 124 | Larson, 2004 | LC (2021) |
| <i>Rana pirica</i> | - | | LC (2004) |
| <i>Rana taipehensis</i> | 3500 o 4500 | Hasan <i>et al.</i> , 2019 | LC (2021) |
| <i>Scinax nasicus</i> | 848-1110 | De la Riva <i>et al.</i> , 1994 | LC (2004) |
| <i>Tlalocohyla loquax</i> | 2100-2400 | Savage, 2002, citado por Amphibiaweb, 2010 | LC (2019) |
| <i>Tlalocohyla picta</i> | 4600-6300 | Varela-Soto <i>et al.</i> , 2022 | LC (2015) |

* El valor fue obtenido a partir del promedio de las frecuencias dominantes registradas para los individuos de este estudio.

Entre los 36 estudios analizados, se encuentran 47 especies de anuros (Tabla 3), las cuales varían, entre otras características, en ubicación geográfica, época de apareamiento y parámetros espectrales. En esta revisión, las especies fueron comparadas según la frecuencia dominante de su vocalización, donde se distingue un rango entre 187.5 Hz (*Lithobates catesbeianus*) y 4600-6300 Hz (*Tlalocohyla picta*). Este se encuentra dentro del rango espectral de las fuentes de ruido antropogénico, es decir, desde 50 Hz hasta 7000 Hz, concentrándose en frecuencias <2000 Hz.

Tabla 4. Frecuencia dominante y categoría de conservación de algunas especies de anuros chilenos. Fuente: La lista de especies y categoría de conservación RCE fue obtenida de Correa, 2019. Las categorías de conservación UICN se obtuvieron a partir de la página web de la Lista Roja de Especies de la UICN (<https://www.iucnredlist.org/>).

| Especie | Frecuencia dominante (Hz) | Referencia | Categoría de conservación UICN | Categoría de conservación RCE |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <i>Alsodes montanus</i> * | Primera nota: 1000-1400 Segunda nota: 800 | Penna y Veloso, 1987 | VU (2015) | EN/R (2008) |
| <i>Alsodes nodosus</i> | Llamada corta: 1064(630-1250) Llamada larga: 528 (300-610) | Penna y Veloso, 1990 | NT (2015) | NT (2011) |
| <i>Alsodes tumultuosus</i> | 700 (590-860) | Penna <i>et al.</i> , 1983 | VU (2015) | EN/R (2008) |
| <i>Alsodes vittatus</i> | 1900 (1100-2500) | Formas y Vera, 1980 | DD (2015) | CR (2011) |
| <i>Batrachyla antartandica</i> | 2092 (1701-2333) | Penna y Solís,1998 | LC (2017) | LC (2011) |
| <i>Batrachyla leptopus</i> | 2445 (2183-2612) | Penna y Solís,1998 | LC (2017) | LC (2011) |
| <i>Batrachyla taeniata</i> | 1849 (1560-2000) | Penna y Veloso, 1990 | LC (2015) | NT (2011) |
| <i>Calyptocephalella gayi</i> | 866 (570-1030) | Penna y Veloso, 1990 | VU (2018) | VU (2008) |
| <i>Eupsophus altor</i> | 1882 (1317-2098) | Núñez <i>et al.</i> , 2012 | - | EN (2015) |
| <i>Eupsophus calcaratus</i> | 1100-2700 | Formas, 1985 | LC (2017) | LC (2011) |
| <i>Eupsophus contulmoensis</i> | 1100-2000 | Formas y Brieva, 1994 | EN (2008) | EN (2008) |
| <i>Eupsophus emiliopugini</i> | 971 (645-1222) | Penna y Solís, 1998 | LC (2017) | LC (2011) |

| | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------|
| <i>Eupsophus insularis</i> | 1500-2100 | Formas y Brieva, 1994 | CR (2018) | EN/R (2008) |
| <i>Eupsophus migueli</i> | Llamada corta: 1633 (1170-1820) Llamada larga: 1532 (1210-2000) | Penna y Veloso, 1990 | EN (2008) | EN/R (2008) |
| <i>Eupsophus roseus</i> | Llamada corta: 1291 (1250-1350) Llamada larga: 1390 (1220-1470) | Penna y Veloso, 1990 | LC (2017) | VU (2011) |
| <i>Eupsophus septentrionalis**</i> | 1818 (1464-2326) | Opazo <i>et al.</i> , 2009 | DD (2008) | EN (2011) |
| <i>Eupsophus vertebralis</i> | 932 (700-1110) | Penna y Veloso, 1990 | LC (2017) | VU (2011) |
| <i>Hylorina sylvatica</i> | 1358 (1048-1596) | Penna y Solís, 1998 | LC (2017) | LC (2011) |
| <i>Pleurodema marmoratum</i> | 1716 (1600-1900) | Duellman y Veloso, 1977 | VU (2019) | EN/R (2008) |
| <i>Pleurodema thaul</i> | 2002 (1636-2161) | Penna y Solís, 1998 | LC (2015) | NT (2011) |
| <i>Rhinella arunco</i> | 1087 (975-1305) | Penna y Veloso, 1981 | NT (2015) | VU (2011) |
| <i>Rhinella atacamensis</i> | 1101 (904-1290) | Penna y Veloso, 1981 | VU (2015) | VU (2011) |
| <i>Rhinella spinulosa</i> | 1027 (964-1162) | Penna y Veloso, 1981 | LC (2017) | LC (2011) |
| <i>Rhinoderma darwini</i> | 2550 (2380-2780) | Penna y Veloso, 1990 | EN (2017) | EN (2011) |
| <i>Rhinoderma rufum</i> | 2810 (2500-3130) | Penna y Veloso, 1990 | CR (2015) | CR (2011) |
| <i>Telmatobius halli</i> | 7350 (7200- 7500)*** | Penna y Veloso, 1987 | DD (2015) | CR (2011) |
| <i>Telmatobius marmoratus</i> | 6636 (5250 - 8050)*** | Penna y Veloso, 1987 | EN (2019) | VU (2011) |

| | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------|
| <i>Telmatobius peruvianus</i> | 5650 (4900-6550)*** | Penna y Veloso, 1987 | VU (2018) | EN/R (2008) |
| <i>Telmatobufo venustus</i> | Nota tipo I (1719–1781) Nota tipo II (1656–1844) | Cabeza y Serrano, 2020 | EN (2015) | EN (2011) |
| <i>Xenopus laevis</i> | 1600 – 2000 | Elefandt <i>et al.</i> , 2020 | LC (2016) | n.e. |

*En Penna y Veloso 1987 se describe la vocalización de *Telmatobius montanus*, sinonimia de *Alsodes montanus*.

** Blotto *et al.* (2013) sinonimizaron a *E. queulensis* con *E. septentrionalis* (Correa, 2019).

*** Corresponde a la frecuencia dominante de llamadas de socorro.

Como se aprecia en la Tabla 4, la frecuencia dominante de los anuros chilenos, para los cuales hay estudios bioacústicos, fluctúa entre 528 Hz en el sapo de pecho espinoso (*Alsodes nodosus*) y 7350 Hz en la rana de Hall (*Telmatobius halli*), encontrándose también dentro del rango espectral de las fuentes de ruido antropogénico. Si bien Chile no posee una elevada riqueza de especies, tiene un elevado endemismo y han colonizado una gran diversidad de ambientes. La mayor riqueza de especies nativas de anuros se concentra en los bosques templados del centro y sur de Chile, entre las regiones del Biobío y Aysén (Lobos *et al.*, 2013).

DISCUSIÓN

Presumiblemente, la aparición y la intensificación del ruido antropogénico representa una nueva amenaza para los anuros, ya que, a diferencia del ruido natural, éste ha tenido un curso temporal muy rápido, al que los anuros podrían no estar logrando adaptarse. Las fuentes naturales de ruido son anteriores al origen de los órganos auditivos, donde es probable que los animales hayan estado bajo fuertes presiones selectivas para prestar atención a las señales del hábitat y evitar las consecuencias negativas del ruido (Barber *et al.*, 2010). Sin embargo, el crecimiento constante del ruido industrial y del tráfico en el mundo occidental surgen a finales del siglo XVIII (Slabbekoorn, 2019). Por lo tanto, es probable que nuestra comprensión de las respuestas evolutivas al ruido antropogénico sea incompleta sin saber cómo han evolucionado los animales en respuesta al ruido natural durante períodos de tiempo mucho más largos. Aunque es posible que algunos animales tengan y estén desarrollando estrategias para responder al ruido antropogénico, muchos ya tienen flexibilidad de comportamiento preexistente, plasticidad de desarrollo o rasgos de afrontamiento potencialmente útiles, debido a una larga historia evolutiva dentro de un mundo naturalmente ruidoso (Gomes *et al.*, 2021). Los anuros pueden responder al ruido antropogénico usando muchas de las mismas estrategias que usan para lidiar con el ruido biótico y abiótico, pero existen diferencias considerables entre las especies en sus respuestas al ruido (Simmons y Narins, 2018).

Dado que la comunicación acústica es crucial para el éxito reproductivo de la mayoría de los anuros y frente a la creciente preocupación mundial por la disminución de sus poblaciones, la comprensión de cómo estos animales responden al ruido es muy importante (Grenat *et al.*, 2019). A pesar de esto, la cantidad de investigaciones realizadas en anuros en comparación con otros animales vocalizadores como mamíferos y aves resulta escasa, siendo 2019 el año donde se registró la mayor cantidad de estudios publicados hasta la fecha, correspondientes a seis.

Se deduce del estudio realizado, que la fuente de ruido predominante es el ruido del tráfico en las carreteras, ya que, de los treinta y seis estudios revisados, veintinueve corresponden a

ruidos procedentes de este origen. Las otras fuentes de ruido provienen de avión, motocicleta, estación compresora de gas, música y un campus universitario. Los sonidos antropogénicos aumentan conforme se pasa del ambiente rural al ambiente urbano (Joo *et al.*, 2011), por lo tanto, las especies que habitan en este entorno son las que se encuentran más susceptibles.

A continuación, se realiza una síntesis de los efectos del ruido antropogénico en anuros y su respuesta frente a este estímulo. El detalle de la respuesta de cada especie fue presentado en la sección resultados.

1. Impactos conductuales:

1.1. Vocalización:

- Tasa de llamada: se registraron cambios en el número de llamadas por minuto. Las respuestas fueron el aumento, disminución o mantención de este parámetro temporal. Es importante mencionar que un aumento en la tasa de llamadas es energéticamente costoso y puede tener consecuencias perjudiciales para los emisores de señales (Parris, 2002).

- Duración de la llamada: las especies alargan, acortan o mantienen este parámetro como respuesta al ruido antropogénico. Consecuentemente, la modificación de esta variable puede tener consecuencias energéticas y de interferencia acústica intraespecífica.

- Frecuencia dominante: contiene la energía de sonido más alta, siendo la frecuencia más notoria dentro de la señal vocal. Es un parámetro poco variable que tiene relación inversa con el tamaño corporal. En términos generales, los anuros aumentaron su frecuencia dominante frente a las señales ruidosas. Por lo tanto, dado que las hembras tienden a elegir machos con una frecuencia dominante baja (Gerhardt, 1994), este cambio podría disminuir la posibilidad de apareamiento de los machos.

- Amplitud de llamada: Este parámetro fue poco estudiado en comparación a otros como la frecuencia dominante. Los anuros respondieron con un aumento o disminución en la amplitud de su llamada. Esto último se conoce como Efecto Lombard (Lombard, 1911) y es una respuesta energéticamente costosa y poco frecuente.

A pesar de que los anuros poseen un amplio repertorio vocal, los experimentos se centraron en las llamadas de advertencia (para señalar su presencia a las hembras y a otros machos rivales), prescindiendo de cómo otro tipo de vocalizaciones podrían verse afectadas por el ruido antropogénico.

- 1.2. Locomoción: este aspecto fue evaluado tanto en laboratorio como en terreno, donde se observó disminución en la actividad de locomoción y desplazamiento espacial de machos, respectivamente.
 - 1.3. Fonotaxis: en los experimentos donde evaluaron fonotaxis, las hembras presentaron una tendencia a elegir machos con una mayor frecuencia dominante. La selección de machos con menor tamaño corporal podría generar descendencia de menor calidad genética.
2. Impactos fisiológicos:
- 2.1. Corticosterona: es la principal hormona glucocorticoide en los anfibios, la cual está relacionada con la respuesta de estrés (Tennesen, 2014). Las ranas a las que se les presentó ruido antropogénico tenían concentraciones circulantes de corticosterona significativamente más altas.
 - 2.2. Coloración: frente al ruido de tráfico, los machos cambian la coloración de sus sacos vocales, tornándose más pálidos y menos cromáticos. Este aspecto se relaciona con el nivel de corticosterona, que puede inhibir la producción de testosterona, responsable de la pigmentación del saco vocal (Greenberg, 1942).
 - 2.3. Desarrollo de renacuajos: el ruido antropogénico redujo el consumo de alimentos y aumentó el nivel de actividad en renacuajos. Sin embargo, esto no se tradujo en una disminución de la masa corporal en la metamorfosis.
 - 2.4. Calidad de espermatozoides: los machos a los cuales se les presentó ruido de tráfico tuvieron una disminución significativa del recuento y la viabilidad de los espermatozoides. Esto probablemente, por una razón similar a la acción antagonista de la corticosterona y la testosterona, indicada en el punto 2.2.
3. Impactos ecológicos:
- 3.1. Abundancia de especies: en una investigación realizada por Herrera-Montes y Mitchell (2011), se concluyó que la riqueza de especies de anuros fue similar

entre sitios cercanos y lejanos de carreteras. No obstante, especies como *Leptodactylus albilabris* y *Lithobates grylio*, las cuales tienen llamadas de baja frecuencia (<3 kHz), fueron detectadas solo en sitios alejados de la carretera. Por otra parte, Grace y Noss (2017) señalan que el ruido antropogénico afectó significativamente la abundancia total de anuros, encontrándose menos individuos en el tratamiento donde se reprodujo ruido de tráfico vehicular.

- 3.2. Distribución espacial: este aspecto también fue escasamente evaluado. Vargas-Salinas y Amézquita (2013) señalan que la abundancia de individuos de la especie *Andinobates bombetes* no difirió entre lugares a distancias variables de la carretera. Sin embargo, cantaron con más frecuencia cuando el nivel de ruido de tráfico fue más bajo. Además, se trata de un estudio único y, por lo tanto, no se puede descartar la existencia de algún efecto.

