

Contaminación acústica por pequeñas embarcaciones en el ciclo de canto de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y el paisaje acústico del Pacífico norte colombiano



Maria Paula Rey Baquero

Directoras
Andrea Luna Acosta Ph. D
Kerri Seger Ph. D



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Estudios Ambientales y Rurales
Carrera de Ecología

Bogotá D.C.
Noviembre de 2020

Título:

Contaminación acústica por pequeñas embarcaciones en el ciclo de canto de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y el paisaje acústico del Pacífico norte colombiano.

Pregunta de investigación:

¿Cuál es la contribución por 1) el ruido de pequeñas embarcaciones, 2) el canto de las ballenas jorobadas y 3) los sonidos de otras especies al paisaje acústico del Golfo de Tribugá?

Objetivos**Objetivo general:**

Identificar la contribución del ruido generado por pequeñas embarcaciones, el sonido del canto de las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) y de otras fuentes biológicas en el paisaje acústico.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el paisaje acústico del Golfo de Tribugá, Pacífico norte colombiano durante la temporada reproductiva de las ballenas jorobadas.
- Reconocer los patrones temporales de la biofonía y antropofonía en función de los ciclos horarios.
- Evaluar los presuntos cambios sobre los ciclos de la actividad acústica de las ballenas jorobadas debido a la antropofonía y geofonía.

Tabla de contenido

Resumen	5
1. Introducción	5
2. Métodos	7
2.1. Área de estudio	7
2.2. Recopilación de datos acústicos.....	9
2.3. Análisis de espectrogramas.....	9
2.4. Análisis del paisaje acústico	9
2.5. Análisis estadístico	10
3. Resultados	11
3.1. Análisis de espectrogramas	11
3.2. Análisis del paisaje acústico	14
3.3. Análisis estadístico	24
4. Discusión	27
5. Conclusiones y perspectivas	31
6. Agradecimientos	31
7. Referencias	32
8. Anexos	39
8.1. Anexo 1: Lineamientos para autores de la revista <i>Marine Pollution</i>	39
8.2. Anexo 2: Antecedentes y marco teórico	51
8.3. Anexo 3: Metodología extendida	60
9. Material suplementario	66

Figuras

1. Área de estudio	8
2. Meses de muestreo por zona	8
3. Espectrogramas de sonidos de lanchas	12
4. Espectrogramas de sonidos de lluvia	12
5. Espectrogramas de sonidos de ballenas	13
6. Espectrogramas de sonidos de peces	13
7. Comparación de espectrogramas en Morro Mico y Nuquí	14
8. Porcentajes de sonidos encontrados por zonas	15

9. Tasas de presencia de sonido por mes en cada zona	16
10. Número de sonidos de ballenas encontrados por hora en cada zona.....	17
11. Número de sonidos de lanchas encontrados por hora en cada zona	18
12. Percentiles 1, 50, y 99 por 10 minutos cada media hora Morro Mico 2018	19
13. Percentiles 1, 50, y 99 por 10 minutos cada media hora Morro Mico 2019	20
14. Percentiles 1, 50, y 99 por 10 minutos cada media hora Nuquí 2019.....	21
15. Frecuencia de cada uno de los grupos de sonido por día en los tres casos	22
16. Niveles de presión de sonido en los percentiles 1, 50 y 99 por hora y zona	24
17. Distribución percentiles en Morro Mico y Nuquí para 2019	26

Tablas

1. Zonas, años y tiempo de muestreo	9
2. Porcentajes de sonidos encontrados por zona y año	14
3. Estadísticos descriptivos por percentil de Morro Mico en 2018	25
4. Estadísticos descriptivos por percentil de Morro Mico en 2019	25
5. Estadísticos descriptivos por percentil de Nuquí en 2019.....	26
6. Prueba de correlación con los percentiles: ballenas, camarones y lanchas.....	27

Contaminación acústica por pequeñas embarcaciones en el ciclo de canto de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y el paisaje acústico del Pacífico norte colombiano

Resumen

La contaminación acústica en los ecosistemas marinos ha aumentado significativamente durante las últimas décadas. Una de las fuentes que más contribuye a esta problemática es el transporte marítimo, algunos de los impactos sobre la fauna marina incluyen la interrupción de comunicación a larga distancia y el estrés fisiológico. El Golfo de Tribugá, hace parte del área de reproducción de las ballenas jorobadas del stock G, esta especie posee patrones de comunicación caracterizados por cantos y llamados sociales. Aunque se reconoce variabilidad innata en dichos despliegues acústicos, las causas son en gran medida desconocidas. Uno de los factores de interés podría ser el ruido generado por embarcaciones. Para el Golfo de Tribugá, el ruido de lanchas turísticas fue el contribuyente antrópico más representativo. Se observó que los paisajes acústicos están dominados por biofonía, y que el de Nuquí es más variable y con más ruido antropogénico que el de Morro Mico.

Palabras clave: Golfo de Tribugá, ballenas jorobadas, lanchas turísticas, antropofonía, biofonía.

1. Introducción

La contaminación marina por actividades antrópicas, está estrechamente relacionada con el aumento de las poblaciones humanas en zonas costeras y con el incremento de actividades domésticas, agrícolas e industriales (Garay et al., 2001). Existen diferentes fuentes de impacto como los contaminantes químicos, los microplásticos (Chitrakar et al., 2019), microbiológicos (Zappalà et al., 2012) y el ruido (Shannon et al., 2016). Específicamente en las últimas cinco décadas, el ruido ha incrementado significativamente en el océano Pacífico, y una de las fuentes que más contribuye a esta problemática es el transporte marítimo (Hildebrand, 2009; McDonald et al., 2006).

El ruido de embarcaciones, es una variable considerable en la reducción del espacio de comunicación de algunas especies en ecosistemas marinos, desde un mamífero marino hasta los peces pueden verse afectados por efectos crónicos (Putland et al., 2018). Adicionalmente, se ha evidenciado el aumento de los niveles de ruido de fondo de baja frecuencia, alrededor de los 12 dB (Hildebrand, 2009), generando efectos de superposición o enmascaramiento con sonidos naturales (Kaplan & Mooney, 2015). Mientras algunas fuentes de ruido como las embarcaciones de turismo, tiene ciclos de actividad predecibles bajo horarios predeterminados, los eventos climáticos son esporádicos (Fournet et al., 2018). Esto explica la variación en los niveles de sonido de banda de frecuencia, ya que, en algunos casos, estaría impulsada por fuentes de sonido biológico y en otros por fuentes antropogénicas (Haver et al., 2019; Seger et al., 2015).

El paisaje acústico, se compone de tres elementos fundamentales: (1) antropofonía, la cual incluye todos los sonidos asociados a la actividad humana, (2) la biofonía, que comprende los sonidos producidos por animales, incluyendo las vocalizaciones (e.g. el canto de las

ballenas) y señales acústicas no vocales (e.g. sonidos de alimentación de los moluscos) (Kitting, 1979) y, (3) la geofonía, que son los sonidos generados por eventos físicos como las olas, terremotos, lluvias o tormentas (Pijanowski et al., 2011; Montgomery & Radford, 2017; Wang et al., 2019).

Muchos organismos marinos, incluidos invertebrados, peces y mamíferos contribuyen al paisaje acústico, con sonidos naturales como vocalización y estridulación (Pijanowski et al., 2011). Específicamente, los invertebrados como los camarones producen sonidos de “chasquidos” al romper burbujas de aire. Se cree que estos sonidos son lo suficientemente intensos como para aturdir a las presas (Pijanowski et al., 2011). El paisaje acústico es vital para muchos animales ya que posibilita la detección de depredadores/presas, la navegación o la protección de crías permitiendo las interacciones y dinámicas del ecosistema (Merchant et al., 2015).

Los mamíferos marinos, como las ballenas y los delfines, utilizan señales acústicas para facilitar algunas funciones vitales, como la comunicación, la navegación, el forrajeo, la reproducción y la evasión de depredadores (Richardson et al., 1995; Haver et al., 2019). Se ha encontrado que el ruido puede afectarlos a nivel comportamental y ecológico, por ejemplo, en funciones de desarrollo, reproductivas o inmunes a causa del estrés fisiológico (McDonald et al., 2008; Rolland et al., 2012). Por otro lado, en peces, se ha encontrado que el ruido también es una variable que puede afectar las interacciones depredador/presa favoreciendo al depredador, y reduciendo la aptitud física de la presa (Simpson et al., 2016).

La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), es una especie cosmopolita, que se encuentra en todos los océanos (Clapham & Mead, 1999). Los individuos del Stock G (IWC, 1998) llegan a aguas costeras del Pacífico colombiano para aparearse, dar a luz y amamantar a sus crías (Flórez-González, 1991). Se caracteriza, además, por marcados hábitos migratorios con desplazamientos de largas distancias entre áreas de reproducción tropicales y zonas de alimentación polares (Clapham, 2000; Gonçalves et al., 2018). Adicionalmente, se destaca por una considerable actividad acústica que incluye cantos, emitidos únicamente por los machos, en su mayoría durante la temporada de reproducción, y sonidos sociales, producidos por animales de ambos sexos y de todas las clases de edad (Payne & McVay, 1971; Rossi-Santos, 2015; Stimpert et al., 2012). El canto emitido por las ballenas jorobadas tiene diferentes hipótesis de funcionalidad, que permiten dimensionar su papel fundamental en las dinámicas reproductivas de estos mamíferos. Se cree que es utilizada para mediar interacciones entre machos, atraer a las hembras (Herman, 2017), establecer dominio (Winn & Winn, 1978), mantener espacio entre machos (Frankel et al., 1995), promover la ovulación en las hembras (Baker & Herman, 1984), entre otras.

Por otro lado, se han reportado cambios comportamentales y acústicos en ballenas jorobadas y otras especies, debido a las lanchas de turismo de avistamiento. Por ejemplo, Scheidat et al., 2004 reportó aumento en la velocidad y cambios de dirección de nado de las ballenas en Isla de la Plata, Parque Nacional Machalilla, Ecuador, ante el seguimiento de embarcaciones turísticas, entre otros cambios (Parsons, 2012). En Bahía Málaga, Pacífico colombiano, se reportó incremento en la velocidad de desplazamiento en presencia de botes; lo cual fue interpretado como comportamientos evasivos, que podrían suponer un costo energético adicional (Avila et al., 2015). En general, los efectos del ruido submarino varían de acuerdo con la fuente. Por ejemplo, el ruido producido por turbinas, varía según el tipo de maquinaria,

la especie, la estación y las condiciones de sonido ambiental (Pine et al., 2019). Por otro lado, el ruido producido por pequeños botes, por ejemplo de avistamiento turístico, donde generalmente los recorridos se direccionan a poblaciones específicas de cetáceos en aguas costeras y de fácil acceso, varía de acuerdo al flujo de turistas, pues dicho parámetro influye sobre el número y tamaño de lanchas (Sprogis et al., 2020). En general, con una mayor abundancia de embarcaciones habrá más contaminación acústica (Chen et al., 2017).

En el Pacífico norte colombiano, específicamente en el Golfo de Tribugá, una de las zonas más biodiversas del mundo, con alto valor ecológico y con complejas historias climáticas, geológicas y biológicas (Velandia & Díaz, 2016), se plantea la posible construcción de un mega puerto marítimo (Centro de Observación para la Infraestructura de Caldas [COIC], 2018), un proyecto que implicaría cambios importantes en el paisaje acústico ya que el aumento de ruido submarino es especialmente evidente cerca a zonas portuarias, debido a una mayor abundancia de embarcaciones y tráfico (Chen et al., 2017).

El propósito de esta investigación consiste en entender el patrón de variación del ciclo de canto de las ballenas jorobadas en el Golfo de Tribugá, en presencia de lanchas de avistamiento de ballenas y de pesca antes de la posible construcción de un mega puerto. Para dicho propósito se consideraron dos localidades de estudio: 1) Morro Mico, una localidad ubicada al norte del Golfo de Tribugá y 2) Nuquí, un municipio del departamento del Chocó y, sede del aeropuerto que comunica la zona con el interior del país. El primer paso consistió en, la descripción del ambiente acústico, lo cual permite evaluar los cambios a lo largo del tiempo. Esta información, también resalta la necesidad de planes de manejo e informes de impacto ambiental actualizados, determinando si el ciclo de canto de las ballenas jorobadas sigue un patrón o si varía, de acuerdo con algunas variables como la presencia de embarcaciones, estacionalidad o localización. En este sentido, el presente estudio se planteó los siguientes objetivos: (1) caracterizar la variación del paisaje acústico del Golfo de Tribugá, (2) reconocer los patrones temporales de la biofonía y antropofonía en las zonas y, (3) evaluar la existencia de presuntos cambios en el canto de las ballenas jorobadas de acuerdo con la antropofonía y geofonía local.

2. Métodos

2.1. Área de estudio

El Golfo de Tribugá se caracteriza por ser una de las regiones más lluviosas en el mundo, se han registrado valores de precipitaciones anuales promedio alrededor de los 6,000 mm (IDEAM, 2005). Además, hay una aparente predisposición a incrementar los valores totales anuales de precipitación, primero en el Golfo de Tribugá y luego al norte (Velandia & Diaz, 2016). El estudio se llevó a cabo en el Pacífico norte colombiano, las zonas de muestreo fueron: 1) Morro Mico (adyacente al límite sur de la jurisdicción del Parque Nacional Natural Ensenada de Utría y 2) Nuquí, el cual alberga la cabecera municipal y el aeropuerto que comunica la zona con el interior del país (Fig. 1). Las zonas se eligieron debido a las presuntas diferencias en las características del tráfico marítimo. Nuquí es una zona más central y comercial mientras que Morro Mico está más próxima al PNN Utría y, es una zona menos transitada.

En la zona existe el Distrito Regional de Manejo Integrado Golfo de Tribugá-Cabo Corrientes (DRMI), que posee 60,183 hectáreas y es administrado por Codechocó. Es decir, que se combinan acciones de conservación con posibilidades de uso y aprovechamiento sostenible, por ejemplo, el turismo de avistamiento de ballenas.

