

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias de la Vida

Evaluación del impacto ecológico del dispositivo sónico Hyperspiké para
controlar aves en camaroneras

VIDA-468

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Biólogo

Presentado por:
Dyann Gabriel Collantes Mena

Tutor:
Julian Pérez Correa

Guayaquil - Ecuador
Año: 2025

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a mi familia, Suscety Mena, Mercedes Vélez, y Carolina Raza, quienes me impulsaron a lo largo de mi vida, día tras día. A Félix Morales, quien más que un profesor, un mentor, fue un guía y compañero en todos los sentidos a lo largo de la carrera. A Julian Pérez, quien me permitió dar paso al inicio de mi vida como investigador. A mis amigos, Nurys Tumbaco, Yhohan Mendez, de los que sin su apoyo incondicional no habría sido capaz de llegar a donde estoy.

Declaración Expresa

Yo Dyann Gabriel Collantes Mena acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de Enero del 2026.



Dyann Collantes Mena

Evaluadores

Diego Gallardo Polit
Profesor de Materia

Julian Pérez Correa
Tutor de proyecto

Resumen

La intensificación de la acuicultura en zonas costeras ha incrementado las interacciones entre fauna silvestre y sistemas productivos, particularmente con aves piscívoras que incorporan los estanques de cultivo como parte de sus áreas habituales de forrajeo. En este contexto, este estudio evalúa la eficacia de un dispositivo sónico como método disuasivo no letal para *Nannopterum brasilianum*, con el objetivo de determinar si la aplicación de estímulos acústicos modifica el uso de las piscinas camaroneras por parte de la especie. Se planteó la hipótesis de que el estímulo sonoro reduce la presencia, la frecuencia de visita y el tiempo de permanencia de los individuos en las piscinas tratadas, sin provocar daño físico. El estudio se desarrolló mediante un diseño experimental antes–después, combinando conteos sistemáticos, registros de comportamiento y la aplicación dirigida del estímulo, siguiendo lineamientos internacionales para el manejo no letal de fauna. Los resultados evidenciaron que aunque no hubo una disminución consistente en la presencia y frecuencia de visita en las piscinas tratadas, sí fue así en los cambios en los patrones de permanencia durante la aplicación del estímulo. En conjunto, los hallazgos indican que los dispositivos sónicos pueden constituir una herramienta eficaz para el manejo no letal de cormoranes en sistemas acuícolas.

Abstract

*The intensification of aquaculture in coastal areas has increased interactions between wildlife and productive systems, particularly with piscivorous birds that incorporate culture ponds into their regular foraging areas. In this context, this study evaluates the effectiveness of a sonic device as a non-lethal deterrent method for *Nannopterum brasilianum*, aiming to determine whether the application of acoustic stimuli alters the species' use of shrimp farming ponds. The hypothesis proposed that the acoustic stimulus would reduce the presence, visitation frequency, and residence time of individuals in treated ponds without causing physical harm. The study was conducted using a before–after experimental design, combining systematic counts, behavioral observations, and the targeted application of the stimulus, following international guidelines for non-lethal wildlife management. The results showed that although no consistent reduction in presence or visitation frequency was observed in treated ponds, changes in residence time patterns did occur during stimulus application. Overall, the findings indicate that sonic devices may represent an effective tool for the non-lethal management of cormorants in aquaculture systems*

Tabla de contenido

Evaluadores	4
CAPITULO 1	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción Del Problema.....	3
1.3 Justificación Del Problema	4
1.4 Objetivos.....	7
Objetivo general.....	7
Objetivos específicos	7
1.5 Marco Teórico	8
1.5.1 Interacción fauna–acuicultura.....	8
1.5.2 Ecología y comportamiento del cormorán	9
1.5.3 Métodos disuasivos utilizados actualmente	9
1.5.4 Dispositivos sónicos como técnicas de disuasión	10
1.5.5 Contexto ecológico de los manglares y sistemas acuícolas	11
CAPÍTULO 2.....	12
2.1 Metodología.....	13
Diseño del estudio.....	13
Área de estudio	13
Dispositivo sónico y tratamiento acústico	15
Fases de muestreo	17
Variables registradas.....	17
Análisis estadístico:	18
CAPÍTULO 3	21
3.1 Resultados.....	22
CAPÍTULO 4	27
4.1 Conclusiones.....	28
REFERENCIAS	30

CAPITULO 1

1.1 Introducción

El crecimiento sostenido de la acuicultura en zonas costeras y estuarinas ha intensificado las interacciones entre fauna silvestre y sistemas productivos, generando conflictos recurrentes que representan un desafío para el manejo eficiente de estas como puede ser la crianza intensiva de peces y camarones, el manejo de estanques y embalses, la rotación de cultivos acuáticos y la modificación de hábitats costeros, todos los cuales pueden alterar la disponibilidad de alimento y refugio para aves piscívoras y otros vertebrados acuáticos. En particular, las aves piscívoras encuentran en los estanques de cultivo ambientes altamente predecibles y con elevada disponibilidad de alimento, lo que favorece su uso frecuente y prolongado como áreas de alimentación y descanso (Burr et al., 2020). Esta situación puede traducirse en pérdidas económicas significativas y en dificultades operativas para los productores, llegando a gastar alrededor de \$700 por cada hectárea al tratar de disuadirlos (Engle et al., 2021).

Entre las especies que con mayor frecuencia interactúan con sistemas acuícolas se encuentran los cormoranes, aves con elevada capacidad de captura de presas acuáticas y un comportamiento marcadamente oportunista. Estudios recientes han documentado que estas aves incorporan de manera activa los estanques de cultivo dentro de sus rutas de alimentación, incrementando la presión sobre peces o camarones juveniles y generando preocupación en términos de productividad y bioseguridad (Enos, 2021; Coughlan et al., 2023). La recurrencia de estas interacciones ha motivado la implementación de diversas estrategias orientadas a reducir la presencia de aves en las áreas de cultivo.

Los métodos tradicionalmente utilizados para disuadir aves en instalaciones acuícolas incluyen barreras físicas, dispositivos visuales, patrullaje humano, estímulos acústicos de baja intensidad, e incluso eliminación directa del individuo. No obstante, múltiples evaluaciones coinciden en que muchas de estas medidas presentan una eficacia limitada en el tiempo debido a la tolerancia de las aves, así como a los costos operativos asociados a su aplicación continua, y complicaciones a nivel ético (Enos, 2021; Brown et al., 2022). En este contexto, la búsqueda de herramientas no letales, focalizadas y potencialmente más eficientes se ha convertido en una prioridad dentro del manejo moderno de fauna asociada a la acuicultura. Según la política 724 FW 6 del *U.S. Fish and Wildlife Service*, vigente desde el 2005, la toma o eliminación de aves piscívoras en instalaciones de acuicultura solo puede considerarse después de que se hayan probado y fallado todas las medidas disuasivas no letales, lo que evidencia que se prioriza un enfoque de manejo responsable para disuasión conductual sobre métodos letales en conflictos fauna–acuicultura.

