



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE BIOLOGÍA

Modalidad: Artículo Académico

Tema:

“El tamaño de grupo condiciona la sonoridad de juveniles *Abudefduf troschelii*, un pez marino del Ecuador”

Autor:

Bermúdez Moreira Kélver Diego

Tutor:

Francisco Navarrete-Mier, PhD.

Manabí-Ecuador

2025 (2)

Declaración de autoría

Yo, Kélver Diego Bermúdez Moreira, con C.I. 172128981-5 y en calidad de tesista de la carrera de Biología de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, declaro haber concluido la realización del trabajo de titulación bajo la modalidad de Artículo Académico previo a la obtención del título de Biólogo, con el tema “El tamaño de grupo condiciona la sonoridad de juveniles *Abudefduf troschelii*, un pez marino del Ecuador”.

Además, habiendo revisado la versión final del manuscrito y aprobado su presentación para publicación, me encuentro en el derecho de asegurar que: Este trabajo es original y no ha sido publicado previamente, y que no existe conflicto de interés alguno en este trabajo.

Firma:

Bermúdez Moreira Kélver Diego

C.I. 172128981-5

Contenido exclusivo para presentación como Trabajo de titulación de Tercer Nivel. Carrera de Biología. Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías. Grupo de Investigación EBIOAC-ULEAM. Modalidad: Artículo Académico. Estudiante: Bermúdez-Moreira Diego. Tutoría: Dr. Francisco Navarrete-Mier, Asesoría: Dra. Patricia Castillo-Briceño. La información incluida en este documento solo podrá ser publicada y/o difundida bajo expresa autorización de l@s director@s del Grupo EBIOAC.

	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Kélver Diego Bermúdez Moreira**, legalmente matriculado/a en la carrera de Biología, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **"El tamaño de grupo condiciona la sonoridad de juveniles *Abudefduf troschelii*, un pez marino del Ecuador"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 28 de enero de 2026.

Lo certifico,



Francisco Navarrete Mier, PhD
Docente Tutor(a)
Área: Cambio climático/Etología

Agradecimientos

Quiero empezar agradeciendo primeramente a mis padres por su enorme apoyo incondicional económico y anímico en todo este proceso, así como también por sus tan necesarios llamados de atención, necesarios para continuar, a mis hermanos por cada una de sus bromas, y a mi perro George por quedarse conmigo en las madrugadas mientras trabajaba en este proyecto. También quiero agradecer al equipo EBIOAC, empezando por sus direct@res Patricia Castillo-Briceño y Francisco Navarrete-Mier por el apoyo logístico y el asesoramiento técnico y científico vital para el desarrollo de este trabajo; y agradeciendo también a sus miembros: José Luque, Johan Muentes, Odalys Llano, Mike Pacheco, Steven Quijije y Daysi Rodríguez, por el apoyo al trabajo de campo, ya sea capturando peces, preparando el set de grabación o simplemente la toma de fotografías. En este sentido también quiero agradecer a Anthony Delgado y Erly Solórzano, que aunque no formen parte de EBIOAC también me brindaron un enorme apoyo en campo.

A cada un@ de ustedes, muchas gracias.

Dedicatoria

Quiero dedicar toda esta etapa de mi vida a mis padres y a toda mi familia, quienes me apoyaron desde el primer momento en el que decidí estudiar Biología; a las personas que conocí en esta etapa a las que considero o que alguna vez llegué a considerar amig@s, por hacer de este camino mucho más agradable de lo que ya era, y a varios de los docentes de la carrera de Biología: Blgo. Javier Quijije, Blga. Maribel Carrera, Blgo. Jesús Briones, Blgo. Kléver Mendoza, Blgo. Francisco Navarrete-Mier y Blga. Patricia Castillo-Briceño, quienes aportaron enormemente a mi conocimiento y demostraron responsabilidad a la hora de impartir sus clases, y de manera especial a l@s dos últim@s, quienes me abrieron las puertas a formar parte del equipo EBIOAC.

Gracias por todo.

El tamaño de grupo condiciona la sonoridad de juveniles *Abudefduf troschelii*, un pez marino del Ecuador.

Diego Bermúdez-Moreira ^{1*}, Patricia Castillo-Briceño ¹, Francisco Navarrete-Mier ¹

^{1*} Grupo de Investigación Bioma Ecuatorial y Acidificación Oceánica EBIOAC -
Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías, Universidad Laica "Eloy Alfaro" de
Manabí ULEAM, Manta-Ecuador

Correo *: e1721289815@live.uleam.edu.ec / diego4k2003@gmail.com

Resumen

La bioacústica es una herramienta emergente de rápido crecimiento en estudios de biodiversidad con extensa aplicación en ecosistemas terrestres, pero aún limitada para ambientes marinos, especialmente en Sudamérica donde solo un 5% de especies de peces marinos han sido estudiadas acústicamente. Esto representa una limitación para implementar estudios de biodiversidad marina basados en esta técnica. El presente trabajo se enfocó en el estudio de la generación sonora por parte del pomacéntrido *Abudefduf troschelii*, comparando la generación de sonidos bajo diferentes condiciones sociales. La metodología se dividió en tres fases de trabajo, donde las dos primeras consistieron en exploraciones iniciales y pruebas. En la tercera fase, un total de 43 juveniles de *A. troschelii* fueron capturados y distribuidos en grupos en un recipiente plástico bajo 3 condiciones basadas en el número de individuos. La duración de cada grabación fue de 10 minutos por condición, usando el hidrófono Aquarian H2D, conectado a un dispositivo de grabación Zoom H5 (ganancia: 3 dB, tasa de muestreo: 48kHz). Las grabaciones se segmentaron utilizando el software Audacity y se analizaron en RavenPro. Para cada sonido aislado, se midieron los parámetros de duración al 90% (s), frecuencias mínima, máxima, central, pico (Hz), amplitud máxima (U), número de clics por coro, y se calcularon ratios de canto en función del tiempo y el tamaño del grupo. Para todas las variables, se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis en función del tamaño del grupo, y se realizó una correlación de Spearman entre el número de peces y el número de sonidos. Se aislaron 419 sonidos generados por *A. troschelii*. Todos los sonidos pertenecen a un mismo tipo de manifestación sonora denominado "clic", dispuesto de dos formas a lo largo de las grabaciones: de forma individual y en agrupaciones llamadas "coros". Cada clic es un sonido de corta duración (< 50ms) que generalmente va desde 3 a 9kHz. Se descubrió que los peces emiten sonidos más agudos y potentes cuando están en grupos grandes de peces vs cuando están solos, o en grupos pequeños. Para las agrupaciones de clics (coros), se obtuvo una media de duración 90% de 680ms, y un número de sonidos individuales por coro de 4.4 sonidos por agrupación. No se detectaron diferencias significativas en función del tamaño de los grupos. La correlación entre el número de peces y el número de sonidos por réplica demostró ser significativa en el caso de los sonidos individuales. Aunque se conoce que la familia Pomacentridae es capaz de comunicarse a través de señales sonoras, este trabajo constituye el primer registro sonoro en *Abudefduf troschelii* y es el quinto registro para el género *Abudefduf*. Además, este estudio demuestra que *A. troschelii* es capaz de generar vocalizaciones desde etapas tempranas de vida (tallas menores a 8cm), y que cuando se encuentra en grupos grandes, presenta vocalizaciones más agudas y potentes que cuando está en un grupo pequeño, o solo.

Palabras claves: Bioacústica, intermareal rocoso, hidrófonos, *Abudefduf troschelii*.

Group size influences the vocalizations of juvenile *Abudefduf troschelii*, a marine fish from Ecuador.

Abstract

Bioacoustics is a rapidly growing and emerging tool in biodiversity studies, widely applicable in terrestrial ecosystems, but still limited in marine environments, especially in South America where only 5% of marine fish species have been acoustically studied. This represents a limitation for implementing marine biodiversity studies based on this technique. The present work focused on studying the sound generation of the pomacentrid fish *Abudefduf troschelii*, comparing sound production under different social conditions. The methodology was divided into three phases, the first two consisting of initial explorations and tests. In the third phase, a total of 43 juvenile *A. troschelii* were captured and distributed into groups in a plastic container under three conditions based on the number of individuals. The duration of each recording was 10 minutes per condition, using the Aquarian H2D hydrophone connected to a Zoom H5 recording device (gain: 3 dB, sampling rate: 48 kHz). The recordings were segmented using Audacity software and analyzed in RavenPro. For each isolated sound, the following parameters were measured: duration at 90% (s), minimum, maximum, center, and peak frequencies (Hz), maximum amplitude (U), and number of clicks per chorus. Singing ratios were calculated as a function of time and group size. For all variables, Kruskal-Wallis tests were performed based on group size, and a Spearman correlation was calculated between the number of fish and the number of sounds. A total of 419 sounds generated by *A. troschelii* were isolated. All sounds belong to the same type of vocalization called a “click,” which appeared in two forms throughout the recordings: individually and in groups called “choruses.” Each click is a short sound (< 50 ms) that generally ranges from 3 to 9 kHz. It was found that the fish emit higher-pitched and more powerful sounds when in large groups compared to when alone or in small groups. For click groups (choruses), the mean duration (90% of which was 680 ms) was obtained, with an average of 4.4 individual sounds per chorus. No significant differences were detected based on group size. The correlation between the number of fish and the number of sounds per repeat proved significant for individual sounds. Although it is known that the Pomacentridae family is capable of communicating through sound signals, this work constitutes the first sound recording for *Abudefduf troschelii* and is the fifth record for the genus *Abudefduf*. Furthermore, this study demonstrates that *A. troschelii* is capable of generating vocalizations from early life stages (sizes less than 8cm), and that when in large groups, it exhibits higher-pitched and more powerful vocalizations than when in a small group or alone.

Keywords: Bioacoustics, rocky intertidal, hydrophones, *Abudefduf troschelii*.