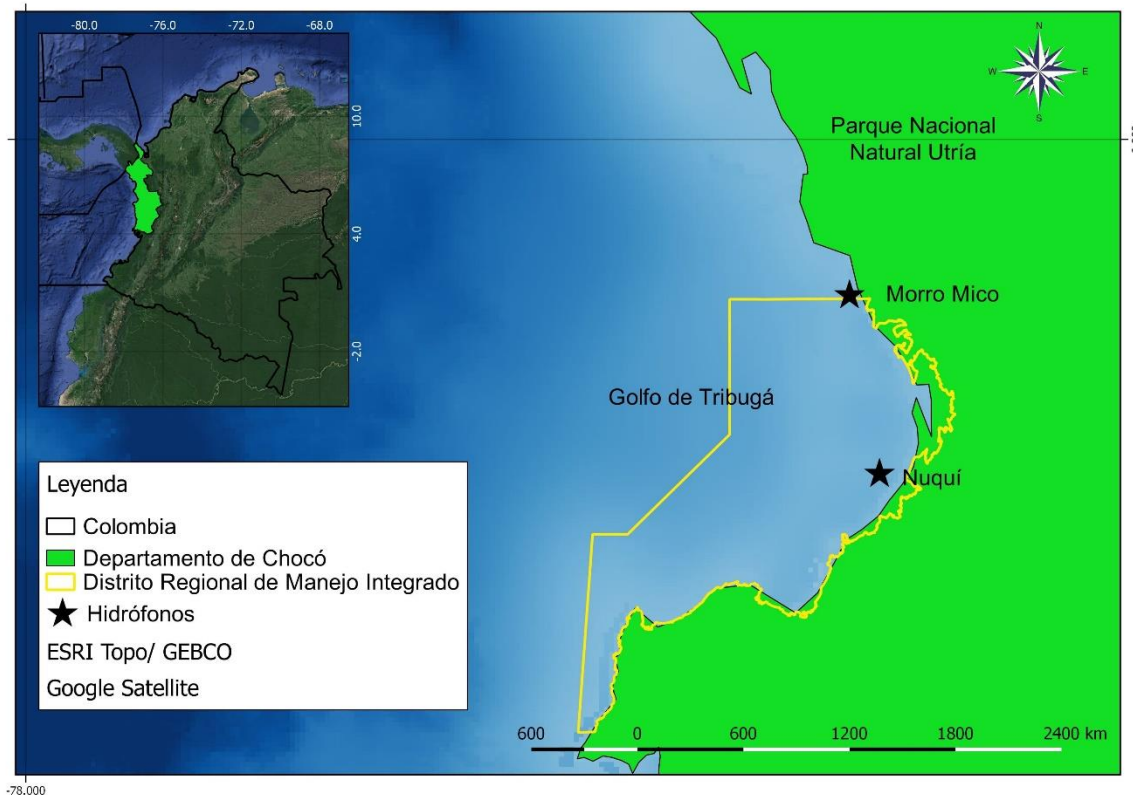


Fig. 1. Área de estudio, ubicada en el departamento de Chocó, Colombia. Las estrellas indican la ubicación de los equipos de grabación en Morro Mico y Nuquí.

Los meses de grabación fueron diferentes en cada año y ubicación debido a las condiciones climáticas y logísticas. La Fig. 2, ilustra la serie de tiempo de muestreo para cada uno de los casos mencionados.

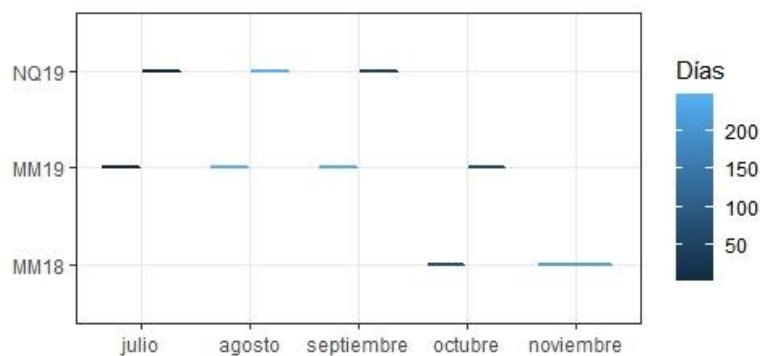


Fig. 2. Meses de muestreo en cada año y ubicación, Morro Mico (MM) y Nuquí (NQ). El color indica la cantidad de días muestreados, con azul oscuro representando menos días de muestreo y azul claro más días.

2.2. Recopilación de datos acústicos

La recopilación de datos se realizó empleando un grabador ecológico acústico (EAR), en las localidades de Morro Mico y Nuquí y en los años 2018 y 2019. El instrumento se programó para grabar en intervalos de 10 minutos seguidos, con lapsos de 20 minutos sin grabar, es decir un ciclo de trabajo de 33.3%. Mientras que en 2018 se obtuvieron 1,681 grabaciones durante un total de 38 días de muestreo en la zona de Morro Mico, para el 2019 se obtuvieron 3,675 grabaciones durante 71 días de muestreo. Por último, en Nuquí el muestreo fue posible para el año 2019 obteniendo un total de 1,804 grabaciones, a lo largo de 39 días. Mayor información sobre los periodos de tiempo muestreados puede ser consultada en la Tabla 1.

Tabla 1

Zonas del área de estudio donde fueron tomadas las muestras en los años 2018 y 2019.

Zona	Año	Instrumento	Localización	Periodo de muestreo	Días
Morro Mico	2018	EAR	05 52'10.1''- 77 18'40.7''	22/10 a 28/11	38
Morro Mico	2019	EAR	05 52'10.1''- 77 18'40.7''	31/07 a 9/10	71
Nuquí	2019	EAR	05 43'12.2''- 77 17'10.1''	31/07 a 7/09	39

2.3. Análisis de espectrogramas

Las muestras se analizaron por medio de visualización espectral (a través de espectrogramas), es decir basándose en la intensidad (dB) de frecuencia en hercios (Hz) y el tiempo (s). Ambos elementos juegan un papel importante en el análisis acústico (Rossing, 2007), debido a que la visualización por medio de espectrogramas parece correlacionarse bien con nuestra percepción, por lo cual proporciona una distinción importante entre diferentes características de los sonidos (Alm & Walker, 2002) y frecuencias de modulación (Rossi-Santos, 2015).

Las muestras acústicas se analizaron cada 6 horas, clasificando los sonidos de cada muestra en seis posibles grupos: ballenas, delfines, peces, camarones, viento/lluvia y lanchas, marcando presencia o ausencia. Esta metodología permite evaluar y describir los ciclos biológicos, patrones de temporalidad y composición del paisaje acústico. Los datos fueron analizados empleando el software bioacústico Raven Pro (versión 1.5; Cornell Laboratory of Ornithology).

2.4. Análisis del paisaje acústico

La densidad espectral de poder (PSD, por sus siglas en inglés Power Spectral Density) se promedió cada 2 segundos, entre 0- 6,250 Hz es decir, se utilizó el espectrograma para obtener niveles de presión sonora promedio (percentil 50) y otros percentiles (1 y 99) en cada una de las muestras acústicas (10 minutos). Los parámetros que se utilizaron fueron los

niveles de presión de sonido (SPL, por sus siglas en inglés Sound Pressure Levels), empleando la referencia de 1 μPa , la cual se mide en dB re 1 μPa (Redondo & Ruiz, 2017). Estos valores son útiles ya que se pueden comparar entre zonas e instrumentos (Seger et al., 2015). Además, se identificaron las variaciones en los percentiles (representación de fuentes de sonido natural y antropogénico) respecto a los meses, años y horas analizadas. Las comparaciones entre las tendencias, respecto al tiempo en cada percentil, con la hora, altura de la marea y porcentaje de iluminación de la luna son importantes, porque permiten identificar la existencia de ciclos diarios o lunares en animales o en las actividades que contribuyen al paisaje acústico. El análisis se realizó empleando el software R© (versión 3.5.2).

2.5. Análisis estadístico

Para ver la diferencia entre las tasas de sonido emitidas por meses, se realizó una prueba de Chi-cuadrado que comparó las proporciones de sonido a lo largo del periodo de muestreo. La hipótesis nula (H_0) planteaba que no existe relación entre los meses y las proporciones de sonido, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) presume que sí existe relación entre los meses y las proporciones de sonido. Debido a que las frecuencias esperadas en algunas celdas eran demasiado pequeñas para usar la distribución chi-cuadrado se realizó una simulación de Monte Carlo (Verzani, 2014).

Con el propósito de evidenciar la presunta variación del paisaje acústico por medio de las distribuciones de cada hora, mes, y año, se obtuvieron estadísticos descriptivos (media, mediana y desviación estándar) de los percentiles 1, 50 y 99 (Seger et al., 2015), realizando pruebas de correlación entre cada uno de los percentiles. Considerando que los datos no cumplieron con los supuestos de normalidad requeridos por pruebas paramétricas como la prueba de Pearson, se realizaron pruebas de correlación no paramétricas (Spearman y Kendall), en función del comportamiento de los datos (Zar, 2013; Verzani, 2014). Para los datos de Morro Mico del 2019, se realizó la prueba de correlación de Kendall, ya que presentaba una cantidad considerable de muchos empates para realizar Spearman. Por otro lado, para los datos de Morro Mico del 2018 y Nuquí del 2019, se realizó la prueba de correlación de Spearman. Se identificó la naturaleza de la relación entre el percentil que se aproximaba al ciclo de canto de las ballenas, el ruido de lanchas y el sonido del viento/luvia. Si el coeficiente de Spearman y Kendall equivalía a -1, la relación entre las variables sería decreciente, si era = 0, no existía una relación y si correspondía a 1, estaban fuertemente relacionados (Verzani, 2014). Por último, se realizó una correlación de Kendall entre el número de sonidos de ballenas y sonidos de lanchas identificados.

Para examinar las presuntas diferencias significativas entre las frecuencias de sonidos de lanchas y canciones de ballenas se realizó una prueba de correlación de Spearman. Por otro lado, se compararon las medias de los percentiles de ambas localidades en el año 2019, por medio de una prueba de Kruskal Wallis (Zar, 2013). La comparación se hizo únicamente para las fechas que coincidían (31 de julio al 7 de septiembre) entre localidades. Para Morro Mico 2018 y Morro Mico 2019 no se realizó la prueba para diferencia de medias ya que los datos no fueron tomados en los mismos meses. Posterior a esto, se realizó una prueba Mann-Whitney para ver cuáles eran los grupos contribuyentes a la significancia estadística. Los

análisis estadísticos se realizaron empleando el software R© (versión 3.5.2). El valor de significancia (p) elegido fue de 0.05.

3. Resultados

Para los dos años (2018/2019) y localidades (Morro Mico y Nuquí), se detectaron sonidos emitidos por ballenas, peces, camarones, viento/lluvia y embarcaciones de turismo o camaroneras. A continuación, se exponen de manera cualitativa los resultados de los sonidos encontrados (en espectrogramas de frecuencia versus el tiempo) en ambas localidades y, las diferencias entre los paisajes acústicos por mes y hora analizada. Los resultados cualitativos son de gran importancia, debido a que representan observaciones relevantes que permiten comparar aspectos de los paisajes acústicos y que son difíciles de cuantificar. Por otro lado, de manera cuantitativa se exponen los valores descriptivos de los percentiles de la densidad espectral en cada año y zona.

3.1. Análisis de espectrogramas

Para las dos zonas, las fuentes de antropofonía provenían primordialmente de pequeñas lanchas, encontrando diferentes tipos de sonidos mecánicos (Fig. 3), evidentes debido a que ocupaban gran parte de la banda de frecuencia y eran ruidosos. Por otro lado, los sonidos de geofonía provenían de fuentes como el viento o lluvia (Fig. 4). Estos sonidos, por ejemplo, tormentas (Fig. 4a) o gotas de lluvia (Fig. 4b), ocuparon gran parte del espectro de la banda de frecuencia, dependiendo de la intensidad. Por último, las fuentes de biofonía provenían de las vocalizaciones de las ballenas jorobadas (Fig. 5), sonidos de peces y camarones (Fig. 6 y 7). En ninguno de los años o zonas se evidenciaron sonidos de delfines.

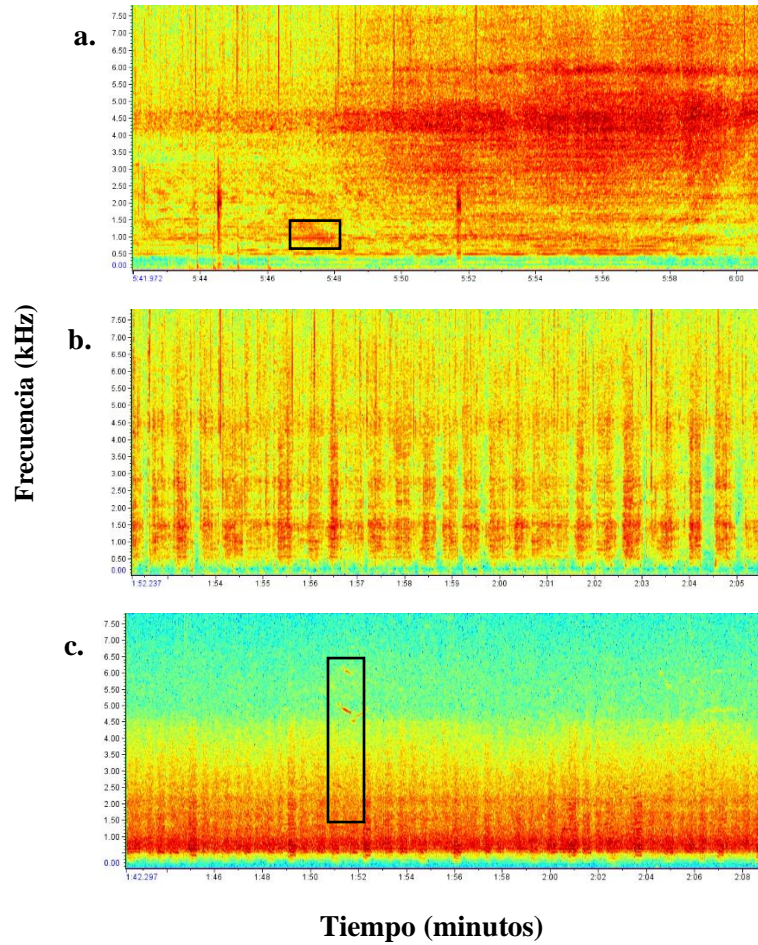


Fig. 3. (a) Espectrogramas de sonidos emitidos por pequeñas lanchas turísticas en Morro Mico el 09/08/2019 a las 12:00 horas y (c) Nuquí 09/08/2019 a las 06:00 horas. También, se evidencian embarcaciones camaroneras en Morro Mico 28/08/2019 a las 00:30 horas (b). En recuadros negros se resaltan los llamados sociales de una ballena jorobada.