En los últimos años, los dispositivos acústicos de proyección direccional, conocidos como *Acoustic Hailing Devices* (AHD), han sido propuestos como una alternativa tecnológica para la disuasión de depredadores en distintos escenarios, incluyendo aeropuertos, áreas industriales y sistemas productivos (Tixier et al., 2015). Estos dispositivos emiten señales sonoras de alta intensidad y alcance controlado, diseñadas para generar incomodidad y provocar el desplazamiento de las especies objetivo sin causar daño físico directo (Schlichting et al., 2017; Warzybok et al., 2024). La evidencia disponible sugiere que la respuesta de las aves a estos estímulos es altamente dependiente de factores como la especie, el tipo de señal acústica, la frecuencia de aplicación y el contexto espacial, lo que puede traducirse en resultados variables entre sitios y periodos de tiempo (Russell et al., 2012; Chen et al., 2024).

A pesar del creciente interés en el uso de tecnologías acústicas como herramientas de manejo no letal, la información científica disponible sobre su eficacia en sistemas acuícolas es aún limitada, particularmente en condiciones reales de operación. En el caso de los cormoranes, existe una escasez de estudios que cuantifiquen de forma sistemática la reducción en la frecuencia de visita y el tiempo de permanencia tras la aplicación de estímulos sonoros direccionales, así como la consistencia de la respuesta a lo largo del tiempo (Cunningham et al., 2024). Esta falta de evidencia empírica dificulta la toma de decisiones informadas y favorece la adopción de medidas cuya efectividad real no ha sido adecuadamente evaluada.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de un dispositivo sónico como herramienta disuasiva para reducir la presencia de cormoranes en piscinas camaroneras. Mediante un diseño experimental controlado, se analiza si la aplicación sistemática de estímulos acústicos permite disminuir la frecuencia de visita y el tiempo de permanencia de estas aves en las áreas de cultivo. Los resultados de esta investigación buscan aportar evidencia cuantitativa relevante para el manejo no letal de avifauna en sistemas acuícolas y contribuir a la evaluación crítica del uso de tecnologías acústicas como alternativas viables dentro de estrategias de producción responsable.

1.2 Descripción Del Problema

La problemática central se origina en la presencia recurrente de cormoranes en las piscinas camaroneras. Estas aves encuentran en las piscinas un recurso alimenticio fácil y abundante, lo que genera pérdidas productivas debido al consumo de camarones, afectando la

biomasa disponible para cosecha. Al concentrarse sobre áreas artificiales, los cormoranes también modifican sus patrones de alimentación y permanencia, lo que altera la dinámica ecológica natural del ecosistema.

A pesar de la magnitud del problema, los mecanismos comúnmente utilizados para disuadir aves presentan baja eficiencia o pierden efecto rápidamente cuando los individuos se habitúan a los estímulos. Por ello, el ámbito de acción del presente proyecto se limita al desarrollo y evaluación de un dispositivo sónico disuasivo, orientado a disminuir la interacción entre los cormoranes y las piscinas mediante la emisión controlada y repetitiva de señales acústicas.

Las variables de interés asociadas al problema incluyen:

Aterrizajes

El número de ingresos de cormoranes a las piscinas dentro de intervalos establecidos

Tiempo de Permanencia

Duración promedio de estancia de los individuos sobre el área de cultivo.

Inmersiones por minuto

Número de inmersiones que hacen los individuos en cada minuto.

Con ello, el proyecto se orienta al análisis de la efectividad de un método acústico como solución práctica para disminuir la presencia de cormoranes en un entorno acuícola específico

1.3 Justificación Del Problema

El manejo de interacciones entre fauna silvestre y actividades productivas constituye un desafío creciente a nivel global, particularmente en contextos donde los sistemas de producción se desarrollan en estrecha proximidad a ecosistemas naturales. La literatura reciente sobre conflictos fauna–humano destaca que la eficacia de las estrategias de mitigación depende en gran medida de la especie involucrada, del tipo de actividad productiva y de las condiciones locales en las que se implementan las medidas de manejo, lo que hace indispensable la evaluación empírica de las herramientas utilizadas en cada contexto específico (Wszelaki et al., 2025; Shrestha et al., 2025).

Desde una perspectiva productiva, la presencia recurrente de aves piscívoras en sistemas acuícolas representa una fuente de pérdidas directas e indirectas que puede afectar la eficiencia operativa de las instalaciones. Estudios recientes han señalado que la presión ejercida por la fauna silvestre sobre los sistemas productivos no es homogénea, sino que varía espacial y temporalmente, lo que dificulta la adopción de soluciones generalizadas y refuerza la necesidad de contar con herramientas cuya eficacia pueda ser evaluada de manera cuantitativa y controlada (Abas et al., 2025). En este sentido, la evaluación de tecnologías disuasivas permite aportar información objetiva que respalde la toma de decisiones en escenarios productivos reales.

El uso de métodos no letales ha sido ampliamente promovido como una alternativa compatible con principios de manejo responsable de la fauna, al buscar reducir los conflictos sin generar daños físicos directos a los organismos involucrados. No obstante, revisiones recientes coinciden en que la efectividad de estas estrategias es altamente variable y que su implementación sin una evaluación previa puede conducir a resultados inconsistentes o a una pérdida progresiva de eficacia (Wszelaki et al., 2025). Por ello, se ha enfatizado la necesidad de analizar de forma sistemática el desempeño de cada herramienta, considerando tanto la

respuesta conductual de la especie objetivo como las condiciones particulares del sitio de aplicación.

Diversos estudios experimentales han demostrado que ciertas medidas no letales, como barreras físicas, excluidores o estímulos disuasivos, pueden reducir la ocurrencia de eventos de conflicto bajo determinadas condiciones; sin embargo, su éxito depende de factores como la intensidad del estímulo, la frecuencia de aplicación y la capacidad de los animales para habituarse a las medidas implementadas (Lazure, 2024). Esta variabilidad refuerza la importancia de evaluar tecnologías específicas en escenarios concretos, evitando la extrapolación de resultados obtenidos en contextos distintos.

En el caso de los dispositivos acústicos, su uso se ha expandido como una herramienta potencialmente eficiente para la disuasión de fauna, aunque la evidencia sobre su desempeño en sistemas productivos continúa siendo limitada y fragmentaria. La ausencia de evaluaciones cuantitativas en condiciones reales de operación dificulta determinar si estas tecnologías representan una solución viable a mediano y largo plazo o si su eficacia se ve comprometida por procesos de habituación o por características propias del entorno (Shrestha et al., 2025). En este marco, resulta necesario generar información empírica que permita valorar objetivamente su utilidad como parte de estrategias de manejo.