Conforme a lo señalado por Jerem y Mathews (2020) y según lo revisado en esta Memoria, muchos comportamientos distintos a la comunicación se ven afectados por el ruido, pero el estado de la literatura está severamente sesgado en esta dirección. Además, algunos estudios concluyen que los anuros, al no presentar una respuesta evidente frente a un estímulo ruidoso, se encuentran adaptados y/o no son afectados por el ruido antropogénico. No obstante, la ausencia de evitación del ruido no es prueba de falta de impacto biológico, ya que se pueden presentar efectos a nivel fisiológico, particularmente, a nivel hormonal.

Las investigaciones recopiladas en esta revisión fueron realizadas en un periodo de tiempo acotado a días, semanas o unos pocos meses. Sin embargo, los estudios a largo plazo resultan necesarios para comprender las consecuencias del ruido antropogénico a nivel poblacional y estacional.

Es importante mencionar que existen diferencias metodológicas en las investigaciones revisadas. Algunas de ellas tienen relación con: el tiempo de observación, ya que se pueden encontrar estudios llevados a cabo en un periodo de pocos días mientras que otros fueron realizados en meses; la actividad vocal circadiana, donde las vocalizaciones se grabaron al

amanecer o atardecer, siendo este último el momento del día con mayor actividad vocal en la mayoría de las especies; el tipo de población, única o mixta, donde la presencia de heteroespecíficos puede determinar el comportamiento de algunos individuos dentro de un coro; el tamaño del individuo, factor influyente debido a que su relación es inversamente proporcional con la frecuencia de vocalización; las condiciones climáticas del entorno: factores abióticos como la temperatura, humedad y precipitaciones pueden modificar el comportamiento de vocalización de los anuros (Saenz *et al.*, 2006). Sin embargo, algunos de estos elementos no fueron considerados al momento de realizar algunos experimentos. Por consiguiente, se deben considerar todos aquellos factores que pueden alterar el comportamiento de las especies que son objeto de estudio. De esta manera, se evitan sesgos en la interpretación de los resultados.

En la literatura se describen una serie de acciones para contrarrestar el impacto del ruido en la fauna silvestre. Entre las soluciones frente a esta problemática se encuentra: (1) implementar barreras acústicas en carreteras, las cuales pueden ser construidas con materiales naturales o artificiales (Parris *et al.*, 2009). Se ha descubierto que las barreras vegetales de pino reducen el nivel de ruido en 5 dB por cada 30,48 m de distancia desde la barrera (Van Renterghem *et al.*, 2012). No obstante, se debe tener en cuenta el tipo de vegetación presente en el lugar para no alterar el ecosistema.; (2) Reducción del límite de velocidad en áreas cercanas a refugios de fauna silvestre, ya que se ha demostrado que un aumento en la velocidad de un automóvil de 30 a 70 km/h induce un aumento de 7 dB en el nivel de ruido (Favre y Lamure, 1987 citado por Toïanowski *et al.*, 2017).; (3) Avances tecnológicos: el desarrollo de vehículos amigables con el medio ambiente, como los híbridos con su bajo nivel de ruido, son probablemente la mejor innovación (Lengagne, 2008).; (4) Planificación a nivel de paisaje para minimizar la futura fragmentación del hábitat y el impacto en áreas naturales relevantes, especialmente en aquellas donde se reproducen especies de anuros amenazadas (Grenat *et al.*, 2019).; (5) Cierre temporal de carreteras: algunos países como Francia y Estonia han adoptado esta medida para facilitar la migración de anuros a sitios de reproducción sin el riesgo de ser colisionados por vehículos.

Debido a que el ruido antropogénico genera una serie de consecuencias tanto para los anuros como otras especies silvestres, debe ser incluido dentro de los estudios de impacto ambiental, medida adoptada por varios países en desarrollo (Grenat *et al.*, 2019).

En Chile se han realizado investigaciones principalmente respecto al estado de conservación de los anuros, siendo los efectos del ruido antropogénico un tema inexplorado. Los datos recopilados sobre la vocalización de estas especies indican que la frecuencia dominante de sus llamadas se encuentra en rangos cercanos a 1000 y bajo 3000 Hz, mientras que el ruido antropogénico se concentra en frecuencias de 2000 Hz. Por lo tanto, los anuros chilenos se encontrarían susceptibles frente al ruido antropogénico. Es importante señalar que, a menudo, la extrapolación de los resultados a otras especies puede ser inapropiada, porque cada especie puede responder de manera diferente a un entorno perturbado (Grenat *et al.*, 2019). Es por esta razón que resulta imprescindible iniciar investigaciones respecto a esta materia para comprender cuál es la respuesta de las especies nativas frente a este contaminante e implementar medidas de mitigación en caso de ser necesario.

CONCLUSIONES

A partir de esta Memoria, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1) El ruido antropogénico es un contaminante ambiental que impacta negativamente a los anuros en aspectos conductuales, fisiológicos y ecológicos.
- 2) Los anuros mayormente afectados son aquellos que tienen una frecuencia espectral de vocalización dentro del rango de frecuencias del ruido antropogénico.
- 3) En Chile no se han desarrollado estudios respecto a los efectos del ruido antropogénico en anuros, por lo tanto, se desconoce el impacto de este contaminante en las especies nativas.
- 4) La frecuencia dominante predominante de las llamadas de anuros chilenos se ubica en el rango 1000 - 3000 Hz. Por lo tanto, estas especies se encontrarían susceptibles frente al ruido antropogénico.
- 5) A la actualidad, continúan apareciendo investigaciones sobre los impactos que tiene el ruido antropogénico en los animales, lo que da cuenta de la importancia de este tema.

BIBLIOGRAFÍA

BARBER, J.; CROOKS, K.; FRISTRUP, K. 2010. The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology and Evolution* 25(3):180–189.

BEE, A.; SWANSON, E. 2007. Auditory masking of anuran advertisement calls by road traffic noise. *Animal Behaviour* 74(6):1765-1776.

BLAIR, W. 1958a. Mating Call in the Speciation of Anuran Amphibians. *The American Naturalist* 92(862):27-51.

BLAIR, W. 1958b. Call difference as an isolation mechanism in Florida species of hylid frogs. *Quart. J. Florida Acad. Sci.* 21(1):32-48.

BOTH, C.; GRANT, T. 2012. Biological invasions and the acoustic niche: the effect of bullfrog calls on the acoustic signals of white-banded tree frogs. *Biology letters* 8(5):714-716.

BRAUER, C.; DONOVAN, T.; MICKEY, R.; KATZ, J.; MITCHELL, B. 2016. A comparison of acoustic monitoring methods for common anurans of the northeastern United States. *Wildlife Society Bulletin* 40(1):140-149.

CABEZA, O.; SERRANO, J. 2020. *Telmatobufo venustus*: Underwater vocalization. *Herpetological Review* 51(2):265-266

CASTAÑEDA, E.; LEAVINGS, V.; NOSS, R.; GRACE, M. 2020. The effects of traffic noise on tadpole behavior and development. *Urban Ecosystems* 23(2):245-253.

CASTELLANO, S.; CUATTO, B.; RINELLA, R.; ROSSO, A.; GIACOMA, C. 2002. The Advertisement Call of the European Treefrogs (*Hyla arborea*): A Multilevel Study of Variation. *Ethology* 108:75-89.

CASTON, J.; PRECHT, W.; BLANKS, R. 1977. Response characteristics of frog's lagena afferents to natural stimulation. *J Comp Physiol A* 118:273-289.

COLAFRANCESCO, K.; GRIDI-PAPP, M. 2016. Vocal Sound Production and Acoustic Communication in Amphibians and Reptiles. **In:** Suthers, R.; Fitch, W.; Fay, R.; Popper, A. Vertebrate Sound Production and Acoustic Communication. Springer Handbook of Auditory Research. Springer, Cham. pp. 51–82.

CORREA, C. 2019. Nueva lista comentada de los anfibios de Chile (*Amphibia, Anura*). Boletín Chileno de Herpetología 6:1-14.

CUNNINGTON, G.; FAHRIG, L. 2010. Plasticity in the vocalizations of anurans in response to traffic noise. Acta Oecologica 36(5):463-470.

CUNNINGTON, G.; FAHRIG, L. 2013. Mate attraction by male anurans in the presence of traffic noise. Animal Conservation 16(3):275-285.

DE LA RIVA, I.; MÁRQUEZ, R.; BOSCH, J. 1994. Advertisement calls of Bolivian species of *Scinax* (*Amphibia, Anura, Hylidae*). Bijdragen tot de Dierkunde 64(2):75-85.

DOOLING, R.; LEEK, M. 2018. Communication Masking by Man-Made Noise. **In:** Slabbekoorn, H.; Dooling, R.; Popper, A.; Fay, R. Effects of Anthropogenic Noise on Animals. Springer. Nueva York, Estados Unidos. pp: 23-46.

DUDLEY, R.; RAND, A. 1991. Sound production and vocal sac inflation in the túngara frog, *Physalaemus pustulosus* (*Leptodactylidae*). Copeia 1991(2):460-470.

DUELLMAN, W.; VELOSO, A. 1977. Phylogeny of *Pleurodema* (*Anura: Leptodactylidae*): a biogeographic model. Occasional papers of the Museum of Natural History, the University of Kansas. 64:1-46.

EBENSPERGER, L. 2021. Sociabilidad en vertebrados e invertebrados. **In:** Ebensperger, L.; Labra, A. Comportamiento social de la fauna nativa de Chile. Ediciones UC. Santiago, Chile. pp. 47-152.

ELEPFANDT, A.; EISTETTER, I.; FLEIG, A.; GÜNTHER, E.; HAINICH, M.; HEPERLE, S.; TRAUB, B. 2000. Hearing threshold and frequency discrimination in the

purely aquatic frog *Xenopus laevis* (Pipidae): Measurement by means of conditioning. The Journal of Experimental Biology 203:3621–3629.

ENGBRECHT, N.; HEEMEYER, J.; MURPHY, C.; STILES, R.; SWAN, J.; LANNOO, M. 2015. Upland Calling Behavior in Crawfish Frogs (*Lithobates areolatus*) and Calling Triggers Caused by Noise Pollution. Copeia 103(4):1048-1057.

FAVRE, B.; LAMURE, C. 1987. Le bruit de trafic routier: méthodes de prévision. Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité. (citado por Troïanowski, M.; Mondy, N.; Dumet, A.; Arcanjo, C.; Lengagne, T. 2017. Effects of traffic noise on tree frog stress levels, immunity, and color signaling. Conservation Biology 31(5):1132-1140.).

FORMAS, J. 1985. The voices and relationships of the chilean frogs *Eupsophus migueli* and *E. calcaratus* (Amphibia: Anura: Leptodactylidae). Proc. Biol. Soc. Wash. 98(2):411-415.

FORMAS, J.; BRIEVA, L. 1994. Advertisement Calls And Relationships Of Chilean Frogs *Eupsophus contulmoensis* And *E. insularis* (Amphibia, Anura, Leptodactylidae). Proc. Biol. Soc. Wash. 107:391-397

FORMAS, J.; VERA, M. 1980. Reproductive Patterns of *Eupsophus roseus* and *E. vittatus*. Journal of Herpetology 14:11-14.

GAN, H.; ZHANG, J.; TOWSEY, M.; TRUSKINGER, A.; STARK, D.; VAN RENSBURG, B.; LI, Y.; ROE, P. 2021. A novel frog chorusing recognition method with acoustic indices and machine learning. Future Generation Computer Systems 125:485-495.

GERHARDT, H. 1994 The Evolution of Vocalization in Frogs and Toads. Annu. Rev. Ecol. Syst. 25:293-324.

GOMES, D.; FRANCIS, C.; BARBER, J. 2021. Using the Past to Understand the Present: Coping with Natural and Anthropogenic Noise. BioScience 71(3):223-234.

GRACE, M.; NOSS, R. 2017. Evidence for selective avoidance of traffic noise by anuran amphibians. Animal Conservation 21(4):343-351.

GRAY, L.; RAND, A. 1997. A daybreak chorus in the frog, *Agalychnis callidryas*. Journal of Herpetology 31(3):440-441.

GREENBERG, G. 1942. Some effects of testosterone on the sexual pigmentation and other sex characters of the cricket frog (*Acris gryllus*). Journal of Experimental Zoology 91(3):435-451.

GRENAT, P.; POLLO, F.; FERRERO, M.; MARTINO, A. 2019. Differential and additive effects of natural biotic and anthropogenic noise on call properties of *Odontophrynus americanus* (*Anura, Odontophryinidae*): Implications for the conservation of anurans inhabiting noisy environments. Ecological Indicators 99:67-73.

GUTIÉRREZ-VANNUCCHI, A.; RODRÍGUEZ-UMAÑA, P.; SANDOVAL, L.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, A. 2019. Diel acoustic variation in *Hyalinobatrachium fleischmanni* (*Anura: Centrolenidae*) in urban habitat with different anthropogenic noise levels. Revista de Biología Tropical 67(2):249-258.

HANNA, D.; WILSON, D.; BLOUIN-DEMERS, G.; MENNILL, D. 2014. Spring peepers *Pseudacris crucifer* modify their call structure in response to noise. Current Zoology 60(4):438-448.

HASAN, M.; LAI, J.; POYARKOV, N.; OHLER, A.; OLIVER, L.; KAKEHASHI, R.; KURABAYASHI, A.; SUMIDA, M. 2019. Identification of *Hylarana tytleri* (Theobald, 1868): elements for the systematics of the genus *Hylarana* Tschudi, 1838 (*Anura, Ranidae*). Alytes 37(1-2):1-30.

HENAO, F. 2014. Sonido – Ruido. **In:** Riesgos físicos I: ruido, vibraciones y presiones anormales. 2ª ed. Ecoe Ediciones. Bogotá, Colombia. pp: 1-133.

HERRERA-MONTES, M.; MITCHELL, T. 2011. Impacts of traffic noise on anuran and bird communities. Urban Ecosystems 14(3):415-427.

HEYER, W. 1971. Mating Calls of Some Frogs From Thailand. Fieldiana 58:61-82.

HIGHAM, V.; DEAL, N.; CHAN, Y.; CHANIN, C.; DAVINE, E.; GIBBINGS, G.; KEATING, R.; KENNEDY, M.; REILLY, N.; SYMONS, T.; VRAN, K.; CHAPPLE, D. 2021. Traffic noise drives an immediate increase in call pitch in an urban frog. *Journal of Zoology* 313(4):307-315.

HÖDL, W. 1977. Call differences and calling site segregation in anuran species from central Amazonian floating meadows. *Oecologia* 28:351–363.