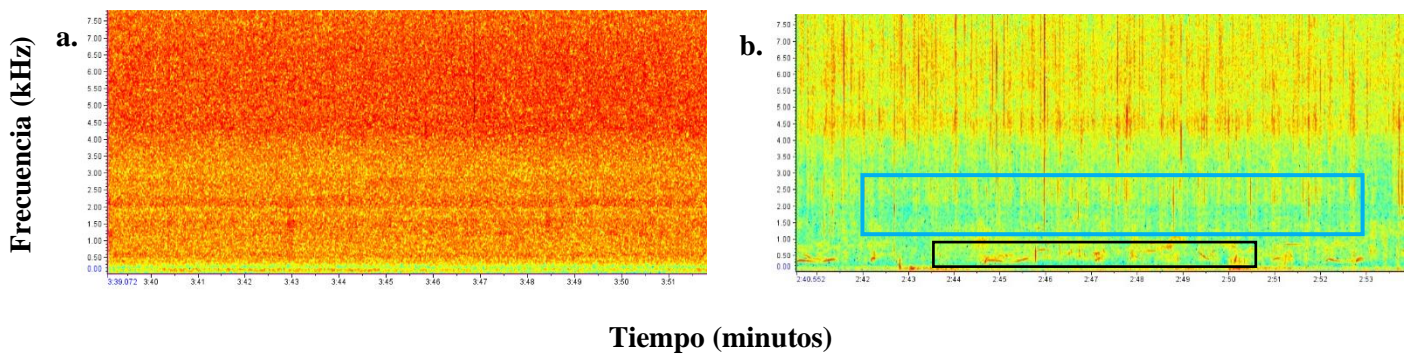


Fig. 4. (a) Espectrogramas de sonidos de lluvia fuerte en Morro Mico 06/08/2019 a media noche vs (b) gotas de lluvia en Morro Mico 19/8/2019 a las 18:30. En recuadro azul enmarca la representación de las gotas, mientras que el rectángulo negro enmarca el canto de una ballena jorobada (de 0 a 1 kHz).

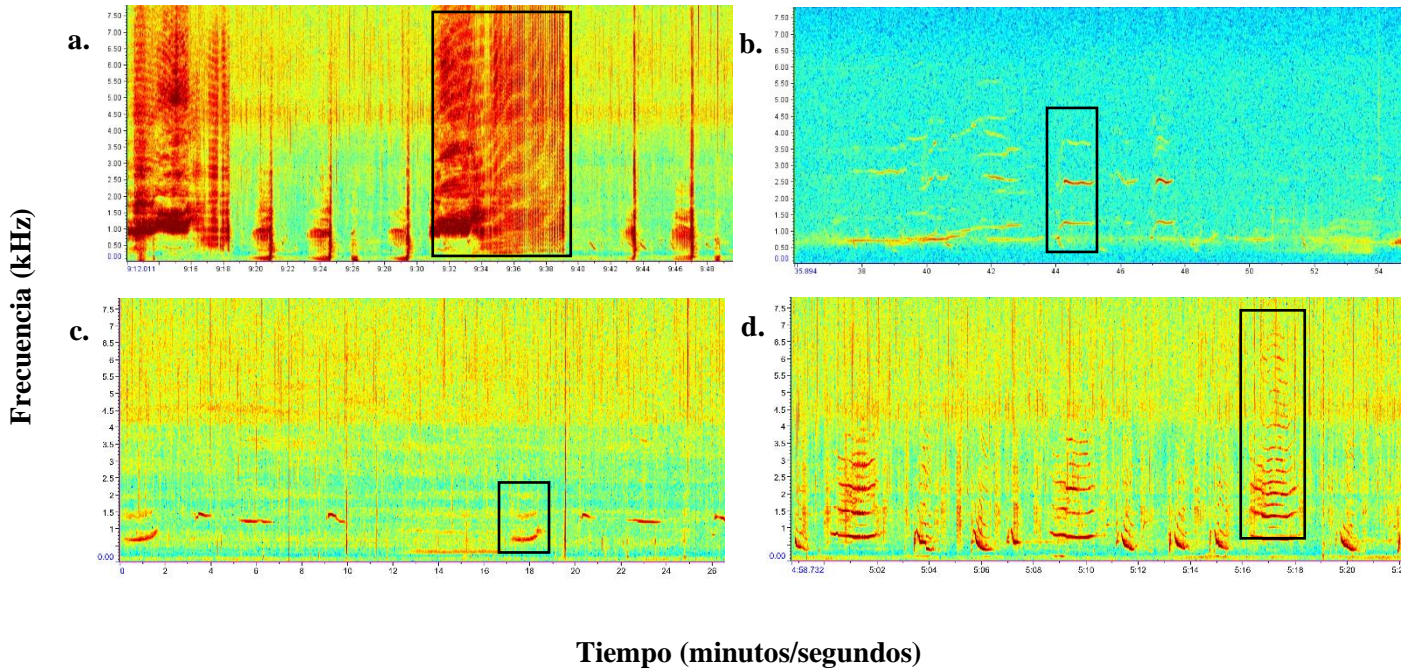


Fig. 5. Espectrogramas de algunas unidades (enmarcadas en recuadros negros) del canto de las ballenas jorobadas.

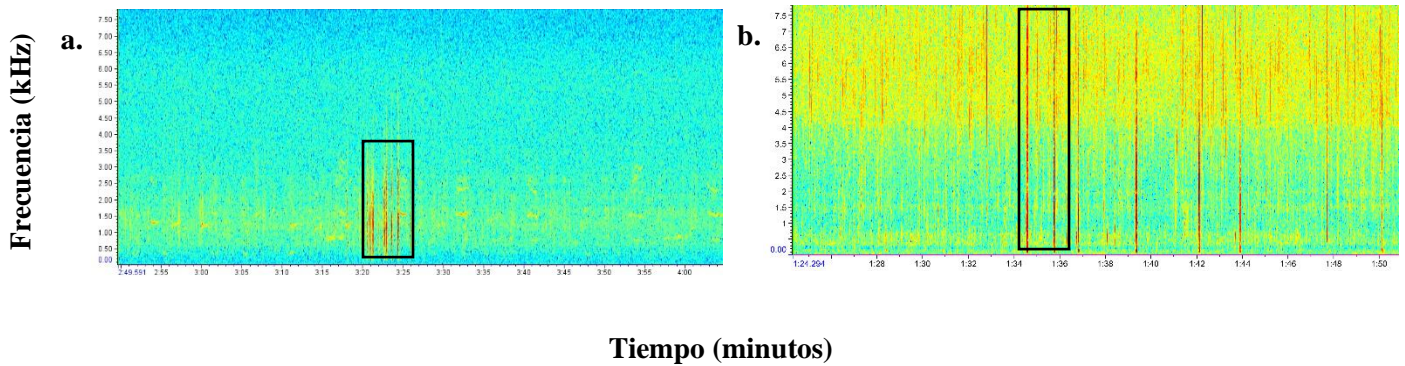


Fig. 6. Espectrogramas de sonidos producidos por peces, delimitados en recuadros negros.

En cuanto a las dos localidades, Morro Mico y Nuquí, se observaron diferencias en la contribución de camarones al paisaje acústico. Su presencia en Morro Mico (Fig. 7a) para los dos años fue mayor, mientras que para Nuquí (Fig. 7b) disminuyeron notablemente, pues no se evidenciaban en la mayoría de las muestras acústicas. Los sonidos de cavitación producidos por los camarones en el paisaje de Morro Mico de los dos años se registraron por encima de 4.5 kHz en el espectro de la banda de frecuencia (Fig. 7a).

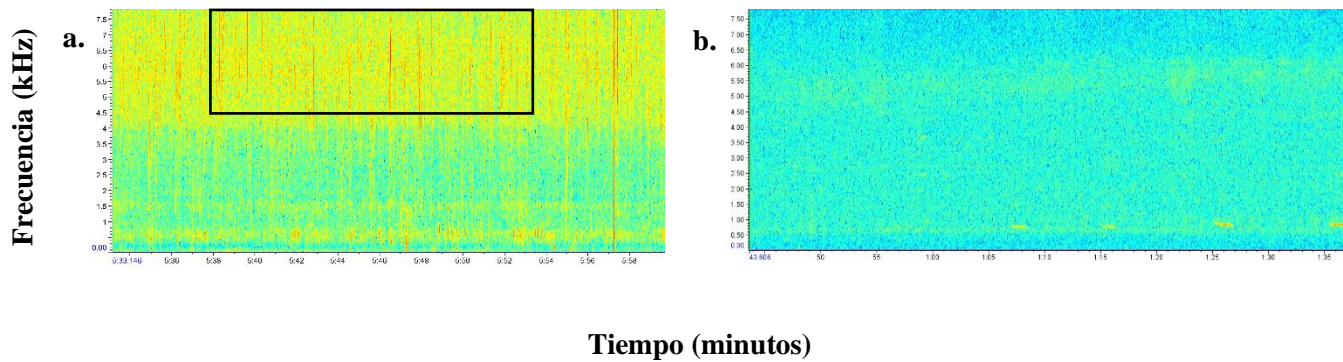


Fig. 7. (a) Espectrogramas de sonidos de camarones en Morro Mico y (b) su ausencia en Nuquí. En el recuadro negro se evidencian los sonidos de camarones.

3.2. Análisis del paisaje acústico

Para Morro Mico, los sonidos dominantes en los años 2018 (Fig. 8a) y 2019 (Fig. 8b) fueron los camarones, seguido de aquellos producidos por peces, ballenas jorobadas, viento/lluvia y lanchas. Por lo tanto, se detectaron sonidos constantes en el tiempo como los camarones.

En cuanto a Nuquí en el año 2019 (Fig. 8c), los sonidos dominantes fueron los de las ballenas jorobadas, seguido de aquellos producidos por los peces, lanchas, viento/lluvia y, por último, los camarones que estuvieron presentes en menor medida. Mientras las frecuencias de las diferentes categorías de sonidos no variaron entre años en Morro Mico si lo hicieron al comparar ambas localidades. Los valores para cada zona y año se evidencian en la Tabla 2.

Tabla 2

Porcentajes de sonido para las zonas de Morro Mico y Nuquí en los años 2018 y 2019.

Zona	Año	Ballenas	Peces	Camarones	Viento/lluvia	Lanchas
Morro Mico	2018	14%	33%	35%	12%	5%
Morro Mico	2019	25%	26%	26%	15%	8%
Nuquí	2019	36%	28%	6%	13%	16%

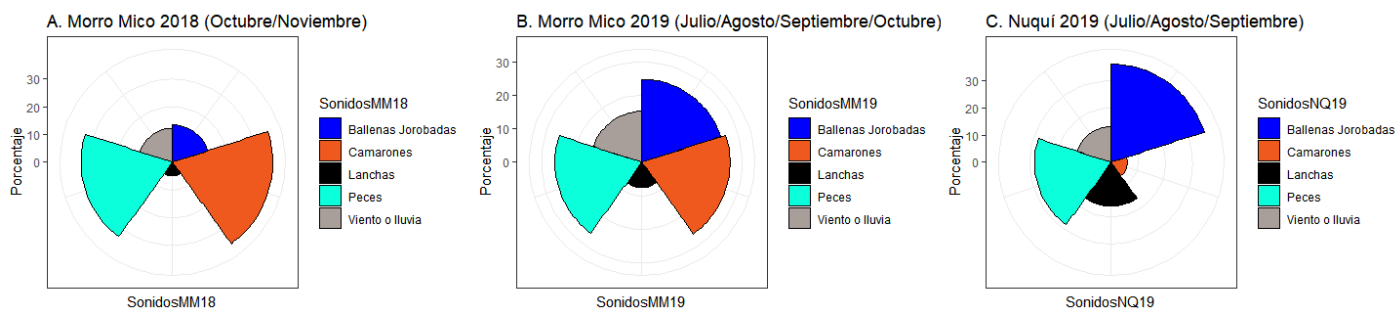


Fig. 8. (a) Porcentajes totales de los sonidos encontrados en Morro Mico para el año 2018, en los meses de octubre y noviembre, (b) Morro Mico 2019 en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre y (c) Nuquí 2019 en los meses de julio, agosto y septiembre.

Respecto a la presencia de sonidos por meses en cada zona, se compararon los datos y se tomaron los valores del total de presencia de sonidos registrados, con el total de muestras por mes. De esta manera, se dividieron los sonidos de cada grupo entre el total de muestras, para obtener una tasa de presencia. Para Morro Mico en el año 2018 (Fig. 9a), en los meses de noviembre y octubre se encontró que, de 76 muestras analizadas en octubre, las tasas encontradas de mayor a menor presencia fueron: 9.8 muestras/mes para camarones, 8.8 para peces, 6 para ballenas jorobadas, 2.4 para viento/lluvia y 1.1 para lanchas. En el mes de noviembre, con un total de 222 muestras, las tasas encontradas de mayor a menor valor respectivamente fueron: 9.3 para camarones, 8.6 para peces, 3.5 para viento/lluvia, 2.7 para ballenas jorobadas y 1.3 para lanchas.