Desde el punto de vista académico, la presente investigación contribuye a reducir los vacíos de información existentes en torno a la evaluación de métodos no letales aplicados al manejo de fauna en sistemas acuícolas. Al centrarse en variables cuantificables como la frecuencia de visita y el tiempo de permanencia de las aves, este estudio aporta evidencia que puede ser integrada en futuras investigaciones sobre conflictos fauna–producción. Asimismo, desde una perspectiva aplicada, los resultados obtenidos podrán servir como insumo para la

adopción de medidas de manejo más informadas, evitando la implementación de estrategias cuya eficacia no haya sido previamente evaluada en el contexto específico de uso.

En conjunto, este estudio se justifica por la necesidad de contar con información científica confiable y actualizada que permita evaluar la eficacia de herramientas disuasivas no letales en sistemas productivos sensibles. La evaluación de un dispositivo sónico como método de disuasión de cormoranes aporta una base objetiva para el diseño de estrategias de manejo más eficientes, responsables y acordes con las demandas actuales de sostenibilidad en la producción acuícola.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Evaluar la eficacia de un dispositivo sónico como método disuasivo para *Nannopterum brasilianum* en piscinas camaroneras, mediante el análisis de cambios en el uso de las piscinas antes y después de la aplicación de estímulos sonoros.

Objetivos específicos

- 1) Comparar la reducción en la presencia y frecuencia de visita de *Nannopterum brasilianum* en piscinas tratadas con el dispositivo sónico, con piscinas control.
- 2) Analizar la variación en la respuesta de *Nannopterum brasilianum* al tratamiento sónico en función de la proximidad a dormideros y de la presencia de otros métodos disuasivos locales.

3) Medir los cambios en el tiempo de permanencia de *Nannopterum brasilianum* en las piscinas camaroneras antes y durante de la aplicación del estímulo sonoro.

1.5 Marco Teórico

1.5.1 Interacción fauna–acuicultura

La interacción entre aves acuáticas y sistemas de producción acuícola ha sido ampliamente documentada en regiones donde la acuicultura se desarrolla en proximidad a humedales, manglares y cuerpos de agua estuarinos. Estos entornos proporcionan condiciones favorables para la avifauna piscívora, que puede utilizar los estanques acuícolas como fuentes concentradas y predecibles de alimento, incrementando la frecuencia de interacción con los sistemas productivos (Williams et al., 2020; Wszelaki et al., 2025).

Diversos estudios han señalado que la intensidad de estas interacciones varía según factores espaciales y ecológicos, como el tamaño de los estanques, la disponibilidad de refugios cercanos y la proximidad a dormideros o colonias reproductivas. En este contexto, especies como los cormoranes y garzas pueden generar pérdidas productivas significativas, especialmente cuando el acceso a los estanques no es limitado por medidas de manejo efectivas (Burr et al., 2020). Los conflictos entre humanos y fauna silvestre han ganado atención internacional en múltiples disciplinas, con miles de publicaciones que reflejan el impacto de las actividades humanas y la necesidad de estrategias integradas de manejo (Abas et al., 2025).

Más allá del impacto productivo, la disponibilidad artificial de presas puede inducir cambios en los patrones de uso del espacio y en el comportamiento alimenticio de las aves, favoreciendo la utilización recurrente de ambientes acuícolas frente a hábitats naturales. Esta modificación en el uso del hábitat refuerza la necesidad de implementar estrategias de manejo que reduzcan la frecuencia de interacción sin recurrir a métodos letales..

1.5.2 Ecología y comportamiento del cormorán

El cormorán neotropical (*Nannopterum brasilianum*) es una especie ampliamente distribuida en América, asociada a ambientes acuáticos continentales y costeros. Se caracteriza por su elevada eficiencia como depredador, ya que posee una notable capacidad de buceo y captura de presas bajo el agua, lo que le permite explotar con facilidad ambientes artificiales como estanques acuícolas (Burr et al., 2020).

Diversos estudios han documentado que esta especie incorpora las instalaciones acuícolas dentro de sus rutas de alimentación, especialmente cuando estas se encuentran próximas a dormideros o cuerpos de agua naturales. La intensidad de uso de los estanques puede variar temporalmente, dependiendo de factores como la disponibilidad de presas, la etapa productiva del cultivo y el tamaño de los organismos presentes (Terrel et al., 2021).

La respuesta conductual del cormorán frente a estímulos externos también muestra una elevada plasticidad, lo que le permite adaptarse rápidamente a condiciones cambiantes del entorno. Esta capacidad de ajuste conductual es un aspecto clave a considerar al evaluar la eficacia de métodos disuasivos, particularmente aquellos basados en estímulos sensoriales.

1.5.3 Métodos disuasivos utilizados actualmente

Para reducir la interacción entre aves piscívoras y sistemas acuícolas, se han implementado diversos métodos disuasivos, los cuales pueden agruparse en estrategias visuales, acústicas, físicas y combinadas. Entre los métodos visuales se incluyen siluetas de depredadores, cintas reflectantes y objetos móviles, aunque múltiples estudios han demostrado que su eficacia suele disminuir con el tiempo debido a procesos de habituación (Pruteanu, 2023; Micaelo et al., 2023).

Los métodos acústicos y mecánicos, como cañones de sonido o detonaciones, han mostrado resultados variables. Si bien pueden generar respuestas iniciales de evasión, su uso continuado puede ocasionar molestias a las comunidades humanas cercanas y presentar una eficacia decreciente cuando las aves se acostumbran al estímulo (Lazure, 2024). Por esta razón, investigaciones recientes han enfatizado la importancia de evaluar de manera cuantitativa el desempeño de cada herramienta bajo condiciones reales de operación acuícola (NCRAC, 2025).

1.5.4 Dispositivos sónicos como técnicas de disuasión

Los dispositivos sónicos se basan en la emisión de señales acústicas, tales como sonidos de alarma, frecuencias moduladas o estímulos intermitentes, que buscan generar incomodidad o alerta en las aves, promoviendo su alejamiento de las áreas tratadas. La eficacia de estos dispositivos depende de múltiples factores, incluyendo la intensidad del sonido, la frecuencia de emisión, la variabilidad temporal del estímulo y la capacidad de las aves para habituarse (Chen et al., 2024).

Estudios recientes han demostrado que la respuesta de las aves piscívoras a estímulos acústicos no es homogénea entre estanques, lo que sugiere que variables contextuales como la ubicación del estanque, la presión de depredación previa y la cercanía a dormideros influyen

en la efectividad del método (Williams et al., 2020). Esta variabilidad refuerza la necesidad de evaluar los dispositivos sónicos de forma específica para cada sistema productivo, evitando extrapolaciones generales.

