

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y AMBIENTALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Efectos de los ruidos antropogénicos en los cantos de Anuros**

**Monografía previa a la obtención del título de Licenciado en Ciencias Biológicas**

**ANDREA LIZBETH CORREA MERA**

**Quito, 2025**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que la Monografía de Ciencias Biológicas , del la Srta Andrea Lizbeth Correa Mera ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Andres Ricardo Merino Viteri

Director

Quito, 3 de Julio del 2025

## DEDICATORIA

A mi mami, por todo su amor, cariño, comprensión y apoyo incondicional; por creer siempre en mí, incluso en los momentos más inciertos.

A Gaby, por acompañarme en este proceso, creer en mí y ser una fuente constante de motivación y aliento.

A mi prima Nao, por estar orgullosa de mí, por escucharme siempre y brindarme su cercanía con tanto cariño.

Al Dr. Andrés Merino-Viteri por su guía, sus valiosos comentarios y la orientación brindada durante el desarrollo de esta monografía.

A mí misma, por no rendirme nunca, incluso cuando el camino se tornó difícil. Por la perseverancia, la entrega y la fuerza con la que enfrenté cada desafío.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN .....	1
2. ABSTRACT .....	2
3. INTRODUCCIÓN .....	3
4. OBJETIVOS .....	5
4.1 OBJETIVO GENERAL: .....	5
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: .....	5
5. DESARROLLO TEÓRICO .....	6
5.1 EL RUIDO NATURAL Y ANTROPOGÉNICO EN LOS HÁBITATS. ....	6
5.1.1 ALTERACIONES EN LA COMUNICACIÓN ACÚSTICA Y VOCALIZACIÓN DE ANUROS. ....	7
5.1.2 FUNCIONES ECOLÓGICAS Y EVOLUTIVAS DEL CANTO .....	8
5.1.3 TIPOS PRINCIPALES DE VOCALIZACIONES .....	8
5.1.4 ADAPTACIONES AL ENTORNO ACÚSTICO .....	9
5.2 MODIFICACIONES EN ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS DE ANUROS PRODUCTO DEL RUIDO .....	11
5.2.1 ENMASCARAMIENTO DE SEÑALES Y EFECTOS EN EL ÉXITO REPRODUCTIVO .....	11
5.2.3 IMPLICACIONES ECOLÓGICAS Y METABÓLICAS .....	12
5.3 RESPUESTAS FRENTE A DEPREDADORES (EN ANUROS) Y CÓMO ESTÁS SON MODIFICADAS POR EL RUIDO .....	12
5.3.1 DETECCIÓN DE DEPREDADORES Y VULNERABILIDAD .....	13
5.3.1.2 CAMBIOS CONDUCTUALES INDUCIDOS POR EL RUIDO .....	13
5.4 CAMBIOS DE CONDUCTAS EN ANUROS QUE AFECTEN SU SUPERVIVENCIA INDIVIDUAL Y ÉXITO ADAPTATIVO .....	15
5.5 EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LAS DINÁMICAS POBLACIONALES DE LOS ANUROS ..	17
5.6 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES SOBRE EFECTOS DEL RUIDO ANTROPOGÉNICO EN ANUROS .....	21
6. CONCLUSIONES .....	24
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26
8. ANEXOS .....	30

## 1. RESUMEN

Los anuros dependen en gran medida de la comunicación acústica para funciones esenciales como la reproducción, la defensa territorial y la detección de amenazas. No obstante, el aumento del ruido antropogénico proveniente del tráfico vehicular, la urbanización, la construcción y la actividad industrial se ha convertido en una amenaza significativa para estas especies.

Esta monografía tiene como objetivo evaluar los efectos del ruido antropogénico sobre el comportamiento, la dinámica poblacional y los procesos ecológicos que inciden en la supervivencia de los anuros, con especial énfasis en Sudamérica y Ecuador.

A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica, se identificaron importantes alteraciones conductuales, tales como modificaciones en las vocalizaciones, reducción de la actividad de forrajeo, disminución de la eficacia frente a depredadores y aumento del estrés fisiológico. Estas respuestas afectan el éxito reproductivo y el estado físico general de los individuos, sobre todo en entornos urbanos con exposición sonora crónica. A nivel poblacional, el ruido puede provocar una disminución en la abundancia y diversidad de especies, alterar la estructura de las comunidades acústicas y favorecer a especies generalistas tolerantes al ruido, generando un filtrado ambiental que empobrece la biodiversidad.

Asimismo, se detectaron brechas significativas en la investigación bioacústica regional, especialmente en Ecuador, donde existen más de 700 especies de anfibios, muchas de ellas sin descripciones acústicas. La escasez de estudios que evalúen la diversidad vocal y los umbrales de tolerancia impide desarrollar estrategias de conservación adecuadas. Por tanto, se recomienda priorizar investigaciones que integren monitoreos acústicos, análisis del paisaje sonoro y evaluaciones del comportamiento, además de incorporar la mitigación del ruido en los planes de manejo ambiental. La conservación de los anuros requiere considerar no solo la protección del hábitat físico, sino también del entorno sonoro, ya que el ruido antropogénico representa una barrera invisible que amenaza la integridad ecológica de estas especies.

**Palabras clave:** acústica, anfibios, conservación, reproducción, ruido antropogénico.

## 2. ABSTRACT

Anurans heavily rely on acoustic communication for essential functions such as reproduction, territorial defense, and predator detection. However, the increase in anthropogenic noise originated from traffic, urbanization, construction, and industrial activity has become a significant threat to these species.

This monograph aims to assess the effects of anthropogenic noise on the behavior, population dynamics, and ecological processes that influence anuran survival, with a particular focus on South America and Ecuador.

Through an extensive review of scientific literature, major behavioral alterations were identified, including modifications in vocalizations, reduced foraging activity, lower effectiveness in predator avoidance, and increased physiological stress. These responses compromise reproductive success and the general physical condition of individuals, especially in urban environments with chronic noise exposure. At the population level, noise can lead to a decrease in species abundance and diversity, to alter the structure of acoustic communities, and to favor generalist species that tolerate noise, resulting in environmental filtering that impoverishes biodiversity.

Additionally, significant research gaps were found in regional bioacoustics, especially in Ecuador, where over 700 amphibian species exist—many of them lacking acoustic descriptions. The absence of studies that evaluate vocal diversity and noise tolerance thresholds hinders the development of effective conservation strategies. Therefore, future research should prioritize integrated approaches including acoustic monitoring, soundscape analysis, and behavioral assessments, while incorporating noise mitigation into environmental management plans. Anuran conservation must consider not only the protection of physical habitats, but also of acoustic environments, as anthropogenic noise acts as an invisible barrier threatening the ecological integrity of these species.

**Keywords:** acoustic, amphibians, conservation, reproduction, traffic noise.

### 3. INTRODUCCIÓN

Las perturbaciones antropogénicas, como la deforestación, la expansión agrícola, la contaminación y el cambio climático, han sido identificadas como causas centrales de la actual crisis de biodiversidad (Collins y Crump, 2009). Estas actividades humanas han provocado una disminución global en las poblaciones de anfibios, considerados uno de los grupos de vertebrados más amenazados del planeta (Ron, Guayasamin, y Menéndez-Guerrero, 2011). En este contexto, la modificación y destrucción de hábitats naturales ha fragmentado ecosistemas, interrumpido rutas de dispersión, y reducido la disponibilidad de espacios esenciales para la reproducción, la alimentación y la evasión de predadores, afectando especialmente a organismos como los anuros, cuya biología depende de condiciones ambientales muy específicas (Cushman, 2006; Harper *et al.*, 2008) Actualmente, el 42 % de las especies de anfibios a nivel mundial están clasificadas en alguna categoría de riesgo de extinción por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Caorsi *et al.*, 2017), lo que evidencia la urgencia de abordar estas amenazas.

En Ecuador, país reconocido por su alta biodiversidad de anfibios, las perturbaciones ambientales han provocado una disminución significativa en las poblaciones de diversas especies. Estudios recientes estiman que aproximadamente el 41 % de los anfibios ecuatorianos se encuentran en alguna categoría de amenaza según la UICN (Ron, Guayasamin y Menéndez-Guerrero, 2011). El cambio climático también ha sido identificado como una amenaza creciente, especialmente para especies endémicas con rangos de distribución restringidos, al afectar los patrones de precipitación, temperatura y disponibilidad de microhábitats adecuados (Blaustein y Kiesecker, 2002).