En Morro Mico para el año 2019 (Fig. 9b), los meses muestreados fueron julio, agosto, septiembre y octubre, con un total de 560 muestras. En el mes de julio se analizaron 4 muestras y la tasa para ballenas, peces y camarones fue de 10, para lanchas 1 y viento/lluvia 0. En el mes de agosto se analizaron 248 muestras, las tasas encontradas de mayor a menor presencia respectivamente fueron: 9.9 para camarones, 9.7 para peces, 9.5 para ballenas jorobadas, 5.1 para viento/lluvia y 2.7 para lanchas. Para el mes de septiembre se analizaron 240 muestras y las tasas fueron de 9.9 para camarones y peces, 9.3 para ballenas, 6.3 para viento/lluvia y 2.9 para lanchas. Por último, en el mes de octubre se analizaron 68 muestras y las tasas encontradas fueron 10 para peces y camarones, 8.8 para ballenas, 6.6 para viento/lluvia y 3.3 para lanchas.

En cuanto a Nuquí, la segunda zona del año 2019, los meses muestreados fueron julio, agosto y septiembre (Fig. 9c). Para el mes de julio, el total de muestras analizadas fue de 4 y las tasas en cada grupo fueron de 10 para ballenas jorobadas, 6 para peces, 1.8 para lanchas, 0.8 para viento/lluvia y 0 para camarones. En el mes de agosto se analizaron 248 muestras y la tasa más alta fue de ballenas con 9.8 seguida de peces con 7.8, lanchas con 4.3, viento/lluvia con 3.8 y camarones con 1.9. Finalmente, en el mes de septiembre, se analizaron 54 muestras, y predominaron las ballenas con una tasa de 8.9 seguida de los peces con 6.4, lanchas con 4.7, viento/lluvia con 2.5 y camarones con 0.6.

De este modo, para Morro Mico 2018, las tasas fueron similares entre meses excepto para los sonidos de ballenas en el mes de noviembre, que estuvieron asociados a menores tasas. Para Morro Mico 2019, las tasas también fueron similares entre meses excepto para las lanchas en el mes de julio, los cuales estuvieron asociados a menores tasas. Para Nuquí en el año 2019 el mismo patrón fue detectado para las tasas de sonidos de embarcaciones en el mes de julio. Adicionalmente, las tasas de viento/lluvia fueron diferentes entre meses. Por último, algunas diferencias en las tasas de viento/lluvia de Morro Mico y Nuquí del año 2019 para los mismos meses, evidencian la existencia de microclimas en el Golfo de Tribugá.

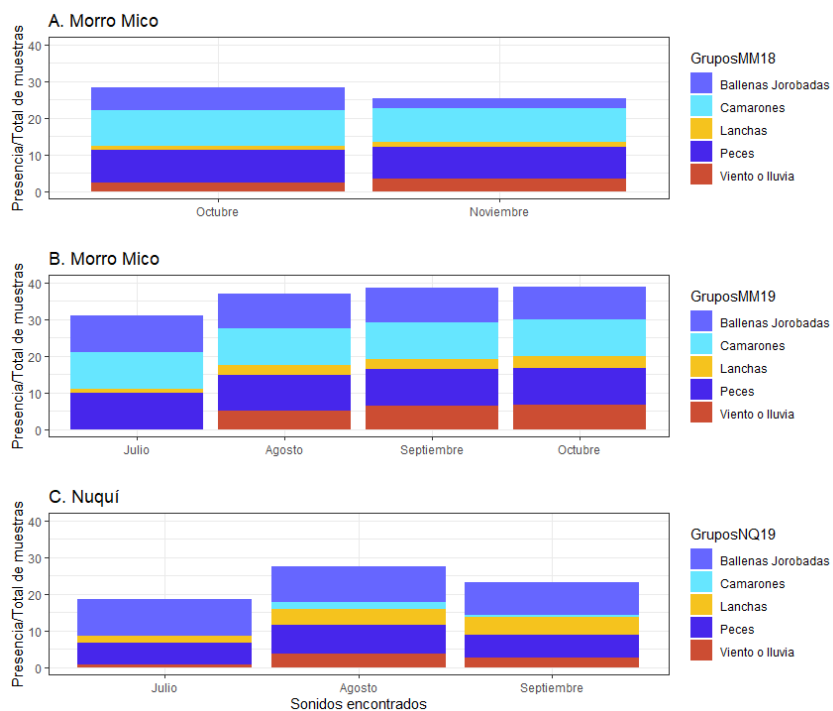


Fig. 9. (a, b) Tasas de presencia de cada sonido en el total de muestras por mes para Morro Mico en el año 2018 y 2019, y (c) en la zona de Nuquí para el año 2019.

La mayor frecuencia de cantos y sonidos sociales de ballenas jorobadas detectados en la zona de Morro Mico en el año 2018 fue de 180 sonidos, registrados a las 18 horas en el mes de noviembre (Fig. 10a). Para el año 2019 la mayor frecuencia (613) se registró a las 6 horas del mes de agosto (Fig. 10b).

Para Nuquí en el año 2019 (Fig. 10c), la mayor frecuencia de sonidos de ballenas (620) se detectó a las 18 horas del mes de agosto. De este modo, para el año 2019, el ciclo diario de canto de las jorobadas (usualmente mayor actividad durante la noche y menos durante el día) es más evidente en Morro Mico en el año 2019 que en Nuquí.

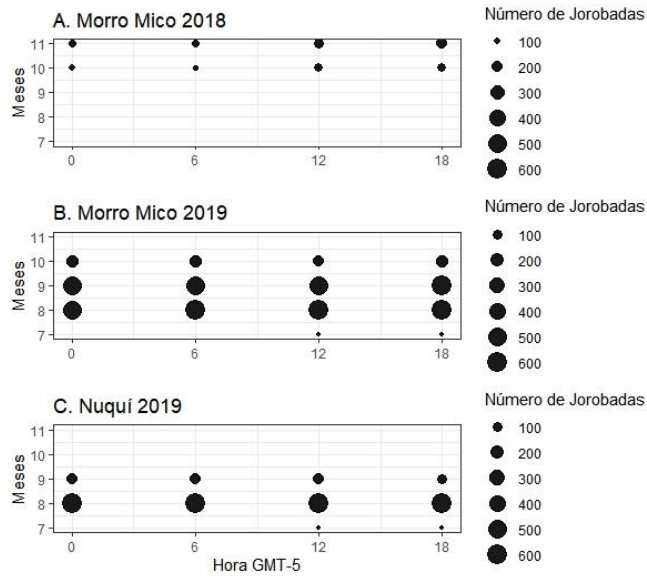


Fig. 10. Frecuencia de sonidos (usualmente cantos) de ballenas jorobadas registrados en cuatro periodos de tiempo (00:00, 06:00, 12:00 y 18:00) para cada uno de los meses muestreados por zona. Morro Mico 2018 (octubre y noviembre), Morro Mico 2019 (julio, agosto, septiembre y octubre) y Nuquí 2019 (julio, agosto y septiembre).

La frecuencia de sonidos de lanchas detectadas en Morro Mico del año 2018 (Fig. 11a) fue de 376 y, comúnmente detectados a media noche. Para Nuquí (Fig. 11c), se registraron un total de 1,317 sonidos de lanchas y, las frecuencias fueron mayores durante el día.

Es importante considerar que, para el año 2019 tanto en Morro Mico como en Nuquí las grabaciones del mes de julio son de solo un día en donde la grabación inició a las 12 horas. Por este motivo, no hay datos de la media noche y las 6 horas.

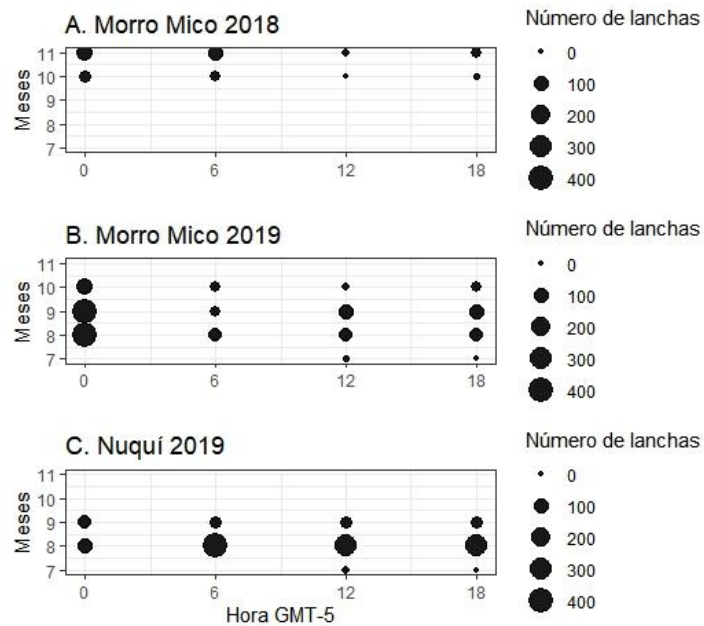


Fig. 11. Frecuencia de sonidos de lanchas encontradas en cuatro periodos de tiempo (00:00, 06:00, 12:00 y 18:00) para cada uno de los meses muestreados por zona, Morro Mico 2018 (octubre y noviembre), Morro Mico 2019 (julio, agosto, septiembre y octubre) y Nuquí 2019 (julio, agosto y septiembre).

La densidad espectral (PSD) promediada en el tiempo, se representó en los percentiles 1, 50 y 99. Los percentiles representan la energía de un sonido en relación con otros, es decir, son las contribuciones del sonido en forma de proporciones del paisaje acústico. El percentil 1 representa los sonidos que ocurren el 99% del tiempo (99% de cada muestra de 10 minutos) pero son menos ruidosos, el percentil 50 son los sonidos de frecuencia media, es decir los sonidos que ocurren el 50% del tiempo (50% de cada muestra de 10 minutos). Finalmente, el percentil 99 representa los sonidos menos frecuentes y más ruidosos, que ocurrieron el 1% del tiempo en cada muestra de 10 minutos.

Los datos indicaron que, para Morro Mico en el año 2018, el percentil 1 se aproximó a los sonidos de camarones y peces ya que, están presentes casi el 99% del tiempo, mientras que, el percentil que más se aproxima a los sonidos emitidos por ballenas y viento/luvia es el 50, pues en promedio estaban cerca del 50% del tiempo en cada muestra (Figura 12 (percentiles cada 30 minutos) y figura 15a (percentiles cada 4 horas por día) respectivamente). Para lanchas el percentil que se aproximó fue el 50 y el 99 debido a que, en algunos días la actividad era el 50% del tiempo y en otros, el sonido era más corto, acercándose al percentil 99.

De este modo, para Morro Mico en el año 2018, la tendencia del canto de las ballenas jorobadas concentro la mayor cantidad de energía (representado con el color rojo) durante la noche. En cuanto a las contribuciones de los camarones (representado con el color azul), fue difícil diferenciarlas de las ballenas ya que, el ciclo diario se reflejó en el percentil 1 pero, las ballenas también estuvieron presentes acústicamente de manera similar. Por lo tanto, el 1er percentil es una combinación de las ballenas y los camarones. En cuanto a sonidos de grandes

tormentas, no hay percentiles altos por días que indiquen su ocurrencia. Se evidenciaron algunos cortos, por ejemplo, por 2-3 horas en el día 23 de octubre. Para lanchas, se evidenciaron picos rápidos en el percentil 99 (representado con el color amarillo), lo que indica que lanchas estaban pasando cerca del hidrófono. Este método, con el percentil 99 es un detector eficiente para los sonidos de las lanchas.

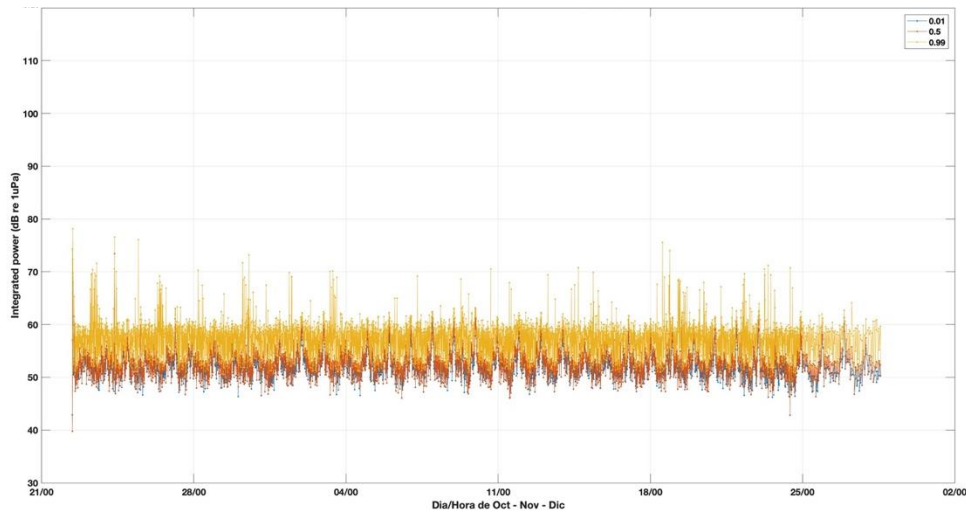


Fig. 12. Percentiles 1 (color azul), 50 (color rojo), y 99 (color amarillo) por 10 minutos cada media hora en Morro Mico del 2018. El eje Y en líneas grises indica la media noche en cada fecha (por ejemplo 11/00 significa el día 11 de noviembre a las 0 horas).

En Morro Mico 2019 (Fig. 13 y 15b) el percentil 1 se aproxima a la biofonía (ballenas, peces y camarones), mientras que el percentil 50 y 99 a lanchas y lluvia. Además, al igual que en el 2018 la tendencia de canto de las ballenas en Morro Mico 2019 (Fig. 13), se evidencia con mayor energía durante horas de la noche (rojo). Adicionalmente, las contribuciones de los camarones (azul) y las ballenas se ven reflejadas en percentil 1. Por otro lado, para sonidos de lluvia se observaron algunos picos considerables en el percentil 99 (amarillo) atribuidos a tormentas. Finalmente, los picos más pequeños correspondían a las lanchas.