1.5.5 Contexto ecológico de los manglares y sistemas acuícolas

Los manglares constituyen ecosistemas de alta importancia ecológica, ya que proporcionan hábitats esenciales para numerosas especies de peces, invertebrados y aves acuáticas. En regiones costeras del Ecuador, estos ecosistemas y su reducción, mantienen una estrecha relación espacial con áreas de producción acuícola, lo que incrementa la probabilidad de interacción entre fauna silvestre y actividades productivas (Hamilton & Lovette, 2014).

En este contexto, la implementación de tecnologías de disuasión en sistemas acuícolas cercanos a manglares requiere un enfoque cuidadoso, que priorice métodos no letales y evaluaciones basadas en evidencia. La generación de información científica sobre la eficacia de dispositivos disuasivos contribuye a la adopción de estrategias de manejo más responsables, compatibles con la conservación de la avifauna y la sostenibilidad de los sistemas productivos.

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

Diseño del estudio

El presente estudio se desarrolló bajo un diseño experimental comparativo con control espacial y repetición temporal, con el objetivo de evaluar la eficacia de un dispositivo sónico como método disuasivo para el cormorán neotropical (*Nannopterum brasilianum*) en piscinas camaroneras. El diseño incluyó una fase de pre-tratamiento y una fase de tratamiento acústico, permitiendo comparar la interacción de la especie objetivo con las piscinas antes y después de la aplicación del estímulo sonoro.

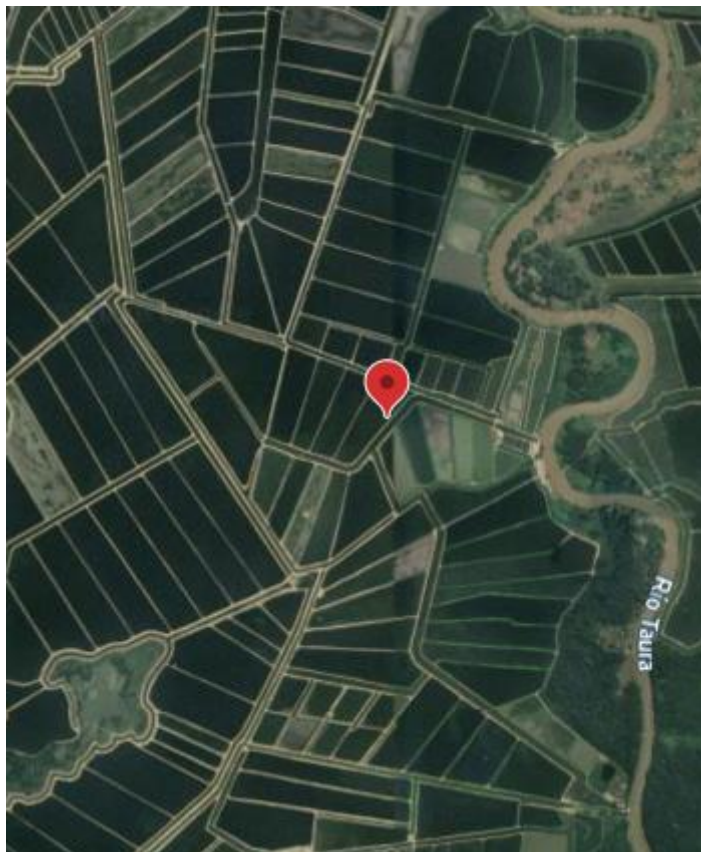
El análisis se centró específicamente en *N. brasilianum*. No obstante, la presencia de otras especies de avifauna fue registrada de manera complementaria con fines descriptivos y contextuales, sin ser incluida en los análisis estadísticos principales. La unidad experimental estuvo definida por cada sesión de muestreo realizada en cada punto de estudio, considerando la combinación de sitio, día y franja horaria como una observación independiente para el análisis.

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en piscinas camaroneras, ubicadas en el sector de Taura, Ecuador. Esta zona se caracteriza por la proximidad entre sistemas productivos acuícolas, el río Taura y áreas naturales asociadas a manglar como la REMCH, lo que genera condiciones favorables para la presencia de aves acuáticas piscívoras.

Imagen 1.

Piscinas camaroneras dentro del área de estudio (2.382587°S 79.788067°W)



Dentro de las instalaciones se seleccionaron tres puntos de muestreo estratégicos, considerando su ubicación espacial, cercanía a dormitorios y la independencia acústica entre tratamientos:

Tabla 1.

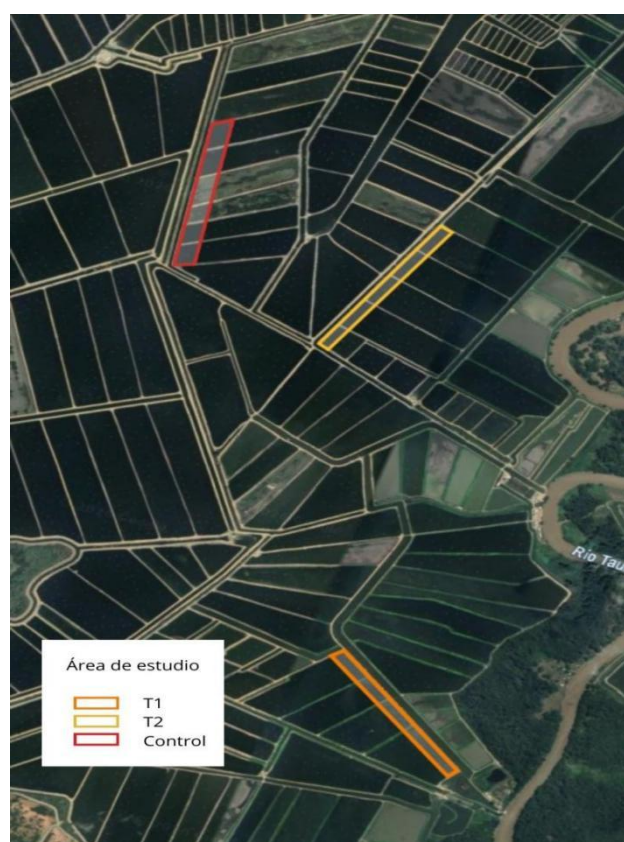
Puntos de estudio establecidos dentro de la camaronera

Punto de estudio	Descripción	Coordenadas
T1	Área circundante al río Taura, muy cercana a los dormitorios (aprox. 100m) dentro del área del manglar, que divide la camaronera de zonas naturales adyacentes, incluyendo las piscinas PSC70 a PSC75, correspondientes a la estación de bombeo "Taura Nueva".	Inicio: 2°23.955' S, 79°46.680' W Fin: 2°23.655' S, 79°47.208' W

T2	Área correspondiente al sector “Nuracorp” un punto más alejado de los dormitorios, incluyendo las piscinas, PSC50 a PSC54.	Inicio: 2°22.307' S, 79°47.388' W Fin: 2°22.752' S, 79°47.488' W
Control	Ubicado en la sección “Taura 2”, incluyendo las piscinas PSC35 a PSC40, donde no se aplicó ningún estímulo acústico.	Inicio: 2°22.598' S, 79°47.880' W Fin: 2°22.187' S, 79°47.982' W

Imagen 2.