En este contexto, la contaminación acústica ha cobrado relevancia por sus impactos negativos en la comunicación, la reproducción y la estructura poblacional de los anuros (Kaiser *et al.*, 2011; Caorsi *et al.*, 2017; Gutiérrez-Vannucchi *et al.*, 2019; Sun y Narins, 2005). Las señales acústicas que estos emiten pueden ser fácilmente enmascaradas por el ruido ambiental, dificultando funciones esenciales como la defensa territorial, el cortejo, la búsqueda de alimento o la detección de depredadores (Gutiérrez-Vannucchi *et al.*, 2019).

Investigaciones han demostrado que los anuros son particularmente sensibles a las vibraciones transmitidas por el sustrato y el aire, que perciben a través del oído interno, lo que los vuelve vulnerables a niveles elevados de ruido antropogénico (Caorsi *et al.*, 2017). Durante la temporada reproductiva, la comunicación vocal se vuelve esencial, ya que la calidad y frecuencia de las vocalizaciones influyen directamente en la elección de pareja. Alteraciones en estas vocalizaciones, causadas por el ruido, pueden afectar negativamente

la tasa de emparejamiento, reducir la abundancia de las especies e incluso modificar la composición estructural de las comunidades acústicas (Gutiérrez-Vannucchi *et al.*, 2019).

Frente a este panorama, es fundamental realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre la magnitud del problema que afecta los efectos del ruido antropogénico en los cantos en anuros, con el fin de proponer planes de manejo efectivos, planificación urbana responsable y políticas de conservación ambiental (Gutiérrez Vannucchi *et al.*, 2019). Además, este tipo de investigaciones permitirá comprender mejor los cambios en los patrones de llamada asociados a la intensidad del ruido ambiental, y contribuirá a desarrollar estrategias que mitiguen los efectos de las perturbaciones antropogénicas sobre la fauna silvestre (Gutiérrez Vannucchi *et al.*, 2019).

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar de manera exhaustiva, en la literatura científica, los efectos del ruido antropogénico en las poblaciones de anuros a nivel ecológico.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Evaluar el impacto del ruido antropogénico en el comportamiento de los anuros, analizando específicamente: las modificaciones en sus estrategias de reproducción; las variaciones en las respuestas frente a depredadores y estímulos acústicos artificiales; y los cambios en conductas clave asociadas a la supervivencia individual y al éxito adaptativo.
2. Analizar los efectos del ruido antropogénico sobre la dinámica poblacional de los anuros, incluyendo su abundancia, diversidad, estructura poblacional y alteraciones en las interacciones tróficas dentro de los ecosistemas que habitan.
3. Proponer recomendaciones para futuras investigaciones sobre los efectos del ruido antropogénico en los anuros, identificando las brechas de conocimiento y las prioridades de investigación, con un enfoque particular en las regiones de Sudamérica y Ecuador.

## 5. DESARROLLO TEÓRICO

### 5.1 EL RUIDO NATURAL Y ANTROPOGÉNICO EN LOS HÁBITATS.

La contaminación acústica es una forma creciente de perturbación ambiental generada por actividades humanas como el tráfico vehicular, la industria, la urbanización y la construcción. Aunque es omnipresente, su impacto sigue siendo subestimado, especialmente sobre grupos vulnerables como los anuros (Barber, Crooks y Fristrup, 2010). A diferencia de otros contaminantes, el ruido altera directamente funciones fisiológicas, conductuales y ecológicas, afectando la supervivencia, reproducción y dinámica poblacional de diversas especies (Barber *et al.*, 2010).

Es importante distinguir entre fuentes puntuales de ruido, como obras de infraestructura, y fuentes crónicas, como el tránsito vehicular continuo. Estas últimas generan perturbaciones persistentes que dificultan la recuperación ecológica (Llusia, Márquez y Bowker, 2011). El ruido crónico puede inducir desplazamientos locales y, en el largo plazo, afectar la conectividad entre subpoblaciones, promoviendo la fragmentación funcional del hábitat (Bee y Swanson, 2007). Por ejemplo, la construcción de carreteras puede aislar áreas reproductivas, reduciendo el flujo genético entre grupos (Eigenbrod, Hecnar y Fahrig, 2009).

Adicionalmente, el ruido antropogénico se combina con otros factores de estrés, como la fragmentación del hábitat, la contaminación química y el cambio climático. Esta interacción sinérgica intensifica la presión sobre las especies sensibles (Barber *et al.*, 2010). En paisajes fragmentados, la capacidad de propagación de los cantos disminuye considerablemente, y si se suma ruido constante, la señal acústica puede volverse ineficaz (Wells, 2007).

El cambio climático también representa una amenaza significativa. Las alteraciones en temperatura y precipitación pueden modificar directamente los parámetros acústicos del canto. Se ha documentado que, en zonas montañosas, especies como *Eleutherodactylus coqui* han modificado su vocalización como respuesta a cambios térmicos, afectando el reconocimiento entre individuos y el éxito reproductivo (Narins y Smith, 1986). Además, en regiones como los páramos andinos, la disminución de cuerpos de agua temporales y la pérdida de vegetación limitan las oportunidades reproductivas de los anuros (Narins *et al.*, 2006; Wells, 2007).

En respuesta a estas amenazas, algunos esfuerzos de conservación han sido implementados. En Ecuador, las áreas protegidas y reservas naturales son fundamentales para resguardar hábitats críticos. No obstante, estas zonas enfrentan amenazas debido a la presión humana y la escasez de recursos (Wells, 2007). En este contexto, herramientas como el monitoreo bioacústico y la participación comunitaria han demostrado ser eficaces para evaluar los impactos y apoyar medidas de conservación sostenibles (Wells, 2007).

Particularmente en los anuros, cuya reproducción y defensa territorial dependen de la comunicación acústica, el ruido ambiental interfiere en procesos vitales como el cortejo, la detección de depredadores y la coordinación social (Sun y Narins, 2005). La exposición continua al ruido puede inducir un aumento de los niveles de cortisol, hormona del estrés, lo que a su vez puede generar inmunosupresión, reducir la eficacia reproductiva y aumentar la susceptibilidad a enfermedades infecciosas (Kight y Swaddle, 2011; Barber *et al.*, 2010).

### **5.1.1 ALTERACIONES EN LA COMUNICACIÓN ACÚSTICA Y VOCALIZACIÓN DE ANUROS**

Uno de los procesos más afectados por el ruido es la comunicación animal. En muchas especies, la comunicación acústica cumple un rol fundamental en el cortejo, la defensa territorial, la alarma ante depredadores y la coordinación grupal (Brumm y Zollinger, 2011). La interferencia causada por sonidos artificiales puede enmascarar las señales naturales, obligando a los animales a modificar sus patrones de vocalización, fenómeno conocido como "efecto Lombard", en el que los animales incrementan la intensidad de sus vocalizaciones para superar el ruido de fondo (Brumm y Zollinger, 2011). Por ejemplo, en un ensamblaje reproductivo de *Engystomops pustulosus* en Belice, se observó que el ruido antropogénico redujo significativamente la actividad vocal de los machos, lo que podría interferir con la comunicación acústica y disminuir el éxito reproductivo (Kaiser *et al.*, 2014). Esto reduce la eficacia del canto como señal de calidad del macho, dificultando el emparejamiento y disminuyendo el éxito reproductivo (Halfwerk *et al.*, 2011).

Los anuros constituyen una estrategia adaptativa fundamental que regula múltiples aspectos del comportamiento social, reproductivo y territorial de estas especies (Gerhardt y Huber, 2002). A través de vocalizaciones especializadas, los machos atraen parejas, establecen y defienden territorios, y responden ante interacciones sociales o amenazas (Ryan, 1985). En contextos naturales,

los cantos permiten comprender cómo estas especies interactúan con su entorno y adaptan sus estrategias para maximizar su éxito reproductivo y evitar conflictos o riesgos innecesarios (Wells, 2007).