HÖDL, W.; GOLLMANN, G. 1986. Distress calls in neotropical frogs. *Amphibia-Reptilia* 7(1):11-21.

HOWARD, R.; PALMER, J. 1995. Female Choice in *Bufo americanus*: Effects of Dominant Frequency and Call Order. *Copeia* 1995(1):212-217.

HUBL, L.; SCHNEIDER, H. 1979. Temperature and Auditory Thresholds: Bioacoustic Studies of the Frogs *Rana r. ridibunda*, *Hyla a. arborea* and *Hyla a. savignyi* (Anura, Amphibia). *J. Comp. Physiol.* 130:17-27.

JARAMILLO, C.; RAND, A.; IBÁÑEZ, R.; DUDLEY, R. 1997. Elastic structures in the vocalization apparatus of the túngara frog *Physalaemus pustulosus* (*Leptodactylidae*). *Journal of Morphology* 233(3):287-295.

JEREM, P.; MATHEWS, F. 2020. Trends and knowledge gaps in field research investigating effects of anthropogenic noise. *Conservation Biology* 35(1):115–129.

JIMÉNEZ-VARGAS, G.; VARGAS-SALINAS, F. 2021. Does anthropogenic noise promotes advertisement call adjustments in the rubí poison frog *Andinobates bombetes*?. *Behaviour* 158(7):565-583.

JOO, W.; GAGE, S.; KASTEN, E. 2011. Analysis and interpretation of variability in soundscapes along an urban–rural gradient. *Landscape and Urban Planning* 103(3-4):259-276.

JØRGENSEN, M.; KANNEWORFF, M. 1998. Middle ear transmission in the grass frog, *Rana temporaria*. *J Comp Physiol A* 182:59-64.

KAISER, K.; DEVITO, J.; JONES, C.; MARENTES, A.; PEREZ, R.; UMEH, L.; WEICKUM, R.; MCGOVERN, K.; WILSON, E.; SALTZMAN, W. 2015. Effects of anthropogenic noise on endocrine and reproductive function in White's treefrog, *Litoria caerulea*. *Conservation Physiology* 3(1):cou061.

KAISER, K.; HAMMERS, J. 2009. The effect of anthropogenic noise on male advertisement call rate in the neotropical treefrog, *Dendropsophus triangulum*. *Behaviour* 146 (8):1053-1069.

KAISER, K.; SCOFIELD, D.; ALLOUSH, M.; JONES, R.; MARCZAK, S.; MARTINEAU, K.; OLIVA, M.; NARINS, P. 2011. When sounds collide: the effect of anthropogenic noise on a breeding assemblage of frogs in Belize, Central America. *Behaviour* 148(2):215-232.

KÖHLER, J.; JANSEN, M.; RODRÍGUEZ, A.; KOK, P.; TOLEDO, L.; EMMRICH, M.; GLAW, F.; HADDAD, C.; RÖDEL, M.; VENCES, M. 2017. The use of bioacoustics in anuran taxonomy: theory, terminology, methods and recommendations for best practice. *Zootaxa* 4251(1):001–124.

KRUGER, D.; DU PREEZ, L. 2016. The effect of airplane noise on frogs: a case study on the Critically Endangered Pickersgill's reed frog (*Hyperolius pickersgilli*). *Ecological Research* 31(3):393-405.

KUBICKI, B.; SALAZAR, S.; PUSCHENDORF, R. 2015. A new species of glassfrog, genus *Hyalinobatrachium* (*Anura: Centrolenidae*), from the Caribbean foothills of Costa Rica. *Zootaxa*, 3920(1):69-84.

KWET, A. 2001. Frösche im brasilianischen Araukarienwald: Anurengemeinschaft des Araukarienwaldes von Rio Grande do Sul, Diversität, Reproduktion und Ressourcenaufteilung. Natur und Tier-Verlag. Münster, Alemania. 192p. **In:** Zaffaroni, V.; Both, C.; Cechin, S.; Antunes, R.; Borgues-Martins, M. 2017. Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. *PLOS ONE* 12(8):e0183342.

- LABRA, A.** 2021. Comunicación, el mediador de las interacciones sociales en animales. **In:** Ebensperger, L.; Labra, A. Comportamiento social de la fauna nativa de Chile. Ediciones UC. Santiago, Chile. pp. 261-374.
- LARSON, K.** 2004. Advertisement Call Complexity in Northern Leopard Frogs, *Rana pipiens*. *Copeia* 2004(3):676-682
- LEARY, C.** 2001. Evidence of convergent character displacement in release vocalizations of *Bufo fowleri* and *Bufo terrestris* (Anura; Bufonidae). *Animal Behaviour* 61(2):431-438.
- LEE, J.** 1996. The Amphibians and Reptiles of the Yucatan Peninsula. Cornell University Press, Ithaca. New York, Estados Unidos. 500p. **In:** AmphibiaWeb. 2011. *Agalychnis moreletii*: Black-eyed Tree Frog <<https://amphibiaweb.org/species/619>> University of California, Berkeley, California, Estados Unidos [consulta: 10-01-2023].
- LEGETT, H.; MADDEN, R.; AIHARA, I.; BERNAL, X.** 2019. Traffic noise differentially impacts call types in a Japanese treefrog (*Buergeria japonica*). *Ethology* 126(5):576-583.
- LENGAGNE, T.** 2008. Traffic noise affects communication behaviour in a breeding anuran, *Hyla arborea*. *Biological Conservation* 141(8):2023-2031.
- LEON, E.; PELTZER, P.; LORENZON, R.; LAJMANOVICH, R.; BELTZER, A.** 2019. Effect of traffic noise on *Scinax nasicus* advertisement call (Amphibia, Anura). *Iheringia, Série Zoologia* 109:e2019007.
- LEWIS, E.; LEVERENZ, E.; BIALEK, W.** 1985. The vertebrate inner ear. CRC Press Inc.
- LEWIS, E.; NARINS, P.** 1999. The acoustic periphery of amphibians; anatomy and physiology. **In:** Fay, R.; Popper, A. Comparative hearing: fish and amphibians. Springer handbook of auditory research. Springer. New York. pp. 101-154.
- LITTLEJOHN, M.** 1964. Geographic Isolation and Mating Call Differentiation in *Crinia signifera*. *Evolution* 18(2):262-266.

LITTLEJOHN, M. 1965. Premating isolation in the *Hyla ewingi* complex. *Evolution* 19:234-243.

LOBOS, G.; VIDAL, M.; CORREA, C.; LABRA, A.; DÍAZ-PÁEZ, H.; CHARRIER, A.; RABANAL, F.; DÍAZ, S.; TALA, C. 2013. Anfibios de Chile, un desafío para la conservación. Ministerio del Medio Ambiente, Fundación Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y Red Chilena de Herpetología. Santiago, Chile. 104 p.

LOMBARD, E. 1911. Le signe de l'elevation de la voix, *Annals Maladiers Oreille. Larynx, Nez Pharynx* 37:101-119.

LOVE, E.; BEE, M. 2010. An experimental test of noise-dependent voice amplitude regulation in Cope's grey treefrog, *Hyla chrysoscelis*. *Animal Behaviour* 80(3): 509-515.

LUKANOV, S.; NAUMOV, B. 2019. Effect of anthropogenic noise on call parameters of *Hyla arborea* (Anura: Hylidae). *Ecological Questions* 30(1):55-60.

LUKANOV, S.; SIMEONOVSKA-NIKOLOVA, D.; TZANKOV, N. 2014. Effects of traffic noise on the locomotion activity and vocalization of the Marsh Frog, *Pelophylax ridibundus*. *North-Western Journal of Zoology* 10(2):359-364.

MABLE, B.; BOGART, J. 1991. Call analysis of triploid hybrids resulting from diploid-tetraploid species crosses of hylid tree frogs. *Bioacoustics* 3(2):111-119.

MARTIN, W.; GANS, C. 1972. Muscular control of the vocal tract during release signaling in the toad *Bufo valliceps*. *Journal of Morphology* 137:1-27.

MARTINO, A.; SINSCH, U. 2002. Speciation by polyploidy in *Odontophrynus americanus*. *J. Zool., Lond.* 257:67-81.

MASON, M.; NARINS, P. 2002a. Vibrometric studies of the middle ear of the bullfrog *Rana catesbeiana* I: the extrastapes. *J Exp Biol* 205:3153-3165.

- MASON, M.; NARINS, P.** 2002b. Vibrometric studies of the middle ear of the bullfrog *Rana catesbeiana* II: the operculum. *J Exp Biol* 205:3167-3176.
- MITCHELL, J.; PAGUE, C.** 2011. Advertisement call and distribution of the treefrogs *Hyla chrysoscelis* and *Hyla versicolor* in Virginia. *Virginia Journal of Science* 62(4):139-148.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, DG.; PRISMA GROUP.** 2009. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med* 6(7):e1000097.
- MORTON, E.** 1975. Ecological sources of selection on avian sounds. *The American Naturalist* 109(965):17-34.
- MYERS, C.; DALY, J.** 1980. Taxonomy and Ecology of *Dendrobates bombetes*, a New Andean Poison Frog With New Skin Toxins. *Am. Mus. Nat. Hist.* 2692:1-23.
- NAKANO, Y.; SENZAKI, M.; ISHIYAMA, N.; YAMANAKA, S.; MIURA, K.; NAKAMURA, F.** 2018. Noise pollution alters matrix permeability for dispersing anurans: Differential effects among land covers. *Global Ecology and Conservation* 16: e00484.
- NARINS P.** 1990. Seismic communication in anuran amphibians. *BioScience* 40:268-274.
- NELSON, D; KLINCK, H.; CARBAUGH-RUTLAND, A.; MATHIS, C.; MORZILLO, A.; GARCIA, T.** 2017. Calling at the highway: The spatiotemporal constraint of road noise on Pacific chorus frog communication. *Ecology and Evolution* 7 (1):429-440.
- NUÑEZ, J.; RABANAL, F.; FORMAS, J.** 2012. Description of a new species of *Eupsophus* (*Amphibia: Neobatrachia*) from the Valdivian Coastal range, Southern Chile: an integrative taxonomic approach. *Zootaxa* 3305:53-68.
- OPAZO, D.; VELÁSQUEZ, N.; VELOSO, A.; PENNA, M.** 2009. Frequency-Modulated Vocalizations of *Eupsophus queulensis* (*Anura: Cycloramphidae*). *Journal of Herpetology* 43(4):657-664.

- PARK, K.; CHOE, J.** 1998. Plasticity of mating calls in *Hyla japonica* (*Amphibia: Hylidae*). Korean Journal of Biological Sciences 2(4):463-469.
- PARRIS, K.** 2002. More bang for your buck: the effect of caller position, habitat and chorus noise on the efficiency of calling in the spring peeper. *Ecol Model.* 156(2-3):213–224.
- PARRIS, K.; VELIK-LORD, M.; NORTH, J.** 2009. Frogs Call at a Higher Pitch in Traffic Noise. *Ecology and Society* 14(1).
- PENNA, M.; CONTRERAS, S.; VELOSO, A.** 1983. Acoustical repertoires and morphological differences in the ear of two *Alsodes* species (*Amphibia: Leptodactylidae*). *Can. J. Zool.* 61:2369-2376.
- PENNA, M.; DÍAZ-PÁEZ, H.** 2008. Comunicación acústica en anfibios. **In:** Vidal, M.; Labra, A. *Herpetología de Chile.* Science Verlag. Santiago, Chile. pp: 517-545.
- PENNA M.; POTTSTOCK, H.; VELÁSQUEZ, 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.
- PENNA, M.; SOLÍS, R.** 1998. Frog call intensities and sound propagation in the South American temperate forest region. *Behav Ecol Sociobiol* 42:371-381.
- PENNA, M.; VELOSO, A.** 1981. Acoustical signals related to reproduction in the spinulosus species group of *Bufo* (*Amphibia, Bufonidae*). *Canadian Journal of Zoology* 59(1):54-60.
- PENNA, M.; VELOSO, A.** 1987. Vocalizations by Andean Frogs of the Genus *Telmatobius* (*Leptodactylidae*). *Herpetologica* 43(2): 208-216.
- PENNA, M.; VELOSO, A.** 1990. Vocal Diversity in Frogs of the South American Temperate Forest. *Journal of Herpetology* 24(1):23-33.

- PLAZA, M.** 2012. Umbral de respuestas auditivas en sapos fosoriales del género *Eupsophus*. Memoria Título Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. 39 p.
- POMBAL, J.** 2010. O espaço acústico em uma taxocenose de anuros (*Amphibia*) do Sudeste do Brasil. Arq do Mus Nac. 68(1-2):135-144.
- PORTER, K.** 1969. Description of *Rana maslini*, a New Species of Wood Frog. Herpetologica. 25(3):212–215.
- PURGUE, A.; NARINS P.** 2000. Mechanics of the inner ear of the bullfrog (*Rana catesbeiana*): The contact membranes and the periotic canal. J Comp Physiol A 186:481-488.
- RABIN, L.; GREENE, C.** 2002. Changes to Acoustic Communication Systems in Human-Altered Environments. Journal of Comparative Psychology 116(2):137-41.
- RÖHR, D.; PATERNO, G.; CAMURUGI, F.; JUNCÁ, F.; GARDA, A.** 2016. Background noise as a selective pressure: stream-breeding anurans call at higher frequencies. Organisms Diversity & Evolution 16:269-273.
- SAENZ, D.; FITZGERALD, L.; BAUM, K.; CONNER, R.** 2006. Abiotic Correlates of Anuran Calling Phenology: The Importance of Rain, Temperature, and Season. Herpetological Monographs 20:64-82.
- SAVAGE, J.** 2002. The Amphibians and Reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas. University of Chicago Press, Chicago, Illinois. Estados Unidos e Inglaterra. 954p. **In:** AmphibiaWeb. 2010. *Tlalocohyla loquax*: Mahogany Treefrog <<https://amphibiaweb.org/species/851>> University of California, Berkeley, California, Estados Unidos. [consulta: 10-01-2023].
- SCHOFFELEN, R.; SEGENHOUT, J.; VAN DIJK, P.** 2008. Mechanics of the exceptional anuran ear. J Comp Physiol A. 194:417-428.

SCHOU, C.; LEVENGOOD, A.; POTVIN, D. 2021. Limited effects of traffic noise on behavioural responses to conspecific mating calls in the eastern sedge frog *Litoria fallax*. *Acta Ethologica* 24(3):217-226.