Puntos de monitoreo dentro del Área de estudio



La distancia entre T1 y T2 fue de aproximadamente 2.48 km, mientras que T2 se ubicó a 0.68 km del punto control. Estas distancias fueron definidas considerando la direccionalidad del dispositivo sónico y su alcance horizontal efectivo, con el fin de evitar la superposición del estímulo acústico entre puntos.

Dispositivo sónico y tratamiento acústico

Se utilizó un dispositivo HiperSpike, un cañón de sonido direccional diseñado para la emisión de estímulos acústicos focalizados. El dispositivo presenta un alcance horizontal aproximado de 1.5 km y un radio efectivo de acción de 40 m en la zona de impacto directo del sonido.

Imagen 3.

Dispositivo Sonoro HiperSpike modelo HS-14



El tratamiento acústico consistió en la emisión de un archivo sonoro que combinó dos tipos de estímulos:

- a) ladridos de perro, y
- b) llamados de alarma de cormoranes.

Debido a limitaciones operativas, ambos estímulos fueron integrados en un único archivo de audio, evaluándose de manera conjunta la eficacia general del tratamiento acústico. Durante la fase de tratamiento, el estímulo sonoro se aplicó mediante ciclos de emisión de 30 segundos, seguidos de pausas de 5 minutos, repitiendo el proceso cinco veces consecutivas por sesión de muestreo.

Fases de muestreo

El estudio se desarrolló en dos fases experimentales:

Pre-tratamiento

Consistió en un periodo de 3 semanas de muestreo sin la aplicación de estímulos acústicos. Durante esta fase se registraron datos sobre la interacción de *N. brasilianum* con las piscinas camaroneras, estableciendo una línea base de uso del área.

Tratamiento

Tuvo una duración de 3 semanas, durante las cuales se aplicó el estímulo acústico mediante el dispositivo HiperSpike en T1, mientras que el punto control y T2 permaneció sin alteración sonora.

En ambas fases, el muestreo se realizó durante tres días por semana, con cuatro sesiones diarias por punto, correspondientes a amanecer, media mañana, media tarde y anochecer. Cada sesión tuvo una duración de 30 minutos de observación. Durante la fase de tratamiento, el estímulo sonoro fue aplicado en el punto T1 según el protocolo establecido, mientras que en el pretratamiento y en los sitios sin estímulo se realizaron observaciones sin intervención acústica.

Variables registradas

Durante cada sesión de muestreo se registraron las siguientes variables para *Nannopterum brasilianum*:

- ◆ Número de individuos en sobrevuelo sobre las piscinas.

- ◆ Número de individuos que aterrizaron en las piscinas, incluyendo aves perchadas o nadando.

- ◆ Tiempo de permanencia de los individuos en las piscinas.

Adicionalmente, se seleccionaron de manera aleatoria individuos que se encontraban nadando (excluidos del conteo general), para registrar variables conductuales detalladas, tales como:

- ◆ Número de inmersiones,

- ◆ Duración de las inmersione

- ◆ Consumo observable de camarones.

Estas variables conductuales fueron utilizadas con fines exploratorios y descriptivos, al considerarse resultados preliminares del estudio.

Así mismo, se registró la presencia o ausencia de factores disuasivos adicionales, tales como patero (presencia de personal recorriendo las piscinas) y cohetes (uso ocasional de pirotecnia), codificados como variables binarias (sí/no).

Análisis estadístico:

El análisis estadístico se realizó utilizando el software R, empleando los paquetes readxl para la importación de datos, dplyr para la manipulación y depuración de la base de datos, ggplot2 para la visualización de resultados, y MASS y lme4 como soporte estadístico general. Los datos correspondientes a las fases de pretratamiento y tratamiento fueron integrados en una única base de datos para su análisis conjunto.

El estudio se estructuró bajo un diseño BACI (Before–After Control–Impact), considerando dos niveles temporales (Pretratamiento y Tratamiento) y tres unidades espaciales: una zona de impacto aplicando el estímulo (T1), una zona sin aplicar el estímulo (T2), y una zona control (Control). El efecto del estímulo acústico fue evaluado estadísticamente mediante la inclusión del término de interacción entre el periodo y el tipo de estanque, el cual permite estimar el efecto diferencial del tratamiento en las áreas intervenidas respecto al control, controlando la variación temporal previa a la aplicación del estímulo.

El análisis se enfocó específicamente en *Nannopterum brasilianum*, especie objetivo del estudio. La variable respuesta principal fue el número de aterrizajes por sesión de muestreo, definida como una variable discreta de conteo. En consecuencia, se ajustó un modelo lineal generalizado (GLM) con distribución Poisson y función de enlace logarítmica, utilizando como factores explicativos el periodo, el tipo de estanque y su interacción (Periodo × Estanque).

La adecuación del modelo fue evaluada mediante el cociente entre la devianza residual y los grados de libertad, con el fin de identificar posibles problemas de sobredispersión. En los casos en que se detectó sobredispersión leve, los resultados fueron interpretados con cautela, considerando el carácter preliminar del estudio y el tamaño limitado de la muestra.

Adicionalmente, se analizaron variables asociadas al comportamiento de forrajeo, incluyendo el tiempo de permanencia y la tasa de inmersiones, esta última calculada como el número de inmersiones dividido para el tiempo total de permanencia ($\text{inmersiones} \cdot \text{min}^{-1}$). Para evitar distorsiones en la estimación de esta tasa, se excluyeron del análisis los registros con tiempos de permanencia iguales a cero. Estas variables fueron evaluadas de forma descriptiva y exploratoria.

Las representaciones gráficas se construyeron comparando los periodos pretratamiento y tratamiento entre las zonas control y de impacto, permitiendo una interpretación visual del efecto BACI del estímulo acústico sobre el uso de las piscinas camaroneras por parte de los cormoranes.

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados

El número de aterrizajes de *Nannopterum brasilianum* mostró variaciones espaciales y temporales claras entre los sitios evaluados. En el sitio control se registró una disminución en el número de aterrizajes entre el periodo de pretratamiento y el periodo de tratamiento, patrón que también fue observado en el sitio T2, donde no se aplicaron estímulos acústicos (Ilustración 1). Esta tendencia similar entre el control y T2 sugiere la influencia de factores temporales generales, independientes de la aplicación del estímulo, como la proximidad a dormideros y cambios asociados al ciclo reproductivo de la especie como lo sugiere Terrel et al. (2023) en su investigación.