### 5.1.2 FUNCIONES ECOLÓGICAS Y EVOLUTIVAS DEL CANTO

El canto de los anuros no solo cumple una función comunicativa, sino que también actúa como un mecanismo de selección natural y sexual. Las vocalizaciones influyen directamente en el éxito reproductivo, dado que las hembras seleccionan a los machos en función de parámetros como la duración, frecuencia, tasa de repetición o complejidad del canto (Ryan, 1985). Estas características se interpretan como señales honestas de la calidad fisiológica del macho, afectando así la dinámica de apareamiento y la variabilidad genética dentro de la población (Gerhardt y Huber, 2002). Además, los cantos son utilizados en contextos no reproductivos, como en la defensa territorial, la coordinación social y la respuesta a amenazas.

### 5.1.3 TIPOS PRINCIPALES DE VOCALIZACIONES

Las vocalizaciones de los anuros representan un sistema de señales altamente especializado. El tipo más estudiado es el canto de apareamiento o llamado de anuncio, emitido por los machos durante la época reproductiva (Ryan, 1985). Este canto transmite información sobre el estado físico del emisor, como su tamaño corporal y su nivel energético, que las hembras utilizan para seleccionar parejas de alta calidad genética (Gerhardt y Huber, 2002). Por tanto, el canto de anuncio actúa como un mecanismo clave en la selección sexual (Wells, 2007).

Otro tipo fundamental de vocalización es el canto territorial, que permite a los machos advertir a otros individuos sobre su ocupación de un espacio reproductivo determinado (Wells, 2007). En especies como *Hypsiboas faber*, estos cantos adquieren un tono más agresivo y pueden derivar en conflictos físicos si la señal acústica no es suficiente para disuadir al intruso (Martins y Haddad, 1988).

Los llamados de liberación son emitidos cuando un macho es sujetado erróneamente por otro macho durante intentos de cópula. Estas señales breves tienen como función evitar malgastar energía en intentos de apareamiento no viables (Narins *et al.*, 2006).

Los llamados de alarma, menos frecuentes, pero funcionalmente importantes, permiten alertar a otros miembros de la especie ante la presencia de amenazas o depredadores. Por ejemplo, *Lithobates pipiens* emite este tipo de señales ante vibraciones sospechosas, desencadenando una respuesta de huida colectiva (Rand, 1985).

La comunicación coral, un comportamiento reproductivo común entre los machos de muchas especies de anuros, también se ve afectada por la contaminación acústica (Wells, 2007). En condiciones naturales, los machos sincronizan sus cantos para maximizar la atracción de hembras, un fenómeno conocido como "efecto coro" (Gerhardt y Huber, 2002). Sin embargo, el ruido ambiental interfiere con esta sincronización, disminuyendo la coherencia de los coros y reduciendo la eficacia de la señalización colectiva (Sun y Narins, 2005). Esta desincronización puede provocar que los cantos individuales se pierdan en el ruido de fondo, lo que reduce las posibilidades de éxito reproductivo (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

#### **5.1.4 ADAPTACIONES AL ENTORNO ACÚSTICO**

El entorno en el que habitan los anuros condiciona las características físicas y estructurales de sus cantos. Para que sus señales sean efectivas, deben superar obstáculos como la vegetación densa o el ruido ambiental (Gerhardt y Huber, 2002). En selvas tropicales, por ejemplo, el fondo sonoro permanente obliga a los anuros a desarrollar estrategias acústicas que aseguren la propagación eficiente de sus vocalizaciones, como ajustar la frecuencia, duración o ritmo de los cantos (Morton, 1975; Boncoraglio y Saino, 2007).

En entornos donde coexisten múltiples especies, se ha documentado el fenómeno de semaforización acústica, que consiste en la alternancia temporal de vocalizaciones para evitar la superposición entre especies (Tobias *et al.*, 2014). Este tipo de organización permite que diferentes especies compartan el mismo hábitat sin comprometer la eficacia de sus señales. Otras estrategias

observadas incluyen la reubicación espacial hacia zonas más silenciosas y el cambio en los horarios de emisión vocal para evitar los picos de perturbación, especialmente en hábitats antropizados (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

En el contexto ecuatoriano, algunas especies de *Pristimantis* han mostrado cierta plasticidad acústica en respuesta a cambios en el entorno sonoro, como el ruido antropogénico (Gutiérrez Vannucchi, 2024). Por ejemplo, *Pristimantis crucifer*, una especie amazónica, ha sido registrada vocalizando en hábitats urbanos, lo cual sugiere cierto grado de tolerancia o adaptación acústica en ambientes modificados por el ser humano (Gutiérrez Vannucchi, 2024). Aunque se requiere mayor investigación específica sobre *Pristimantis achatinus*, este patrón observado en especies cercanas indica la necesidad de explorar la variabilidad vocal dentro del género *Pristimantis* en zonas con distintos niveles de perturbación acústica (Gutiérrez Vannucchi, 2024).

### 5.1.5 COSTOS Y LIMITACIONES

Aunque las adaptaciones acústicas ofrecen ventajas comunicativas, también implican costos significativos (Kight y Swaddle, 2011). La necesidad de aumentar la intensidad o complejidad del canto, por ejemplo, puede elevar el gasto energético y reducir el tiempo disponible para otras actividades vitales, como la alimentación o la vigilancia ante depredadores (Kight y Swaddle, 2011). Esta compensación energética puede afectar la condición física general del individuo, comprometiendo su éxito reproductivo a largo plazo (Kight y Swaddle, 2011). Por lo tanto, los cantos en los anuros cumplen múltiples funciones ecológicas y evolutivas (Gerhardt y Huber, 2002; Wells, 2007). La diversidad de vocalizaciones, su complejidad funcional y su sensibilidad a las condiciones del entorno hacen que este fenómeno biológico sea central para entender la biología, ecología y conservación de estas especies (Gerhardt y Huber, 2002). Considerar el entorno acústico y su alteración por actividades humanas resulta indispensable para el estudio integral de los anuros y el diseño de estrategias de conservación efectivas (Brumm y Slabbekoorn, 2005; Wells, 2007).

## 5.2 MODIFICACIONES EN ESTRATEGIAS REPRODUCTIVAS DE ANUROS PRODUCTO DEL RUIDO

La comunicación acústica es fundamental en la reproducción de los anuros, ya que permite a los machos atraer a las hembras y establecer territorios reproductivos. Las receptoras, a su vez, discriminan entre posibles parejas evaluando características como la frecuencia, duración y tasa de repetición del canto, las cuales reflejan la calidad genética y el estado fisiológico del emisor (Ryan, 1985; Gerhardt y Huber, 2002). Sin embargo, el aumento del ruido antropogénico proveniente del tráfico vehicular, la industria o la urbanización ha comenzado a interferir de forma directa con estas señales, provocando enmascaramiento acústico que reduce la eficacia del canto durante el cortejo (Sun y Narins, 2005).

### 5.2.1 ENMASCARAMIENTO DE SEÑALES Y EFECTOS EN EL ÉXITO REPRODUCTIVO

El enmascaramiento ocurre cuando el ruido de fondo se superpone a las frecuencias utilizadas por los anuros en sus vocalizaciones, dificultando que las hembras detecten y localicen al emisor. Esta interferencia puede provocar una disminución en la tasa de apareamiento y alterar la estructura poblacional a largo plazo (Caorsi *et al.*, 2017). En Brasil, un estudio experimental con *Boana bischoffi* y *B. leptolineata* expuestas a ruidos vehiculares (65 y 75 dB) mostró que los machos ajustaron la frecuencia y duración del canto, mientras que *B. bischoffi* redujo su tasa vocal. Algunos individuos incluso se desplazaron hacia zonas más alejadas de la fuente de ruido (Caorsi *et al.*, 2017). Aunque estas respuestas buscan contrarrestar el enmascaramiento, implican un mayor gasto energético que podría reducir el éxito reproductivo (Kight y Swaddle, 2011)

### 5.2.2 EVIDENCIA EN ECUADOR

En la Amazonía ecuatoriana, se ha reportado que el ruido asociado a actividades industriales afecta la comunicación de especies como *Boana punctata*, con posibles repercusiones sobre su comportamiento reproductivo (Kaiser *et al.*, 2011). En la región andina, se ha caracterizado el canto de *Pristimantis unistrigatus*, una especie común en áreas urbanas, aunque aún no

se han documentado estudios que evalúen directamente los efectos del ruido urbano en su comunicación acústica (Ron, Merino-Viteri y Ortiz, 2024).