1. Introducción

La comunicación se define como el conjunto de señales en cualquiera de sus formas, que emite un individuo y que sea capaz de producir un cambio conductual en un receptor al recibir dicha señal (Serrano & Ochoa-Ochoa, 2024). En el reino animal, la comunicación a través de sonidos se encuentra presente en una amplia variedad de taxones, evolucionando en el mecanismo de producción (es decir, en la morfo-fisiología de las estructuras involucradas en la generación de sonidos), pero manteniendo funciones similares (Bradbury & Vehrencamp, 2011). Diversos estudios sugieren que el estudio de la emisión de señales sonoras podría brindar información útil en la comprensión de procesos ecológicos y tener potenciales aplicaciones en diversos contextos (Deichmann et al., 2018; Rountree et al., 2006). Por ejemplo, monitoreos de biodiversidad en los que las metodologías convencionales no pueden llevarse a cabo o como complemento de estas (Carriço et al., 2019; Muñoz-Duque et al., 2024), estudios de carácter reproductivo (Muñoz-Duque et al., 2021), estudios comportamentales (Hyacinthe et al., 2019; Ladich, 2019), identificación de especies invasoras (Rountree & Juanes, 2017), entre otras. Además, nuevas técnicas como el monitoreo acústico pasivo (MAP) permiten obtener una abundante cantidad de datos reduciendo el esfuerzo de trabajo en campo durante tiempos prolongados, demostrando ser eficientes y eficaces en este tipo de escenarios (Greenhalgh et al., 2020). El esfuerzo por estudiar estas señales acústicas, su difusión por algún medio y los cambios de comportamiento inducidos en el receptor originó una nueva disciplina conocida como bioacústica (Martínez Medina et al., 2021). Actualmente, estudios bioacústicos han permitido la identificación de especies de aves, mamíferos y anfibios a partir de la caracterización de sus señales sonoras (Deichmann et al., 2018), y el desarrollo de aplicaciones de ciencia ciudadana como BirdNET (Kahl et al., 2021), FrogID (Rowley et al., 2019), WASIS (Tacioli et al., 2016), entre otras; que permiten monitorear la presencia, distribución y/o abundancia de especies, así como desarrollar estrategias de conservación con información local.

En peces (al igual que en otros grupos taxonómicos), las señales sonoras emitidas son únicas de cada especie, pudiendo además estar ligadas a comportamientos y contextos distintos (Amorim et al., 2015). De las cerca de 35000 especies de peces registradas, alrededor del 3% han sido

registradas como soníferas activas (Looby et al., 2022), sin embargo, se estima que de ese total al menos un tercio tendrían la capacidad de emitir algún tipo de señal acústica (Ladich & Bass, 2011; Looby et al., 2023). Esto destaca la necesidad de desarrollar estudios de bioacústica en un grupo taxonómico aún poco estudiado, en el que el primer esfuerzo va enfocado a identificar las especies que emiten señales y caracterizar sus llamados sonoros. En la actualidad existen diferencias importantes en el volumen de estudios publicados sobre caracterizaciones sonoras en peces entre las diferentes regiones del planeta. En Sudamérica por ejemplo, de 1934 especies de peces del Pacífico Sureste indexadas en FishSounds, solo 94 o el 4.86% han sido examinadas, y de estas, tan solo 64 especies o el 3.31% son consideradas soníferas (Looby et al., 2026) (Anexo 1). Este escenario revela que: en ecosistemas marinos-costeros el volumen de investigación es muy inferior y es mucho más acentuado en peces, en contraste con los mamíferos marinos o aves que han recibido mucha más atención (Frederiksen et al., 2025; Martínez Medina et al., 2021). Por lo tanto, la necesidad de levantar de información sobre bioacústica en peces de nuestra región es muy alta. El estado del arte regional sobre bioacústica e intermareales rocosos, y el avance de las metodologías basadas en el monitoreo acústico pasivo en ecosistemas marinos hace que este tipo de trabajos sean una alternativa viable para el monitoreo de biodiversidad en ambientes acuáticos.

El presente trabajo se enfocó en el estudio de la generación sonora por parte del “Sargento mayor” (*Abudefduf troschelii*), una de las especies más abundantes en la zona intermareal rocosa de Manabí y por lo tanto una especie de importancia para la biodiversidad en Ecuador. *A. troschelii* es un teleósteo de la familia Pomacentridae, distribuido en intermareales rocosos y arrecifes poco profundos del Pacífico Oriental, desde el Golfo de California y hasta el norte de Perú, incluyendo islas en esta región del océano (Robertson et al., 2024) (Anexo 2). Es un pez de comportamiento gregario, formando agrupaciones de gran tamaño (Froese et al., 2026). Existe evidencia de generación de sonido en otras especies del género *Abudefduf*, así como en el resto de pomacéntridos (Looby et al., 2026).

Bajo este contexto, aplicando una metodología ajustada a las circunstancias de campo para la grabación, identificación y confirmación de señales acústicas en ecosistemas intermareales rocosos, y comparando la generación de sonidos bajo diferentes condiciones, se propone realizar

una caracterización descriptiva de la gama de sonidos generados por *Abudefduf troschelii* en diversos contextos sociales (individuales o grupales), obteniendo datos que podrían ser utilizados principalmente en evaluaciones, manejo y conservación de la biodiversidad, y que nutran la base de datos regional sobre especies de peces soníferas nativas del Ecuador.

2. Materiales y metodos

2.1.Recolección de datos

Para el desarrollo de este estudio se utilizaron dos dispositivos electrónicos especializados para la grabación sonora en ambientes acuáticos:

- Hydromoth (Open Acoustics Devices). Este dispositivo consiste en una versión modificada del micrófono de tierra AudioMoth adaptada para trabajar en ambientes marinos (Anexo 3). Es un dispositivo que tiene la capacidad de programar grabaciones a determinadas horas del día y fechas del año, y que no requiere de equipos adicionales para almacenamiento de las muestras, ya que tiene una ranura para tarjetas microSD (Lamont et al., 2022).
- H2D Hydrophone (Aquarian Hydrophones). Consiste en un hidrófono en forma de cilindro equipado con un cable que debe ser conectado a un equipo de grabación para su uso y almacenamiento de datos (Anexo 3). En este caso como dispositivo de grabación se utilizó una grabadora Zoom H5, que consiste en una controladora que posee la capacidad de escuchar sonido en vivo, así como controlar aspectos técnicos del mismo tales como la ganancia, la tasa de muestreo, entre otras.

La recolección de datos se desarrolló en 3 fases, todas en la zona intermareal rocosa de la playa de San Mateo [0°57'33.87'' S, 80°48'42.54'' W] (Figura 1A), zona en la que múltiples pozas quedan al descubierto en los periodos de bajamar y en las que existe una alta biodiversidad (Figura 1B).

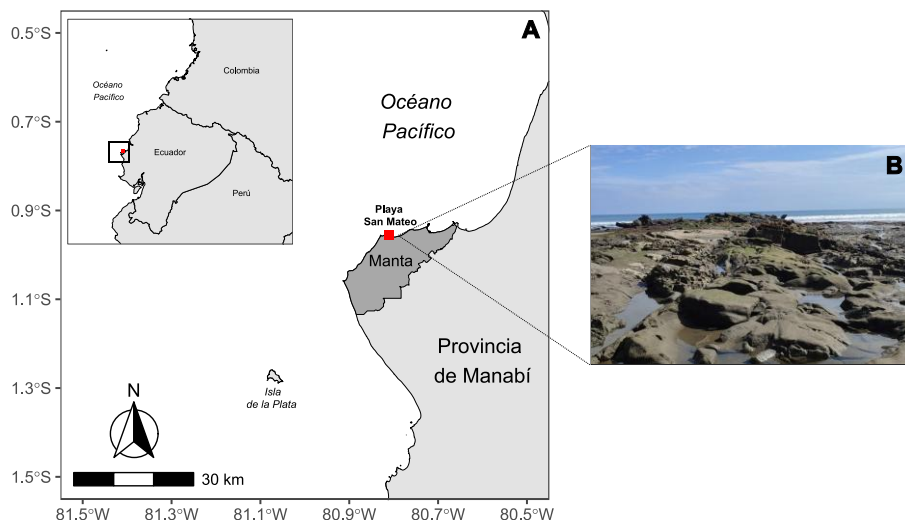


Figura 1. Mapa del área de estudio (A). Pozas rocosas intermareales en San Mateo, Manta, Manabí, Ecuador [0°57'33.87" S, 80°48'42.54" W] (B).

En la primera fase (exploración inicial) desarrollada entre noviembre de 2024 y mayo de 2025, se grabaron muestras de audio de 15 - 20 minutos en ambientes naturales (120 minutos en total) de forma independiente con ambos hidrófonos. Para H2D Hydrophone, se colocó el dispositivo a unos 15-20cm del fondo de la poza, atado a un palo de madera de una forma similar a una caña de pescar (Figura 2A, Anexos 4A), mientras que para Hydromoth se colocó el dispositivo en el fondo de las pozas de marea. Ambos hidrófonos se colocaron en pozas en las que solamente se encuentre la especie de interés, como lo realizado por Muñoz-Duque et al. (2021). Los datos obtenidos sirvieron de base para la segunda fase, además, parte de estas grabaciones fueron presentados a modo de póster en las XLIX Jornadas Nacionales de Biología, desarrollado entre el 26 y 29 de noviembre de 2025 (Anexo 5). En la segunda fase (desarrollo del protocolo para grabaciones en aislamiento) ejecutada entre febrero y junio de 2025, se realizaron grabaciones de 15 minutos de duración (116 minutos en total) con ambos hidrófonos en un sistema RAS alojado en el bloque de biología de la ULEAM en el que se mantenían *Eucynostomus currani*, con el fin de evaluar qué configuraciones de grabación en ambos hidrófonos eran las idóneas en el contexto de mantener peces en aislamiento. Ambos equipos se probaron a niveles de 3 y 4 dB de ganancia, y a tasas de muestreo de 44 y 48kHz. No se encontraron evidencias de generación de sonido para esta especie. Después, 40 individuos de *Malacoctenus sp.* fueron capturados de las pozas intermareales de la