En contraste, el sitio T1, único punto donde se aplicó el estímulo acústico, presentó un aumento en el número medio de aterrizajes durante el periodo de tratamiento, evidenciando una respuesta espacial diferenciada respecto al patrón general observado en los sitios sin estímulo (Ilustración 2). Este patrón no sugiere un efecto de atracción directa del estímulo acústico, sino una redistribución del uso del espacio dentro del sistema de estudio, en contraste con la tendencia general observada en los sitios sin intervención sonora.

En cuanto a la tasa de inmersión, utilizada como un indicador del esfuerzo de forrajeo, se observó una disminución en el sitio control y en el sitio T2 entre ambos periodos de muestreo (Ilustración 3). Este comportamiento fue consistente con la reducción general en el uso de las piscinas registrada en estos sitios. Por el contrario, en el sitio T1 se evidenció un incremento en la tasa de inmersión durante el periodo de tratamiento, lo que indica que los individuos que utilizaron este sitio intensificaron su actividad de forrajeo a pesar de la presencia del estímulo acústico (Ilustración 4).

El análisis del tiempo de permanencia mostró una disminución entre el pretratamiento y el tratamiento en los tres sitios evaluados (Ilustración 5). Sin embargo, este patrón adquiere particular relevancia en el sitio T1, donde, a pesar del aumento en los aterrizajes y en la tasa de inmersión, los individuos permanecieron menos tiempo en las piscinas durante el periodo de tratamiento. Este resultado sugiere una modificación en el uso del espacio, caracterizada por visitas más cortas, en contraste con los sitios control y T2, donde la disminución del tiempo de permanencia se acompañó de una reducción general en la actividad (Ilustración 6) (Warzybok, 2024).

En conjunto, los resultados muestran que el estímulo acústico aplicado en el sitio T1 no produjo una exclusión total de *N. brasilianum*, sino una alteración en su comportamiento, particularmente en la duración de las visitas a las piscinas, diferenciándose del patrón temporal general observado en los sitios sin estímulo.

Ilustración 1.

Distribución del número de aterrizajes de Nannopterum brasilianum por área de estudio y periodo de muestreo

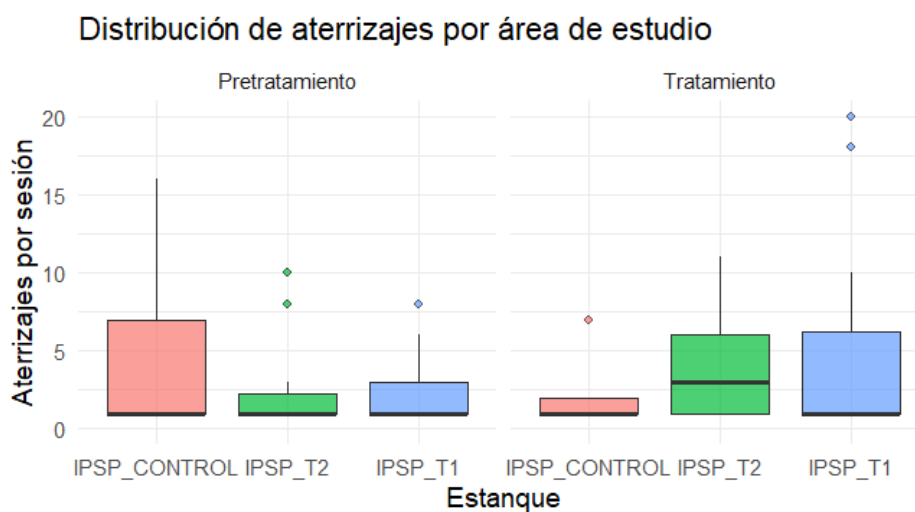


Ilustración 2.

*Efecto BACI del estímulo acústico sobre el número medio de aterrizajes por área de estudio y periodo de muestreo de *Nannopterum brasilianum**

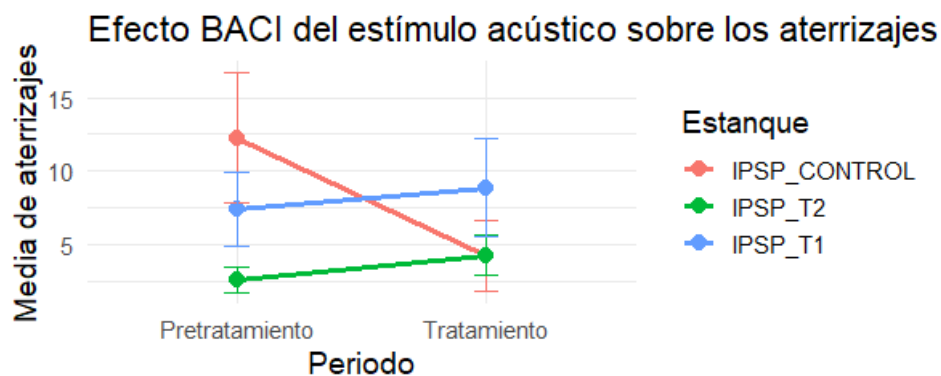


Ilustración 3.

*Distribución de la tasa de inmersión de *Nannopterum brasilianum* por área de estudio y periodo de muestreo*

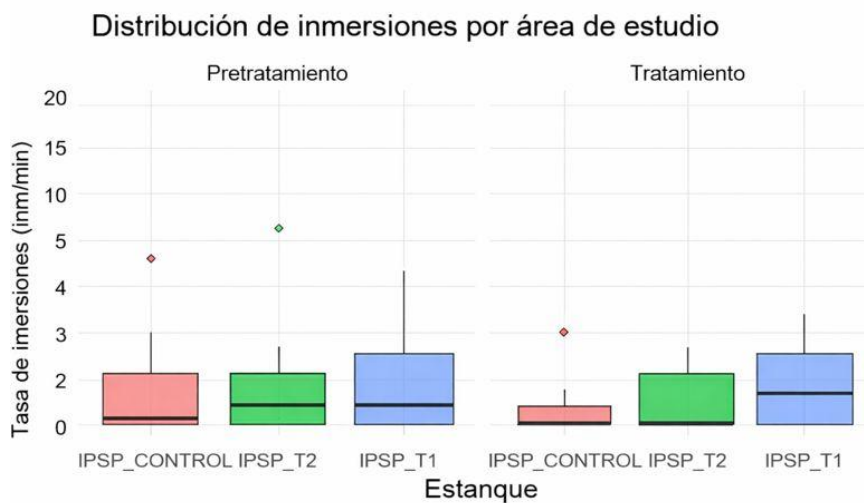


Ilustración 4.