SENZAKI, M.; KADOYA, T.; FRANCIS, C.; ISHIYAMA, N.; NAKAMURA, F. 2018. Suffering in receivers: Negative effects of noise persist regardless of experience in female anurans. *Functional Ecology* 32(8):2054-2064.

SIMMONS, A.; NARINS, P. 2018. Effects of Anthropogenic Noise on Amphibians and Reptiles. **In:** Slabbekoorn, H.; Dooling, R.; Popper, A.; Fay, R. *Effects of Anthropogenic Noise on Animals*. Springer. Nueva York, Estados Unidos. pp: 179-208.

SLABBEKOORN, H. 2019. Noise pollution. *Current Biology* 29(19):R957-R960.

SLABBEKOORN, H., DOOLING, R.; POPPER, A. 2018. Man-Made Sounds and Animals. **In:** Slabbekoorn, H.; Dooling, R.; Popper, A.; Fay, R. *Effects of Anthropogenic Noise on Animals*. Springer. Nueva York, Estados Unidos. pp: 1-22.

SOLÍS, R.; PENNA, M. 1997. Testosterone levels and evoked vocal responses in a natural population of the frog *Batrachyla taeniata*. *Hormones and Behavior* 31(2):101-109.

STRAUGHAN, I. 1975. Analysis of the Mechanisms of Mating Call Discrimination in the Frogs *Hyla regilla* and *H. cadaverina*. *Copeia* 1975(3):415-424.

SUN, J.; NARINS, P. 2005. Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation* 121(3):419-427.

TÁRANO, Z. 2010. Advertisement calls and calling habits of frogs from a flooded savanna of Venezuela. *South American Journal of Herpetology* 5(3):221-240.

TENNESSEN, J.; PARKS, S.; LANGKILDE, T. 2014. Traffic noise causes physiological stress and impairs breeding migration behaviour in frogs. *Conservation Physiology* 2(1).

TENNESSEN, J.; PARKS, S.; SWIERK, L.; REINERT, L.; HOLDEN, W.; ROLLINS-SMITH, L.; WALSH, K.; WALSH, K.; LANGKILDE, T. 2018. Frogs adapt to

physiologically costly anthropogenic noise. Proceedings B by Royal Society 285 (1891):20182194.

TROÏANOWSKI, M.; CONDETTE, C.; MONDY, N.; DUMET, A.; LENGAGNE, T. 2015. Traffic noise affects colouration but not calls in the European treefrog (*Hyla arborea*). Behaviour 152(6): 821-836.

TROÏANOWSKI, M.; MONDY, N.; DUMET, A.; ARCANJO, C.; LENGAGNE, T. 2017. Effects of traffic noise on tree frog stress levels, immunity, and color signaling. Conservation Biology 31(5):1132-1140.

UNITED NATIONS. 2019. World Population Prospects 2019. [en línea]. <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Volume-II-Demographic-Profiles.pdf> [consulta: 20-10-2021].

VAN RENTERGHEM, T; BOTTELDOOREN, D VERHEYEN, K. 2012. Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. Journal of Sound and Vibration 331(10):2404-2425.

VARELA-SOTO, D.; ABARCA, J.; BRENES-MORA, E.; ASPINALL, V.; LEENDERS, T.; SHEPACK, A. 2022. A new species of brilliant green frog of the genus *Tlalocohyla* (*Anura, Hylidae*) hiding between two volcanoes of northern Costa Rica. Zootaxa 5178(6):501–531.

VARGAS-SALINAS, F.; AMÉZQUITA, A. 2013. Traffic noise correlates with calling time but not spatial distribution in the threatened poison frog *Andinobates bombetes*. Behaviour 150(6):569-584.

VARGAS-SALINAS, F.; CUNNINGTON, G.; AMÉZQUITA, A.; FAHRIG, L. 2014. Does traffic noise alter calling time in frogs and toads? A case study of anurans in Eastern Ontario, Canada. Urban Ecosystems 17(4):945-953.

WAGNER, W.; SULLIVAN, B. 1995. Sexual selection in the Gulf Coast toad, *Bufo valliceps*: female choice based on variable characters. Anim. Behav. 49(2):305-319.

- WANG, Y.; HSIAO, Y.; LEE, K.; TSENG, H.; LIN, Y.; KOMAKI, S.; LIN, S.** 2017. Acoustic differentiation and behavioral response reveals cryptic species within *Buergeria* treefrogs (*Anura, Rhacophoridae*) from Taiwan. PloS one, 12(9):e0184005.
- WATSON, G.; GERHARDT, C.** 1997. The breeding biology and advertisement call of *Litoria splendida* Tyler, Davies and Martin. Trans. R. Soc. S. Aust. 121(3):119-124.
- WELLS, K.; SCHWARTZ, J.** 1984. Vocal Communication in a Neotropical Treefrog, *Hyla ebraccata*: Aggressive Calls. Behaviour 91(1/3):128-145.
- WILCZYNSKI, W.; ZAKON, H.; BRENOWITZ, E.** 1984. Acoustic communication in spring peepers: Call characteristics and neurophysiological aspects. Journal of Comparative Physiology A 155:577-584.
- YANG, W.; HE, J.; HE, C.; CAI, M.** 2020. Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps. Transportation Research Part D: Transport and Environment 87:102516.
- YI, Y.; SHERIDAN, J.** 2019. Effects of traffic noise on vocalisations of the rhacophorid tree frog *Kurixalus chaseni* (*Anura: Rhacophoridae*) in Borneo. RAFFLES Bulletin of Zoology 67:77-82.
- YU, X.; LEWIS, E.; FELD, D.** 1991. Seismic and auditory tuning curves from bullfrog saccular and amphibian papular axons. J Comp Physiol A 169:241–248.
- ZAFFARONI, V.; BOTH, C.; CECHIN, S.; ANTUNES, R.; BORGES-MARTINS, M.** 2017. Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. PLOS ONE 12(8):e0183342.
- ZHAO, L.; SUN, X.; CHEN, Q.; YANG, Y.; WANG, J.; RAN, J.; BRAUTH, D.; TANG, Y.; CUI, J.** 2018. Males increase call frequency, not intensity, in response to noise, revealing no Lombard effect in the little torrent frog. Ecology and Evolution 8(23):11733-11741.

ZHAO, L.; WANG, T.; GUO, R.; ZHAI, X.; ZHOU, L.; CUI, J.; WANG, J. 2021. Differential effect of aircraft noise on the spectral-temporal acoustic characteristics of frog species. *Animal Behaviour* 182:9-18.

ZHI YI, Y.; SHERIDAN, J. 2019. Effects of traffic noise on vocalisations of the rhacophorid tree frog *Kurixalus chaseni* (Anura: Rhacophoridae) in Borneo. *Raffles Bulletin of Zoology* 67:77-82.

ANEXOS

Tabla 1. Artículos seleccionados para el desarrollo de la revisión sistemática.

| Referencia | Especie | Sexo | Manejo | Características del ruido | Origen del ruido | Tipo de impacto |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Sun y Narins, 2005 | <i>Rana taipehensis</i> , <i>Microhyla butleri</i> , <i>Rana miopus</i> , <i>Rana nigrovittata</i> y <i>Kaloula pulchra</i> | Macho | In situ | Motocicleta: alta intensidad y baja frecuencia (29,7 s). El ruido del motor de la motocicleta se compone de una serie de clics de banda ancha, cada uno de los cuales abarca un rango de frecuencia entre 0 y 7 kHz. La energía dominante en este estímulo estaba por debajo de 500 Hz | Avión y motocicleta | Conductual (vocalización) |
| Bee y Swanson, 2007 | <i>Hyla chrysoscelis</i> | Hembra | Ex situ | Ruido de tráfico creado en software a partir de grabaciones realizadas en dos humedales ubicados adyacentes a una autopista, con flujo de 140776 y 68589 vehículos. Ajustaron los niveles de ruido (LCs) en bandas de 1/3 de octava con frecuencias centrales entre 0.125 y 20 kHz. El nivel general del enmascarador de tráfico en el sitio de liberación de la hembra fue de 70 dB SPL (LC eq). | Tráfico vehicular y coro | Conductual (enmascaramiento de las señales vocales) |
| Nelson <i>et al.</i> , 2017 | <i>Pseudacris regilla</i> | Macho | In situ | Los sitios cercanos a carreteras transitadas (<1 km) promediaron 52,27 dB durante las horas de 4 a 5 pm todos los días, mientras que los sitios más alejados de carreteras transitadas (>1 km) promediaron 37,48 dB durante esas horas | Tráfico vehicular | Conductual (enmascaramiento de las señales vocales) |
| Gutiérrez-Vannucchi <i>et al.</i> , 2019 | <i>Hyalinobatrachium fleischmanni</i> | Macho | In situ | El estudio se realizó en tres sitios dentro de un campus universitario. Sitio Económicas: más cercano a la carretera de mayor tránsito y la entrada principal del campus universitario; presenta mayor nivel de ruido promedio. Sitio Bosquecito, en el interior de la reserva ecológica y al centro del campus, y cuenta con acceso restringido de personas. Sitio Música, ubicado al extremo noreste del campus, y posee menor número de autos transitando cerca. Los sitios de Música y Bosquecito presentaron un nivel de ruido similar. | Ruido urbano ambiental (campus universitario) | Conductual (vocalización) |
| Grenat <i>et al.</i> , 2019 | <i>Odontophrynus americanus</i> | Macho | In situ | Los niveles de ruido de tráfico oscilaban entre 45,3 y 79,8 dB y la frecuencia media de ruido fue de 978,13 ($\pm 25,78$ Hz). El tráfico medio diario anual es superior a 6000 vehículos, llegando a 12500. | Tráfico vehicular y coro | Conductual (vocalización) |
| Zhao <i>et al.</i> , 2021 | <i>Polypedates megacephalus</i> , <i>Occidozyga lima</i> , <i>Hylarana guentheri</i> y <i>Microhyla fissipes</i> | Macho | In situ | La energía del ruido de los aviones disminuye con su frecuencia. En promedio, un avión despegó cada 280 s durante los períodos de registro y medición. Cuando los aviones sobrevolaron el pantano, se observó un aumento en la amplitud del ruido, que a menudo duraba aproximadamente 30 s. El ruido máximo era de unos 83 dB cuando los aviones sobrevolaban el sitio de investigación. El SPL del ruido de las aeronaves es de 82,8 dB si se resta el SPL del canto de la rana del SPL total | Avión | Conductual (vocalización) |

| | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| Jiménez-Vargas y Vargas-Salinas, 2021 | <i>Andinobates bombetes</i> | Macho | In situ | El ruido antropogénico utilizado en los experimentos de reproducción fue obtenido a partir de grabaciones realizadas al costado de una vía principal, la cual tiene un nivel de tránsito vehicular entre 190 y 420 vehículos/hora, de los cuales 90 a 150 son camiones. Los experimentos se realizaron con una reproducción de ruido a una intensidad entre 74 y 87 dB SPL. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Vargas-Salinas et al., 2014 | <i>Anaxyrus americanus</i> , <i>Hyla versicolor</i> , <i>Lithobates clamitans</i> y <i>Lithobates catesbeianus</i> | Macho | In situ | La densidad de tráfico en la Carretera 401 es de ~18300 vehículos/día. En los sitios de muestreo, el tráfico representó la fuente más importante de ruido antropogénico, donde la intensidad media de este fue de 73 dB SPL. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Lukanov y Naumov, 2019 | <i>Hyla arborea</i> | Macho | In situ | Los niveles de ruido ambiental fueron de 41 a 76 dB en el sitio 1 ("ruidoso") y por debajo de 30 dB en el sitio 2 ("silencioso"). El espectro de ruido desde la estación compresora cubrió el rango de 97-1776 Hz. | Estación compresora de gas | Conductual (vocalización) |
| Leon et al., 2019 | <i>Scinax nasicus</i> | Macho | In situ | La amplitud del ruido de fondo en el sitio A (control) fue de 34.81 y en el sitio B (ruidoso) de 68.02 dB. La frecuencia fundamental en el sitio A fue de 6,28 kHz mientras que en el sitio B de 4,15 kHz. En el sitio B, el tránsito vehicular promedio diario osciló entre 9500 y 10000 vehículos a una velocidad promedio de 110 km | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Kaiser et al., 2015 | <i>Litoria caerulea</i> | Macho | Ex situ | Para las reproducciones experimentales se utilizaron 10 grabaciones, cada una de 3 min de duración, de diferentes automóviles con una energía de hasta 7 kHz. Todas las reproducciones se emitieron a 70 dB SPL a 1 m durante 12 h por 7 noches consecutivas | Tráfico vehicular y coro | Fisiológico (endocrino) |
| Zaffaroni et al., 2017 | <i>Boana bischoffi</i> y <i>Boana leptolineata</i> | Macho | In situ | Las grabaciones utilizadas para los estímulos presentaron un rango de frecuencias desde cerca de 0 Hz hasta aproximadamente 15 kHz, con mayor intensidad en las frecuencias más bajas (hasta 3 kHz) y frecuencia dominante en 1125 Hz (dB). La edición de sonido incluyó la selección de 3min de ruido de tráfico, calibración de intensidad (dB) para cada tratamiento elegido y la inclusión de un período de silencio al principio y al final de cada reproducción de sonido. Los estímulos sonoros se dividieron en dos intensidades diferentes de ruido de tráfico: 65dB (tratamiento N1) y 75dB (tratamiento N2), que representa la intensidad media del ruido medida a 100m y 50m del borde de la vía de tráfico, respectivamente. | Tráfico vehicular | Conductual (locomoción y vocalización) |
| Lukanov et al., 2014 | <i>Pelophylax ridibundus</i> | Macho y hembra | In situ y Ex situ | En laboratorio se utilizaron grabaciones reales de ruido de tráfico y fueron calibradas a 50 y 70 dB. Los niveles de ruido de tráfico en el área de estudio in situ oscilaron entre 45 y 80 dB | Tráfico vehicular | Conductual (locomoción y vocalización) |
| Troianowski et al., 2017 | <i>Hyla arborea</i> | Macho | Ex situ | En todos los grupos se utilizaron grabaciones de coros de <i>H. arborea</i> a $78 \pm 1,4$ dB SPL desde las 20:30 hasta las 22:30. El grupo experimental estuvo expuesto a ruido de tráfico las 24 horas del día a $76 \pm 1,8$ dB, grabado desde una carretera en la ciudad de Lyon, con un tráfico de 40.000 vehículos por día (3500 por hora). | Tráfico vehicular | Fisiológico (endocrino y coloración) |

| | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| Zhi Yi y Sheridan, 2019 | <i>Kurixalus chaseni</i> | Macho | In situ | Se utilizó una grabación de tráfico vehicular con una duración de 3 minutos, obtenida a 3 metros de una carretera (Clementi Road). La frecuencia dominante media fue de 785,1 Hz. Los estímulos sonoros fueron reproducidos a dos intensidades diferentes: 64,1 dB SPL y 78,1 dB SPL. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Grace y Noss, 2017 | <i>Anaxyrus quercicus</i> | Macho | In situ | Se realizaron 9 grabaciones de autos que viajaban en una carretera (Carretera Estatal 50) entre ~97–113 km/h. Estas grabaciones se combinaron digitalmente para crear un archivo de sonido en bucle que reprodujo 1120 eventos de paso de vehículos por hora sin reproducción aleatoria. En un momento dado, cada sitio recibió uno de tres tratamientos de ruido de tráfico: (1) control (sin ruido), (2) tráfico y (3) no enmascaramiento. El tratamiento del tráfico se reprodujo a 65–70 dB medidos a 5 m del altavoz. El ruido sin enmascaramiento también se reprodujo a 65–70 dB, filtrando digitalmente el ruido con el resultado de que la amplitud de la señal se concentró en frecuencias por debajo de 2 kHz. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) y ecológico (abundancia de especies) |
| Tennessee et al., 2018 | <i>Rana sylvatica</i> | Renacuajos | Ex situ | Se recolectaron 61 masas de huevos de <i>Rana sylvatica</i> desde nueve estanques. Cuatro estanques de "ruido de tráfico heredado" se ubicaron a 25–95 m de las carreteras (SPL 64-70 dB) y cinco estanques 'tranquilos' estaban en sitios ubicados a 1190–5315 m de la carretera principal más cercana (SPL 51-58 dB). En el experimento, el estímulo de ruido de tráfico contenía un control silencioso con la adición de ruido de tráfico. El nivel de la fuente de la señal de ruido de tráfico era de 75 dB para el ruido de tráfico diurno y de 65 dB para el ruido de tráfico nocturno. El nivel de la fuente para el control silencioso fue de 57 dB. | Tráfico vehicular | Fisiológico (endocrino) |
| Parris et al., 2009 | <i>Litoria ewingii</i> y <i>Crinia signifera</i> | Macho | In situ | Los niveles estimados de ruido de tráfico en los sitios de estudio oscilaron entre 47,6 y 77,0 dB(A) SPL en sitios con <i>L. ewingii</i> y 43,3 a 79,3 dB(A) SPL en sitios con <i>C. signifera</i> . Los 12 sitios en los que se midió el tamaño corporal de <i>L. ewingii</i> tenían niveles de ruido de tráfico que oscilaban entre 47,6 y 68,1 dB(A) SPL. Los sitios más silenciosos se ubicaron lejos de carreteras transitadas en zonas rurales, mientras que el sitio más ruidoso se ubicó a 40 m de la Autopista del Este en Melbourne, una autovía de ocho carriles que transporta 130.000 vehículos por día. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Herrera-Montes y Mitchell, 2011 | Evalúa abundancia de especies | No indicado | In situ | Las zonas de muestreo se ubicaron en dos tipos de hábitat: bosque kárstico y bosque de tierras bajas. Se seleccionaron 10 grandes áreas de bosque (>5 ha, >500 m de largo y >100 m de ancho) dentro de cada tipo de hábitat, adyacentes a las principales carreteras. En cada sitio se muestrearon dos áreas, una zona cercana a la carretera (<100 m), con altos niveles de ruido antropogénico (>60 dB); y otro sitio a por lo menos 400 m de la carretera con bajos niveles de ruido antropogénico (<60 dB). Las mediciones se realizaron entre las 8:00 y las 11:00 am. | Tráfico vehicular | Ecológico (abundancia de especies) |
| Schou et al., 2021 | <i>Litoria fallax</i> | Macho y hembra | In situ | Las llamadas grabadas de <i>L. fallax</i> alcanzaron un promedio de 70 dB y el ruido de tráfico (grabado de un parque en Melbourne, Australia) promedió alrededor de 60 dB. Las fuentes externas de ruido (campus universitario) se midieron en 20-30 dB. | Tráfico vehicular | Conductual (fonotaxis) |

| | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|
| Cunnington y Fahrig, 2013 | <i>Hyla versicolor</i> , <i>Rana clamitans</i> y <i>Bufo americanus</i> | Hembra | In situ | Se utilizaron grabaciones de llamadas de apareamiento de un macho de cada especie, con presencia y ausencia de ruido de tráfico. Frecuencia media con y sin ruido, respectivamente <i>Hyla versicolor</i> 1957 y 1976 Hz, <i>Rana clamitans</i> 738 y 497 Hz y <i>Bufo americanus</i> 1451 y 1426 Hz. Potencia media con y sin ruido, respectivamente <i>Hyla versicolor</i> 85,3 y 78,3 dB, <i>Rana clamitans</i> 62,0 y 72,6 dB y <i>Bufo americanus</i> 81,6 y 79,2 dB. Tasa media de llamadas con y sin ruido, respectivamente <i>Hyla versicolor</i> 6,7 y 11,3, <i>Rana clamitans</i> 2,7 y 4,7 y <i>Bufo americanus</i> 1,3 y 2,0. El sitio de estudio (humedales en Ontario, Canadá) cuenta con niveles de ruido de tráfico que no superan los 50 dB. La emisión de ruido de tráfico grabado se fijó en una media de 76 dB a 5 m. | Tráfico vehicular | Conductual (fonotaxis) |
| Nakano <i>et al.</i> , 2018 | <i>Hyla japonica</i> | No indicado | Ex situ | Se utilizó una grabación de ruido de tráfico de 1 minuto de duración a una amplitud de 63 dB | Tráfico vehicular | Conductual (desplazamiento) |
| Cunnington y Fahrig, 2010 | <i>Rana clamitans</i> , <i>Rana pipiens</i> , <i>Hyla versicolor</i> y <i>Bufo americanus</i> | No indicado | In situ | Los "sitios bajos" fueron aquellos con ruido de tráfico que no superaron los 50 dB, mientras que los "sitios altos" eran aquellos con ruido de tráfico que superaba los 60 dB. La grabación de tráfico se obtuvo a partir de la Carretera 401 (Canadá), la cual tiene un tránsito promedio de 18300 vehículos/día con una amplitud media de 76 dBA. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Hanna <i>et al.</i> , 2014 | <i>Pseudacris crucifer</i> | Macho | In situ | Los niveles de ruido ambiental fueron de 51,7 dB en sitios lejanos a la carretera y de 65,8 dB en sitios cerca de la carretera. Los tratamientos de ruido experimental se emitieron a 89-90 dB. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Senzaki <i>et al.</i> , 2018 | <i>Rana pirica</i> | Hembra | Ex situ | En el área de estudio, los niveles de sonido de fondo promedio fueron de 31,32 ± 2,42 dBA en sitios tranquilos y 60,55 ± 7,96 dBA en sitios ruidosos. Se crearon dos archivos de sonido a partir de la grabación de vehículos de la Carretera Nacional 274 (Japón), los cuales contenían ruido superpuesto y no superpuesto con la vocalización de <i>Rana pirica</i> . Se grabaron las llamadas publicitarias de 6 machos (3 de sitios ruidosos y 3 de sitios tranquilos). La amplitud de los estímulos tanto del ruido como de la llamada publicitaria fue de 65 dBA. | Tráfico vehicular | Conductual (fonotaxis) |
| Kruger y Du Preez, 2016 | <i>Hyperolius pickersgilli</i> | Macho | In situ | Los SPL máximos oscilaron entre 60,0 y 69,0 dB para Mt Moreland (humedal situado junto a un aeropuerto) y entre 62,1 y 69,8 dB para Widenham (sitio no afectado por ruido de aviones). Los SPL máximos oscilaron entre 85,6 y 98,2 dB para aviones que aterrizan y entre 88,2 y 91,7 dB para aviones que despegan. | Avión | Conductual (vocalización) |
| Kaiser y Hammers, 2009 | <i>Dendropsophus triangulum</i> | Macho | In situ | El estímulo de ruido en el experimento 1 fue el sonido pregrabado del motor de una motocicleta durante 5 min a 75 dB SPL. Para el experimento 2, el estímulo fue la canción "Baila Morena" del grupo Maná a 75 dB SPL. También se utilizó una grabación de un coro de <i>D. triangulum</i> a 75 dB SPL. | Musica y motocicleta | Conductual (vocalización) |
| Castañeda <i>et al.</i> , 2020 | <i>Osteopilus septentrionalis</i> y <i>Anaxyrus terrestris</i> | Renacuajos | Ex situ | Se creó una compilación digital de paso de vehículos basado en la carretera State Road 528, la cual tiene un límite de velocidad de 113 km/h y un tráfico promedio de 1126 vehículos/h. Este audio se reprodujo creando un nivel de ruido ambiental promedio de 70 dBA. | Tráfico vehicular | Fisiológico (desarrollo de los renacuajos) |

| | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------|
| Troianowski <i>et al.</i> , 2015 | <i>Hyla arborea</i> | Macho | Ex situ | El archivo de audio del ruido de tráfico se preparó a partir de grabaciones realizadas cerca de la ciudad de Lyon (Carretera 346). Tanto para los grupos de control como para los experimentales, se transmitió ruido de coros de <i>H. arborea</i> cada noche a 80 dB para reproducir el entorno acústico natural. El grupo experimental se alojó en una habitación separada donde el ruido del tráfico se transmitió las 24 horas del día a 76 dB. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) y fisiológico (coloración) |
| Lengagne, 2008 | <i>Hyla arborea</i> | Macho | In situ | El ruido de tráfico se transmitió a 72 y 88 dB. Además, cubrió el rango de 0 a 1300 Hz, superponiendo la frecuencia fundamental de las llamadas de apareamiento <i>H. arborea</i> . El ruido de coro se emitió a una amplitud que alcanzara 74 dB de ruido de fondo promedio. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Tennessen <i>et al.</i> , 2014 | <i>Lithobates sylvaticus</i> | Hembra | In situ y Ex situ | Para crear ruido de tráfico, se realizaron grabaciones durante el periodo de mayor tráfico en la Ruta 322 (EEUU). También se recopilaron grabaciones de un coro de machos de <i>L. sylvaticus</i> . El estímulo acústico tanto del coro como del coro con ruido de tráfico se ajustó a 87 dBA. | Tráfico vehicular | Fisiológico (endocrino) y conductual (desplazamiento) |
| Vargas-Salinas y Amézquita, 2013 | <i>Andinobates bombetes</i> | Macho | In situ | El estudio se realizó en la Reserva Forestal Bosque de Yotoco, la cual está atravesada por una vía donde circulan 3000 vehículos/día, siendo el 45% de ellos camiones de carga pesada. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) y ecológico (distribución espacial) |
| Legett <i>et al.</i> , 2019 | <i>Buergeria japonica</i> | Macho | In situ | El estímulo de ruido fue creado a partir de tres grabaciones de audio de un vehículo a una velocidad de 8 s para simular flujo de tráfico nocturno. Este estímulo fue reproducido a 70-80 dB SPL. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Higham <i>et al.</i> , 2021 | <i>Litoria ewingii</i> | Macho | In situ | Las grabaciones se realizaron en la Reserva Rock Marshall (EEUU) durante periodos de 5 min a la 1 a.m., 5 a.m. y 9 p.m. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |
| Engbrecht <i>et al.</i> , 2015 | <i>Lithobates areolatus</i> | Macho | In situ | Se utilizaron tres tipos de sonidos: el sobrevuelo de un avión, llamadas reproductivas y llamadas posteriores a la reproducción de <i>Lithobates areolatus</i> . Las reproducciones duraron 2 min con un descanso de 1 a 2 min entre ellas. | Avión | Conductual (vocalización) |
| Kaiser <i>et al.</i> , 2011 | <i>Agalychnis callidryas</i> , <i>Agalychnis moreletii</i> , <i>Dendropsophus ebraccatus</i> , <i>Dendropsophus microcephalus</i> , <i>Incilius valliceps</i> , <i>Tlalocohyla loquax</i> y <i>Tlalocohyla picta</i> | Macho | In situ | Se seleccionaron 10 grabaciones de 3 min de diferentes automóviles con una energía que alcanzaba al menos 7 kHz. Para la especie focal (<i>D. microcephalus</i>), se realizaron experimentos con ruido antropogénico a 70 y 90 dB SPL. Para las demás especies, las amplitudes de los estímulos se calibraron a 90 dB SPL, excepto para <i>A. moreletii</i> , donde se emitieron estímulos a 70 dB. En los estanques de <i>D. microcephalus</i> , el ruido vehicular durante el día fue inferior a 50 dB y durante la noche estaba sobre 60 dB y estímulo de ruido de motor se transmitió a 90 dB SPL. | Tráfico vehicular | Conductual (vocalización) |

Tabla 2. Principales resultados de las investigaciones recopiladas y analizadas en esta revisión.