playa de San Mateo con redes de mano y colocados in situ en dos tipos de recipientes: un recipiente de plástico (40.5cm de ancho x 31.5cm de altura) y una hielera de espuma fléx, y en dos tipos de sustrato: rocas y arena (Figura 2B, Anexo 4B); todo esto con el fin de determinar que hidrófono, recipiente y zona de la playa eran los más idóneos para realizar grabaciones en esas condiciones. Se realizaron también grabaciones sin peces (ruido blanco), para tener una referencia del sonido ambiente y evitar marcar “falsos positivos” en el posterior análisis de los datos. Se probaron ganancias de 2, 3 y 4dB a una tasa de muestreo de 48kHz. Producto de estas pruebas, se determinó que el recipiente de plástico era el más idóneo para realizar grabaciones in-situ, que el tipo de sustrato en el que se ubicara el sistema no era relevante, y que Hydromoth no daría la calidad de audio necesaria para los análisis posteriores, por lo que se descartó para posteriores sesiones de grabación. No se pudieron encontrar evidencias de generación de sonidos en esta especie tampoco. La tercera y última fase (prueba del protocolo desarrollado) se desarrolló entre octubre y diciembre de 2025, en donde 43 juveniles de *Abudefduf troschelii* ($5.27\text{cm} \pm 1.37\text{cm}$ de longitud total) fueron capturados y colocados en el recipiente plástico en 3 condiciones basadas en el número de individuos: individuo, grupo pequeño (3 peces) y grupo grande (5 o 6 peces, condicionada por la abundancia de los peces en su ambiente natural y la eficiencia de captura por parte de los investigadores. Sin embargo, cabe destacar que de 8 réplicas para la condición “grupo grande” únicamente en dos se usaron seis *A. troschelii*), más la grabación de ruido en blanco (Figura 2C, Anexo 4C). La duración de la grabación fue de 10 minutos por condición (370 minutos en total), usando el H2D Hydrophone (ganancia: 3 dB, tasa de muestreo: 48kHz) como dispositivo de grabación. Entre las 3 fases de la metodología se analizaron un total de 1056 minutos de grabación. Por cada muestra grabada, se registraron datos sobre las condiciones del medio (como la localización, el clima, la condición de la marea, tamaño y especies presentes en la poza o recipiente, tipo de sustrato), en base a las recomendaciones de Parsons et al. (2022).

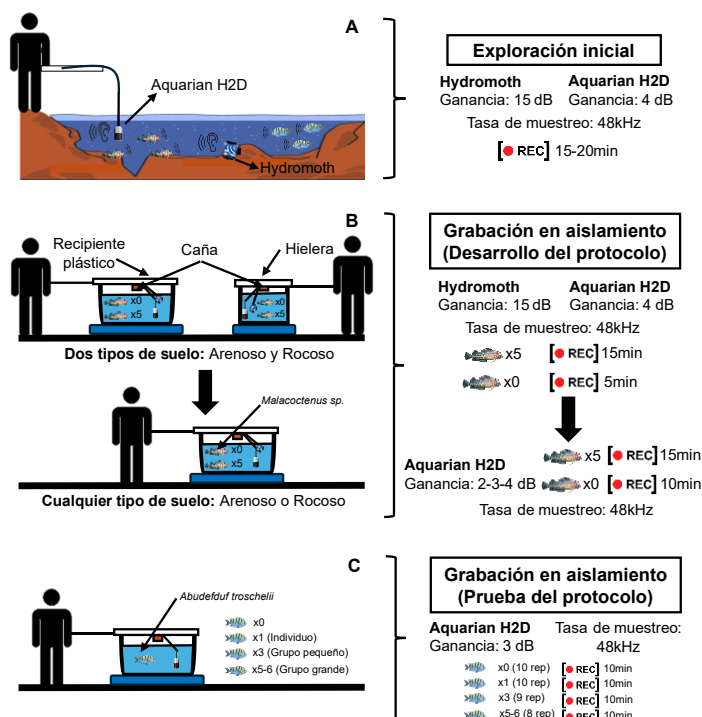


Figura 2. Fases de la metodología empleada en este estudio. A) Pruebas iniciales de equipos en pozas intermareales. B) Desarrollo de metodología de grabación en campo con peces intermareales. C) Prueba del protocolo en *Abudefduf troschelii*.

2.2. Análisis de grabaciones

Las muestras de audio fueron segmentadas en el software de edición de audio Audacity v3.6.4, y visualizadas y analizadas mediante el aislamiento de sonidos con el software especializado en bioacústica RavenPro v1.6.5 (K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics at the Cornell Lab of Ornithology, 2024). Las variables acústicas medidas para cada sonido aislado fueron las siguientes: duración 90% (s); frecuencia pico (Hz), definida como la frecuencia con la mayor energía (Pereira et al., 2020); frecuencias mínima y máxima (Hz), definidas como los límites inferior y superior de un sonido aislado, respectivamente; frecuencia central (Hz), definida como el punto medio en un rango de frecuencias; ancho de banda (Hz), definida como la distancia entre la frecuencia mínima y máxima; máxima amplitud, definida como la potencia máxima de un

sonido aislado (U). La duración, y la cantidad de sonidos por cada coro (se denomina coro a las agrupaciones de sonido en un periodo corto de tiempo) también se midieron en RavenPro (Figura 3). Se calculó el ratio de canto por minuto, definido como el número de veces en promedio que uno o varios peces emiten sonido por cada minuto de grabación; y ratio de canto por individuo, definido como el número de veces en promedio de emisión de sonido por individuo. Estas variables se calcularon dividiendo el número de sonidos/coros encontrados en una muestra de audio para el número de minutos de duración, o el número de individuos por réplica, respectivamente. Se calcularon dichas variables para sonidos individuales y coros.

2.3. Análisis estadístico

La estadística descriptiva para cada una de las variables medidas y calculadas, pruebas de Kolmogorov-Smirnov y de Levene para evaluar la normalidad y la homogeneidad de varianza en los datos fueron realizadas en R (R Core Team, 2021). Se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias significativas entre el tamaño de los grupos para todas las variables acústicas y ratios de canto. Para determinar la existencia de correlaciones entre el número de sonidos y el número de peces se realizó una prueba de correlación de Spearman. No se tomaron en cuenta para el análisis los sonidos con perturbaciones ambientales externas y/o superposición de varios sonidos en un mismo periodo de tiempo (Muñoz-Duque et al., 2021; Picciulin et al., 2013), ni tampoco sonidos que no pudieran ser identificados de forma clara (Radford et al., 2016). La gráfica de los resultados se realizó con el paquete ggplot2, mientras que los espectrogramas y oscilogramas fueron realizados con el paquete seewave (Sueur et al., 2008; Wickham, 2009). Para todas las pruebas estadísticas se usó un intervalo de confianza del 95% ($p = 0.05$).

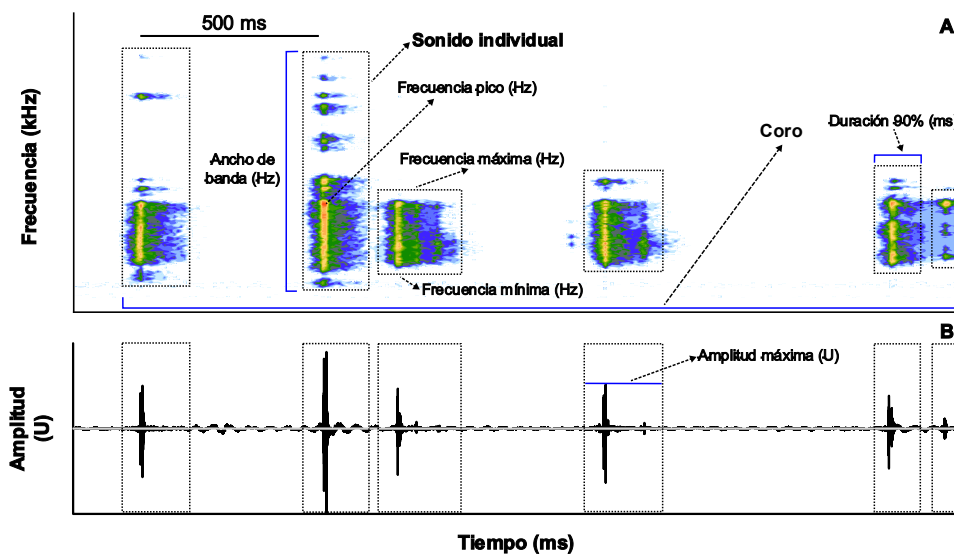


Figura 3. Ejemplo de variables acústicas marcadas en espectrogramas (A) y oscilogramas (B) en el software RavenPro (K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics at the Cornell Lab of Ornithology, 2024).

3. Resultados

De los 370 minutos de grabaciones colectadas en la fase 3, se aislaron 419 sonidos generados por *Abudefduf troschelii*. Todos los sonidos pertenecen a un mismo tipo de manifestación sonora denominado “clic” (Figura 4). Este tipo de sonido está dispuesto de dos formas a lo largo de las grabaciones: de forma individual y en agrupaciones llamadas “coros” con un número de clics y tiempo entre sonidos individuales muy variable.

Para este estudio, se caracterizó cada clic como un sonido de corta duración ($< 50\text{ms}$) que generalmente va desde los 3kHz hasta los 9kHz -aunque existen casos en los que las frecuencias mínima y máxima llegaron hasta 1kHz y 24kHz, respectivamente-. La frecuencia central así como la frecuencia pico presenta valores muy similares, oscilando entre los 5 y 6kHz de media. El ancho de banda muestra un rango de 4kHz en promedio, sin embargo, es importante señalar que existe una alta variabilidad ($\pm 3\text{kHz}$ de desviación estándar). Ocurre algo similar en la amplitud máxima, que tiene un valor promedio de 300U, pero con una desviación estándar de aproximadamente 200U. En todas las variables acústicas medidas -exceptuando la duración 90% y la frecuencia

mínima-, se observa una tendencia a aumentar el valor promedio según aumenta también el número de individuos (Tabla 1).