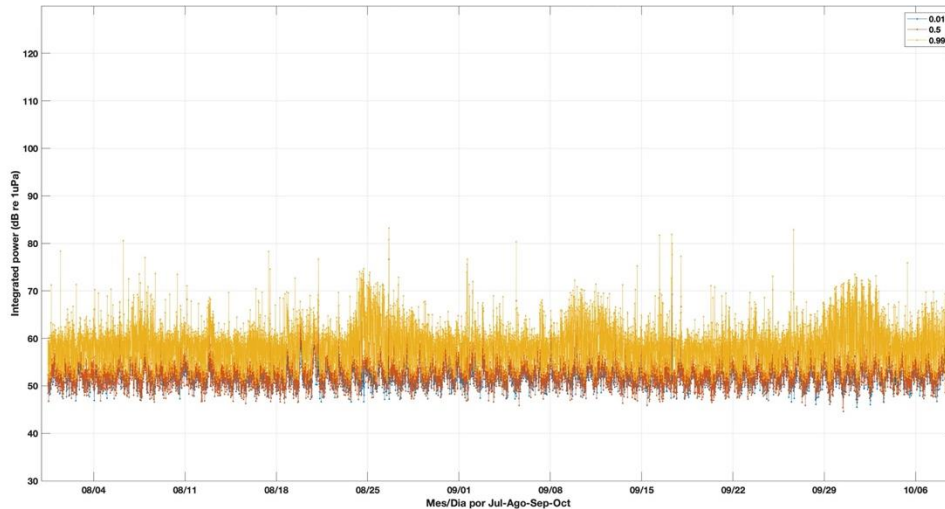


Fig. 13. Percentiles 1 (azul), 50 (rojo), y 99 (amarillo) por 10 minutos cada media hora en Morro Mico del 2019. Las líneas grises indican la media noche y la fecha (por ejemplo, 08/04 significa el día 4 de agosto a las 0 horas).

Por otro lado, en Nuquí 2019 (figuras 14 y 15c) mientras el percentil 50 se aproxima a la actividad de los sonidos de las lanchas y peces, el percentil 1 incluiría los sonidos de ballenas y posiblemente los de las lanchas también, debido a que la propagación del sonido en este percentil es el mayor de los tres casos (figura 15c). El percentil 1 y 50 a los camarones, debido a que no son tan ruidosos, para el viento/lluvia los percentiles que mejor se aproximan a la actividad son el 50 y el 99. En Nuquí (Fig. 14), la tendencia de ciclo de canto de las ballenas no es tan evidente como en Morro Mico. Además, no hay camarones produciendo sonidos el 100% del tiempo, lo que resulta en percentiles muy similares. Las contribuciones de las lanchas, ballenas y de lluvia/viento son prácticamente iguales. Por tal razón, es más difícil usar el percentil 99 para detectar los sonidos de lanchas. De este modo, los picos amarillos podrían representar diferentes tipos de sonidos. Además, debido a que hay más tráfico de lanchas cerca a Nuquí, es probable que el percentil 99 no sea el más apropiado.

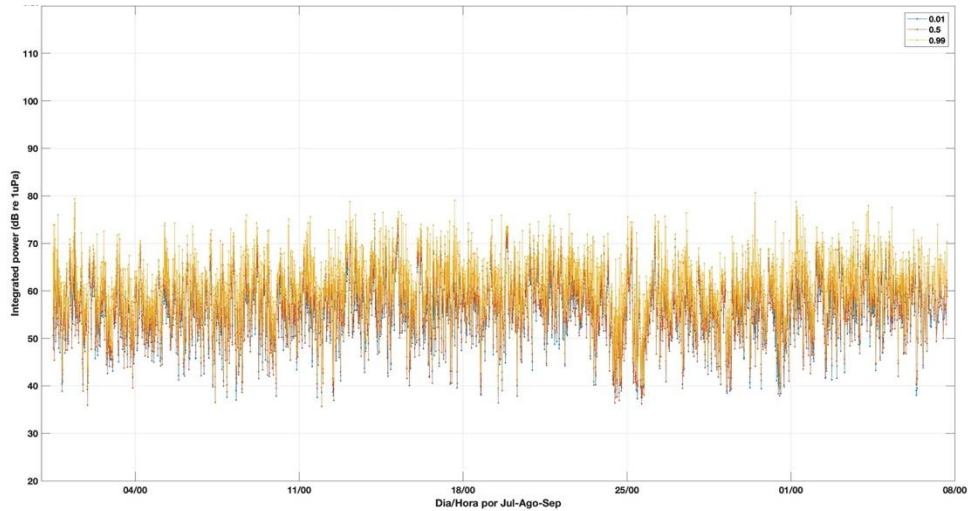


Fig. 14. Percentiles 1 (color azul), 50 (color rojo), y 99 (color amarillo) por 10 minutos cada media hora en Nuquí del año 2019. Las líneas grises en el eje X indican la medio noche de cada día (por ejemplo 11/00 significa el día 11 agosto a las 0 horas).

Adicionalmente, se evidencian los cambios de altura en la marea y en el porcentaje de iluminación para cada año y localidad. Cuando el porcentaje de iluminación de la luna disminuía y la marea aumentaba en al año 2019 en Nuquí, los sonidos de los camarones aumentaban y los de los peces era intermitentes cuando había marea alta. Para comparar los percentiles con los resultados del análisis manual cada 4 horas por día, se hicieron figuras (Fig. 15) con los valores de los percentiles, apiladas con las gráficas de barras que representan cada grupo encontrado.

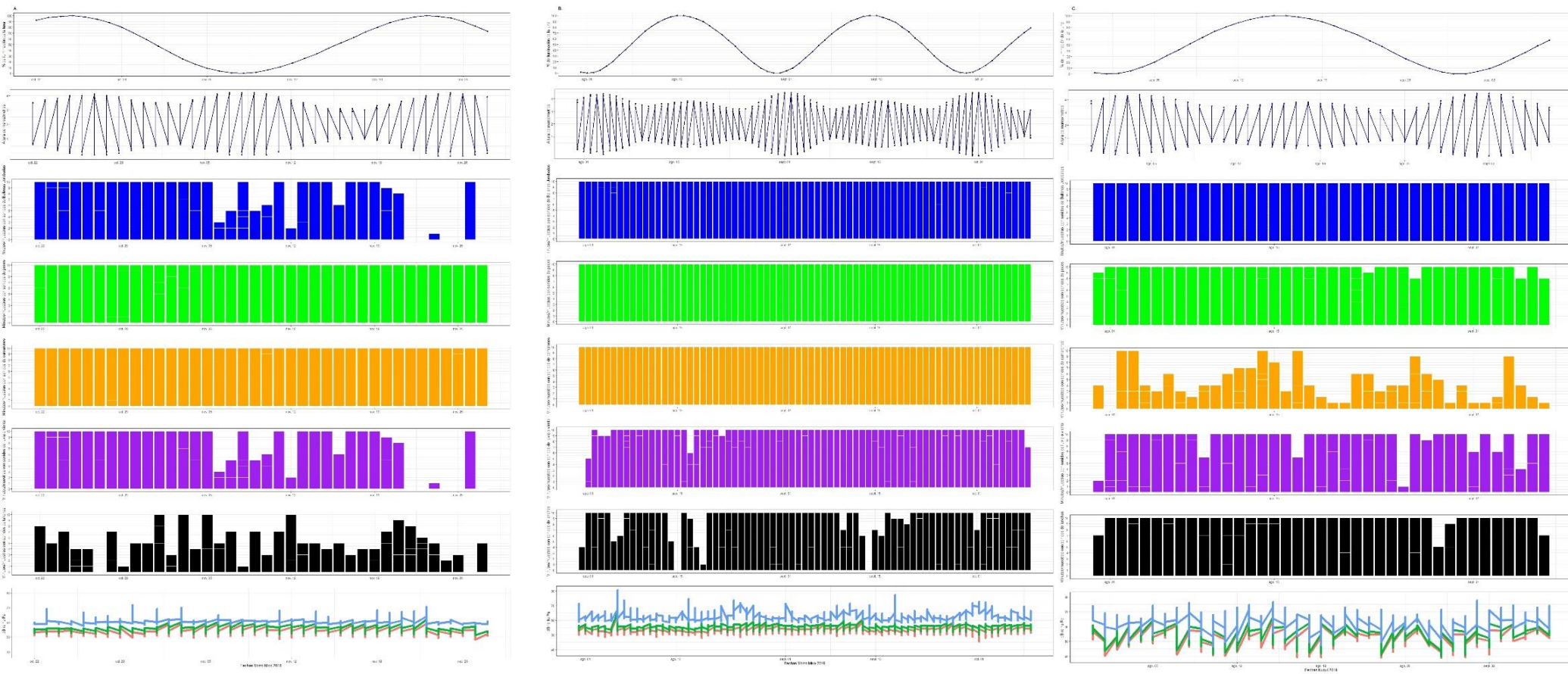


Fig. 15. Frecuencia de los sonidos en cada una de las muestras acústicas (10 minutos), para Morro Mico 2018 (a), 2019 (b) y Nuquí (c). Se muestra la variación de la marea en metros y el porcentaje de iluminación de la luna. Cada uno de los contribuyentes se representa con un color diferente: azul para ballenas jorobadas, verde para peces, anaranjado para camarones, morado para viento o lluvia y negro para lanchas. Además, los percentiles también se codificaron en colores: 1 en rosa, 50 en verde y 99 en azul claro.

En Morro Mico 2018 (Fig. 16a), los percentiles 1 y 50, sonidos de camarones, peces o ballenas, tuvieron picos a media noche, mínimos entre las 12 y 12:30 horas. Mientras que el percentil 99, es decir la energía acústica de las lanchas, tuvo niveles máximos a las 6 horas y mínimos a las 18 horas. Para los percentiles 1 y 50 se evidenció un ciclo diario, que era más ruidoso en las horas de la noche que el día, mientras que para el percentil 99 se evidenció mayor energía acústica en el día.

Los valores para Morro Mico 2019 (Fig. 16b), en los percentiles 1 y 50, que corresponden a ballenas, peces o camarones, tuvieron el pico máximo a media noche, con mínimos a las 12 horas. El percentil 99, el cual puede representar las lanchas, tuvo valores máximos a las 6:30 horas y mínimos a media noche. Adicionalmente, en este año el día 28 de septiembre se registró una tormenta. Al comparar el percentil 50 de ese día con el resto del periodo muestral, se encontró que en las horas de la noche los valores estaban por encima del promedio total. Es decir, para este año existe el mismo ciclo diario correspondiente a los percentiles 1 y 50 del 2018, pero a las 18:30 los valores son menores. En cuanto al percentil 99, los valores máximos también estuvieron en las horas del día, pero a diferencia del 2018, se presentaron picos en horas de la noche.

Respecto a Nuquí en el año 2019 (Fig. 16c), fue complejo definir cuál es el percentil que mejor representa cada grupo de sonidos, de modo que dicha asignación se realizó de acuerdo con los resultados del análisis manual. Se encontró que, el percentil 1 (ballenas/peces) tenía máximos a las 0:30 horas y mínimos a las 12, el percentil 50 (probablemente lanchas) y el percentil 99 (probablemente camarones), tenía máximos a las 6 horas y mínimos a las 18:30. También se observó que Nuquí es más variable respecto a Morro Mico y, aunque el ciclo diario para el percentil 1 y 50 también se da a media noche, los valores son más fluctuantes.

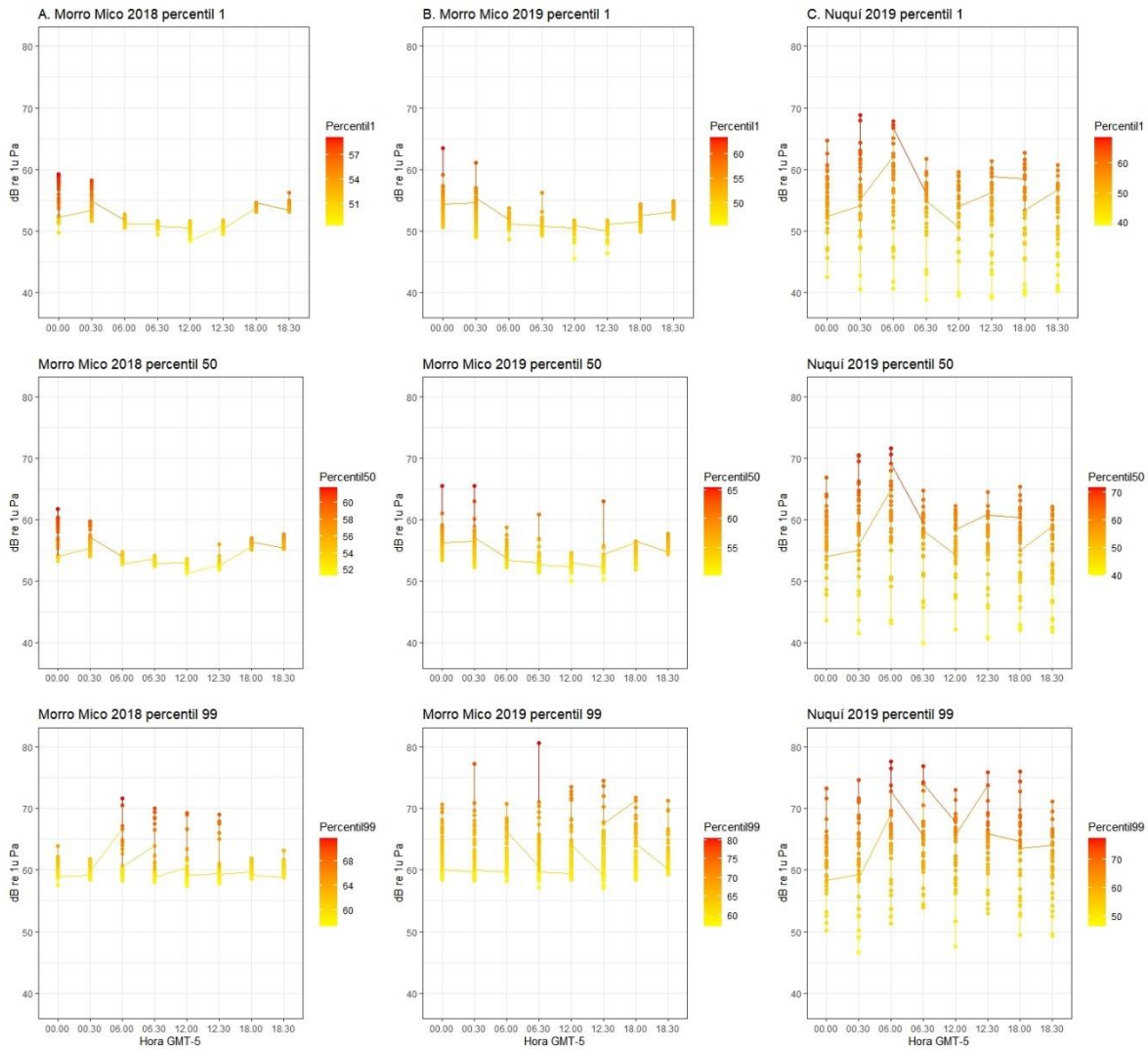


Fig. 16. Distribución de SPL en dB re 1 μ Pa de los percentiles 1, 50 y 99 por hora en Morro Mico 2018 (a), Morro Mico 2019 (b) y Nuquí 2019 (c).