| Referencia | Resultados |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sun y Narins, 2005 | <p>Avión: <i>R. taipehensis</i> aumentó la tasa de llamadas durante los sobrevuelos en comparación con los períodos anteriores o posteriores a estos. <i>M. butleri</i> y <i>Rana nigrovittata</i> llamaron a tasas más bajas durante los sobrevuelos de aviones que en los períodos anteriores o posteriores.</p> <p>Motocicleta: <i>R. taipehensis</i> aumentó significativamente su tasa de llamadas en el período posterior al estímulo en comparación con el período previo a este. <i>M. butleri</i>, <i>Rana miopus</i> y <i>R. nigrovittata</i> disminuyeron su tasa de llamadas durante el estímulo en comparación con el periodo anterior o posterior a este.</p> <p>Repertorio vocal: Durante los sobrevuelos de aviones, <i>R. taipehensis</i> produjo casi exclusivamente una serie de llamadas rápidas y de baja intensidad similares a chirridos. Los machos <i>R. taipehensis</i> aumentan su tasa de llamadas cuando detectan una caída en el nivel de sonido durante la reducción de llamadas heteroespecíficas. Sin embargo, no aumentaron su tasa de llamadas durante la reproducción de baja frecuencia, sino más bien después de la transmisión del estímulo de baja frecuencia.</p> <p><i>Kaloula pulchra</i> redujo significativamente su tasa de llamadas durante la reproducción de la motocicleta, de modo que cuando terminó, hubo una pequeña pausa en el ruido de fondo antes de que estas ranas aumentaran la tasa de llamadas a los niveles previos al estímulo. Al colocar sus llamadas en el intervalo relativamente tranquilo que sigue a la reproducción de la motocicleta, <i>R. taipehensis</i> aumentó la probabilidad de que su llamada sea detectada.</p> |
| Bee y Swanson, 2007 | <p>En presencia de ruido de tráfico, las hembras mostraron latencia de respuesta más prolongadas, umbrales de respuesta aumentados y menor orientación hacia la señal objetivo. Por lo tanto, el ruido de tráfico artificial pudo enmascarar la percepción de una hembra de las llamadas de apareamiento de los machos.</p> |
| Nelson <i>et al.</i> , 2017 | <p>Con el aumento de los niveles de ruido de la carretera, no hubieron cambios en los niveles de origen ni en la duración de la llamada y la frecuencia dominante se redujo ligeramente. No encontraron un alargamiento de la duración ni un aumento en la amplitud de la llamada. Las ranas en estanques ruidosos no vocalizan de manera diferente a las ranas en estanques silenciosos de una manera biológicamente significativa. La comunicación espaciotemporal se redujo drásticamente en sitios con niveles de ruido relativamente altos. Cuando se modela frente al ruido de la carretera y la temperatura, el radio del hemisferio de comunicación espaciotemporal se reduce en 0,498 m por cada aumento de 1 dB, lo que conduce a una reducción en el volumen de 1,04 m³ por aumento de 1 dB. Por lo tanto, el enmascaramiento de las llamadas publicitarias por el ruido de la carretera en esta especie afecta significativamente el espacio de comunicación.</p> |
| Gutiérrez-Vannucchi <i>et al.</i> , 2019 | <p>Tanto el ruido como la actividad vocal de <i>H. fleischmanni</i> variaron a lo largo de la noche, aunque no hubo una relación entre la cantidad de ruido y la actividad vocal de la especie en ninguno de los tres sitios de estudio. La mayor actividad vocal fue en Bosquecito, mientras que Música y Económicas presentaron un nivel de actividad vocal menor y similar entre ellos. El nivel de actividad vocal general también varió a lo largo del periodo de muestreo, presentando los valores mayores de actividad vocal entre las 20:00 y 21:00 h y el menor a las 17:00 h. No hubo interacción entre las horas y la actividad vocal por sitio, aunque la mayor cantidad de vocalizaciones promedio para Bosquecito y Música fue a las 21:00 y para Económicas a las 18:00. No se encontró una correlación entre la cantidad de ruido en cada sitio por hora y la actividad vocal de las ranas.</p> |
| Grenat <i>et al.</i> , 2019 | <p>Los machos modifican sus cantos en situaciones ruidosas y existe una variación diferencial de las propiedades acústicas en función del tipo de ruido de fondo al que están sujetos. Además, la combinación de tráfico y ruido de coro conoespecífico parece tener un mayor efecto en las llamadas de los individuos, lo que implica potencialmente un ajuste de las propiedades acústicas hacia valores más extremos. La respuesta de los machos en presencia de coros conoespecíficos y/o ruido de tráfico siempre fue aumentar la frecuencia dominante de sus llamadas. En comparación con los individuos que vocalizan en sitios sin perturbaciones acústicas, los individuos expuestos a escenarios de ruido aumentaron su frecuencia dominante en promedio alrededor de un 13 %, en presencia de ruido de coro y un 20 % (con picos de frecuencia máximos superiores al 30 %) en una combinación de ambos (ruido antropogénico y biótico). Además de los cambios de frecuencia observados, los rasgos temporales de llamada de <i>O. americanus</i> mostraron una variación diferencial en ambientes ruidosos. Analizando las propiedades temporales, aunque la duración de la llamada permaneció sin cambios, los machos de <i>O. americanus</i> disminuyeron el intervalo entre llamadas en presencia de coro o ruido de tráfico. Sin embargo, cuando se combinaron ambos efectos, aumentaron sus intervalos entre llamadas. En el análisis de la estructura fina temporal, se observó un efecto inverso de las situaciones de coro en la frecuencia de pulso de los machos sin ruido de tráfico en comparación con los que cantan en condiciones con ruido de tráfico. Los llamadores de sitios sin ruido de tráfico aumentan la frecuencia de pulso en presencia de coro, lo que podría considerarse una respuesta normal de la especie en esta situación de ruido. Sin embargo, los valores de frecuencia de pulso encontrados en la condición ruido de tráfico + coro, muestran que la respuesta masculina podría ser completamente opuesta en escenarios con ruido de tráfico. Bajo un efecto combinado de coros conoespecíficos y ruido de tráfico, los individuos tienen valores bajos de frecuencia de pulso, divergiendo de los valores promedio reportados para la especie</p> |

| | |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zhao <i>et al.</i> , 2021 | Las características temporales acústicas se vieron afectadas el ruido de aeronaves en las especies de baja frecuencia y amplitud (<i>Polypedates megacephalus</i>), las especies de baja frecuencia y alta amplitud (<i>Hylarana guentheri</i>) y las especies de alta frecuencia y amplitud (<i>Microhyla fissipes</i>), pero no en las especies de alta frecuencia y baja amplitud (<i>Occidozyga lima</i>). Las especies de baja frecuencia aumentaron su frecuencia de llamada en respuesta al ruido de los aviones. Aquellas especies que tienen una mayor superposición temporal con el ruido de los aviones redujeron significativamente su tasa de llamada o esfuerzo de llamada cuando el avión despegó. |
| Jiménez-Vargas y Vargas-Salinas, 2021 | De un total de 52 machos, 21 llamaron durante las reproducciones. 14 de esos 21 machos aumentaron su frecuencia dominante en un promedio de 130,76 Hz cuando se expusieron al ruido. Sin embargo, no aumentaron ni disminuyeron la tasa de emisión, el número de pulsos y la duración de sus llamadas. |
| Vargas-Salinas <i>et al.</i> , 2014 | No hubo una diferencia significativa entre la intensidad del ruido del tráfico durante los tiempos de canto y ausencia de canto para <i>Anaxyrus americanus</i> o <i>Hyla versicolor</i> . Por el contrario, tanto <i>Lithobates clamitans</i> como <i>Lithobates catesbeianus</i> (las dos especies con la frecuencia máxima de llamada más baja) cantaron más a menudo durante los períodos de ruido de tráfico de menor intensidad y dejaron de hacerlo cuando el ruido del tráfico fue relativamente alto. |
| Lukanov y Naumov, 2019 | Al comparar las llamadas de ambos sitios de estudio, la duración de la llamada, la duración de los pulsos y la duración del intervalo entre pulsos tuvieron una duración más corta en el sitio 1 (ruidoso) en comparación con el sitio 2 (silencioso). La frecuencia dominante fue menor en el sitio 1 y los parámetros relacionados con la amplitud tuvieron valores más bajos en el sitio 2. |
| Leon <i>et al.</i> , 2019 | El canto de <i>Scinax nasicus</i> en el Sitio B (ruidoso) se caracterizó por menor duración (s) y número de pulsos por nota, mayor amplitud (dB) y frecuencias máximas y dominantes más altas (kHz), baja frecuencia mínima en comparación con el Sitio A. Los machos cambian su estructura vocal en estanques de ruido de tráfico, principalmente por "ajuste" vocal de sus frecuencias y amplitud para contrarrestar el efecto del enmascaramiento del ruido. |
| Kaiser <i>et al.</i> , 2015 | Las ranas a las que se les presentó ruido antropogénico tenían concentraciones circulantes de corticosterona significativamente más altas y una disminución significativa del recuento y la viabilidad de los espermatozoides que las ranas control |
| Zaffaroni <i>et al.</i> , 2017 | Ambas especies cambiaron los parámetros acústicos durante o después de la exposición al ruido del tráfico. La tasa de llamadas publicitarias de <i>B. bischoffi</i> disminuyó durante el ruido de la carretera y la frecuencia dominante disminuyó con el tiempo. La duración de la llamada de <i>B. leptolineata</i> aumentó o disminuyó, dependiendo del orden de intensidad del ruido. Las especies con llamada de baja frecuencia alteraron su frecuencia dominante en el último período de tiempo, luego de haber estado expuestas a ambas intensidades de ruido durante seis minutos en total. También se observó desplazamiento espacial de machos de ambas especies, que se alejaron del ruido del tráfico experimental. |
| Lukanov <i>et al.</i> , 2014 | Experimento de laboratorio: generalmente, los individuos se movían a lo largo de las paredes y evitaban el espacio abierto en el centro de la jaula de vidrio. Se encontraron diferencias significativas entre el control y el período de ruido en relación con la distancia recorrida. Lo mismo sucedió con el número de saltos y escaladas, pero no con el número de caminatas. Los dos tratamientos de ruido no demostraron diferencias significativas entre sí. Todos los animales disminuyeron su actividad de locomoción cuando fueron sometidos a ruido antropogénico, pero no hubo una diferencia significativa entre los dos períodos de ruido. El mayor número de saltos y escaladas fue durante el período de control, mientras que el mayor número de caminatas fue durante el período de ruido de 50 dB. Experimento de campo: Se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las características de llamada de los individuos de sitios "silenciosos" y sitios "ruidosos". En general, las llamadas de animales en sitios más ruidosos tenían menor energía, frecuencia y amplitud. Hubo una disminución promedio en la frecuencia dominante de llamada de 349 Hz. Las amplitudes relativas de los armónicos también fueron menores en las llamadas desde los sitios silenciosos, con diferencia promedio de 4,42 dB. |
| Troianowski <i>et al.</i> , 2017 | Nivel de corticosterona: al final del experimento, el grupo E (expuesto a ruido de tráfico) tenía niveles de estrés (corticosterona) más altos, mientras que no hubo cambios significativos en los niveles de corticosterona de los grupos C (control) y S (suplementados con corticosterona). Prueba de hinchazón de fitohemaglutinina (PHA): se observó una hinchazón significativa en las extremidades para los tres grupos. No obstante, tanto la exposición al ruido de tráfico como la suplementación con corticosterona redujeron la intensidad de la respuesta inmunitaria en comparación con el grupo control. Los machos de los grupos E y S mostraron una capacidad de respuesta inmunológica significativamente menor que la de los machos C. Coloración del saco vocal: el brillo del saco vocal de los machos expuestos al ruido de tráfico o suplementados con corticosterona aumentó en comparación con el saco vocal de los machos control. El saco vocal de los individuos de los grupos E y S se volvió significativamente más pálido. |

| | |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zhi Yi y Sheridan, 2019 | <p>Tratamiento a 64,1 dB SPL: no se encontraron efectos significativos del ruido del tráfico en las llamadas de apareamiento ni territoriales. Tampoco se detectaron impactos del ruido de tráfico en la frecuencia dominante media ni en la amplitud relativa media de las llamadas territoriales.</p> <p>Tratamiento a 78,1 dB SPL: no se encontraron efectos significativos del ruido del tráfico en las llamadas de apareamiento ni territoriales o en la frecuencia dominante media. Sin embargo, este tratamiento tuvo un efecto significativo en la amplitud relativa media de las llamadas territoriales, con un aumento de 2.45-3.01 dB en la amplitud relativa media durante el estímulo en comparación al periodo previo al estímulo.</p> |
| Grace y Noss, 2017 | <p>Se identificaron 16 especies de anuros en total, con una media de 3,89 especies/sitio/noche. El ruido de tráfico afectó significativamente la abundancia total de anuros, con menos individuos observados en el tratamiento de ruido de tráfico. Se registraron en promedio 5,44 individuos/sitio/noche. La abundancia general fue significativamente menor en el tratamiento con ruido de tráfico que en el tratamiento de control, pero el tratamiento sin enmascaramiento no fue significativamente diferente del control. La duración de la llamada de <i>Anaxyrus quercicus</i> fue en promedio 1,53 segundos mayor en el tratamiento de tráfico que en el tratamiento de control, pero no hubo una diferencia significativa entre el tratamiento de control y el de no enmascaramiento. Hubo una tendencia a que la cantidad de notas por llamada fuera mayor (1,30 notas más) en el tratamiento de tráfico que en el tratamiento de control y no hubo una diferencia significativa en la cantidad de llamadas (notas/s) entre tratamientos.</p> |
| Tennesen <i>et al.</i> , 2018 | <p>Se encontraron diferencias en la capacidad de respuesta de CORT de las ranas al ruido del tráfico en función del estado del ruido del tráfico de su estanque de origen. Las ranas de los sitios silenciosos exhibieron una respuesta CORT aún después de 8 días de exposición continua al ruido y experimentaron una ganancia de masa menor en comparación con las ranas expuestas al control silencioso. La exposición continua al ruido del tráfico durante 8 días dio como resultado que menos ranas de bosque expresaran niveles detectables de péptidos de la familia brevinina-1 y temporina-1. Las ranas produjeron números relativos significativamente mayores de monocitos cuando se expusieron a entornos acústicos que diferían de aquellos en los que evolucionaron sus poblaciones.</p> |
| Parris <i>et al.</i> , 2009 | <p>Efecto del ruido del tráfico en la frecuencia de las llamadas: Los machos de <i>Litoria ewingii</i> cantan en un tono más alto en sitios con niveles más altos de ruido de tráfico, con un aumento promedio en la frecuencia dominante de 4,1 Hz/dB de ruido del tráfico y un tamaño del efecto total de 123 Hz. También se predijo que la frecuencia más baja de la llamada publicitaria de <i>Crinia signifera</i> aumentaría con el ruido del tráfico, pero en menor medida: 1,5 Hz/dB de ruido del tráfico. Sin embargo, dados los amplios intervalos de confianza en torno a esta predicción, el efecto del ruido del tráfico en la frecuencia más baja de las llamadas de <i>C. signifera</i> es muy incierto y se requieren más datos para aclarar la relación.</p> <p>Efecto de la temperatura en la frecuencia de las llamadas: <i>L. ewingii</i> cantó en un tono más alto en condiciones más cálidas, con un aumento previsto en la frecuencia dominante de su canto publicitario de 21,5 Hz/°C de temperatura. También se predijo que las frecuencias superior e inferior de la llamada publicitaria de <i>C. signifera</i> aumentarían con la temperatura, pero el efecto era menos seguro. El modelo de regresión estimó un aumento de 10,3 Hz/°C de la temperatura del agua para la frecuencia más baja y 17,3 Hz/°C para la frecuencia superior. En cuanto a efecto del ruido del tráfico en la frecuencia de llamada en <i>C. signifera</i>, el efecto de la temperatura debe aclararse con datos adicionales.</p> <p>La distancia activa de la llamada de <i>Litoria ewingii</i> en el ruido: Se predijo que la distancia activa de la llamada aumentaría aproximadamente un 24%, de 19,2 a 23,8 m, en el nivel máximo de ruido de tráfico observado durante el estudio (77 dB SPL). Esto se debe a una disminución de aproximadamente 1,4 dB en el nivel de presión sonora del ruido del tráfico al subir el espectro de frecuencia de 2461 a 2584 Hz, lo que da como resultado un enmascaramiento menos eficaz de la llamada de frecuencia más alta.</p> |
| Herrera-Montes y Mitchell, 2011 | <p>Riqueza y presencia de especies: en los sitios de bosque kársticos se detectaron 5 especies de anuros y 13 especies de aves. En los sitios de bosque de tierras bajas se detectaron 6 especies de anuros y 17 especies de aves. La riqueza de especies de anuros fue similar entre sitios cercanos y lejanos de carreteras en ambos tipos de hábitat, pero la riqueza de especies de aves fue mayor en los sitios lejos de la carretera. Los análisis de regresión múltiple mostraron que la riqueza de especies de anfibios no se vio afectada por el ruido, la distancia al borde o las variables del hábitat. Tres especies de anfibios (<i>Eleutherodactylus antillensis</i>, <i>E. coqui</i> y <i>E. cochranae</i>) ocurrieron en todos los sitios y tuvieron una alta ocurrencia de especies (por encima de 0.6). <i>E. bretoni</i> estuvo presente en todos los sitios, pero ocurrió en menor cantidad de especies. <i>Leptodactylus albilabris</i> y <i>Lithobates gryllio</i> tienen llamadas de baja frecuencia (<3 kHz) y fueron detectadas solo en sitios alejados de la carretera.</p> |
| Schou <i>et al.</i> , 2021 | <p>De un total de 46 ranas, se distinguieron 30 hembras y 16 machos. En los 92 ensayos, 57 dieron como resultado una selección válida y 35 no dieron como resultado ninguna respuesta. Se encontró que las ranas no eran más o menos propensas a elegir llamadas atractivas (mayor frecuencia y tasa de llamadas), poco atractivas o no hacer ninguna selección bajo diferentes tratamientos de ruido. Además, no se encontraron diferencias entre las respuestas de fonotaxis de las ranas macho y hembra (saltando o girando) cuando no se incluyeron opciones, a diferentes llamadas en diferentes condiciones de ruido. En general, las llamadas poco atractivas se seleccionaron con mayor frecuencia en el tratamiento con ruido: este patrón fue impulsado por las hembras, mientras que los machos en el tratamiento con ruido seleccionaron llamadas poco atractivas con mucha menos frecuencia.</p> |