### 5.2.3 IMPLICACIONES ECOLÓGICAS Y METABÓLICAS

Los ajustes vocales frente al ruido como el aumento en la intensidad o duración del canto requieren mayor inversión energética y reducen el tiempo disponible para actividades críticas como el forrajeo y la vigilancia. Esto puede afectar la condición corporal, disminuir la fecundidad y limitar la viabilidad a largo plazo (Kight y Swaddle, 2011). Además, modificar los parámetros acústicos puede dificultar el reconocimiento entre congéneres, comprometiendo la eficacia de la selección sexual (Bee y Swanson, 2007). Estas condiciones suelen favorecer a especies con mayor plasticidad vocal, desplazando a aquellas más especializadas y sensibles a la alteración del entorno acústico (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

Estudios recientes han documentado reducciones en la abundancia y densidad de anuros en hábitats expuestos a ruido constante, como los entornos urbanos, debido al enmascaramiento crónico de las señales de apareamiento (Sun y Narins, 2005; Kaiser y Hammers, 2022). Especies que no logran ajustar sus vocalizaciones a estos entornos enfrentan una menor tasa de éxito reproductivo y de reclutamiento poblacional (Caorsi *et al.*, 2017).

Asimismo, se ha observado que machos de los géneros *Boana* y *Engystomops* disminuyen su actividad vocal en presencia de ruido vehicular, lo que reduce sus oportunidades de apareamiento (Halfwerk *et al.*, 2011). Esta inhibición vocal no solo compromete el proceso reproductivo, sino que también contribuye a la exclusión de las especies de hábitats ruidosos, favoreciendo su desplazamiento hacia zonas más tranquilas (Eigenbrod, Hecnar y Fahrig, 2009). En Ecuador, *Boana punctata* ha mostrado alteraciones en su comportamiento reproductivo relacionadas con el ruido industrial, lo que sugiere una sensibilidad acústica significativa (Kaiser *et al.*, 2011).

### 5.3 RESPUESTAS FRENTE A DEPREDADORES (EN ANUROS) Y CÓMO ESTÁS SON MODIFICADAS POR EL RUIDO

La capacidad de detectar y responder adecuadamente ante depredadores es fundamental para la supervivencia de los anuros (Kaiser *et al.*, 2011). Estos animales

dependen en gran medida de señales sensoriales, especialmente auditivas y vibratorias, para identificar amenazas y ejecutar respuestas defensivas como la inmovilidad, el salto de escape o la elección de refugios adecuados (Caorsi *et al.*, 2017). Sin embargo, en entornos perturbados por ruido antropogénico, esta percepción puede verse alterada, dificultando la detección oportuna del peligro (Kaiser *et al.*, 2011). En consecuencia, los anuros expuestos a altos niveles de ruido presentan una mayor vulnerabilidad a la depredación, lo que puede tener efectos negativos sobre la dinámica poblacional y la estructura de las comunidades (Francis y Barber, 2013; Sun y Narins, 2005).

### 5.3.1 DETECCIÓN DE DEPREADORES Y VULNERABILIDAD

El ruido antropogénico puede alterar la capacidad de los anuros para detectar amenazas en su entorno, interfiriendo tanto con señales acústicas como vibratorias (Narins *et al.*, 2006). Estas señales son esenciales para que los anuros evalúen el riesgo y activen respuestas defensivas rápidas ante depredadores (Caorsi *et al.*, 2017). En ambientes con altos niveles de ruido, los estímulos auditivos importantes pueden quedar enmascarados, reduciendo la eficacia de estas estrategias de supervivencia (Sun y Narins, 2005).

Estudios en otros vertebrados han demostrado que el ruido reduce la atención y la percepción del peligro. Por ejemplo, las ardillas grises *Sciurus carolinensis* presentan una menor reactividad ante señales de amenaza cuando están expuestas a ruidos constantes (Francis y Barber, 2013). En anuros, se ha observado que especies como *Physalaemus cuvieri* disminuyen su capacidad de respuesta ante amenazas simuladas en presencia de ruido vehicular, lo que podría aumentar su susceptibilidad a la depredación (Caorsi *et al.*, 2017).

#### 5.3.1.2 CAMBIOS CONDUCTUALES INDUCIDOS POR EL RUIDO

La exposición prolongada al ruido antropogénico puede interferir con la percepción sensorial de los anuros y afectar directamente su comportamiento evasivo frente a depredadores (Caorsi *et al.*, 2017). Se ha observado que estos animales pueden volverse más lentos al responder o alterar sus patrones de actividad nocturna, lo que incrementa el riesgo de depredación (Caorsi *et al.*, 2017). Por ejemplo, *Physalaemus cuvieri*, una especie ampliamente distribuida en Brasil,

mostró una reducción significativa en su respuesta ante estímulos de amenaza cuando fue expuesta al ruido del tráfico, lo cual evidencia una disminución en la eficacia de sus conductas defensivas (Caorsi *et al.*, 2017). En algunos casos, los anuros abandonan áreas altamente ruidosas, lo que se traduce en una pérdida de hábitat funcional y puede comprometer la conectividad entre poblaciones (Eigenbrod, Hecnar y Fahrig, 2009). Además, se ha propuesto que el estrés crónico provocado por la exposición continua al ruido altera el equilibrio hormonal, disminuyendo los niveles de alerta y reduciendo la capacidad de los individuos para enfrentar situaciones de amenaza (Kight y Swaddle, 2011). El incremento de glucocorticoides como la corticosterona puede inhibir respuestas defensivas claves, debilitar el sistema inmunológico y reducir la energía disponible para conductas esenciales como la huida (Kight y Swaddle, 2011).

### 5.3.3 CONSECUENCIAS ECOLÓGICAS

La exposición prolongada al ruido puede alterar la percepción sensorial de los anuros, interfiriendo con su capacidad de detectar estímulos relevantes en el entorno, como señales acústicas o vibraciones asociadas a depredadores (Sun y Narins, 2005; Kaiser *et al.*, 2011). Esta alteración sensorial puede tener implicaciones en el comportamiento evasivo, dificultando la toma de decisiones rápidas ante amenazas inminentes (Caorsi *et al.*, 2017). Por ejemplo, en un experimento con *Physalaemus cuvieri*, individuos expuestos a ruido de tráfico mostraron una respuesta reducida ante estímulos simulados de depredadores, lo que sugiere una disminución en la eficacia de sus estrategias defensivas (Caorsi *et al.*, 2017). Este tipo de interferencia representa un riesgo adicional para la supervivencia de las especies en entornos antropizados, donde el ruido constante puede comprometer funciones vitales como la evasión, la reproducción y la comunicación (Halfwerk y Slabbekoorn, 2015). En algunos casos, los anuros abandonan áreas ruidosas, lo que puede representar una pérdida de hábitat funcional (Eigenbrod, Hecnar y Fahrig, 2009). Además, se ha propuesto que el estrés crónico provocado por la contaminación acústica puede alterar el equilibrio hormonal y reducir la capacidad de respuesta ante amenazas: los niveles elevados de glucocorticoides, como la corticosterona, pueden inhibir respuestas defensivas clave, debilitar el sistema inmune y

disminuir la energía disponible para conductas de escape (Kight y Swaddle, 2011).

#### **5.4 CAMBIOS DE CONDUCTAS EN ANUROS QUE AFECTEN SU SUPERVIVENCIA INDIVIDUAL Y ÉXITO ADAPTATIVO**

El ruido antropogénico no solo interfiere en la comunicación y reproducción de los anuros, sino que también puede alterar conductas clave para su supervivencia individual, como la detección de riesgos y la respuesta a depredadores (Francis *et al.*, 2009; Shannon *et al.*, 2016). En entornos con ruido constante, los anuros pueden mostrar una disminución en su capacidad de reacción ante amenazas, debido tanto al enmascaramiento de señales auditivas como a la distracción sensorial (Francis *et al.*, 2009). Por ejemplo, en un estudio realizado con *Physalaemus cuvieri*, se observó que los individuos expuestos a ruido de tráfico presentaban una reactividad reducida frente a estímulos de amenaza, lo que sugiere una disminución en su eficacia defensiva (Caorsi *et al.*, 2017). Estos cambios conductuales incrementan su vulnerabilidad frente a la depredación y afectan su éxito adaptativo en hábitats perturbados (Shannon *et al.*, 2016; Simpson *et al.*, 2016).