3.3. Análisis estadístico

La prueba de Chi-Cuadrado ($\chi^2_x = 0.994$, $p < 0.05$) reveló que no existe una relación estadísticamente significativa entre las proporciones de sonidos de cada uno de los grupos y los meses en cada zona. De este modo, las proporciones de sonido no varían significativamente entre meses. En cuanto a los sonidos de ballenas y lanchas la prueba de Kendall ($\tau = 0.46232$; $p < 0.05$) arrojó un p-valor de 0.000226, por lo tanto, existe una relación estadísticamente significativa entre los sonidos de ballenas y lanchas y una relación positiva, a mayor número de señales acústicas de ballenas, mayor número de lanchas y viceversa.

Por otro lado, para cada uno de los percentiles, se obtuvieron estadísticos descriptivos como el valor mínimo, máximo, la media, mediana y desviación estándar. A continuación, en la Tabla 3, se reportan los valores descriptivos de los percentiles de PSD en Morro Mico 2018.

Dichos estadísticos descriptivos indicaron que la energía acústica de los camarones y las ballenas (percentil 1 y 50) es similar (2 dB de diferencia en la media y mediana). Así mismo, la energía acústica de las lanchas (percentil 99) es 5 dB (mediana) y 6 dB (media) más alta que la energía acústica de las ballenas.

Tabla 3

Estadísticos descriptivos para los valores de densidad espectral (PSD) en los percentiles 1, 50 y 99 en Morro Mico, 2018.

	PSD por percentiles (dB re 1 μ Pa)		
	1	50	99
Mínimo	48.3	51.2	57.4
Máximo	59.9	61.8	71.7
Media	52.7 \pm 2.2	54.8 \pm 2.1	60.6 \pm 2.4
Mediana	52	54.2	59.9

Para el 2019, en Morro Mico (Tabla 4), el promedio más alto nuevamente está representado por el percentil 99 (lanchas). Adicionalmente, el percentil 1 (ballenas, peces y camarones) es el que tiene menor valor en promedio. Además, presenta el mismo valor máximo que el percentil 50 (lluvia/viento). Es decir, los camarones y ballenas en Morro Mico fueron menos intensos acústicamente en el año 2019 en Morro Mico. La diferencia en el percentil 99 de 59.9 dB a 61.3 dB puede deberse al aumento en el número de sonidos de lanchas, detectado en el segundo año de muestreo

Tabla 4

Estadísticos descriptivos para los valores de densidad espectral (PSD) en los percentiles 1, 50 y 99 en Morro Mico, 2019.

	PSD por percentiles (dB re 1 μ Pa)		
	1	50	99
Mínimo	45.5	50	57.1
Máximo	65.5	65.5	80.6
Media	52 \pm 1.9	54.4 \pm 1.9	62.4 \pm 3.3
Mediana	51.6	53.9	61.3

Nuquí presentó el valor promedio y máximo más alto en el percentil 99 (viento/lluvia o lanchas, mientras que el valor mínimo corresponde al del percentil 1 (ballenas, peces y/o camarones) (Tabla 5). Los percentiles 50 y 1 tienen mínimos y máximos cercanos al de las lanchas. Si se usa el percentil 50 para representar los sonidos de las ballenas, en promedio el nivel de fuente para las jorobadas fue de 56.5 dB. Además, existe una gran diferencia entre los mínimos del percentil 1 con Morro Mico, lo que se puede deber a la poca presencia de camarones en Nuquí. Los percentiles 50 y 99 (probablemente ballenas y lanchas) también presentan una gran diferencia en los mínimos, pero los valores máximos se acercan a los de Morro Mico. Es decir, cuando no hay actividades o disturbios en Nuquí, puede llegar a ser muy tranquilo, pero con la presencia de actividades antropogénicas puede llegar a ser muy ruidoso.

Tabla 5

Estadísticos descriptivos para los valores de densidad espectral (PSD) en los percentiles 1, 50 y 99 en Nuquí, 2019.

	PSD por percentiles (dB re 1 μ Pa)		
	1	50	99
Mínimo	38.9	39.9	46.6
Máximo	68.8	71.6	77.6
Media	54 ± 5.9	56.5 ± 6.1	62.8 ± 5.9
Mediana	55.1	57.6	63.7

Por otro lado, la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las medias entre los percentiles de Morro Mico y Nuquí del año 2019 (Fig. 15) indicó que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los percentiles en las dos zonas, siendo significativamente más altas en Nuquí que en Morro Mico (p -valor = $2.2e^{-16}$; $p < 0.05$). Adicionalmente la prueba Mann-Whitney informó sobre diferencias significativas en todos los grupos excepto para el percentil 1 (camarones/ballenas) de Nuquí y 50 (ballenas) de Morro Mico.

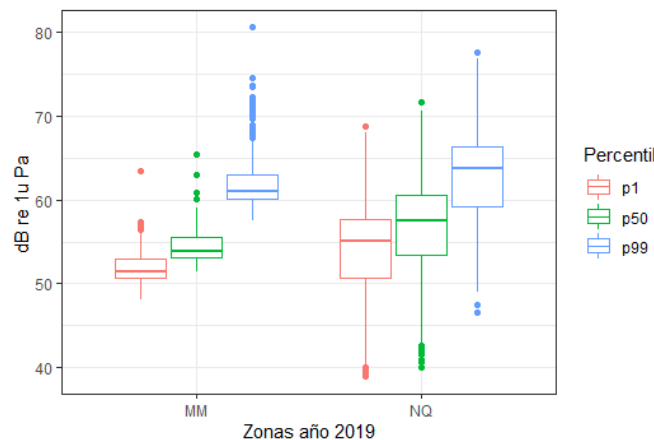


Fig. 17. Distribuciones y medidas descriptivas para cada uno de los percentiles en Morro Mico y Nuquí del año 2019. P -valor $< 2.2e^{-16}$.

Según la prueba no paramétrica de Kendall (Tabla 6), con los percentiles que se aproximaban a la actividad de las ballenas, lanchas y viento/lluvia, se detectó una relación lineal estadísticamente significativa entre el percentil que se aproxima a las ballenas, camarones y lanchas en cada caso. Además, las correlaciones fueron directamente proporcionales (positiva) y más fuerte (0.95, 0.79, 0.72, 0.96) para los tres casos, en los percentiles 1 y 50 y, en Nuquí para el 1 y 99, lo que indicaría que, a más sonidos de ballenas, más sonidos de lanchas.

Tabla 6

Correlación de Kendall y Spearman para los percentiles 1, 50 y 99 en cada uno de los años y zonas. Se muestra el p-valor y coeficiente de correlación (tau para Kendall y rho para Spearman). Los valores cercanos a 0 representan una correlación baja entre dos variables y cercanos a 1 una correlación alta. B = Ballenas, C = Camarones, L = Lanchas.

	Morro Mico 2018		Morro Mico 2019		Nuquí 2019	
	50 (B) y 99 (L)	1 (C) y 50 (B)	1 (C) y 99 (L)	1 (C) y 50 (B)	1 (C) y 99 (L)	1 (C) y 50 (B)
P-valor	1.127e ⁻¹¹	2.2e ⁻¹⁶	0.00019	2.2e ⁻¹⁶	2.2e ⁻¹⁶	2.2e ⁻¹⁶
tau/rho	0.39	0.95	0.11	0.79	0.72	0.96

Las variables más similares fueron los camarones y ballenas en los tres casos y, las variables con menor similitud fueron los camarones y lanchas en Morro Mico 2019. La similitud encontrada puede deberse a que los percentiles representan la misma fuerza de sonido. Por último, algunos sonidos como la lluvia podían tener contribuciones en los percentiles 50 y 99 para Morro Mico y Nuquí del año 2019 y el 50 para Morro Mico en el 2018, así como los sonidos de las ballenas podían tener contribuciones en el percentil 1 para el año 2019.

4. Discusión

Este estudio permitió describir el paisaje acústico del Golfo de Tribugá como un paisaje con pocas contribuciones de ruido generado por lanchas de turismo y de pesca. Adicionalmente, permitió realizar una primera aproximación sobre la composición del ambiente acústico, la frecuencia de sonidos producidos por fuentes naturales o antropogénicas y su contribución en cada zona y año estudiados. Actualmente, en el área de estudio, no existen estudios publicados sobre el ciclo de canto de las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*), el paisaje acústico y su variación frente a fuentes de ruido de origen antropogénico producido por pequeñas embarcaciones. Sin embargo, se han estudiado respuestas comportamentales de las ballenas en presencia de botes de avistamiento en la zona de Bahía Málaga, Pacífico colombiano (Avila et al., 2015), así como en países como Ecuador y Brasil (e.g. Scheidat et al., 2004; Sousa-Lima & Clark, 2009). Lo cual es relevante pues las ballenas que visitan el Golfo de Tribugá corresponden a la misma población de todas aquellas localidades.

En el patrón encontrado en Morro Mico para los dos años predominaban en porcentaje los camarones, peces y ballenas. Sin embargo, para noviembre de 2018 los sonidos de ballenas encontrados pasaron a tener una de las tasas más bajas, posiblemente por la migración a la Antártida (Clapham & Mead, 1999). En general, las tasas de los grupos no variaron considerablemente a nivel mensual. En cuanto a los sonidos de delfines, no se evidenciaron en ninguno de los casos, una posible explicación es la ubicación del hidrófono y una tasa de muestreo demasiado baja, ya que, los delfines tendían a estar más al sur y lejos de la costa (Noreña, 2020) lo que no favorecía la detección en el EAR ya que era fijo.

Mientras que, el paisaje acústico de Morro Mico 2018 se distinguió por tener fuentes que contribuían de manera similar en el tiempo, excepto para los camarones que eran constantes; en 2019 se distinguió por tener más intensidad en el sonido del percentil 99. Este valor se puede deber a la contribución de las lluvias fuertes (Fig. 4a), cuyo sonido ocupaba todo el espectro de banda de frecuencia con posibilidades de enmascarar sonidos como el canto de

las ballenas jorobadas. Además, el viento es una fuente de contribución importante en los paisajes acústicos (Wenz, 1962) porque afecta la superficie del océano, ya que, puede irradiar hacia abajo con direccionalidad cosenoidal, por ejemplo las olas, un pulso de presión agudo por el impacto de una gota en la superficie, seguido de la resonancia de las burbujas de gas que se generan por el impacto (Hildebrand, 2009).

Debido a que el Golfo de Tribugá hace parte del departamento de Chocó, uno de los lugares en el mundo que se distingue por altas precipitaciones y vientos suaves (Velandia & Díaz, 2016), el espacio de comunicación también puede estar siendo impactado por factores naturales como los mencionados anteriormente, ya que son comunes y frecuentes por las condiciones hidrológicas y geofísicas. Así lo muestran los informes mensuales de precipitación para el año 2019 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), donde se reportaron valores observados mayores a los normales en los meses de agosto y octubre. Cabe resaltar que, en Morro Mico del 2019, se presentaron los porcentajes más altos de viento/lluvia caracterizado por ser un sonido no tan frecuente como los camarones, pero si ruidoso. Según el informe mensual del IDEAM, para los meses de agosto, septiembre y octubre, el comportamiento mensual de la precipitación estuvo por encima de lo observado en el 2018.

Adicionalmente, se encontró que existe una correlación estadísticamente significativa entre el percentil que representaba las contribuciones de las ballenas, las lanchas y los camarones, con algunas contribuciones del viento y lluvia. Lo que podría traducirse en efectos de enmascaramiento, generado por la lluvia en la superficie del océano y el sonido de las lanchas, que pueden potencialmente enmascarar la detección de señales biológicamente relevantes (Montgomery & Radford, 2017). Por lo tanto, el efecto de enmascaramiento podría estar presente durante más tiempo en las horas del día. Con la ausencia de contribuciones de sonidos de lanchas en las horas de la noche, pueden persistir los efectos del viento y/o la lluvia, disminuyendo el espacio de comunicación en la misma magnitud de las lanchas.