| | |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cunnington y Fahrig, 2013 | Se capturaron ejemplares de <i>Hyla versicolor</i> en 22 de 48 trampas, <i>Rana clamitans</i> en 20 de 48 trampas y <i>Bufo americanus</i> en 13 de 32 trampas. La probabilidad de captura de hembras de <i>Hyla versicolor</i> y <i>Rana clamitans</i> fue menor cuando se transmitió el canto de apareamiento realizado en ausencia de ruido de tráfico en los sitios donde se emitió ruido de tráfico que en los otros tres tratamientos. En ausencia de ruido de tráfico, las llamadas alteradas de <i>Hyla versicolor</i> y <i>Rana clamitans</i> atrajeron a tantas hembras como sus llamadas inalteradas. No hubo efecto del tratamiento sobre la probabilidad de captura de <i>Bufo americanus</i> . Los resultados indican que, en las especies estudiadas, la alteración de las llamadas en respuesta al ruido de tráfico no afecta la atracción de las hembras por ellas. |
| Nakano <i>et al.</i> , 2018 | La distancia de movimiento fue de $4,2 \pm 6,0$ m en el césped con dosel, $7,0 \pm 6,0$ m en el césped abierto y $6,8 \pm 7,6$ m en la tierra desnuda. Los efectos del ruido en los movimientos de las ranas variaron entre las cubiertas terrestres: el movimiento se impedía en la tierra desnuda y no se veía afectado en los céspedes con y sin dosel cerrado. |
| Cunnington y Fahrig, 2010 | El ruido medio del tráfico fue de 43,8 dBA en "sitios bajos" y 73,2 dBA en "sitios altos". Las características espectrales de las vocalizaciones producidas en sitios tranquilos por <i>Rana clamitans</i> y <i>Rana pipiens</i> se superpusieron al espectro del ruido del tráfico, mientras que las vocalizaciones producidas por <i>Hyla versicolor</i> y <i>Bufo americanus</i> no lo hicieron. Vocalizaciones en sitios con mucho y poco tráfico: Las tasas de llamadas de las vocalizaciones de <i>R. clamitans</i> , <i>H. versicolor</i> y <i>R. pipiens</i> fueron significativamente más bajas en los "sitios bajos" que en los "sitios altos". <i>R. clamitans</i> produjo vocalizaciones con una amplitud media significativamente más baja y una frecuencia dominante significativamente más alta en los "sitios altos" en comparación con los "sitios bajos". <i>R. pipiens</i> no mostró diferencias significativas en la amplitud media de sus vocalizaciones, pero sí una frecuencia dominante significativamente más alta en los "sitios altos" que en los "sitios bajos". <i>H. versicolor</i> no produjo vocalizaciones con una amplitud media o una frecuencia dominante significativamente diferentes entre los sitios bajos y altos. No se observaron diferencias significativas en ninguna de las características de vocalización de <i>B. americanus</i> entre los sitios bajos y altos. Vocalizaciones en sitios de poco tráfico antes y durante la emisión de ruido de tráfico: Las vocalizaciones de <i>R. clamitans</i> y <i>R. pipiens</i> en la emisión de ruido tuvieron tasas de llamadas y amplitudes medias significativamente más bajas que durante el periodo anterior al ruido. Tanto <i>R. clamitans</i> como <i>R. pipiens</i> produjeron vocalizaciones con frecuencias significativamente más altas durante el periodo de emisión de ruido en comparación con el muestreo sin ruido. Las tasas de llamada de <i>H. versicolor</i> durante el muestreo con ruido se redujeron significativamente en comparación con el periodo de muestreo sin ruido, pero no hubo una diferencia significativa en la amplitud media o la frecuencia dominante de sus vocalizaciones. <i>B. americanus</i> no cambió significativamente sus vocalizaciones. |
| Hanna <i>et al.</i> , 2014 | Las llamadas fueron más cortas durante el tratamiento con ruido de baja frecuencia que durante el tratamiento de alta frecuencia o el control silencioso. La duración de la llamada también estuvo significativa e inversamente relacionada con la temperatura ambiente, pero no se vio afectada por el tipo de sitio (cerca o lejos de la carretera). El tratamiento de ruido experimental anterior afectó significativamente la duración de las llamadas durante los periodos de evaluación posteriores al ruido, específicamente, las llamadas fueron más cortas durante el periodo posterior a la evaluación del ruido de baja frecuencia y el periodo de evaluación posterior al ruido de alta frecuencia. La tasa de llamadas no se vio afectada por el ruido o por el tipo de sitio, pero fue positivamente relacionada con la temperatura. La frecuencia máxima de las llamadas no se vio afectada por el ruido, la temperatura ni el sitio, pero fue significativamente más baja durante el periodo posterior al ruido de alta frecuencia. |
| Senzaki <i>et al.</i> , 2018 | La exposición a ruidos superpuestos y no superpuestos resultó en un inicio posterior del movimiento de la fonotaxis en comparación con el control de sonido silencioso, lo que sugiere distracción o efectos aversivos de ruido en lugar de enmascaramiento acústico. Los individuos del sitio silencioso iniciaron el movimiento de fonotaxis más tarde que los del sitio ruidoso en el tratamiento de ruido no superpuesto. La duración de la fonotaxis fue menor en los individuos más grandes que en los más pequeños. La precisión de la fonotaxis estuvo fuertemente influenciada por los tratamientos de ruido, ya que resultó en mayores errores angulares en la orientación. Las hembras originarias de sitios ruidosos tendían a alejarse del altavoz que transmitía ruido superpuesto. |
| Kruger y Du Preez, 2016 | Los SPL de las llamadas de los machos variaron de 74,9 a 87,5 dB en Mt Moreland y 80-87,8 dB en Widenham. Los machos expuestos a altos niveles de ruido de sobrevuelo de aviones llamaron más frecuentemente y a frecuencias dominantes significativamente más altas (3362,2 Hz) que los machos en el sitio de referencia (3200,8 Hz). En comparación con la tasa de llamadas 5 min antes del sobrevuelo del avión, llamaron un 12% más durante y un 18% más después del sobrevuelo |
| Kaiser y Hammers, 2009 | Motocicleta: Los machos de <i>D. triangulum</i> aumentaron la tasa de llamadas cuando se les presentó un estímulo de ruido de motocicleta. Cuando este estímulo fue presentado con intervalos de silencio, los machos llamaron con más frecuencia durante el ruido que durante los silencios. Música: Las tasas de llamadas en la prueba posterior a la música fueron ligeramente más altas que en la prueba previa al estímulo. La llamada cayó abruptamente al compensar el estímulo. Coro vs motocicleta: la tasa de llamadas no difirió entre el estímulo de coro natural y el de motocicleta cuando se presentan a la misma intensidad. |

| | |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Castañeda <i>et al.</i> , 2020 | La exposición al ruido de tráfico redujo significativamente la cantidad de alimento consumido por los renacuajos de <i>O. septentrionalis</i> . También aumentó el nivel de actividad de <i>A. terrestris</i> y <i>O. septentrionalis</i> en un 170% y 44,1% respectivamente. Sin embargo, estos cambios no se asociaron con cambios en la tasa de crecimiento o en el momento de la metamorfosis. |
| Troianowski <i>et al.</i> , 2015 | No hubo ajuste de las características de la llamada después de la exposición de ruido corta de 1,5 h o incluso después de una exposición más larga de 10 días. El ruido del tráfico afectó el brillo del saco vocal, que aumentó significativamente en el grupo experimental, pero no en el grupo de control. Por el contrario, el croma y el tono no cambiaron en ninguno de los grupos. |
| Lengagne, 2008 | El ruido de tráfico desencadenó una disminución de la actividad de llamadas de los machos y se vieron más afectados cuando aumentó la amplitud del ruido. Adicionalmente, la situación social de los machos (llamando en coro versus solo) ejerció una fuerte influencia en la sensibilidad al ruido. Los individuos solo se vieron afectados débilmente por la contaminación acústica cuando cantaban en una situación de coro. Además, en respuesta a la reproducción de ruido, no pudieron ajustar sus estructuras de llamadas temporales o de frecuencia. Bajo todas las condiciones experimentales, 67 de 70 machos permanecieron en el mismo lugar después de la emisión de ruido. |
| Tennessen <i>et al.</i> , 2014 | El tratamiento acústico afectó significativamente el movimiento de las hembras grávidas en el campo, donde menos hembras despejaron un área de 3 m de diámetro en su hábitat natural cuando el coro estaba ausente. En el laboratorio, las concentraciones plasmáticas de los individuos expuestos al coro + ruido de tráfico fueron cinco veces mayores que los expuestos solamente al coro. |
| Vargas-Salinas y Amézquita, 2013 | Los individuos cantaron con más frecuencia cuando el nivel de ruido de tráfico fue más bajo. La abundancia de ranas no difirió entre lugares a distancias variables de la carretera y se correlacionó con el número de plantas de bromelias, pero solo marginalmente con el nivel de ruido de tráfico. |
| Leggett <i>et al.</i> , 2019 | Los machos aumentaron significativamente su esfuerzo de llamada Tipo I (de menor frecuencia que Tipo II) en respuesta al ruido de tráfico, produciendo 5.65 ± 11.50 llamadas más/min durante las reproducciones de ruido de tráfico en comparación con el intervalo previo al ruido. Además, acortaron significativamente las llamadas de Tipo I después de las reproducciones de ruido, lo que redujo la duración de la llamada en $0,13 \pm 0,80$ s durante el periodo posterior al ruido en comparación con el intervalo anterior al ruido. En contraste con las llamadas Tipo I, redujeron significativamente el esfuerzo de llamada de las llamadas Tipo II desde el intervalo previo al ruido hasta el posterior al ruido, produciendo 1.55 ± 4.05 llamadas menos/min después de la reproducción de ruido de tráfico. No hubo cambios en la duración de la llamada tipo II ni en la frecuencia dominante para ningún tipo de llamada. |
| Higham <i>et al.</i> , 2021 | El tono de llamada medido después del ruido del vehículo fue significativamente más alto que las llamadas que lo precedieron, específicamente, la frecuencia media de llamadas (Hz) fue significativamente mayor durante el intervalo posterior al vehículo en comparación con el intervalo anterior a este. El tono de llamada también se asoció con la distancia desde la carretera, donde el tono medio de las llamadas tendió a disminuir a medida que aumentaba la distancia desde la carretera. Además, el tono de llamada estuvo influenciado por el tamaño del coro, donde fue mayor cuando solo un individuo estaba llamando en comparación con 2 o 3 o más de 3 ranas llamando al mismo tiempo. No se demostró que el número de vehículos/min tuviera un impacto en la tasa de llamadas, pero esta sí se vio afectada por la distancia desde la carretera, ya que disminuyó significativamente con el aumento de la distancia. |
| Engbrecht <i>et al.</i> , 2015 | Las llamadas reproductivas y no reproductivas de esta especie son diferentes en sus estructuras espectrales y temporales. 28 de 55 llamadas no reproductivas fueron desencadenadas por ruido antropogénico, incluidos sonidos de aviones y automóviles. |
| Kaiser <i>et al.</i> , 2011 | Los espectros de frecuencia fueron similares entre bosques y hábitats abiertos, con energía de sonido bajo 8 KHz. En respuesta al ruido, <i>A. moreletii</i> , <i>T. picta</i> e <i>I. valliceps</i> no cambiaron su tasa de llamada, mientras que <i>A. callidryas</i> , <i>T. loquax</i> y <i>D. microcephalus</i> aumentaron su tasa de llamadas. El aumento en la frecuencia de llamadas observado en <i>D. microcephalus</i> en respuesta al ruido antropogénico, no difirió si este se transmitió a 70 o 90 dB SPL. <i>D. ebraccatus</i> fue la única especie para la cual el modelo fue significativo, pero ningún tratamiento fue significativo. <i>T. picta</i> no cambió la duración de la llamada en respuesta al ruido, pero <i>I. valliceps</i> aumentó significativamente la duración. No hubo una relación significativa entre la asociación de hábitat de una especie y su respuesta al ruido antropogénico. El efecto agregado del ruido antropogénico sobre los individuos de <i>D. microcephalus</i> resultó en coros con una duración más corta. |