##### **5.4.1 ALTERACIONES EN LA RESPUESTA DE ESCAPE Y VIGILANCIA**

En condiciones naturales, los anuros emplean diversas estrategias conductuales para evitar a sus depredadores, como permanecer inmóviles, emitir llamados de alerta o huir rápidamente tras detectar vibraciones o sonidos en su entorno (Narins *et al.*, 2006). Sin embargo, el ruido antropogénico puede interferir con estas respuestas, dificultando la detección de señales de peligro y aumentando la probabilidad de depredación (Simpson *et al.*, 2016).

Un estudio realizado por (Caorsi *et al.*, 2017) con la especie *Physalaemus cuvieri* en Brasil demostró que los individuos expuestos a ruido vehicular mostraron respuestas de escape menos eficaces ante estímulos de amenaza. Esta especie, aunque ampliamente distribuida, mostró mayor vulnerabilidad conductual en ambientes perturbados, lo que evidencia cómo el ruido puede comprometer directamente la supervivencia individual (Caorsi *et al.*, 2017).

El efecto del ruido sobre la capacidad de vigilancia también ha sido documentado en otros vertebrados, donde se ha observado que la exposición

prolongada a sonidos artificiales reduce el tiempo dedicado a comportamientos de alerta y aumenta la distracción (Francis y Barber, 2013). Estos hallazgos son extrapolables a los anuros, dado su uso constante de señales acústicas y mecánicas para interpretar el entorno (Narins *et al.*, 2006).

En consecuencia, la alteración de comportamientos defensivos en ambientes ruidosos no solo incrementa la probabilidad de depredación, sino que también puede limitar el éxito adaptativo de las especies más sensibles, desplazándolas progresivamente de los hábitats alterados (Shannon *et al.*, 2016).

#### **5.4.2 CAMBIOS EN PATRONES DE ALIMENTACIÓN Y USO DEL HÁBITAT**

El ruido ambiental también puede interferir en conductas esenciales como la búsqueda de alimento y la selección de microhábitats adecuados para el descanso o la termorregulación (Kight y Swaddle, 2011). En ambientes perturbados, los anuros deben redistribuir su actividad espacial y temporal para evitar las interferencias acústicas, lo cual puede reducir la eficiencia en la adquisición de recursos (Kight y Swaddle, 2011). En estudios experimentales con *Engystomops pustulosus*, se ha observado que los machos incrementan su actividad vocal en presencia de ruido, lo que reduce el tiempo disponible para forrajear, afectando negativamente su condición física (Halfwerk *et al.*, 2011). Este compromiso entre vocalización y alimentación representa un costo ecológico importante, ya que el gasto energético incrementado no siempre se ve compensado por mayores tasas de apareamiento (Brumm y Slabbekoorn, 2005). Además, algunas especies pueden evitar áreas ruidosas, desplazándose hacia zonas más silenciosas con menor calidad ambiental o menor disponibilidad de presas, lo que implica una disminución en su rendimiento ecológico general (Eigenbrod, Hecnar, y Fahrig, 2009). Este tipo de desplazamiento ha sido documentado en diversos vertebrados, y en el caso de los anuros, puede limitar el acceso a recursos críticos para la reproducción y la supervivencia (Shannon *et al.*, 2016).

### 5.4.3 ALTERACIONES EN EL COMPORTAMIENTO TERRITORIAL Y SOCIAL

Los anuros dependen en gran medida de la comunicación acústica para establecer y mantener territorios, especialmente durante la época reproductiva. Los cantos territoriales permiten a los machos evitar conflictos físicos innecesarios y mantener distancias óptimas entre individuos, lo cual regula la densidad poblacional y reduce el riesgo de agresiones (Wells, 2007). Sin embargo, la interferencia acústica puede enmascarar estos llamados, afectando la capacidad de los individuos para reconocer y responder a intrusos (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

El ruido ambiental no solo obstaculiza la transmisión de señales territoriales, sino que también puede inducir respuestas de agresividad no planificadas debido a la confusión acústica, incrementando el estrés fisiológico y energético entre los machos (Kight y Swaddle, 2011). En especies como *Hypsiboas faber*, se ha observado que el canto territorial puede intensificarse o volverse más frecuente ante condiciones de alta competencia acústica, lo que conlleva un incremento en el gasto energético y un mayor riesgo de confrontaciones físicas (Martins y Haddad, 1988).

En condiciones de contaminación sonora, los patrones de interacción social también pueden verse alterados. Algunos estudios sugieren que el ruido puede afectar la sincronización de los coros reproductivos, disminuyendo la cohesión del grupo y reduciendo la eficacia del “efecto coro”, una estrategia clave para atraer a las hembras y disuadir a competidores (Gerhardt y Huber, 2002; Sun y Narins, 2005). Estas modificaciones en las interacciones sociales pueden tener efectos negativos sobre el éxito reproductivo y la estabilidad de las poblaciones, particularmente en especies con alta dependencia de las vocalizaciones para la organización espacial y reproductiva (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

### 5.5 EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LAS DINÁMICAS POBLACIONALES DE LOS ANUROS

La contaminación acústica provocada por actividades humanas ha sido reconocida como un factor de presión que puede modificar la dinámica de las poblaciones de anuros a

diferentes escalas ecológicas (Kaiser y Hammers, 2019). Estudios recientes han demostrado que en zonas con alta carga sonora, la densidad de individuos disminuye significativamente debido a la reducción del éxito reproductivo y al abandono de hábitats perturbados (Llusia, Márquez, y Bowker, 2011). Por ejemplo, en Costa Rica, se registró una disminución en la abundancia de *Dendropsophus ebraccatus* en áreas cercanas a fuentes de ruido urbano, asociada a una menor actividad vocal durante la temporada reproductiva (Tennesen, Parks, y Langkilde, 2014). Asimismo, en Panamá, *Hyalinobatrachium fleischmanni* mostró cambios en su patrón de canto en sitios con ruido artificial, lo que posiblemente afectó la atracción de parejas y la tasa de oviposición (Gutiérrez-Vannucchi *et al.*, 2019). Estas respuestas poblacionales no son homogéneas entre especies, y las más sensibles tienden a desaparecer del paisaje acústico, reduciendo la diversidad alfa y alterando las interacciones ecológicas locales (Brumm y Slabbekoorn, 2005). En conjunto, estos cambios pueden desestructurar las redes tróficas, al modificar tanto la presencia de depredadores como la disponibilidad de presas, impactando de forma indirecta la funcionalidad de los ecosistemas (Caorsi *et al.*, 2022).

### 5.5.1 EFECTOS EN LA ABUNDANCIA

La exposición constante al ruido antropogénico puede inducir una disminución en la abundancia de anuros al interferir con comportamientos esenciales para la supervivencia y reproducción (Tennesen, Parks, y Langkilde, 2014). Este fenómeno ha sido observado en *Leptodactylus fuscus*, una especie común en ambientes perturbados del sur de Brasil, donde la actividad vocal se redujo considerablemente en zonas cercanas a carreteras, limitando la detección entre individuos y reduciendo las oportunidades reproductivas (Caorsi *et al.*, 2017). De forma similar, *Scinax ruber* mostró una menor tasa de respuesta acústica y presencia poblacional en ambientes urbanos con alta densidad de tráfico, comparado con sitios más silenciosos (Gutiérrez-Vannucchi *et al.*, 2019). Esta reducción en la actividad reproductiva se traduce en un menor número de individuos reclutados en la siguiente generación, afectando la viabilidad a largo plazo de las poblaciones (Caorsi *et al.*, 2017). Además, el enmascaramiento acústico puede generar efectos acumulativos al coincidir con otros estresores como la pérdida de hábitat, lo que intensifica el descenso poblacional en especies acústicamente especializadas (Sun y Narins, 2005).