En cuanto a los porcentajes de sonido, no variaron entre años para Morro Mico en orden de mayor y menor porcentaje, es decir que el paisaje evidenció en su mayoría estar dominado por sonidos de camarones y peces. Resultados similares se pueden evidenciar en la Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México, donde los camarones y peces contribuían sustancialmente a una porción de la laguna (Seger et al., 2015). Similar a esto, en arrecifes de coral también se ha encontrado que el sonido predominante es el de “chasquido” de camarones (Lammers et al., 2008). Sin embargo, en Nuquí el sonido de camarones en porcentaje fue el menor de los tres casos. Existe una hipótesis que plantea que los sonidos en un arrecife reflejan cambios ecológicos significativos (Watanabe et al., 2002). Por ejemplo, se ha estudiado la actividad del chasquido del camarón y la relación con los cambios en temperatura y concentraciones de oxígeno disuelto (Watanabe et al., 2002). Por lo cual, la cobertura de arrecifes coralinos y la sedimentación u otras variables físicas también podrían estar relacionadas con la no presencia de camarones y las dinámicas de propagación del sonido en Nuquí. Adicionalmente, la presencia de camarones puede ser un bioindicador para la calidad del hábitat y, una forma de monitorear las condiciones del paisaje acústico y el ecosistema.

Nuquí 2019 se distinguió por ser un paisaje más variable, aunque en ausencia de

perturbaciones era acústicamente más tranquilo que Morro Mico. Lo anterior se da probablemente porque en Nuquí los fondos son mayormente sedimentarios y cerca a Morro Mico son rocosos (Velandia & Diaz, 2016), es decir que la atenuación del sonido es mayor en Nuquí. Esto se da debido a que los sedimentos con menor porosidad y partículas más pequeñas tienen mayor atenuación (Buckingham, 1980).

En promedio, los niveles recibidos para los sonidos producidos por las ballenas jorobadas en Nuquí fueron de 54 dB mientras que, en Morro Mico fueron de 52.7 dB y 52 dB en 2018 y 2019 respectivamente. Esto podría deberse a que, en los dos años y lugares las ballenas estuvieron a una distancia similar a el EAR. Los sonidos que dominaron sustancialmente el paisaje de Nuquí fueron los de ballenas jorobadas, peces y lanchas. Es decir que los cantos se detectan más en la zona de Nuquí que en la de Morro Mico. Una posible hipótesis que podría explicar la mayor detección de cantos en Nuquí es que en ausencia de botes el ambiente acústico puede más tranquilo, por atenuación del sonido, en fondo lodoso, en comparación al de Morro Mico también en ausencia de botes. Lo anterior, implica que la zona de mayor actividad vocal de ballenas detectada hasta la fecha en el Golfo de Tribugá y la de mayor proporción de barcos se superponen. Adicionalmente, se encontró que el ciclo diario de canto de las ballenas jorobadas, con mayor actividad en la noche que en el día fue más evidente en Morro Mico que en Nuquí. Comparado con otras zonas, el ciclo de las jorobadas en Nuquí es diferente al pico de media noche que se encontró en lugares como Hawaii y Mexico (Au et al., 2000; Seger et al., 2016). Algunos autores señalan que la visión a la luz del día juega un papel clave para la formación de grupos competitivos, pero en la noche los machos pueden enfocar el esfuerzo en la actividad vocal como la principal estrategia de apareamiento (Au et al., 2000; Helweg & Herman, 1994). Por otro lado, la presencia de lanchas en el año 2019 era en mayor medida en horas de la noche, posiblemente embarcaciones camaroneras que coincidían con el ciclo de canto de las jorobadas.

Respecto al ruido generado por lanchas, fue mayor el porcentaje para Nuquí en porcentaje fue el lugar que tuvo el mayor. Aun así, Heenehan et al., (2019) encontró que, en parques marinos del Caribe, el menor porcentaje de ruido de los barcos en el paisaje sonoro estaba entre el 20% y 30% y hasta 99%. Lo que significa que el mayor porcentaje de lanchas encontrado (16%), que corresponde al área de Nuquí, aun siendo el mayor de los tres casos estudiados, fue considerablemente menor que lo registrado en algunos parques marinos de la zona del Caribe, por lo cual se puede definir como un área con bajos niveles de contaminación acústica.

La localidad con el mayor valor en el percentil 99 (lanchas/viento o lluvia) fue Morro Mico 2019, seguido de Nuquí 2019 y Morro Mico 2018. Una posible explicación para el mayor número de lanchas en Nuquí es la mayor actividad de avistamiento, por la ubicación cercana al aeropuerto y el mayor turismo. Por otro parte, el percentil 50 que representa la presencia de sonidos de lanchas en Nuquí también es un indicador de mayor tráfico marítimo puesto que, el sonido de las lanchas ocupa un 50% del espacio de comunicación en el paisaje acústico. En este caso, además de las actividades de avistamiento, existen las actividades de pesca, bajo la figura de DRMI, (Velandia & Diaz, 2016).

Además, para este percentil se encontraron valores máximos de 71.6 dB en Nuquí y 80 dB en Morro Mico, hay que tener en cuenta que los sonidos de lluvia/viento en Morro Mico

tuvieron mayor porcentaje de presencia que las lanchas, por lo cual, pueden estar en un percentil próximo o proporción similar. Los valores más grandes para estos percentiles en el año 2019 pueden deberse tanto a factores como la lluvia o el tráfico de embarcaciones, como también al paso cercano de una lancha a la ubicación del EAR.

Los sonidos de lanchas y biológicos en las mismas horas podrían sugerir una superposición temporal, espacial y espectral de los sonidos, ocasionando efectos de enmascaramiento en la comunicación no solo de mamíferos marinos (Cholewiak et al., 2018; Clark et al., 2009; Erbe et al., 2016) sino también de peces (Smott et al., 2018), que en este caso se caracterizaron por estar presentes consistentemente. Por otro lado, posibles impactos como la generación de estrés también puede afectar funciones vitales y cambiar la funcionalidad de comunicación, como se ha encontrado en ballenas francas (Rolland et al., 2012).

Un mayor número de lanchas, o embarcaciones más grandes en la zona del Golfo de Tribugá, podrían aumentar los niveles de ruido de fondo. Se ha encontrado que el ruido producido por grandes embarcaciones impacta las interacciones basadas en el medio acústico para ballenas, peces y otros animales marinos, especialmente en áreas protegidas o de especial interés biológico como santuarios y parques marinos (Hatch et al., 2008; Stanley et al., 2017). También, se han reportado perturbaciones e impactos por embarcaciones más pequeñas, como los barcos de pesca y de avistamiento de ballenas, porque contribuyen al enmascaramiento. Al contar con ambos tipos de embarcaciones, el efecto sería acumulativo (Cholewiak et al., 2018). Se ha encontrado que las embarcaciones tienen la capacidad de reducir el espacio de comunicación para peces y ballenas, aunque exista variabilidad natural en el sonido de fondo (Putland et al., 2018; Rey-Baquero et al., en revisión). En este caso se encontró una diferencia de alrededor de 6 dB, relevante debido a que es el doble de la presión de sonido o cuatro veces más que la intensidad de sonido que producen las ballenas. Sin las lanchas, las ballenas serían la mayor fuerza de sonido en el Golfo de Tribugá.

Los impactos de las embarcaciones de avistamiento de turismo han sido estudiados en diferentes mamíferos marinos y lugares alrededor del mundo (Parsons, 2012). Algunos de los cambios estudiados en jorobadas son acústicos (Sousa-Lima & Clark, 2009) o comportamentales (Avila et al., 2015; Schuler et al., 2019). Además, en zonas de alimentación se ha encontrado que el ruido de los barcos puede afectar la búsqueda de alimento, impactando a nivel individual y poblacional (Blair et al., 2016). En áreas de cría, como lo es el Golfo de Tribugá, podrían existir efectos similares en caso de presentar niveles de ruido más altos. Aunque no se conoce el efecto de las lanchas sobre las jorobadas en esta zona, los impactos podrían ser semejantes a lo encontrado, afectando procesos ecológicos, de reproducción y cría. Además, el avistamiento de mamíferos marinos ha cobrado gran importancia especialmente al interior del Golfo de Tribugá (Velandia & Díaz, 2016). Entonces, el efecto de enmascaramiento podría variar debido al número de lanchas y frecuencia de paso.

5. Conclusiones y perspectivas

- (1) Los paisajes acústicos se distinguieron por presentar bajos niveles de ruido. La localidad de Morro Mico presentó proporcionalmente el menor nivel de perturbación por lanchas y Nuquí el mayor.
- (2) Los tres paisajes acústicos estudiados estuvieron dominados por la biofonía (cantos y llamados sociales de ballenas jorobadas, sonidos de camarones y peces).
- (3) Nuquí se caracterizó por ser un paisaje variable y con pocos sonidos en ausencia de lanchas. Por lo anterior, podría ser la zona más afectada por la contaminación acústica.
- (4) Los picos del ciclo de canto de las ballenas jorobadas coincidían con los de las lanchas, por lo cual se podrían dar efectos de enmascaramiento.
- (5) El ciclo diario de canto de las ballenas jorobadas, usualmente con mayor actividad en horas de la noche que el día fue más evidente en la zona de Morro Mico que Nuquí.

Vale la pena resaltar que el área presenta bajos niveles de polución acústica, se recomienda el monitoreo para evitar el aumento de mayores disturbios especialmente en zonas como Nuquí, que presentó mayores sonidos de lanchas. Por otro lado, se podrían seguir algunas recomendaciones de los principios de avistamiento de la Comisión Internacional Ballenera, como la protección de hélices de motores en las lanchas para reducir el ruido y además reducir riesgo de lesiones. Por otro lado, evitar el mayor tráfico de embarcaciones en los horarios pico del ciclo de canto de las jorobadas de acuerdo con el área estudiada. Para futuros estudios se recomienda evaluar los efectos de la antropofonía sobre el paisaje acústico, empleando otras métricas como decídecade o banda de 1/3 de octava, que den mayor información del efecto (Wang et al., 2019). Trabajar con más percentiles o el análisis de más horas, (algunos sonidos intermitentes como el de las lanchas y el viento o lluvia son difíciles de detectar con solo 3 percentiles) puede representar e identificar mejor la contribución de cada grupo. Finalmente, continuar con el monitoreo acústico pasivo, permite la priorización de áreas de conservación, antes de posibles perturbaciones por actividades humanas o propuesta de construcción de un mega puerto marítimo.

6. Agradecimientos

Agradezco a mi familia, especialmente a mi mamá y papá por apoyarme, animarme y estar siempre incondicionalmente. A mis tutoras Kerri Seger y Andrea Luna, por la confianza, oportunidades, apoyo y todo el conocimiento compartido, que me ayudo a crecer a nivel profesional y personal a lo largo de la carrera. A Natalia Botero, la Fundación Macuaticos Colombia y el proyecto Ports, Humpbacks and Sound in Colombia (PHySIColombia), por hacer posible la realización de este proyecto. A Valentina Huertas por el apoyo en el proyecto. Al semillero Aquasistemas, por ser un espacio de aprendizaje constante. A todas las personas que construyen a través de la ciencia y las que luchan por la conservación del Golfo de Tribugá.

A mis amigas con las que compartí experiencias, aprendizajes y felicidad estos años a lo largo de la carrera. Especialmente a Maria Paula Meléndez por el apoyo emocional y la incondicionalidad. A la Pontificia Universidad Javeriana.

Referencias

- Alm, J. F., & Walker, J. S. (2002). Time-frequency analysis of musical instruments. *SIAM Review*, 44(3), 457–476. <https://doi.org/10.1137/S00361445003822>
- Arias, D., Muñoz, C.A. & Avila, I.C. (2011). Guía de turismo de avistamiento de ballenas. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Viceministerio de Turismo, Dirección de Calidad y Desarrollo Sostenible del Turismo de Colombia. Bogotá, Colombia. 61p.
- Aparicio, J., García, E., Jiménez, A., & Álvarez, F. (2010). Modelos de Propagación de Señales Acústicas en Entornos Subacuáticos. *Gigatronic*, mayo-septi, 40–43.
- Au, W. W. L., Mobley, J., Burgess, W. C., Lammers, M. O., & Nachtigall, P. E. (2000). Seasonal and diurnal trends of chorusing humpback whales wintering in waters off western Maui. *Marine Mammal Science*, 16(3), 530–544. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2000.tb00949.x>
- Aulanier, F., Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., & Bandet, M. (2017). Effects of shipping on marine acoustic habitats in Canadian Arctic estimated via probabilistic modeling and mapping. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1–2), 115–131. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.002>
- Avila, I. C., Correa, L. M., & Parsons, E. C. M. (2015). Whale-watching activity in Bahía Málaga, on the Pacific coast of Colombia, and its effect on humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) behavior. *Tourism in Marine Environments*, 11(1), 19–32. <https://doi.org/10.3727/154427315X14398263718394>
- Baker, C.S. & Herman, L.M. (1984) Aggressive behavior between humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) wintering in Hawaiian waters. *Canadian Journal of Zoology*. 62: 1922–1937.
- Bejder, L., Videsen, S., Hermanssen, L., Simon, M., Hanf, D., & Madsen, P. T. (2019). Low energy expenditure and resting behaviour of humpback whale mother-calf pairs highlights conservation importance of sheltered breeding areas. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36870-7>
- Blair, H. B., Merchant, N. D., Friedlaender, A. S., Wiley, D. N., & Parks, S. E. (2016). Evidence for ship noise impacts on humpback whale foraging behaviour. *Biology Letters*, 12(8). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0005>
- Buckingham, M. J. (1980). *Geoacoustic Parameters of Marine Sediments : Theory and Experiment*. 5, 1–15. <https://doi.org/10.1121/1.385100>
- Centro de Observación para la Infraestructura de Caldas (COIC). (2018). Puerto de Tribugá de Tribugá.