ANEXO 2

Glosario de términos utilizados para describir las vocalizaciones de los animales, con énfasis en los anuros (Köhler *et al.*, 2017).

| | |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Señal acústica | Un sonido emitido con la función de provocar una respuesta conductual de otro animal, conoespecífico o heteroespecífico. |
| Amplitud de sonido | Diferencia entre la presión máxima (corresponde al pico de la onda de sonido) y la presión ambiental. Proporcional a la intensidad del sonido. La amplitud se puede comparar entre grabaciones obtenidas en condiciones estandarizadas (mismo equipo de grabación con la misma configuración de nivel, mismo ángulo y misma distancia al emisor de sonido). |
| Amplitud modulada | Cambio en el nivel de amplitud de una onda de sonido a lo largo del tiempo. Una modulación de amplitud del 100 % significa un cambio de la amplitud relativa máxima al silencio total. |
| Sonido audible | Definido como el sonido perceptible por los humanos: 20-20 000 Hz. |
| Bioacústica | Adjetivo que se refiere a los sonidos producidos por animales. De manera análoga al uso recomendado de <u>acústico versus acústico</u> (Hunt 1955), sugerimos usar "bioacústica" cuando el término calificado designa algo con las propiedades o características de las ondas sonoras, como energía, onda o señal; y el uso de "bioacústica" cuando se refiere a algo sin tales características, como medida, rasgo, análisis o método. |
| Sobre | La forma de la forma de onda de un pulso, nota o llamada; generalmente simétrica con respecto al eje cero. |
| FFT | Transformación rápida de Fourier. Descomposición de una forma de onda compleja en ondas sinusoidales para su análisis. Un algoritmo utilizado para producir espectrogramas y espectros de potencia. |
| Tamaño de ventana FFT (resolución FFT) | Longitud del segmento en número de muestras por segmento utilizadas para el análisis FFT. Los segmentos más largos permiten una resolución de frecuencia más alta pero una resolución de tiempo más baja, y viceversa. |
| Modulación de frecuencia | Cambio en la frecuencia instantánea de una señal a lo largo del tiempo |
| Armónico | Muchos sonidos tienen su energía concentrada en varias frecuencias separadas y uniformemente espaciadas llamadas armónicos. Estas frecuencias son múltiplos del armónico más bajo (es decir, primero o fundamental) y resultan de patrones periódicos de oscilación, causados por rebotes posteriores después de completar una onda de la longitud de onda más larga (frecuencia dominante). Sin embargo, visualmente, los patrones similares a armónicos en un espectrograma también pueden ser causados por fenómenos acústicos más complejos (p. ej., bandas laterales; consulte a continuación) y artefactos, y, por ejemplo, surgirán con valores altos de ancho de banda de FFT. |
| Infrasonido | Sonidos < 20 Hz, utilizados para la comunicación a larga distancia en algunos animales como los elefantes. |
| Frecuencia de Nyquist | Frecuencia más alta que se puede digitalizar sin introducir artefactos. Corresponde a la mitad de la frecuencia de muestreo del dispositivo de digitalización (grabación). |
| Oscilograma | Una representación visual de un sonido, que muestra los cambios en la amplitud a lo largo del |

| | |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | tiempo. |
| Espectro de potencia | Una representación visual de un sonido, que muestra la amplitud relativa de cada componente de frecuencia. |
| Pulso | Físicamente, un solo tren de ondas ininterrumpido aislado en el tiempo por una reducción significativa de la amplitud. Consulte la definición adaptada de pulso en los términos utilizados para las descripciones de llamadas de anuros a continuación. |
| Tasa de muestreo (R) | Número de medidas de amplitud tomadas por segundo al digitalizar una onda de sonido (por ejemplo, una frecuencia de muestreo de 44,1 kHz da como resultado 44100 muestras de medidas de amplitud por cada segundo). |
| Banda lateral | Bandas de frecuencia en sonidos con modulación de amplitud o frecuencia. Las bandas laterales se producen como bandas de frecuencia adicionales por encima y por debajo de la frecuencia portadora modulada. Pueden producirse de forma natural o por la electrónica del dispositivo de grabación o por la interacción con sonidos no relacionados. |
| Sonido | Ondas de presión longitudinales que viajan a través de un medio como aire, agua o sustrato. |
| Intensidad de sonido | Producto de la presión sonora y la velocidad de las partículas. Proporcional al cuadrado de la amplitud de una onda. |
| Presión de sonido | Desviación de la presión local de la presión atmosférica ambiental producida por ondas sonoras. Tenga en cuenta que la presión y la intensidad del sonido absolutas no se pueden medir a partir de una grabación de sonido normal (sin calibrar), sino que requieren la aplicación de dispositivos y protocolos particulares en el campo o en el laboratorio. |
| Frecuencia de sonido | Número de ciclos de oscilación de ondas sonoras por unidad de tiempo; los ciclos por segundo se miden en Hertz (Hz) o kiloHertz (kHz = 1,000 Hz) |
| Espectrograma | Una representación visual de un sonido, que muestra la frecuencia y la amplitud del sonido a lo largo del tiempo. Equivalente a audioespectrograma, sonograma o sonograma ('sonagram' es una marca registrada de Kay Sonographs y no se recomienda su uso). |
| Tonal | Un sonido que consta de un solo componente de frecuencia en cualquier instante de tiempo (aunque esto puede variar en el tiempo, por lo que se modula). |
| Ultrasonido | Frecuencias sonoras > 20.000 Hz, frecuentemente registradas en insectos, murciélagos ecolocadores y ballenas, pero también en algunas ranas. |
| Vocalización | Cualquier tipo de sonido producido por los animales por medio de su sistema respiratorio, típicamente por la acción de las cuerdas vocales, independientemente de su categorización (canto, llamada) o estructura (tonal, pulsátil, pulsada, etc.). Algunos sonidos de animales se producen utilizando diferentes mecanismos y, por lo tanto, no califican como vocalizaciones según esta definición. |
| Longitud de onda | Período de una onda - distancia a la que se repite la forma de una onda. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia. |
| Ventanas | Los segmentos en el análisis FFT con un comienzo o una parada bruscos darían como resultado bandas de frecuencia amplias. Para evitar tales artefactos, las diferentes funciones de ventanas reducen gradualmente el inicio y el desplazamiento de cada segmento. El uso de cualquiera de estos (Hanning, Hamming, Blackwell, etc.) enfatizará diferentes regiones del intervalo de tiempo. Muchos análisis de llamadas de anuros utilizan ventanas de Hanning con un ancho de banda de 256 o 512 para espectrogramas. |

ANEXO 3

Términos y definiciones sugeridos para describir las vocalizaciones de los anuros (ver también definiciones generales en Anexo 2) (Köhler *et al.*, 2017).

| | |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Amplitud modulada | Cambios en la amplitud o envolvente de una señal a lo largo del tiempo; si el sonido se interrumpe por completo, se modula al 100%. |
| Llamada | Una unidad acústica de vocalización de rana, un sonido distinto; una llamada está separada de otras llamadas por períodos de silencio (normalmente mucho más largos que la llamada); la duración de las llamadas de un tipo suele ser consistente y regular; una llamada puede emitirse únicamente (es decir, no como parte obligatoria de una serie); El siguiente nivel superior de elemento acústico es el grupo de llamada o la serie de llamadas. Puede estar compuesto por una o varias notas del mismo tipo (llamada simple) o de diferentes tipos de notas (llamada compleja). |
| Duración de llamada | La duración de una sola llamada, sin importar si se compone de notas únicas o múltiples; medida desde el principio hasta el final de la llamada. |
| Ciclo de trabajo de llamada o esfuerzo de llamada | La fracción del período de señalización donde se produce una llamada. Se puede calcular como la relación entre la duración de la llamada y el período de la llamada, o la tasa de llamadas multiplicada por la duración de la llamada [en segundos, horas o sin dimensiones (porcentaje como relación entre el sonido y el silencio)]. |
| Grupo de llamada / llamada grupal | Las llamadas pueden organizarse en grupos que están separados de otros grupos similares por períodos de silencio mucho más largos que los intervalos entre llamadas; los intervalos entre llamadas dentro de los grupos son estables o cambian en un patrón predecible. |
| Período de llamada | Duración de la llamada más intervalo entre llamadas, o tiempo entre el comienzo de una llamada y el comienzo de la llamada consecutiva. |
| Tasa de llamadas (repetición) | Tasa de llamada instantánea. Número de llamadas emitidas en un periodo de tiempo definido. Puede calcularse como el recíproco del período de la llamada o como la relación entre el número absoluto de llamadas y la duración absoluta en la que se emitieron estas llamadas; esta última puede no ser "instantánea". Por lo tanto, la forma de cálculo debe establecerse con precisión. El valor debe proporcionarse como llamadas por minuto. |
| Serie de llamadas | Un grupo de llamadas, dentro del cual las llamadas se repiten a intervalos regulares. |
| Tipo de llamada | Una categoría de vocalizaciones emitidas en un contexto social particular y una función particular (reproductiva, agresiva, defensiva). Consulte el texto principal y la Tabla 2 para obtener una lista de los tipos de llamadas que se distinguen en los anuros. El repertorio de llamadas publicitarias de algunas especies puede consistir en más de un tipo de llamada publicitaria. |
| Frecuencia dominante | La frecuencia pico de la llamada (o nota); la frecuencia que contiene la energía de sonido más alta (en Hz o kHz) |
| Banda ancha | Rango total de frecuencias presentes en el sonido emitido. El ancho de banda total suele ser difícil de medir en grabaciones naturales. Las mediciones se pueden realizar más fácilmente a un nivel de umbral dado que debe especificarse y mantenerse constante en todas las mediciones con fines comparativos; recomendamos medir el 90 % del ancho de banda (umbral de -10 dB; contiene el 90 % de la energía del sonido). En grabaciones con fuerte ruido de fondo, solo se puede estimar el ancho de banda predominante aproximado (rango de frecuencias con al menos algo de energía de sonido asignable a la llamada). |

| | |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Modulación de frecuencia | Cambios en la frecuencia a lo largo del tiempo. Puede ser ascendente, descendente, en forma de 'v' o incluso sinusoidal. |
| Intervalo entre llamadas | El intervalo entre dos llamadas consecutivas, medido desde el final de la llamada hasta el comienzo de la llamada consecutiva. |
| Intervalo entre notas | El intervalo entre dos notas consecutivas dentro de la misma llamada, medido desde el final de una nota hasta el comienzo de la nota consecutiva. |
| Intervalo entre pulsos | El intervalo entre dos pulsos consecutivos, su duración medida desde el final de un pulso hasta el comienzo del pulso consecutivo. Solo debe definirse y medirse en los casos en que se produzcan intervalos totalmente silenciosos entre pulsos (es decir, modulación de amplitud del 100 %). |
| Nota | Subunidad principal de una llamada. Las llamadas a menudo se dividen en subunidades más pequeñas (= notas) mediante una modulación de amplitud del 100% con solo intervalos cortos entre ellas en relación con la duración de la llamada. Las llamadas también pueden consistir en una sola nota. Las notas pueden subdividirse en pulsos. |
| Tipo de nota | Una llamada puede consistir en notas muy similares dispuestas de forma estereotipada o más compleja (un tipo de nota = llamadas simples). Pero las notas también pueden diferir entre sí en propiedades temporales, espectrales y/o energéticas y se pueden definir diferentes tipos de notas (más de un tipo de nota = llamadas complejas). |
| Grupo de notas | Las notas pueden organizarse en grupos que están separados de otros grupos similares por períodos de silencio que son más largos que los intervalos entre notas en un grupo; el espaciado de las notas dentro de los grupos es regular o cambia en un patrón predecible. |
| Serie de notas | Un grupo de notas con notas repetidas a intervalos regulares. |
| Duración de la nota | La duración de una sola nota dentro de una celda; medida desde el principio hasta el final de la nota. |
| Tasa de nota (repetición) | Número de notas repetidas dentro de un período de tiempo definido dentro de una llamada o serie de notas. El valor debe proporcionarse en notas por segundo. |
| Pulsátil | Un sonido que consiste en ráfagas de energía mal definidas, es decir, modulación de amplitud alterna rápida sin silencio intermitente y sin picos claramente contables (si son claramente contables, los picos de amplitud se refieren a pulsos). |
| Pulso | Un solo estallido de energía sonora, no subdividido en subunidades, separado por una fuerte modulación de amplitud de otros pulsos. La modulación de amplitud suele ser inferior al 100 %; por lo tanto, los pulsos en las llamadas de los anuros a menudo no están separados por un intervalo completamente silencioso debido a las propiedades intrínsecas de la llamada, aunque el ruido de fondo puede conducir a una situación similar. Consulte también la definición física de pulso en la primera parte de esta tabla. |
| Pulsado | Un sonido que consiste en una serie de ráfagas de energía bien definidas (pulsos). |
| Duración del pulso | La duración de un pulso, medida desde un mínimo de amplitud hasta el siguiente mínimo de amplitud. Dado que el ruido de fondo puede enmascarar estos mínimos, se puede aplicar un umbral de amplitud (es decir, un % del máximo) para que las mediciones sean comparables. |

| | |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grupo de pulsos | Los pulsos pueden organizarse en grupos distintos, separados de otros grupos similares por una parte no pulsada de una nota, o que difieren en intensidad o frecuencia espectral. |
| Periodo de pulso | Duración del pulso más intervalo entre pulsos. |
| Tasa de pulso (repetición) | Pulso instantáneo. Número de pulsos repetidos en un período de tiempo definido dentro de una nota. El valor debe proporcionarse como pulsos por segundo. Puede calcularse como el recíproco del período del pulso (tiempo desde el comienzo de una nota hasta el comienzo de la siguiente nota consecutiva) o como la relación entre el número absoluto de pulsos y la duración absoluta en la que se emitieron estos pulsos, esta última puede no ser 'instantánea'. Tenga en cuenta que la frecuencia del pulso puede variar durante una nota o una llamada y dicha variación se promedia mejor utilizando la relación pulso/duración. Por lo tanto, la forma de cálculo debe establecerse con precisión. |
| Serie de pulsos o Tren de pulsos | No es una categoría separada sino un término descriptivo para referirse a una llamada o nota compuesta por un tren de pulsos, especialmente si estos son de espaciado, intensidad y frecuencia regulares. |