### 5.5.2 EFECTOS EN LA DIVERSIDAD

La contaminación acústica generada por actividades humanas ha sido reconocida como un factor que puede alterar la dinámica de las poblaciones de anuros en múltiples escalas ecológicas (Kaiser y Hammers, 2019). Estudios indican que en zonas con alta exposición al ruido, la densidad de individuos disminuye considerablemente debido a una caída en el éxito reproductivo y el abandono de hábitats perturbados (Llusia, Márquez y Bowker, 2011). En Costa Rica, se reportó una reducción en la abundancia de *Dendropsophus ebraccatus* cerca de fuentes urbanas, vinculada a una menor actividad vocal en época reproductiva (Tennesen, Parks y Langkilde, 2014). De manera similar, en Panamá, *Hyalinobatrachium fleischmanni* presentó variaciones en su patrón de canto en presencia de ruido artificial, lo que podría interferir en la atracción de parejas y disminuir la tasa de oviposición (Gutiérrez-Vannucchi *et al.*, 2019). Además, estas respuestas no son homogéneas entre especies: aquellas más sensibles al ruido tienden a desaparecer, reduciendo la diversidad alfa y alterando interacciones ecológicas locales (Brumm y Slabbekoorn, 2005). Estos cambios pueden comprometer las redes tróficas al modificar la abundancia de depredadores y presas, afectando indirectamente la funcionalidad de los ecosistemas (Halfwerk *et al.*, 2015).

### 5.5.3 EFECTOS EN LA ESTRUCTURA POBLACIONAL

El ruido antropogénico puede alterar la estructura poblacional de los anuros al modificar parámetros como la proporción de sexos, la edad de los individuos y sus patrones de dispersión (Kaiser y Hammers, 2019). Por ejemplo, en poblaciones de *Physalaemus cuvieri*, se ha documentado que la exposición al ruido de tráfico disminuye su comportamiento evasivo, lo que podría influir en la proporción de individuos observados, especialmente durante la época reproductiva (Caorsi *et al.*, 2017). Además, en estudios sobre *Dendropsophus microcephalus*, se ha observado que el ruido ambiental puede disminuir el reclutamiento de juveniles, afectando la dinámica demográfica a largo plazo (Measey *et al.*, 2017). Asimismo, el ruido puede actuar como una barrera acústica para la dispersión, dificultando la orientación espacial de los

individuos y limitando el flujo genético entre subpoblaciones (Bee y Swanson, 2007). Estos efectos pueden reducir la estabilidad y la resiliencia poblacional, aumentando el riesgo de extinción local ante eventos estocásticos (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

#### 5.5.4 EFECTOS EN LAS CADENAS TRÓFICAS

Las alteraciones en la comunicación y el comportamiento de los anuros provocadas por el ruido también impactan las interacciones tróficas, afectando su rol como presas y depredadores dentro del ecosistema (Francis y Barber, 2013). En ambientes ruidosos, especies como *Physalaemus nattereri* muestran una disminución en la eficiencia del forrajeo debido a una reducción en su actividad cuando están expuestas al ruido de tráfico, lo que compromete su capacidad para capturar presas (Both y Grant, 2012). Asimismo, el enmascaramiento acústico puede dificultar la detección de depredadores, aumentando la vulnerabilidad de los anuros, como se ha documentado en *Boana albopunctata*, donde los individuos presentan un tiempo de reacción más lento ante estímulos amenazantes bajo ruido constante (Caorsi *et al.*, 2017).

Estas alteraciones no solo afectan el comportamiento individual, sino que también pueden generar desequilibrios en la red trófica. Por ejemplo, la disminución en la abundancia de especies sensibles al ruido, y su reemplazo por especies generalistas más tolerantes, puede reducir la diversidad funcional y alterar las interacciones entre depredadores y presas (Brumm y Slabbekoorn, 2005; Francis *et al.*, 2009). Además, estudios realizados en entornos urbanos y rurales de México han reportado que la urbanización y el ruido asociado afectan negativamente la riqueza y composición de la herpetofauna, lo que refleja una pérdida de complejidad ecológica (Hernández-Salinas *et al.*, 2010; Suazo-Ortuño, Alvarado-Díaz, y Martínez-Ramos, 2008). Estos cambios pueden desencadenar efectos en cascada que comprometen la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas (Narins *et al.*, 2006; Halfwerk y Slabbekoorn, 2015).

### **5.5.5 BRECHAS DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL IMPACTO DEL RUIDO EN LAS DINÁMICAS POBLACIONALES DE LOS ANUROS**

Aunque ha habido avances en el estudio del impacto del ruido antropogénico en la fauna silvestre, persisten importantes vacíos de conocimiento sobre sus efectos en las dinámicas poblacionales de los anuros (Shannon *et al.*, 2016). La mayoría de las investigaciones se concentran en respuestas conductuales inmediatas, como la modificación del canto, pero no profundizan en consecuencias demográficas como la supervivencia, el reclutamiento o la estructura genética poblacional (Halfwerk y Slabbekoorn, 2015).

Existen pocas series temporales prolongadas que permitan evaluar los efectos acumulativos del ruido en parámetros poblacionales como el tamaño efectivo, la fecundidad o la tasa de mortalidad juvenil (Francis y Barber, 2013). Además, la literatura carece de estudios interdisciplinarios que integren ecología conductual, fisiología del estrés y genética de poblaciones para comprender los mecanismos por los cuales el ruido altera la dinámica de las especies (Kight y Swaddle, 2011).

En regiones megadiversas como Sudamérica, los trabajos empíricos que valúan los efectos del ruido sobre comunidades de anuros son limitados, y en países como Ecuador aún son escasos y dispersos (Gutiérrez Vannucchi, 2024). Esta carencia de datos locales impide la formulación de estrategias de conservación adaptadas al contexto biogeográfico andino y amazónico (Ron, Merino-Viteri y Ortiz, 2024). Asimismo, la mayoría de los estudios utilizan niveles de ruido artificial en condiciones controladas, lo que limita su aplicabilidad para predecir impactos en ecosistemas naturales complejos (Shannon *et al.*, 2020). Por tanto, se requiere fortalecer el monitoreo a largo plazo en áreas protegidas, así como evaluar el efecto del ruido en especies con diferentes grados de especialización acústica y sensibilidad ambiental (Brumm y Slabbekoorn, 2005).

### **5.6 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES SOBRE EFECTOS DEL RUIDO ANTROPOGÉNICO EN ANUROS**

A pesar de los avances recientes en bioacústica y ecología del comportamiento, aún persisten importantes brechas de conocimiento sobre cómo el ruido antropogénico afecta a

los anuros en distintas regiones del mundo (Halfwerk y Slabbekoorn, 2015). Esta problemática es aún más urgente en regiones megadiversas como Sudamérica, donde la alta biodiversidad de anuros no se corresponde con la cantidad de estudios sistemáticos realizados con enfoque ecológico y conservacionista (Boeckle *et al.*, 2023). En particular, la falta de bancos de datos acústicos estandarizados y la escasa cobertura geográfica de monitoreo dificultan la comprensión de los efectos del ruido sobre la diversidad acústica y ecológica de los anuros (Narins *et al.*, 2003).

Una de las principales prioridades en Sudamérica es desarrollar inventarios acústicos regionales, con especial atención en ecosistemas de alta diversidad como la Amazonía, los Andes y los bosques secos tropicales (Boeckle *et al.*, 2023). Estos inventarios deben incluir descripciones detalladas de las vocalizaciones de especies poco conocidas, utilizando grabaciones pasivas y sensores automáticos para asegurar una cobertura espacial y temporal adecuada (Farina y Gage, 2017). Además, es fundamental que estos esfuerzos estén acompañados por bases de datos abiertas que integren metadatos ecológicos y geográficos, lo cual facilitaría estudios comparativos y la colaboración internacional (Narins *et al.*, 2003). A nivel metodológico, se sugiere que las investigaciones incorporen enfoques interdisciplinarios que combinen acústica, fisiología, ecología espacial y modelado poblacional para comprender los efectos individuales y poblacionales del ruido (Halfwerk y Slabbekoorn, 2015).

En el caso específico de Ecuador, país megadiverso con más de 635 especies de anfibios registradas, de las cuales más del 57 % se encuentran bajo alguna categoría de amenaza, la situación es particularmente crítica (Ortega-Andrade *et al.*, 2021). En este contexto, se requiere una estrategia nacional para el registro formal de los cantos de especies endémicas del género *Pristimantis*, muchas de las cuales aún no han sido descritas acústicamente (Ortega-Andrade *et al.*, 2021). Esta falta de información dificulta su identificación, monitoreo y conservación. Por ejemplo, *Pristimantis unistrigatus*, una especie ampliamente distribuida en los Andes ecuatorianos, ha mostrado cierta tolerancia a entornos urbanos, pero enfrenta desafíos frente a la expansión urbana y la alteración del paisaje sonoro, lo que podría comprometer su viabilidad a largo plazo (Mendoza *et al.*, 2021; Ron, Merino-Viteri y Ortiz, 2024).