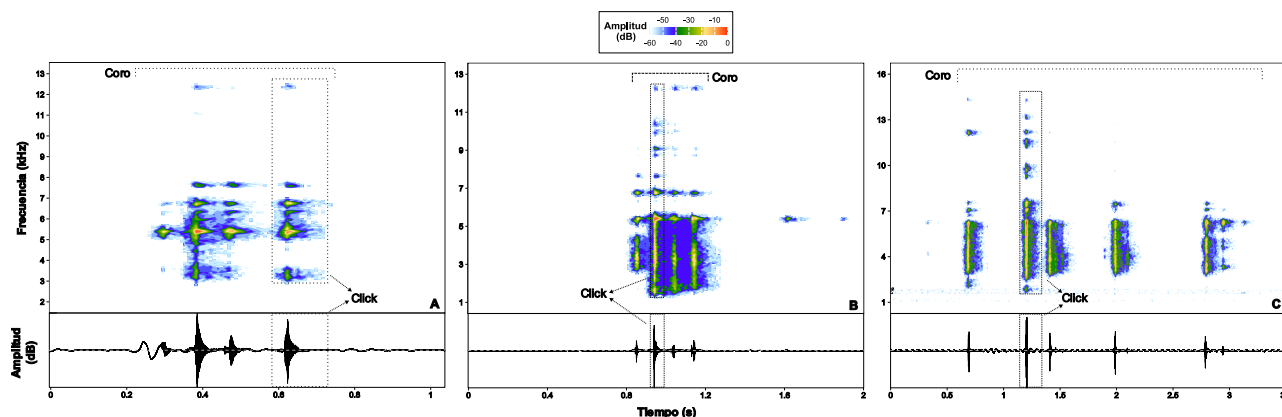


Figura 4. Oscilogramas (arriba) y espectrogramas (abajo) de agrupaciones de “clicks” generados por grupos de cinco *Abudefduf troschelii* en condiciones de semicautividad. Se observa como la unión de sonidos individuales forma un coro. Nótese como el tiempo entre sonidos individuales es más grande en C, en comparación con A, y este a su vez con B. Muestras de audio limpiadas y normalizadas vía dB en Audacity.

En cuanto a las variables calculadas, se obtuvo un ratio de canto en función del tiempo de 3 sonidos por minuto en promedio y una desviación estándar relativamente alta de aproximadamente 3.6 sonidos por minuto, en dos réplicas de diez totales en las que se escucharon señales sonoras producidas por *A. troschelii*. Por otro lado, se calculó un ratio de canto en función del número de peces de 7.3 sonidos por individuo de media, con una desviación estándar cercana a 7.4 sonidos por individuo, en las mismas dos réplicas mencionadas anteriormente. Al igual que en casi todas las variables acústicas medidas, se observa una tendencia al aumento en el valor promedio de las variables calculadas en función del tamaño del grupo (Tabla 2).

Tabla 1. Variables acústicas medidas para sonidos individuales (de forma general y desglosado por tamaño del grupo). Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes en los superíndices indican diferencia estadística significativa entre grupos de una misma variable acústica (post-hoc de Tukey, $p < 0.05$).

Tamaño del grupo	n	Duración 90% (ms)	Frecuencia mínima (kHz)	Frecuencia máxima (kHz)	Frecuencia central (kHz)	Frecuencia pico (kHz)	Ancho de banda (kHz)	Amplitud máxima (U)
<i>Individuo</i>	9	24.3 $\pm$ 10.02 ^a	3416.57 $\pm$ 2036.25 ^a	7997.96 $\pm$ 1045.90 ^{ab}	4593.75 $\pm$ 2431.18 ^b	4625.00 $\pm$ 2523.43 ^a	2854.17 $\pm$ 1667.27 ^{ab}	145.44 $\pm$ 41.29 ^b
<i>Grupo pequeño</i>	139	22.52 $\pm$ 9.26 ^a	3654.95 $\pm$ 1497.21 ^a	8298.72 $\pm$ 2811.28 ^b	5564.30 $\pm$ 1289.24 ^{ab}	5600.04 $\pm$ 1243.05 ^a	3491.68 $\pm$ 2471.05 ^b	260.27 $\pm$ 202.33 ^b
<i>Grupo grande</i>	271	21.59 $\pm$ 7.82 ^a	3410.24 $\pm$ 1570.29 ^a	9550.67 $\pm$ 3815.49 ^a	5911.79 $\pm$ 1689.73 ^a	5815.61 $\pm$ 1796.47 ^a	4732.47 $\pm$ 3519.97 ^a	336.24 $\pm$ 228.75 ^a
<i>Total</i>	419	21.96 $\pm$ 8.37	3491.56 $\pm$ 1559.85	9101.99 $\pm$ 3523.96	5768.20 $\pm$ 1600.94	5718.53 $\pm$ 1659.26	4280.50 $\pm$ 3233.49	306.94 $\pm$ 221.79

Tabla 2. Variables acústicas calculadas para sonidos individuales (de forma general y desglosado por tamaño del grupo). Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes en los superíndices indican diferencia estadística significativa entre grupos de una misma variable acústica (post-hoc de Tukey, $p < 0.05$).

Tamaño del grupo	n de réplicas	Ratio de sonidos por tiempo (sonidos min ⁻¹)	Ratio de sonidos por número de peces (sonidos ind ⁻¹)
<i>Individuo</i>	2	0.44 $\pm$ 0.51 ^a	4.50 $\pm$ 4.95 ^a
<i>Grupo pequeño</i>	6	2.32 $\pm$ 2.57 ^a	7.72 $\pm$ 8.57 ^a
<i>Grupo grande</i>	6	4.51 $\pm$ 4.72 ^a	7.88 $\pm$ 7.66 ^a
<i>Total</i>	14	2.99 $\pm$ 3.66	7.33 $\pm$ 7.36

Al comparar cuantitativamente las variables acústicas entre el tamaño de los grupos, se determinó que existen diferencias significativas en la frecuencia máxima (ANOVA de Kruskal-Wallis, $p < 0.001$), frecuencia central (ANOVA de Kruskal-Wallis, $p = 0.045$), ancho de banda (ANOVA de Kruskal-Wallis, $p = 0.0004$) y la amplitud máxima (ANOVA de Kruskal-Wallis, $p < 0.001$). En el caso de la frecuencia máxima y el ancho de banda se observan tendencias similares: los sonidos generados por los peces del grupo grande tienen un límite máximo -y por ende, un rango de

frecuencias más grande- significativamente más alto que los peces del grupo pequeño (comparaciones múltiples de U de Mann Whitney, $p < 0.001$, $p = 0.0007$ para frecuencia máxima y ancho de banda, respectivamente), mientras que los peces que se encontraban solos tienen características estadísticamente similares a ambos grupos de 3 y 5 peces (Figura 5C , 5F). En el caso de la frecuencia central, existen diferencias significativas entre las réplicas de un individuo y las del grupo grande de peces (post hoc de Tukey, $p = 0.0388$), siendo en esta ocasión, el grupo de 3 peces estadísticamente similar a ambos (Figura 5D). En el caso de la amplitud máxima, se observó que los peces del grupo grande tenían una potencia máxima significativamente más alta que los peces individuales y agrupados en un tamaño de grupo pequeño (comparaciones múltiples de U de Mann Whitney, $p < 0.003$ entre 1 y 5 peces, $p = 0.0009$ entre 3 y 5 peces; Figura 5G). Para el resto de las variables acústicas no se encontraron diferencias significativas.

Para las agrupaciones de clics (coros), se obtuvo una media de duración 90% de 680ms, con una desviación estándar más alta que el promedio (770ms). A diferencia de la duración en sonidos individuales, se observó un descenso en la duración de los coros conforme el número de peces aumentaba. En cuanto al número de sonidos individuales por coro, se obtuvo una media de 4.4 sonidos por cada agrupación, y una desviación estándar de 3.2 sonidos por coro. Al contrario que en la duración 90%, el número de sonidos individuales aumenta cuando se trata de un grupo de tres peces, pero vuelve a descender cuando el número aumenta a cinco o seis peces (Tabla 3).

Tabla 3. Variables acústicas medidas para coros de “clics” (de forma general y desglosado por tamaño del grupo). Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes en los superíndices indican diferencia estadística significativa entre grupos de una misma variable acústica (post-hoc de Tukey, $p < 0.05$).

Tamaño del grupo	n	Duración 90% (ms)	Sonidos por Coro (n)
<i>Individuo</i>	3	1306.67 $\pm$ 1325.57 ^a	3.00 $\pm$ 1.55 ^a
<i>Grupo pequeño</i>	23	824.81 $\pm$ 808.21 ^a	5.48 $\pm$ 3.89 ^a
<i>Grupo grande</i>	61	595.67 $\pm$ 718.74 ^a	4.05 $\pm$ 2.83 ^a
<i>Total</i>	87	680.76 $\pm$ 769.88	4.39 $\pm$ 3.17