*Efecto BACI del estímulo acústico sobre la tasa media de inmersión por área de estudio y periodo de muestreo de *Nannopterum brasilianum**

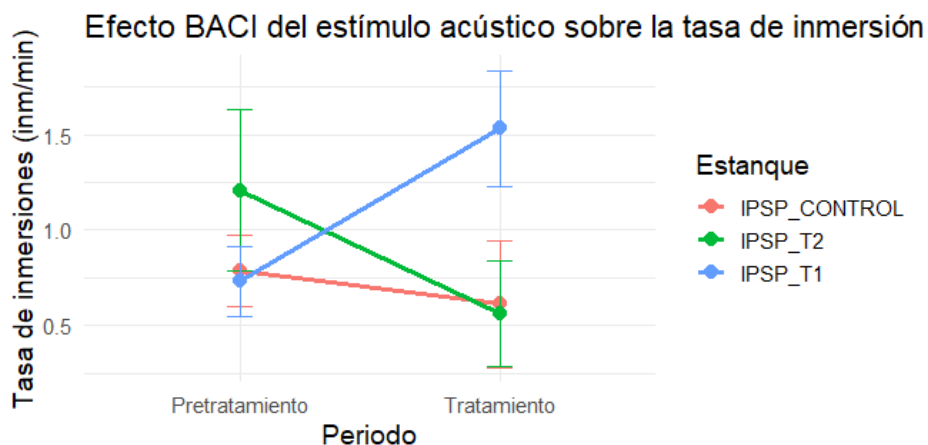


Ilustración 5.

*Distribución del tiempo de permanencia de *Nannopterum brasilianum* por área de estudio y periodo de muestreo*

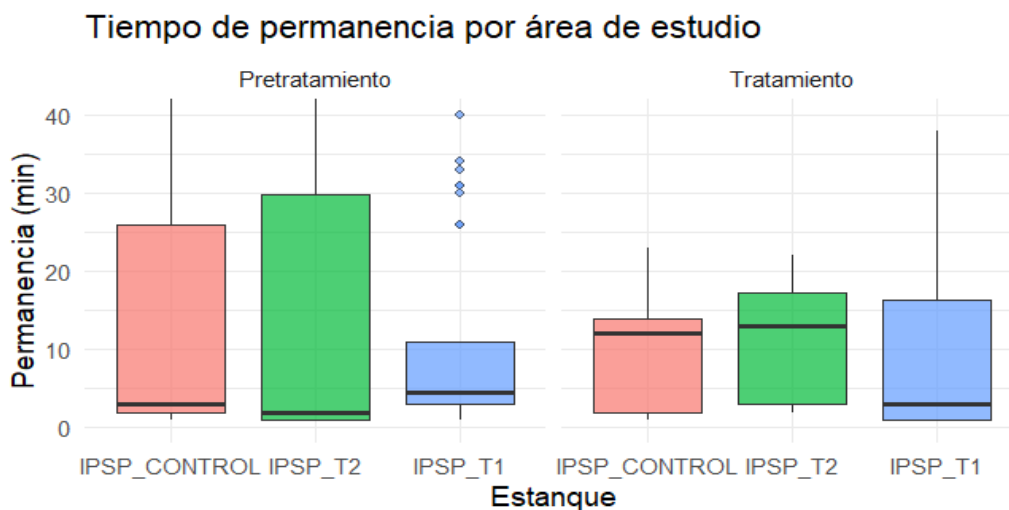
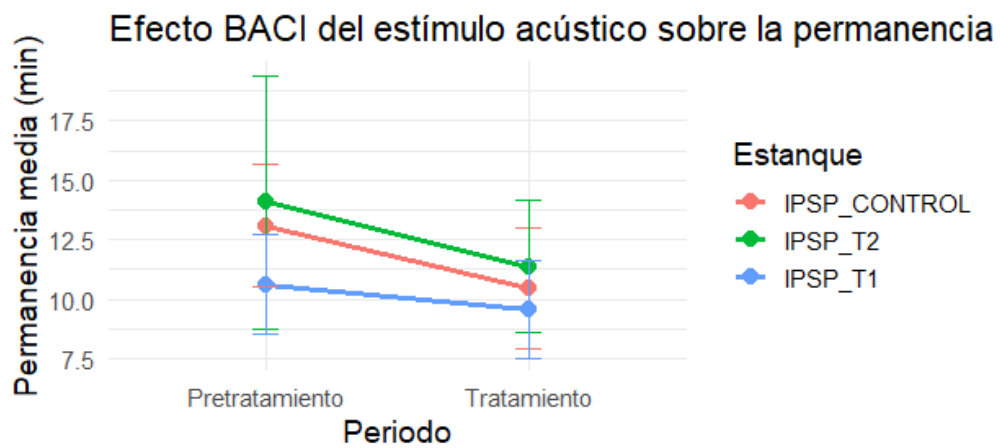


Ilustración 6.

*Efecto BACI del estímulo acústico sobre el tiempo medio de permanencia por área de estudio y periodo de muestreo de *Nannopterum brasilianum**



CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones

El estudio permitió evaluar, de manera preliminar, la eficacia del HiperSpike como método disuasivo para *Nannopterum brasilianum* en piscinas camaroneras, mediante un enfoque BACI que comparó el uso de las piscinas antes y durante la aplicación del estímulo acústico. Los resultados evidencian respuestas diferenciadas entre áreas tratadas y no tratadas, así como la influencia de factores espaciales y ecológicos sobre el comportamiento de la especie.

Se determinó que el uso del dispositivo sónico no produjo una reducción generalizada en la presencia ni en la frecuencia de visita de *N. brasilianum* en todas las piscinas evaluadas. Tanto el área control como la piscina sin estímulo acústico (T2) mostraron disminuciones en el número de aterrizajes, inmersiones y tiempo de permanencia entre periodos, lo que indica que estos cambios no pueden atribuirse exclusivamente al tratamiento. En contraste, la piscina tratada con estímulo acústico (T1) presentó un incremento en la frecuencia de aterrizajes e inmersiones, lo que sugiere una respuesta conductual distinta frente al estímulo sonoro.

Por otro lado, los patrones evidenciados muestran que la proximidad a dormideros y el contexto espacial influyeron de manera importante en el uso de las piscinas por parte de *N. brasilianum*. La disminución generalizada de la actividad en el control y en T2 fue consistente con factores externos al tratamiento, como la distancia a los sitios de descanso y el esfuerzo reproductivo asociado al periodo de anidación. Estos resultados resaltan que la

eficacia de los métodos disuasivos no depende únicamente de la presencia del estímulo, sino también de las características ecológicas y espaciales del entorno.