En Ecuador es necesario impulsar estudios de campo que analicen las respuestas comportamentales y fisiológicas de especies locales ante distintos tipos e intensidades de ruido. Estos estudios deben incluir experimentos que evalúen la plasticidad vocal, los niveles hormonales de estrés y la eficiencia reproductiva bajo escenarios acústicos variables (Kaiser

*et al.*, 2011; Kunc y Schmidt, 2019). Además, deben fomentarse programas de monitoreo bioacústico a largo plazo en áreas protegidas y zonas de transición urbano-rurales, con el objetivo de generar datos continuos que permitan evaluar los efectos acumulativos del ruido sobre las poblaciones de anuros (Boeckle *et al.*, 2023).

Finalmente, tanto a nivel sudamericano como nacional, se recomienda fortalecer la formación de especialistas en bioacústica, así como integrar el ruido como factor de impacto ambiental en los procesos de planificación del territorio y evaluación de proyectos de desarrollo (Kunc y Schmidt, 2019). El reconocimiento del paisaje sonoro como indicador de salud ecológica puede convertirse en una herramienta clave para la conservación de los anuros en contextos de creciente presión antrópica (Farina y Gage, 2017).

## 6. CONCLUSIONES

- La presente investigación ha permitido profundizar en los diversos efectos que ejerce el ruido antropogénico sobre los anuros, revelando un panorama complejo de alteraciones conductuales, poblacionales y ecológicas, con implicaciones directas para su supervivencia y conservación.
- Se determinó que el ruido antropogénico interfiere significativamente en el comportamiento de los anuros, especialmente en sus estrategias reproductivas, como la emisión de cantos de apareamiento y la defensa territorial. Esta interferencia compromete la eficacia de la comunicación acústica, reduce el emparejamiento exitoso y altera las jerarquías sociales. Además, afecta negativamente la detección de depredadores y otras conductas clave como la alimentación, lo que puede disminuir el rendimiento fisiológico y reducir el éxito adaptativo de los individuos.
- El análisis evidenció que la contaminación acústica modifica la dinámica poblacional de los anuros, reduciendo su abundancia y diversidad en hábitats alterados, como zonas urbanas o áreas próximas a infraestructuras viales. Estas alteraciones incluyen el desplazamiento de especies más sensibles, la dominancia de especies generalistas, la fragmentación funcional del hábitat y el debilitamiento de las redes tróficas, especialmente en los niveles en los que los anuros actúan como presas o depredadores. Las perturbaciones acústicas crónicas también pueden limitar la conectividad genética entre subpoblaciones, comprometiendo la resiliencia ecológica.
- Se identificaron brechas de conocimiento significativas en torno a los efectos del ruido en los anuros, particularmente en Sudamérica y con especial énfasis en Ecuador. La literatura revisada indica la necesidad urgente de desarrollar estudios bioacústicos que documenten la diversidad de cantos, su sensibilidad a distintas fuentes de ruido y su variabilidad entre hábitats naturales y antropizados. Asimismo, se recomienda integrar la dimensión acústica en los programas de monitoreo ecológico, diseñar

estrategias de conservación que incluyan la calidad sonora del entorno y establecer prioridades de investigación específicas para especies endémicas o amenazadas.

- En conjunto, los hallazgos de esta revisión destacan que el ruido antropogénico representa una amenaza emergente pero sustancial para la herpetofauna neotropical. Su impacto ha sido subestimado en muchas estrategias de conservación. La protección efectiva de los anuros requiere no solo preservar los componentes físicos de su hábitat, sino también garantizar un entorno sonoro adecuado que permita la ejecución de procesos biológicos esenciales como la reproducción, la comunicación y la defensa.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barber, J. R., Crooks, K. R., y Fristrup, K. M. (2010). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology y Evolution*, 25(3), 180–189.
- Bee, M. A., y Swanson, E. M. (2007). Auditory masking of anuran advertisement calls by road traffic noise. *Animal Behaviour*, 74(6), 1765–1776.
- Blaustein, A. R., y Kiesecker, J. M. (2002). Complexity in conservation: Lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters*, 5(4), 597–608.
- Boncoraglio, G., y Saino, N. (2007). Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. *Functional Ecology*, 21(1), 134–142.
- Böhkle, M., Searle, K., y Ríos-Chelén, A. A. (2022). Anthropogenic noise and tropical frogs: The forgotten amphibians of the urban soundscape. *Bioacoustics*, 32(2), 134–156.
- Brumm, H., y Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic communication in noise. *Advances in the Study of Behavior*, 35, 151–209.
- Brumm, H., y Zollinger, S. A. (2011). The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. *Behaviour*, 148(11–13), 1173–1198.
- Caorsi, V. Z., Both, C., Cechin, S. Z., Antunes, R., y Borges-Martins, M. (2017). Effects of traffic noise on the calling behavior of two Neotropical hylid frogs. *PLoS ONE*, 12(8), e0183342.
- Collins, J. P., y Crump, M. L. (2009). Extinction in our times: Global amphibian decline. Oxford University Press.
- Cushman, S. A. (2006). Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*, 128(2), 231–240.
- Eigenbrod, F., Hecnar, S. J., y Fahrig, L. (2009). Quantifying the road-effect zone: Threshold effects of a motorway on anuran populations in Ontario, Canada. *Ecology and Society*, 14(1), 24.
- Francis, C. D., Ortega, C. P., y Cruz, A. (2009). Noise pollution changes avian communities and species interactions. *Current Biology*, 19(16), 1415–1419.
- Francis, C. D., y Barber, J. R. (2013). A framework for understanding noise impacts on wildlife: An urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(6), 305–313.
- Gerhardt, H. C., y Huber, F. (2002). Acoustic communication in insects and anurans: Common problems and diverse solutions. University of Chicago Press.
- Gutiérrez Vannucchi, C. (2024). Efectos del ruido antropogénico en anuros: una revisión sistemática (Tesis de pregrado, Universidad de Chile, Santiago, Chile).

- Halfwerk, W., Bot, S., Buikx, J., van der Velde, M., Komdeur, J., ten Cate, C., y Slabbekoorn, H. (2011). Low-frequency songs lose their potency in noisy urban conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(35), 14549–14554.
- Halfwerk, W., y Slabbekoorn, H. (2015). Pollution going multimodal: The complex impact of the human-altered sensory environment on animal perception and performance. *Biology Letters*, *11*(4), 20141051.
- Harper, E. B., Rittenhouse, T. A. G., y Semlitsch, R. D. (2008). Demographic consequences of terrestrial habitat loss for pool-breeding amphibians: Predicting extinction risks associated with inadequate size of buffer zones. *Conservation Biology*, *22*(5), 1205–1215.
- Hernández-Salinas, U., Ramírez-Bautista, A., Wilson, L. D., y Mata-Silva, V. (2010). Diversidad y abundancia de herpetofauna en ambientes urbanos y semiurbanos del centro de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *81*, 913–925. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.3.268>
- Kaiser, K., Scofield, D., Alloush, M., Jones, R., Marczak, S., Martineau, K., Oliva, M., y Narins, P. M. (2011). When sounds collide: The effect of anthropogenic noise on a breeding assemblage of frogs in Belize, Central America. *Behaviour*, *148*(2), 215–232.
- Kight, C. R., y Swaddle, J. P. (2011). How and why environmental noise impacts animals: An integrative, mechanistic review. *Ecology Letters*, *14*(10), 1052–1061.
- Kunc, H. P., y Schmidt, R. (2019). The effects of anthropogenic noise on animals: A meta-analysis. *Biology Letters*, *16*(12), 20200603.
- Llusia, D., Márquez, R., y Bowker, R. G. (2011). Terrestrial soundscapes: A review of the impacts of noise on wildlife. *Bioacoustics*, *20*(3), 225–272.
- Martins, M., y Haddad, C. F. B. (1988). Vocalizations and reproductive behaviour in the Smith frog *Hyla faber* Wied (Amphibia: Hylidae). *Amphibia-Reptilia*, *9*(1), 49–60. <https://doi.org/10.1163/156853888X00049>
- Measey, G. J., Stevenson, B. C., Scott, T., Altwegg, R., y Borchers, D. L. (2017). Counting chirps: Acoustic monitoring of cryptic frogs. *Journal of Applied Ecology*, *54*(3), 894–902.
- Mendoza, Á., Rodríguez, M., y Ortega, M. (2021). Evaluación del estado de conservación de los anfibios en el Ecuador. *Revista Biodiversidad Neotropical*, *11*(2), 45–62.
- Morton, E. S. (1975). Ecological sources of selection on avian sounds. *The American Naturalist*, *109*(965), 17–34.
- Narins, P. M., y Smith, S. L. (1986). Clinal variation in anuran advertisement calls: Basis for acoustic isolation? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *19*(2), 135–141.
- Narins, P. M., Feng, A. S., Fay, R. R., y Popper, A. N. (2003). Hearing and sound communication in amphibians: Prologue and prognostication. In P. M. Narins, A. S. Feng, R. R. Fay, y A. N. Popper (Eds.), *Hearing and sound communication in amphibians* (pp. 1–12). Springer.