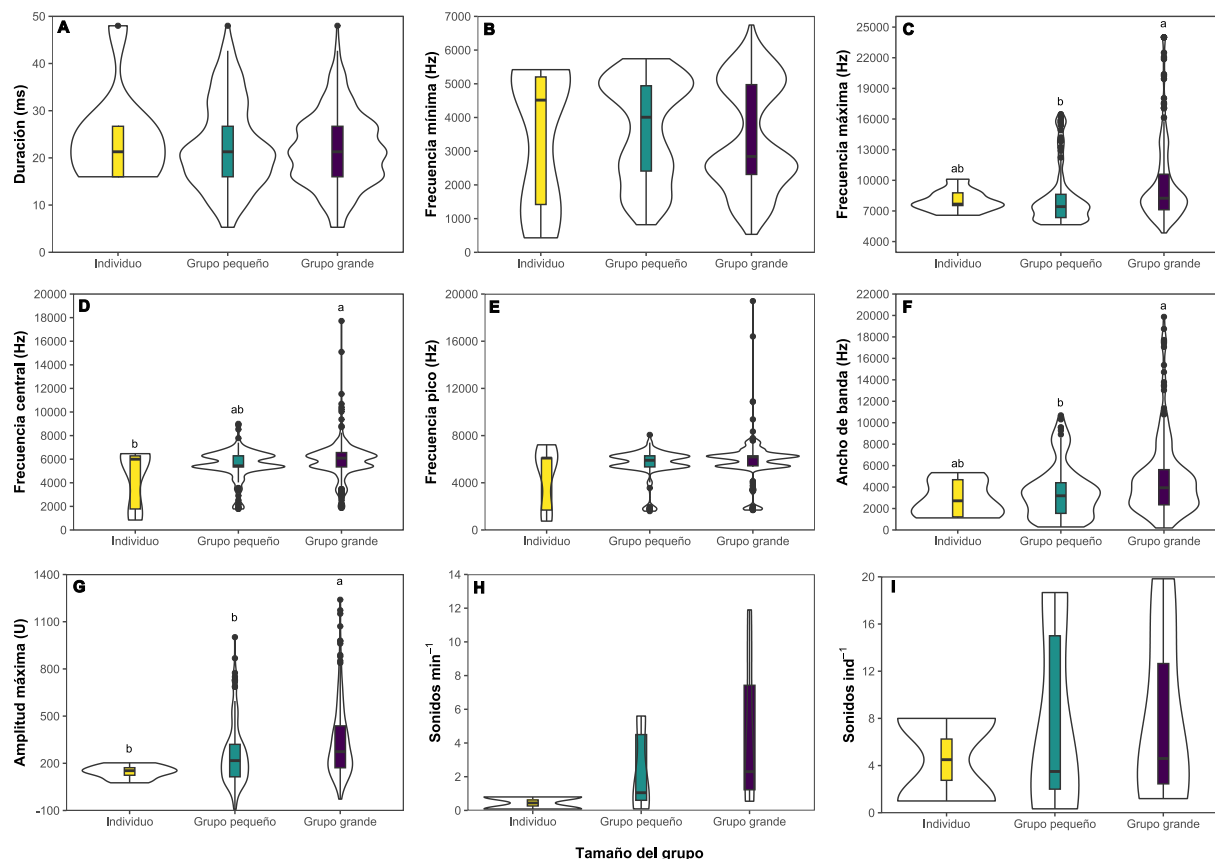


Figura 5. Comparación de las variables acústicas medidas (A-G) y calculadas (H-I) para sonidos individuales, entre el tamaño de los grupos. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa entre grupos de una misma variable acústica (post-hoc de Tukey, $p < 0.05$).

En cuanto a las variables acústicas calculadas para los coros, se calculó una media $\pm$ desviación estándar de 0.72 ± 0.72 coros por minuto para el ratio de coros en función del tiempo, y una media $\pm$ desviación estándar de 1.79 ± 1.25 coros por individuo para el ratio de coros en función del tamaño del grupo; en ambas variables, se hizo el cálculo en una sola réplica de diez totales, en la que existieron coros. En el caso del ratio de coros en función del tiempo, se observó una tendencia ascendente, en la que el promedio aumenta según incrementa el tamaño del grupo; mientras que para el ratio de coros en función del tamaño del grupo, se observó que el valor promedio más bajo corresponde al grupo de tres peces, mientras que el promedio más alto corresponde a peces individuales (Tabla 4). Se ha observado que en muchos casos las variables acústicas -tanto medidas

y calculadas- presentan desviaciones estándar relativamente altas, que es algo común en estudios de este tipo.

Tabla 4. Variables acústicas calculadas para coros de “clics” (de forma general y desglosado por tamaño del grupo). Valores expresados como media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes en los superíndices indican diferencia estadística significativa entre grupos de una misma variable acústica (post-hoc de Tukey, $p < 0.05$).

Tamaño del grupo	n de réplicas	Ratio de sonidos por tiempo (coros min ⁻¹)	Ratio de sonidos por número de peces (coros ind ⁻¹)
<i>Individuo</i>	1	0.30 ^a	3.00 ^a
<i>Grupo pequeño</i>	5	0.46 $\pm$ 0.32 ^a	1.53 $\pm$ 1.07 ^a
<i>Grupo grande</i>	6	1.01 $\pm$ 0.92 ^a	1.79 $\pm$ 1.48 ^a
<i>Total</i>	12	0.72 $\pm$ 0.72	1.79 $\pm$ 1.25

A pesar de los aumentos y descensos en los promedios de las variables acústicas calculadas y medidas, no se detectaron diferencias significativas en función del tamaño de los grupos (Figura 6).

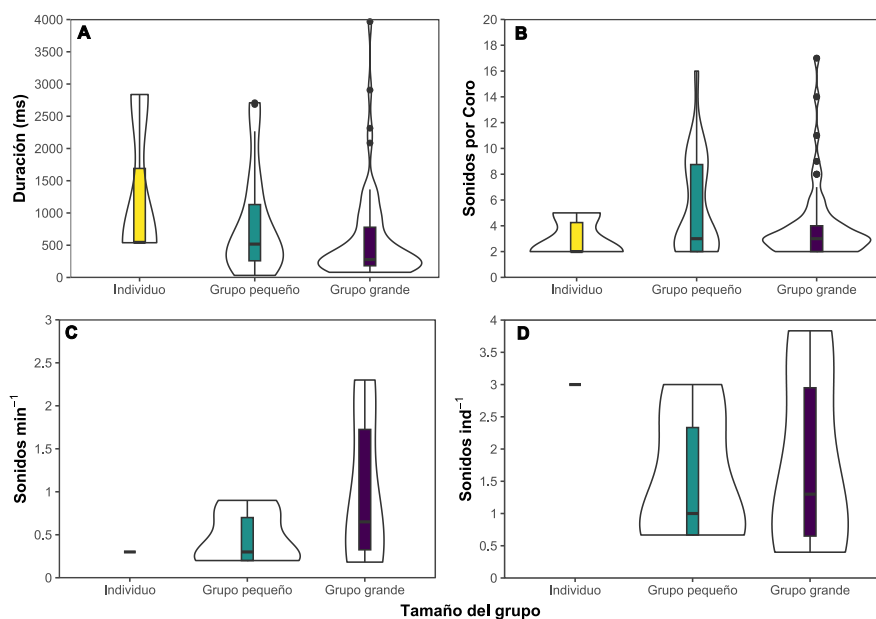


Figura 6. Comparación de las variables acústicas medidas (A-B) y calculadas (C-D) para coros, entre el tamaño de los grupos. Letras minúsculas indican similitud estadística entre grupos de una misma variable acústica.

La correlación entre el número de peces y el número de sonidos por réplica demostró ser significativa en el caso de los sonidos individuales (Spearman, $\rho = 0.62$, $p = 0.019$; Figura 7A), no así cuando se trató de coros (Spearman, $\rho = 0.51$, $p = 0.088$; Figura 7B).

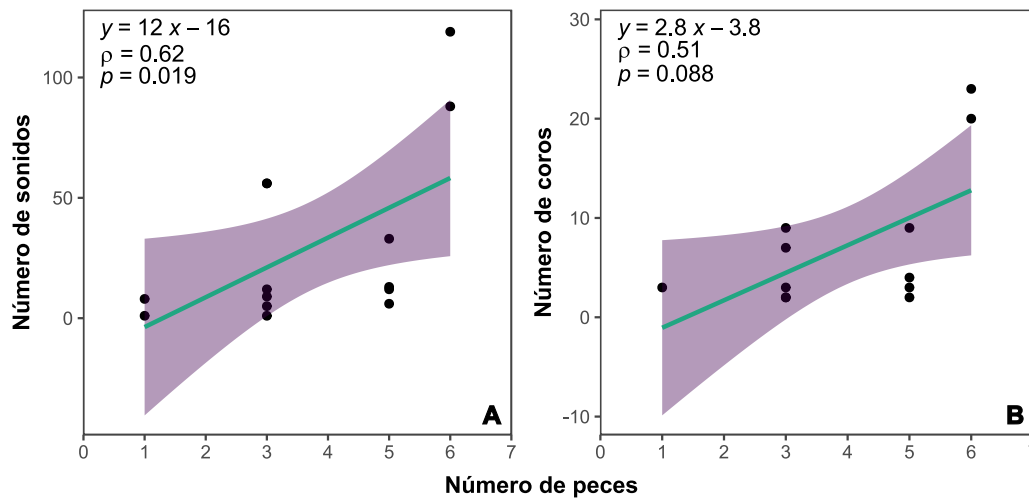


Figura 7. Correlación de Spearman entre el número de peces y el número de sonidos (A) o coros (B).

4. Discusión

La evidencia colectada en este trabajo permite asegurar que *Abudefduf troschelii* es una especie sonífera, y que estos sonidos son generados desde etapas juveniles y en contextos de aislamiento social, así como también cuando están en grupos. De acuerdo con la información alojada en FishSounds (Looby et al., 2026), este sería el quinto registro global dentro del género *Abudefduf*, lo que implicaría que el género tiene un 25% de especies soníferas. También este registro constituye el quincuagésimo quinto dato para la familia Pomacentridae. Si bien, esta familia es de una de las más ampliamente estudiadas en ecosistemas marinos de aguas tropicales, es también de las más diversas, por lo que aún quedan muchas especies por analizar y validar (Hodson et al., 2025).

La evidencia colectada indica la existencia de un tipo de sonido, el cual tiene una forma alargada, de corta duración, con un rango de frecuencias entre 3kHz y 9kHz, y que generalmente se presenta

en forma de coros con un periodo entre sonido individual muy variable, y rara vez escuchado de forma individual. Esto concuerda parcialmente con lo que mencionan Parmentier et al. (2016), quienes explican que los pomacéntridos exhiben pulsos generalmente dispuestos en forma de coros, y que específicamente en el género *Abudefduf* el tiempo entre pulsos no parece seguir un patrón constante, sino que es altamente variado. Sin embargo, rangos de frecuencia previamente reportados para este género se encuentran típicamente entre los 0 y 2 kHz, lo que difiere de lo hallado en este estudio. En cuanto a la frecuencia pico, también se encontraron diferencias importantes con otras especies dentro de la familia Pomacentridae: mientras que en el presente estudio se observó una frecuencia pico promedio de entre 4 y 6 kHz, en el caso de *Abudefduf abdominalis* los valores oscilan entre 100 y 400 Hz (Maruska et al., 2007), en *A. vaigiensis* los valores oscilan entre 300 y 800Hz (Tricas & Boyle, 2014), en el caso de *Chromis viridis* el valor promedio ronda los 700Hz (Amorim, 1996), y en el caso de los géneros *Amphiprion* y *Premnas* la frecuencia pico oscila entre los 300 y 900 Hz (Colley et al., 2011). Estas diferencias podrían deberse a que la mayoría de los estudios previos fueron realizados con individuos adultos o subadultos, mientras que en el presente estudio el trabajo se realizó con individuos juveniles (de entre 3 y 8cm de longitud total). La evidencia científica sugiere que el tamaño del pez incide significativamente en algunas características de los sonidos emitidos: por ejemplo, se ha observado en pomacéntridos (Colley et al., 2009; Colley & Parmentier, 2012; Parmentier et al., 2009) y en otras familias de peces (De Jong et al., 2007; Lechner et al., 2010; Pereira et al., 2020; Tellechea et al., 2010) que la frecuencia pico y el ancho de banda disminuyen conforme aumenta la talla del pez, y que otras características como la duración del sonido o el número de sonidos por coro aumentan según aumente el tamaño del pez (Groneberg et al., 2024; Vasconcelos & Ladich, 2008). Para finalizar, se calculó un promedio de 22ms de duración de los “clics” individuales (Tabla 1). Dentro de la familia Pomacentridae existen resultados mixtos; por ejemplo, en el caso de *Chromis viridis*, Amorim (1996) calculó que los “clics” emitidos por esta especie duraban unos 8ms en promedio, mientras que en otros pomacéntridos si bien no se mencionan “clics”, existen señales sonoras que varían mucho en duración en función de los géneros: en *Stegastes* por ejemplo, sonidos conocidos como “chirps” oscilan entre 10 y 12ms de duración (Parmentier et al., 2016), mientras

que dentro del mismo género *Abudefduf*, los valores oscilan entre 18 y 88ms (Maruska et al., 2007; Tricas & Boyle, 2014).