Así mismo se observó que, a pesar del aumento en la frecuencia de visitas en la piscina T1, el tiempo de permanencia disminuyó durante el periodo de tratamiento, lo que indica que el estímulo acústico podría inducir visitas más breves y un uso menos intensivo del área. Este patrón sugiere un posible efecto parcial del dispositivo, más relacionado con la modificación del comportamiento que con la exclusión total de la especie.

En conjunto, esta evaluación preliminar permitió concluir que el dispositivo sónico evaluado no actúa como un método disuasivo absoluto, pero sí puede generar cambios en la dinámica de uso de las piscinas, particularmente en términos de permanencia y comportamiento de forrajeo. La efectividad del estímulo acústico depende del contexto espacial y ecológico, por lo que su aplicación debería considerarse como una herramienta complementaria dentro de estrategias integradas de manejo de fauna en sistemas camaroneros.

REFERENCIAS

- Abas, A., Rahman, A. H. A., Md Fauzi, T. A. H. T., & Yusof, A. H. M. (2025). A bibliometric review of global research on human–wildlife conflicts. *Frontiers in Environmental Science*, 12, Article 1517218. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1517218>
- Brown P., Rode R., MacGowan B., Garvon J., Vogler D, (2022) Non-lethal bird deterrent evaluation in the NCR (Project Report). North Central Regional Aquaculture Center. https://www.ncrac.org/files/inline-files/non-lethal_bird_evaluation_1.pdf
- Burr, P.C., J.L. Avery, G.M. Street, B.K. Strickland, and B.S. Dorr. 2020. Historic and contemporary use of catfish aquaculture by piscivorous birds in the Mississippi Delta. *The Condor* 122:duaa036. doi: 10.1093/condor/duaa036
- Chen Q, Xie J, Yu Q, Liu C, Ding W, Li X, Zhou H. An experimental study of acoustic bird repellents for reducing bird encroachment in pear orchards. *Front Plant Sci*. 2024 Sep 9;15:1365275. doi: 10.3389/fpls.2024.1365275. PMID: 39315369; PMCID: PMC11416946.
- Coughlan NE, O’Shea W, Cuthbert RN, Kelly TC, Mitham N, Nicholson J. (2023) The fox in the box: acoustic deterrent and simulated predator disturbance to reduce problematic bird accumulations. *Wildlife Research* 50, 237–247. <https://doi.org/10.1071/WR22032>
- Cunningham, F. L., Burr, P., Glover, J., Tappa, J., Redd, M., & Wang, G. (2024). The Effectiveness of Commercially Available Double-Crested Cormorant (*Nannopterum auritus*) Deterrent Methods in Reducing Loafing Time on Floating Oyster Cages. *Diversity*, 16(1), 5. <https://doi.org/10.3390/d16010005>
- Engle cr, christie tw, dorr bs, et al. principal economic effects of cormorant predation on catfish farms. *j world aquacult soc*. 2021;52:41–56. <https://doi.org/10.1111/jwas.12728>

Enos J., Michael P. Ward, Mark E. Hauber, A review of the scientific evidence on the impact of biologically salient frightening devices to protect crops from avian pests, *Crop Protection*, Volume 148, 2021, 105734, ISSN 0261-2194, <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105536>.

Hamilton, S. E., & Lovette, J. (2014). Ecuador's mangrove forest carbon stocks: A spatiotemporal analysis of living carbon holdings and their depletion since the advent of commercial aquaculture. *PLoS ONE*, 9(3), e91437.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091437>

Lazure, L., and R. B. Weladji. 2024. Methods to mitigate human–wildlife conflicts involving common mesopredators: a meta-analysis. *Journal of Wildlife Management* 88:e22526. <https://doi.org/10.1002/jwmg.22526>

<https://doi.org/10.1002/jwmg.22526>

Micaelo, R., Santos, J. L., & Silva, E. (2023). Bird deterrent solutions for crop protection: A review of current methods and technologies. *Agriculture*, 13(4), 774.

<https://doi.org/10.3390/agriculture13040774>

North Central Regional Aquaculture Center (NCRAC). (2025). Evaluation of laser and acoustic non-lethal bird deterrent technologies for fish farms in the North Central Region. NCRAC Project Reports.

Pruteanu & Vanghele, Nicoleta & Cujbescu, Dan & Mihaela, Nitu & Gageanu, Iuliana.

(2023). Review of effectiveness of visual and auditory bird scaring techniques in agriculture.

DOI: [10.22616/ERDev.2023.22.TF056](https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF056).

Terrel W. Christie, Brian S. Dorr, J. Brian Davis, Luke A. Roy, Carole R. Engle, Katie C.

Hanson-Dorr, Anita M. Kelly, (2021). Food habits of wintering double-crested cormorants in the Mississippi Delta, *Food Webs*, Volume 26, 202.

<https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2020.e00185>

Paul Tixier, Nicolas Gasco, Guy Duhamel, Christophe Guinet, Habituation to an acoustic harassment device (AHD) by killer whales depredating demersal longlines, *ICES Journal of*

Marine Science, Volume 72, Issue 5, May/June 2015, Pages 1673–1681, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu166>

Russell, I., Broughton, B., Keller, T., & Carss, D.N. (2012). The INTERCAFE Cormorant Management Toolbox: methods for reducing Cormorant problems at European fisheries. INTERCAFE COST Action 635 Final Report III.

Uttam Babu Shrestha, Sujata Shrestha, Sanjita Khanal, Nishan Baral, Uma Dhungel, Anuja Shrestha, Dinesh Neupane, Bhagawan Raj Dahal, Shyam Kumar Thapa. People's perceptions on the effectiveness of human-wildlife conflict mitigation measures in Nepal's Tarai Arc Landscape, *Journal of Environmental Management*, Volume 395, 2025, 127944, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127944>.

Warzybok, P., Nur, N., Bradley, R.W., Grout, D. & McChesney, G.J. (2024). Assessing the short- and long-term response of gulls to non-lethal hazing on an offshore island. *Marine Ornithology*, 52(2), 317-329.
<http://doi.org/10.5038/2074-1235.52.2.1598>

Wszelaki, Sebastian. (2025). Variety and effectiveness of non-lethal crop protection methods against wildlife. *Biodiversity and Conservation*. 34. 3399-3452. 10.1007/s10531-025-03124-8.

Williams, D.R., Child, M.F., Dicks, L.V., Ockendon, N., Pople, R.G., Showler, D.A., Walsh, J.C., zu Ermgassen, E.K.H.J. & Sutherland, W.J. (2020) *Bird Conservation*. Pages 137-281

in: W.J. Sutherland, L.V. Dicks, S.O. Petrovan & R.K. Smith (eds) What Works in Conservation 2020. Open Book Publishers, Cambridge, UK.