- Narins, P. M., Grabul, D. S., Soma, K. K., Gaucher, P., y Hödl, W. (2006). Cross-modal integration in a dart-poison frog. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(7), 2425–2429.
- Ortega-Andrade, H. M., Rodes Blanco, M., Cisneros-Heredia, D. F., Guerra Arévalo, N., López de Vargas-Machuca, K. G., Sánchez-Nivicela, J. C., ... Yáñez-Muñoz, M. H. (2021). Red List assessment of amphibian species of Ecuador: A multidimensional approach for their conservation. *PLOS ONE*, 16(5), e0251027.
- Rand, A. S. (1985). Release call characteristics of male and female *Rana pipiens*. *Herpetologica*, 41(2), 156–161.
- Ryan, M. J. (1985). The túngara frog: A study in sexual selection and communication. University of Chicago Press.
- Ron, S. R., Frenkel, C., Varela-Jaramillo, A., y Guayasamín, J. M. (2023). *Pristimantis unistrigatus*. En: Ron, S. R., Merino-Viteri, A., y Ortiz, D. A. (Eds.), *Anfibios del Ecuador. Versión 2024.0*. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Ron, S. R., Guayasamín, J. M. y Menéndez-Guerrero, P. (2011). Biodiversity and conservation status of amphibians of Ecuador. En H. Heatwole y J. W. Wilkinson (Eds.), *Amphibian biology* (Vol. 9, Part 1, pp. 129–179). Surrey Beatty y Sons.
- Ron, S. R., Merino-Viteri, A., y Ortiz, D. A. (Eds.). (2024). *Anfibios del Ecuador. Versión 2024.0*. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Ryan, M. J. (1985). The túngara frog: A study in sexual selection and communication. University of Chicago Press.
- Simpson, S. D., Radford, A. N., Nedelec, S. L., Ferrari, M. C. O., Chivers, D. P., McCormick, M. I., y Meekan, M. G. (2016). Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nature Communications*, 7, Article 10544.
- Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fristrup, K. M., Brown, E., ... y Wittemyer, G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*, 91(4), 982–1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207>
- Suazo-Ortuño, I., Alvarado-Díaz, J., y Martínez-Ramos, M. (2008). High resilience of herpetofaunal communities in a human-modified tropical dry forest landscape in western Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(13), 3013–3038.
- Sun, J. W. C., y Narins, P. M. (2005). Anthropogenic sounds differentially affect amphibian call rate. *Biological Conservation*, 121(3), 419–427.
- Tennessen, J. B., Parks, S. E., y Langkilde, T. (2014). Traffic noise causes physiological stress and impairs breeding behavior in frogs. *Conservation Physiology*, 2(1), cou032. <https://doi.org/10.1093/conphys/cou032>
- Tobias, J. A., Planqué, R., Cram, D. L., y Seddon, N. (2014). Species interactions and the structure of complex communication networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(3), 1020–1025 <https://doi.org/10.1073/pnas.1314337111>

Wells, K. D. (2007). *The ecology and behavior of amphibians*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/E/bo5298950.html>

Zaldívar-Riverón, A., Martínez-Méndez, N., Nieto-Montes de Oca, A., Parra-Olea, G., y Reynoso, V. H. (2006). Diversidad y distribución de los anfibios en un gradiente urbano-suburbano en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, 22(1), 105–118. <https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v22n1/v22n1a8.pdf>

## 8. ANEXOS

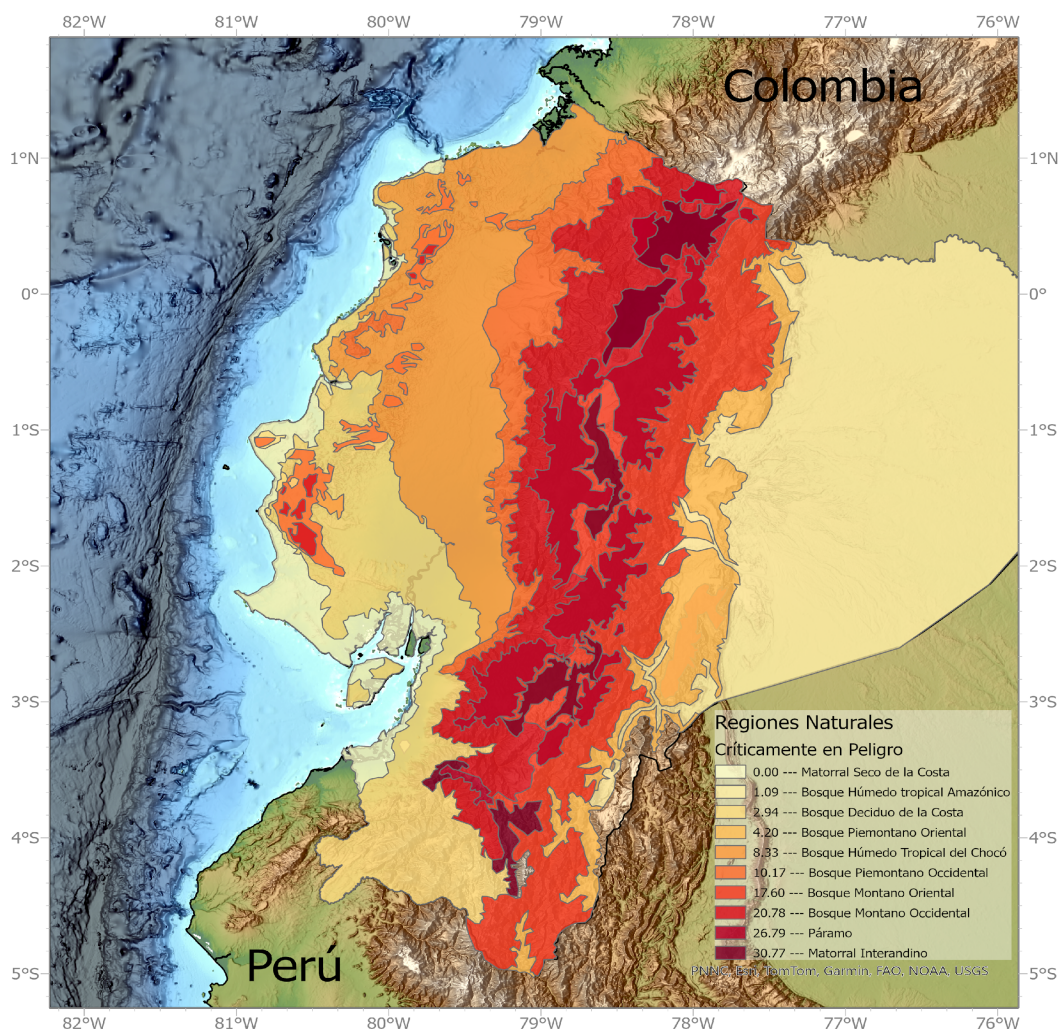


Figura 1. Mapa del Ecuador de las Regiones Naturales Protegidas y su porcentaje de especies críticamente en peligro de extinción. Se observa que las zonas con colores más intensos representan un mayor porcentaje de especies en riesgo, mientras que las regiones con tonalidades más claras muestran menores niveles de amenaza.