Es interesante destacar que los valores de frecuencia máxima, frecuencia central, ancho de banda y amplitud máxima son significativamente más altas cuando cinco/seis *Abudefduf troschelii* compartían espacio (grupo grande). Estas características sonoras implicarían la generación de vocalizaciones con tonos más agudos y potentes que cuando están solos o se encuentran en un grupo reducido (por ejemplo, en frecuencia máxima: $9550.67\text{Hz} \pm 3815.49\text{Hz}$ en grupos grandes vs $8298.72\text{Hz} \pm 2811.28\text{Hz}$ en grupos pequeños de peces). Al momento no se pudo encontrar estudios en peces en los que se aborden los cambios en la potencia y el rango de frecuencias de una especie dependiendo del número de individuos. Se sabe que cambios en el ambiente como el aumento o descenso del nivel de ruido, la presencia de depredadores o cambios en la temperatura pueden modificar las características de un sonido (Ladich, 2019); o que la talla del pez incide directamente en algunas propiedades del sonido (Tellechea et al., 2010), pero en este caso, determinar si los cambios observados se deben a cualquiera de las causas mencionadas anteriormente es complejo; por otro lado, se sabe que el comportamiento acústico en peces está generalmente asociado a comportamientos reproductivos y/o agonísticos (Amorim et al., 2015; Ladich & Bass, 2011), pero debido a que este estudio no contempló la descripción de los comportamientos asociados a los sonidos encontrados, no es posible tampoco asociar uno o varios comportamientos a estos cambios en las características del sonido. Sin embargo, está descrito en aves y en mamíferos marinos por ejemplo, que los tonos y las frecuencias podrían ser alteradas por la presencia -o la simple existencia- de ruidos generados por otros congéneres (Geberzahn et al., 2009; Sayigh et al., 2023). Es por esto que se recomienda orientar nuevos estudios que detallen estos comportamientos asociados, dada información valiosa que podría ayudar a comprender esta situación de cambios en frecuencias e intensidad.

Una media de 4 sonidos individuales por coro fue calculada, sin evidenciar diferencias significativas en función del número de individuos. Esto es similar a lo que encontraron Tricas & Boyle (2014) en *Abudefduf vaigiensis*, con una media de 4 sonidos por coro, y Colley et al. (2011) en peces payaso con valores que oscilan entre 2 y 4 sonidos individuales por coro. Parmentier et al.

(2016) concluye que el número de sonidos tiende a aumentar cuando existe comunicación entre conespecíficos, tendencia que si bien es observable en el caso de este estudio, no representa un cambio significativo. Además, se calculó un ratio de canto en función del tiempo de 2.99 sonidos $\text{min}^{-1} \pm 3.66$ sonidos min^{-1} (Tabla 2). No se encontraron datos de ratio de canto para los pomacéntridos, pero en el caso de *Amphichthys cryptocentrus* (Batrachoididae) (Salas et al., 2018), se calcularon tasas de 4.13 sonidos min^{-1} para “single calls”, y 7.31 sonidos min^{-1} en el caso de los “grunts”.

El número de trabajos enfocados en bioacústica de ambientes acuáticos ha ido en aumento en los últimos años, y con ello los esfuerzos por integrar a la comunidad científica en un objetivo común (Lindseth & Lobel, 2018; Parsons et al., 2022), sin embargo, aún es necesario incrementar los esfuerzos en la descripción de sonidos especie-específicos en ecosistemas marinos del país y la región. La generación de catálogos de referencia es un paso crucial para aplicar la bioacústica como herramienta para el estudio de la biodiversidad, incluyendo una futura identificación automatizada de especies para el análisis de biodiversidad a partir del sonido ambiente (Barroso et al., 2023; Greenhalgh et al., 2025; McCammon et al., 2025; Monczak et al., 2019; Waddell et al., 2021). Este estudio, al proporcionar una descripción de generación de sonidos en *Abudefduf troschelii* y una metodología para la grabación de sonidos en condiciones seminaturales versátil y replicable, contribuye a nutrir la base nacional y regional de sonidos, y abre puertas a continuar explorando y describiendo la enorme diversidad acústica que posiblemente se tenga en la región.

5. Conclusiones

- *Abudefduf troschelii* es una especie sonífera, con un tipo de sonido de corta duración denominado “clic”, con un rango de frecuencias entre 3kHz y 9kHz, y que generalmente se presenta en forma de coros con un periodo entre sonido individual muy variable, y rara vez escuchado de forma individual.
- Juveniles de *A. troschelii* son capaces de generar marcas sonoras detectables por equipos de uso en bioacústica.

- Cuando *A. troschelii* se encuentra en grupos de más de 5 individuos, emite vocalizaciones más agudas y potentes que cuando está en grupos de menos de 4 individuos, o solos.
- Existe una correlación positiva significativa entre el número de sonidos medidos y el número de peces, es decir que conforme el número de peces aumenta también lo hace el número de sonidos emitidos por los mismos.
- La metodología desarrollada y puesta a prueba en este estudio demostró ser viable para su aplicación en grabación de bioacústica en peces bajo condiciones seminaturales.

6. Referencias bibliográficas

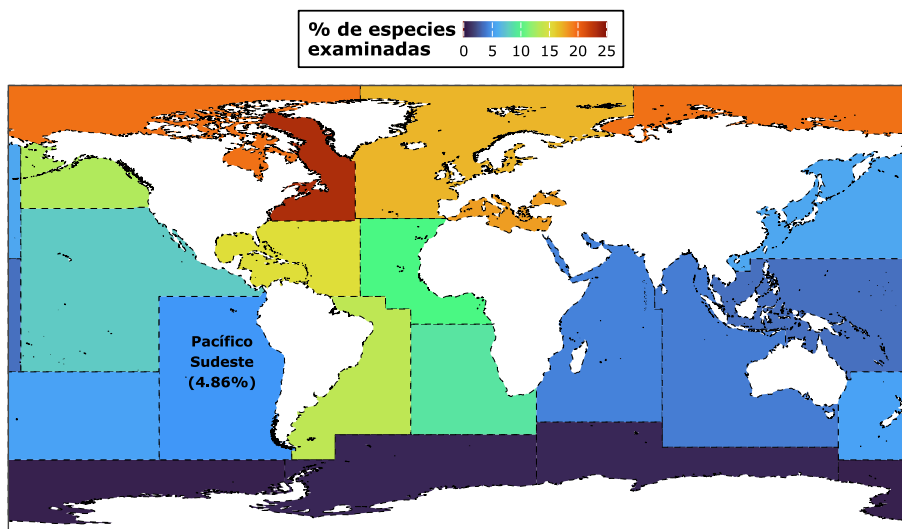
- Amorim, M. C. P. (1996). Sound production in the Blue-Green Damselfish *Chromis viridis* (Cuvier, 1830) (Pomacentridae). *Bioacoustics*, 6(4), 265–272. <https://doi.org/10.1080/09524622.1996.9753299>
- Amorim, M. C. P., Vasconcelos, R. O., & Fonseca, P. J. (2015). Fish Sounds and Mate Choice. En *Sound Communication in Fishes: Animal Signals and Communication* (Vol. 4, pp. 1–33). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1846-7_1
- Barroso, V. R., Xavier, F. C., & Ferreira, C. E. L. (2023). Applications of machine learning to identify and characterize the sounds produced by fish. En *ICES Journal of Marine Science* (Vol. 80, Número 7, pp. 1854–1867). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad126>
- Bradbury, J. W., & Vehrencamp, S. L. (2011). *Principles of Animal Communication* (2a ed.). Sinauer Associates.
- Carriço, R., Silva, M. A., Meneses, G. M., Fonseca, P. J., & Amorim, M. C. P. (2019). Characterization of the acoustic community of vocal fishes in the Azores. *PeerJ*, 7(11), e7772. <https://doi.org/10.7717/peerj.7772>
- Colleye, O., Frederich, B., Vandewalle, P., Casadevall, M., & Parmentier, E. (2009). Agonistic sounds in the skunk clownfish *Amphiprion akallopisos*: size-related variation in acoustic features. *Journal of Fish Biology*, 75(4), 908–916. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02316.x>
- Colleye, O., & Parmentier, E. (2012). Overview on the Diversity of Sounds Produced by Clownfishes (Pomacentridae): Importance of Acoustic Signals in Their Peculiar Way of Life. *PLoS ONE*, 7(11), e49179. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049179>
- Colleye, O., Vandewalle, P., Lanterbecq, D., Lecchini, D., & Parmentier, E. (2011). Interspecific variation of calls in clownfishes: degree of similarity in closely related species. *BMC Evolutionary Biology*, 11(1), 365. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-365>
- De Jong, K., Bouton, N., & Slabbekoorn, H. (2007). Azorean rock-pool blennies produce size-dependent calls in a courtship context. *Animal Behaviour*, 74(5), 1285–1292. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.02.023>
- Deichmann, J. L., Acevedo-Charry, O., Barclay, L., Burivalova, Z., Campos-Cerqueira, M., d'Horta, F., Game, E. T., Gottesman, B. L., Hart, P. J., Kalan, A. K., Linke, S., Nascimento, L. Do, Pijanowski, B., Staatterman, E., & Mitchell Aide, T. (2018). It's time to listen: there is much to be learned from the sounds of tropical ecosystems. *Biotropica*, 50(5), 713–718. <https://doi.org/10.1111/btp.12593>
- Frederiksen, M., Layton-Matthews, K., Bennett, S., Funder Castenschield, J. H., Cruz-Flores, M., Edney, A. J., Fauchald, P., Franklin, K. A., Guímaro, H. R., Hereward, H. F. R., Johnston, D. T., Merkel, B., Molværsmyr, S., Sauser, C., Snell, K. R. S., & Humphreys, E. M. (2025). Opportunities and challenges for new technologies in seabird population monitoring. *ICES Journal of Marine Science*, 82(9). <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaf115>
- Froese, R., Pauly, D., & Editors. (2026). *Abudefduf troschelii*. FishBase. <https://fishbase.se/summary/8245>
- GBIF.org. (2026). *GBIF*. <https://www.gbif.org/es/>
- Geberzahn, N., Goymann, W., Muck, C., & ten Cate, C. (2009). Females alter their song when challenged in a sex-role reversed bird species. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 64(2), 193–204. <https://doi.org/10.1007/s00265-009-0836-0>

- Greenhalgh, J. A., Akmentins, M. S., Boullhesen, M., Brejão, G. L., Bowman, J. C., Briers, R. A., Campbell, K., Clark, A., Coen, M., Desjonquères, C., Gastón, S., Gottesman, B. L., Jones, I. T., Lahoz-Monfort, J. J., Lindsay, E., Macías Rodríguez, F., Navarrete-Mier, F., Norton, M., Las Casas e Novaes, M. C., ... Looby, A. (2025). *The Freshwater Sounds Archive*. <https://doi.org/10.1101/2025.05.07.652412>
- Greenhalgh, J. A., Genner, M. J., Jones, G., & Desjonquères, C. (2020). The role of freshwater bioacoustics in ecological research. *WIREs Water*, 7(3), 1–20. <https://doi.org/10.1002/wat2.1416>
- Groneberg, A. H., Dressler, L. E., Kadobianskyi, M., Müller, J., & Judkewitz, B. (2024). Development of sound production in *Danionella cerebrum*. *Journal of Experimental Biology*, 227(16). <https://doi.org/10.1242/jeb.247782>
- Hodson, E. J., Cox, K., Juanes, F., & Looby, A. (2025). Actively soniferous tropical reef fishes are diverse, vulnerable, and valuable. *Journal of Fish Biology*, 106(4), 990–995. <https://doi.org/10.1111/jfb.16030>
- Hyacinthe, C., Attia, J., & Rétaux, S. (2019). Evolution of acoustic communication in blind cavefish. *Nature Communications*, 10(1), 4231. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12078-9>
- K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics at the Cornell Lab of Ornithology. (2024). *Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.6.5)*. The Cornell Lab of Ornithology. <https://www.ravensoundsoftware.com/>
- Kahl, S., Wood, C. M., Eibl, M., & Klinck, H. (2021). BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring. *Ecological Informatics*, 61, 101236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236>
- Ladich, F. (2019). Ecology of sound communication in fishes. *Fish and Fisheries*, 20(3), 552–563. <https://doi.org/10.1111/faf.12368>
- Ladich, F., & Bass, A. H. (2011). Vocal Behavior of Fishes: Anatomy and Physiology. En *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment* (A.P. Farrell, Vol. 1, pp. 321–329). Elsevier Academic Press.
- Lamont, T. A. C., Chapuis, L., Williams, B., Dines, S., Gridley, T., Frainer, G., Fearey, J., Maulana, P. B., Prasetya, M. E., Jompa, J., Smith, D. J., & Simpson, S. D. (2022). HydroMoth: Testing a prototype low-cost acoustic recorder for aquatic environments. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 8(3), 362–378. <https://doi.org/10.1002/rse2.249>
- Lechner, W., Wysocki, L. E., & Ladich, F. (2010). Ontogenetic development of auditory sensitivity and sound production in the squeaker catfish *Synodontis schoutedeni*. *BMC Biology*, 8(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-8-10>
- Lindseth, A. V., & Lobel, P. S. (2018). Underwater Soundscape Monitoring and Fish Bioacoustics: A Review. *Fishes*, 3(3), 36. <https://doi.org/10.3390/fishes3030036>
- Looby, A., Cox, K., Bravo, S., Rountree, R., Juanes, F., Reynolds, L. K., & Martin, C. W. (2022). A quantitative inventory of global soniferous fish diversity. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(2), 581–595. <https://doi.org/10.1007/s11160-022-09702-1>
- Looby, A., Erbe, C., Bravo, S., Cox, K., Davies, H. L., Di Iorio, L., Jézéquel, Y., Juanes, F., Martin, C. W., Mooney, T. A., Radford, C., Reynolds, L. K., Rice, A. N., Riera, A., Rountree, R., Spriel, B., Stanley, J., Vela, S., & Parsons, M. J. G. (2023). Global inventory of species categorized by known underwater sonifery. *Scientific Data*, 10(1), 892. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02745-4>

- Looby, A., Vela, S., Cox, K., Riera, A., Davies, H., Spriel, B., Murchy, K., Bravo, S., Rountree, R., Juanes, F., Reynolds, L., & Martin, C. (2026). *FishSounds*. <http://www.fishsounds.net>
- Martínez Medina, D., Acevedo-Charry, O., Medellín-Becerra, S., Rodríguez-Fuentes, J., López-Casas, S., Muñoz-Duque, S., Rivera-Correa, M., López-Aguirre, Y., Vargas-Salinas, F., Laverde-R, O., & Rodríguez-Posada, M. E. (2021). Estado, desarrollo y tendencias de los estudios en acústica de la fauna en Colombia. *Biota Colombiana*, 22(1), 7–25. <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a01>
- Maruska, K. P., Boyle, K. S., Dewan, L. R., & Tricas, T. C. (2007). Sound production and spectral hearing sensitivity in the Hawaiian sergeant damselfish, *Abudefduf abdominalis*. *Journal of Experimental Biology*, 210(22), 3990–4004. <https://doi.org/10.1242/jeb.004390>
- McCammon, S., Formel, N., Jarriel, S., & Mooney, T. A. (2025). Rapid detection of fish calls within diverse coral reef soundscapes using a convolutional neural network. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 157(3), 1665–1683. <https://doi.org/10.1121/10.0035829>
- Monczak, A., Ji, Y., Soueidan, J., & Montie, E. W. (2019). Automatic detection, classification, and quantification of sciaenid fish calls in an estuarine soundscape in the Southeast United States. *PLoS ONE*, 14(1). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0209914>
- Muñoz-Duque, S., Fonseca, P. J., Quintella, B., Monteiro, J. G., Fernandez, M., Silva, R., Vieira, M., & Amorim, M. C. P. (2024). Acoustic fish community in the Madeira Archipelago (North Atlantic Ocean): Characterization of sound diversity and daily patterns. *Marine Environmental Research*, 199, 106600. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106600>
- Muñoz-Duque, S., López-Casas, S., Rivera-Gutiérrez, H., & Jiménez-Segura, L. (2021). Bioacoustic characterization of mating calls of a freshwater fish (*Prochilodus magdalenae*) for passive acoustic monitoring. *Biota Colombiana*, 22(1), 108–121. <https://doi.org/10.21068/c2021.v22n01a07>
- Parmentier, E., Colleye, O., & Mann, D. (2009). Hearing ability in three clownfish species. *Journal of Experimental Biology*, 212(13), 2023–2026. <https://doi.org/10.1242/jeb.030270>
- Parmentier, E., Lecchini, D., & Mann, D. A. (2016). Sound Production in Damselfishes. En B. Frédérick & E. Parmentier (Eds.), *Biology of Damselfishes* (p. 25). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315373874>
- Parsons, M. J. G., Lin, T.-H., Mooney, T. A., Erbe, C., Juanes, F., Lammers, M., Li, S., Linke, S., Looby, A., Nedelec, S. L., Van Opzeeland, I., Radford, C., Rice, A. N., Sayigh, L., Stanley, J., Urban, E., & Di Iorio, L. (2022). Sounding the Call for a Global Library of Underwater Biological Sounds. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.810156>
- Pereira, B. P., Vieira, M., Pousão-Ferreira, P., Candeias-Mendes, A., Barata, M., Fonseca, P. J., & Amorim, M. C. P. (2020). Sound production in the Meagre, *Argyrosomus regius* (Asso, 1801): intraspecific variability associated with size, sex and context. *PeerJ*, 8(2), e8559. <https://doi.org/10.7717/peerj.8559>
- Picciulin, M., Bolgan, M., Codarin, A., Fiorin, R., Zucchetta, M., & Malavasi, S. (2013). Passive acoustic monitoring of *Sciaena umbra* on rocky habitats in the Venetian littoral zone. *Fisheries Research*, 145, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.02.008>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

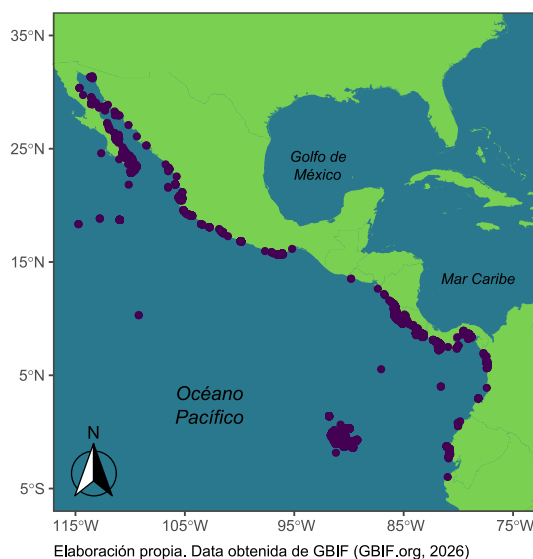
- Radford, C. A., Ghazali, S. M., Montgomery, J. C., & Jeffs, A. G. (2016). Vocalisation Repertoire of Female Bluefin Gurnard (*Chelidonichthys kumu*) in Captivity: Sound Structure, Context and Vocal Activity. *PLOS ONE*, 11(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149338>
- Robertson, D. R., Allen, G. R., Peña, E., & Estape, C. & A. (2024). *Abudefduf troschelii*. Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de Información en Línea. <https://biogeodb.stri.si.edu/sftep/es/thefishes/species/1622>
- Rountree, R. A., Gilmore, R. G., Goudey, C. A., Hawkins, A. D., Luczkovich, J. J., & Mann, D. A. (2006). Listening to Fish: Applications of Passive Acoustics to Fisheries Science. *Fisheries*, 31(9), 433–446. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(2006\)31\[433:LTF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(2006)31[433:LTF]2.0.CO;2)
- Rountree, R. A., & Juanes, F. (2017). Potential of passive acoustic recording for monitoring invasive species: freshwater drum invasion of the Hudson River via the New York canal system. *Biological Invasions*, 19(7), 2075–2088. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1419-z>
- Rowley, J. J. L., Callaghan, C. T., Cutajar, T., Portway, C., Potter, K., Mahony, S., Trembath, D. F., Flemons, P., & Woods, A. (2019). FrogID: Citizen scientists provide validated biodiversity data on frogs of Australia. *Herpetological Conservation and Biology*, 14(1), 155–170.
- Salas, A. K., Wilson, P. S., & Ryan, M. J. (2018). Acoustic communication in the Bocon toadfish (*Amphichthys cryptocentrus*). *Environmental Biology of Fishes*, 101(7), 1175–1193. <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0767-6>
- Sayigh, L. S., El Haddad, N., Tyack, P. L., Janik, V. M., Wells, R. S., & Jensen, F. H. (2023). Bottlenose dolphin mothers modify signature whistles in the presence of their own calves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(27). <https://doi.org/10.1073/pnas.2300262120>
- Serrano, J. M., & Ochoa-Ochoa, L. (2024). ¿Cómo se comunican los animales? *Elementos*, 134, 69–74.
- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, 18(2), 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>
- Tacioli, L., Medeiros, C. B., & Toledo, L. F. (2016). *WASIS: Wildlife Animal Sound Identification System* (2.0). Fonoteca Neotropical Jacques Viellard. <https://www.naturalhistory.com.br/wasis.html>
- Tellechea, J. S., Martinez, C., Fine, M. L., & Norbis, W. (2010). Sound production in the whitemouth croaker and relationship between fish size and disturbance call characteristics. *Environmental Biology of Fishes*, 89(2), 163–172. <https://doi.org/10.1007/s10641-010-9709-7>
- Tricas, T., & Boyle, K. (2014). Acoustic behaviors in Hawaiian coral reef fish communities. *Marine Ecology Progress Series*, 511, 1–16. <https://doi.org/10.3354/meps10930>
- Vasconcelos, R. O., & Ladich, F. (2008). Development of vocalization, auditory sensitivity and acoustic communication in the Lusitanian toadfish *Halobatrachus didactylus*. *Journal of Experimental Biology*, 211(4), 502–509. <https://doi.org/10.1242/jeb.008474>
- Waddell, E. E., Rasmussen, J. H., & Širović, A. (2021). Applying artificial intelligence methods to detect and classify fish calls from the northern gulf of Mexico. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/jmse9101128>
- Wickham, H. (2009). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-98141-3>

7. Anexos



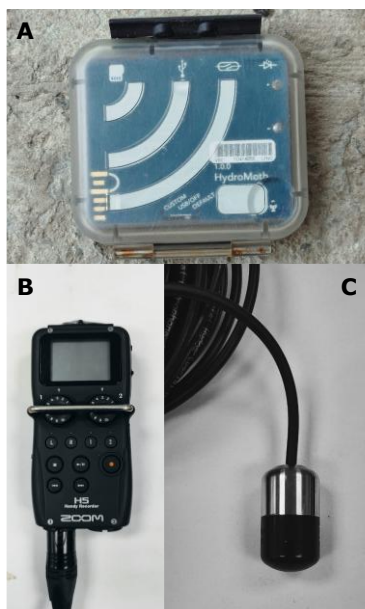
Elaboración propia. Data obtenida de FishSounds (Looby et al. 2026).

Anexo 1. Porcentaje de peces marinos estudiados en el campo de la bioacústica (por regiones de pesca FAO). Elaboración propia, data obtenida de FishSounds (Looby et al., 2026).



Elaboración propia. Data obtenida de GBIF (GBIF.org, 2026)

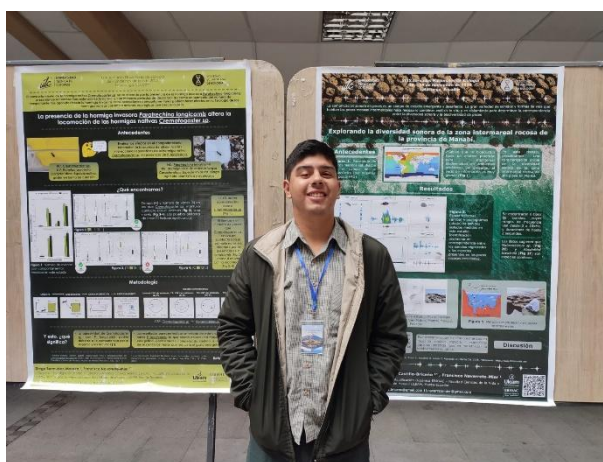
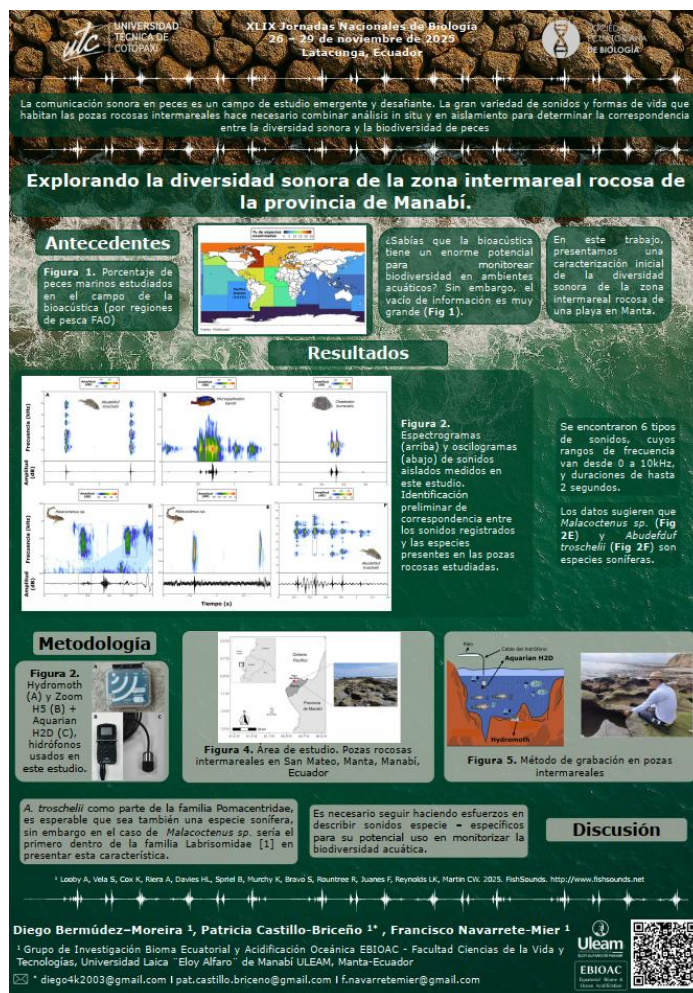
Anexo 2. Distribución geográfica de *Abudedefduf troschelii*. Los puntos violetas representan un lugar donde la especie ha sido vista. Elaboración propia, data obtenida de GBIF (GBIF.org, 2026).



Anexo 3. Hydromoth (A) y Zoom H5 (B) + Aquarian H2D (C), hidrófonos usados en este estudio.



Anexo 4. Fases de la metodología: Exploraciones iniciales en pozas naturales (A), desarrollo del protocolo para grabación en aislamiento (B), prueba del protocolo con *Abudefduf troschelii* (C).



Anexo 5. Póster “Explorando la diversidad sonora de la zona intermareal rocosa de la provincia de Manabí” (derecha) presentado en las XLIX Jornadas Nacionales de Biología.

Contenido exclusivo para presentación como Trabajo de titulación de Tercer Nivel. Carrera de Biología. Facultad Ciencias de la Vida y Tecnologías. Grupo de Investigación EBIOAC-ULEAM. Modalidad: Artículo Académico. Estudiante: Bermúdez-Moreira Diego. Tutoría: Dr. Francisco Navarrete-Mier, Asesoría: Dra. Patricia Castillo-Briceño. La información incluida en este documento solo podrá ser publicada y/o difundida bajo expresa autorización de l@s director@s del Grupo EBIOAC.

Especie	Duración (ms)	Frecuencia pico (Hz)	Sonidos individuales por coro (n)	Referencia
<i>Abudefduf troschelii</i>	21.96 ± 8.37	5718.53 ± 1659.26	4.39 ± 3.17	Este estudio
<i>Abudefduf abdominalis</i>	18-88	115-446	1-11	(Maruska et al., 2007)
<i>Abudefduf vaigiensis</i>	18-52	316-805	4.0 ± 1.4	(Tricas & Boyle, 2014)
<i>Chromis viridis</i>	7.94 ± 2.71	709.92 ± 92.8	2.11 ± 1.19	(Amorim, 1996)
<i>Amphiprion ocellaris</i>	9.7 ± 1.5	742 ± 124	3.8 ± 1.7	(Colley et al., 2011)
<i>Amphiprion akallopisos</i>	6-16	505-988	3.6-4.1	(Colley et al., 2009)
<i>Premnas biaculeatus</i>	20.5 ± 1.6	399 ± 85	3.4 ± 1.7	(Colley et al., 2011)

Anexo 6. Tabla comparativa entre las características acústicas reportadas en este y otros estudios de peces pomacéntridos.