- Comisión Internacional Ballenera (IWC). General Principles for Whalewatching. (s.f).
- Chen, F., Shapiro, G. I., Bennett, K. A., Ingram, S. N., Thompson, D., Vincent, C., Russell, D. J. F., & Embling, C. B. (2017). Shipping noise in a dynamic sea: a case study of grey seals in the Celtic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 372–383.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.054>
- Chitrakar, P., Baawain, M. S., Sana, A., & Al-Mamun, A. (2019). Current Status of Marine Pollution and Mitigation Strategies in Arid Region: A Detailed Review. In *Ocean Science Journal*. 54(3), 317-348. <https://doi.org/10.1007/s12601-019-0027-5>
- Cholewiak, D., Clark, C. W., Ponirakis, D., Frankel, A., Hatch, L. T., Risch, D., Stanistreet, J. E., Thompson, M., Vu, E., & Parijs, S. M. Van. (2018). Communicating amidst the noise: modeling the aggregate influence of ambient and vessel noise on baleen whale communication space in a national marine sanctuary. *Endang Species Res*, 36, 59–75.
<https://doi.org/10.3354/esr00875>
- Clapham, P. J., & Mead, J. G. (1999). *Megaptera novaeangliae*. *Mammalian Species*, 604, 1–9.
- Clapham, P. J. (2000). The humpback whale: seasonal feeding and breeding in baleen whale, 173-196. In: J. MANN; R.C. CONNOR; P.L. TYACK y H. WHITEHEAD (Eds). *Cetacean Societies – field studies of dolphins and whales*. Chicago, University of Chicago Press, XIV+433p.
- Clark, C. W., Ellison, W. T., Southall, B. L., Hatch, L., Van Parijs, S. M., Frankel, A., & Ponirakis, D. (2009). Acoustic masking in marine ecosystems: Intuitions, analysis, and implication. *Marine Ecology Progress Series*, 395(May 2020), 201–222.
<https://doi.org/10.3354/meps08402>
- Díaz, J. M., Guillot, L. y Velandia, M.C. (eds.). (2016). *La pesca artesanal en la costa norte del Pacífico colombiano: un horizonte ambivalente*. Fundación MarViva. Bogotá. 154 p.
- Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., & Dooling, R. (2016). Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. In *Marine Pollution Bulletin*. 103, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.007>
- Flórez-González, L. (1991) Humpback whales, *Megaptera novaeangliae* in the Gorgona Island, Colombian Pacific breeding waters: population and pod characteristics. *Memoirs of the Queensland Museum*, 30: 291-295.
- Frankel, A.S., Clark, C.W, Herman, L.M. & Gabriele, C.M. (1995). Spatial distribution, habitat utilization, and social interactions of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, off Hawaii, determined using acoustic and visual techniques. *Can. J.*

Zoo., vol. 73, pp. 1134–1146.

- Fournet, M. E. H., Matthews, L. P., Gabriele, C. M., Haver, S., Mellinger, D. K., & Klinck, H. (2018). Humpback whales *Megaptera novaeangliae* alter calling behavior in response to natural sounds and vessel noise. *Marine Ecology Progress Series*, 607, 251–268.
- Garay, J., Marín, B., & Vélez, A. M. (2001). Contaminación Marino-Costera en Colombia. *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -INVEMAR*, 101–114. <https://doi.org/10.4067/S0366-16442001000200008>
- Gonçalves, M. I. C., de Sousa-Lima, R. S., Teixeira, N. N., Carvalho, G. H., Danilewicz, D., & Baumgarten, J. E. (2018). Movement patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) reoccupying a Brazilian breeding ground. *Biota Neotropica*, 18(4). <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2018-0567>
- Hatch, L., Clark, C., Merrick, R., Van Parijs, S., Ponirakis, D., Schwehr, K., Thompson, M., & Wiley, D. (2008). Characterizing the relative contributions of large vessels to total ocean noise fields: A case study using the Gerry E. studds stellwagen bank national marine sanctuary. *Environmental Management*, 42(5), 735–752. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9169-4>
- Haver, S. M., Fournet, M. E., Dziak, R. P., Gabriele, C., Gedamke, J., Hatch, L. T., Haxel, J., Heppell, S. A., McKenna, M. F., Mellinger, D. K., & Van Parijs, S. M. (2019). Comparing the underwater soundscapes of four U.S. National Parks and marine sanctuaries. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00500>
- Heenehan, H., Stanistreet, J. E., Corkeron, P. J., Bouveret, L., Chalifour, J., Davis, G. E., Henriquez, A., Kiszka, J. J., Kline, L., Reed, C., Hoetjes, P., & Van Parijs, S. M. (2019). Caribbean sea soundscapes: Monitoring humpback whales, biological sounds, geological events, and anthropogenic impacts of vessel noise. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUN). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00347>
- Helweg, D. A., & Herman, L. M. (1994). Diurnal Patterns of Behaviour and Group Membership of Humpback Whales (*Megaptera novaeangliae*) Wintering in Hawaiian Waters. *Ethology*, 98(3–4), 298–311. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1994.tb01078.x>
- Herman, L. M. (2017). The multiple functions of male song within the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) mating system: review, evaluation, and synthesis. *Biological Reviews*, 92(3), 1795–1818. <https://doi.org/10.1111/brv.12309>
- Hildebrand, J. A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean.

Marine Ecology Progress Series, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>

- International Whaling Commission (IWC). (1998). Annex G – Report of the Sub-Committee on the Comprehensive Assessment of Southern Hemisphere Humpback Whales. Rep. int. Whal. Commn 48:170–182. (13) (PDF) Humpback Whales: Status in the Southern Hemisphere.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá. 217 p.
- Kaplan, M. B., & Mooney, T. A. (2015). Ambient noise and temporal patterns of boat activity in the US Virgin Islands National Park. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1–2), 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.047>
- Kitting, C. L. (1979). The use of feeding noises to determine the algal foods being consumed by individual intertidal molluscs. *Oecologia*, 40(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF00388806>
- Kyhn, L. A., Wisniewska, D. M., Beedholm, K., Tougaard, J., Simon, M., Mosbech, A., & Madsen, P. T. (2019). Basin-wide contributions to the underwater soundscape by multiple seismic surveys with implications for marine mammals in Baffin Bay, Greenland. *Marine Pollution Bulletin*, 138(January 2018), 474–490. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.038>
- L. Redondo, & A. Ruiz-Mateo. (2017). Ruido subacuático: fundamentos, fuentes, cálculo y umbrales de contaminación ambiental. *Ingeniería Civil*, 186, 73–94.
- Lammers, M. O., Brainard, R. E., Au, W. W. L., Mooney, T. A., & Wong, K. B. (2008). An ecological acoustic recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other marine habitats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(3), 1720–1728. <https://doi.org/10.1121/1.2836780>
- McDonald, M. A., Hildebrand, J. A., & Wiggins, S. M. (2006). Increases in deep ocean ambient noise in the Northeast Pacific west of San Nicolas Island, California. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(2), 711–718. <https://doi.org/10.1121/1.2216565>
- McDonald, M. A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., & Ross, D. (2008). A 50 Year comparison of ambient ocean noise near San Clemente Island: A bathymetrically complex coastal region off Southern California. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(4), 1985–1992. <https://doi.org/10.1121/1.2967889>
- Merchant, N. D., Fristrup, K. M., Johnson, M. P., Tyack, P. L., Witt, M. J., Blondel, P., & Parks, S. E. (2015). Measuring acoustic habitats. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(3), 257–265. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12330>

- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Ballenas jorobadas Colombia. Guía de avistamiento. (s.f)
- Montgomery, J. C., & Radford, C. A. (2017). Marine bioacoustics. *Current Biology*, 27(11), R502–R507. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.01.041>
- Noreña, D. (2020). Assembling an acoustic catalogue for different dolphin species in the Colombian Pacific coast: an opportunity to parameterize whistles before rising noise pollution levels (Trabajo de grado). Universidad de los Andes, Bogotá.
- Parsons, E. C. M. (2012). The Negative Impacts of Whale-Watching. *Journal of Marine Biology*, 2012, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2012/807294>
- Payne, R. S., & McVay, S. (1971). Songs of humpback whales. *Science*, 173(3997), 585–597. <https://doi.org/10.1126/science.173.3997.585>
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. *BioScience*, 61(3), 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- Pine, M. K., Schmitt, P., Culloch, R. M., Lieber, L., & Kregting, L. T. (2019). Providing ecological context to anthropogenic subsea noise: Assessing listening space reductions of marine mammals from tidal energy devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103(July 2018), 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.024>
- Putland, R. L., Merchant, N. D., Farcas, A., & Radford, C. A. (2018). Vessel noise cuts down communication space for vocalizing fish and marine mammals. *Global Change Biology*, 24(4), 1708–1721. <https://doi.org/10.1111/gcb.13996>
- Rey-Baquero, M.P., Huertas-Amaya, L.V., Seger, K.D., Botero-Acosta, N., Luna-Acosta, A., Perazio, C.E., Boyle, J.K., Rosenthal, S. & Vallejo, A.C. (en revisión). Parabolic equation simulations and soundscape cycle observations of whale-watching vessel noise and humpback whale song interactions in the Colombian North Pacific. *Frontiers Marine Science*.
- Richardson, W.J., Greene, C.R., Malme, C.I., Thomson, D.H. (1995) *Marine Mammals and Noise*, Academic Press, San Diego.
- Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., Wasser, S. K., & Kraus, S. D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1737), 2363–2368. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2429>
- Rossing, T.D., 2007. *Handbook of Acoustics*. New York: Springer, 1182p.

- Rossi-Santos, M. R. (2015). Oil Industry and Noise Pollution in the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Soundscape Ecology of the Southwestern Atlantic Breeding Ground. *Journal of Coastal Research*, 31(1), 184.
<https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00195.1>
- Scheidat, M., Williams, R., Castro, C., & Gonzalez, J. (2004). Behavioural responses of humpback whales to whalewatching boats near Isla de la Plata, Machalilla National Park, Ecuador. *J. CETACEAN RES. MANAGE*, January, 11.
- Schuler, A. R., Piwetz, S., Di Clemente, J., Steckler, D., Mueter, F., & Pearson, H. C. (2019). Humpback Whale Movements and Behavior in Response to Whale-Watching Vessels in Juneau, AK. *Frontiers in Marine Science*, 6(November), 1–13.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00710>
- Seger, K. D., Thode, A. M., Swartz, S. L., & Urbán R., J. (2015). The ambient acoustic environment in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(5), 3397–3410. <https://doi.org/10.1121/1.4935397>
- Seger, K.D. (2016). Ambient acoustic environments and cetacean signals: Baseline studies from humpback whale and gray whale breeding grounds (Disertación doctoral). Universidad de California, San Diego.
- Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fristrup, K. M., Brown, E., Warner, K. A., Nelson, M. D., White, C., Briggs, J., McFarland, S., & Wittemyer, G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*, 91(4), 982–1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207>
- Simpson, S. D., Radford, A. N., Nedelec, S. L., Ferrari, M. C. O., Chivers, D. P., McCormick, M. I., & Meekan, M. G. (2016). Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nature Communications*, 7.
<https://doi.org/10.1038/ncomms10544>
- Smott, S., Monczak, A., Miller, M. E., & Montie, E. W. (2018). Boat noise in an estuarine soundscape – A potential risk on the acoustic communication and reproduction of soniferous fish in the May River, South Carolina. *Marine Pollution Bulletin*, 133(November 2017), 246–260. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.016>
- Sousa-Lima, R. S., & Clark, C. W. (2009). Whale sound recording technology as a tool for assessing the effects of boat noise in a Brazilian marine park. *Park Science*, 26(1).
- Sprogis, K. R., Videsen, S., & Madsen, P. T. (2020). Vessel noise levels drive behavioural responses of humpback whales with implications for whale-watching. *ELife*, 9, 1–17.
<https://doi.org/10.7554/eLife.56760>
- Stanley, J. A., Van Parijs, S. M., & Hatch, L. T. (2017). Underwater sound from vessel

- traffic reduces the effective communication range in Atlantic cod and haddock. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14743-9>
- Stimpert, A. K., Peavey, L. E., Friedlaender, A. S., & Nowacek, D. P. (2012). Humpback Whale Song and Foraging Behavior on an Antarctic Feeding Ground. *PLoS ONE*, 7(12), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051214>
- Velandia, M. C. y Díaz, J. M. 2016. Atlas Marino-Costero del Pacífico Norte Colombiano. Fundación MarViva, Bogotá. 130 p.
- Verzani, J. (2014). *Using R for Introductory Statistics* (Second edi). Chapman & Hall/CRC.
- Wang, Z. T., Akamatsu, T., Nowacek, D. P., Yuan, J., Zhou, L., Lei, P. Y., Li, J., Duan, P. X., Wang, K. X., & Wang, D. (2019). Soundscape of an Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) hotspot before windfarm construction in the Pearl River Estuary, China: Do dolphin engage in noise avoidance and passive eavesdropping behavior? *Marine Pollution Bulletin*, 140(December 2018), 509–522. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.013>
- Watanabe, M., Sekine, M., Hamada, E., Ukita, M., & Imai, T. (2002). Monitoring of shallow sea environment by using snapping shrimps. *Water Science and Technology*, 46(11–12), 419–424. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0772>
- Wenz, G.M. (1962) Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources. *J Acoust Soc Am* 34:1936–1956.
- Winn, H.E. & Winn, L.K. (1978). The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies. *Marine Biol*, vol. 47, pp. 97–114, 1978.
- Zar, J.H. (2013). *Biostatistical Analysis: Pearson New International Edition*. Pearson Education Limited.
- Zappalà, G., Bonamano, S., Madonia, A., Caruso, G., & Marcelli, M. (2012). Microbiological risk assessment in a coastal marine environment through the use of mathematical models. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 164(August 2011), 3–14. <https://doi.org/10.2495/WP120011>

8. Anexos:

Anexo 1: Lineamientos revista *Marine Pollution*



MARINE POLLUTION BULLETIN

The International Journal for Marine Environmental Scientists, Engineers, Administrators, Politicians and Lawyers

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

●	Description	p.1
●	Audience	p.2
●	Impact Factor	p.2
●	Abstracting and Indexing	p.2
●	Editorial Board	p.2
●	Guide for Authors	p.4



ISSN: 0025-326X

DESCRIPTION

Marine Pollution Bulletin is concerned with the rational use of maritime and **marine resources** in estuaries, the seas and oceans, as well as with documenting **marine pollution** and introducing new forms of measurement and analysis. A wide range of topics are discussed as news, comment, reviews and research reports, not only on **effluent disposal** and **pollution control**, but also on the **management**, **economic** aspects and **protection** of the **marine environment** in general.

A distinctive feature of *Marine Pollution Bulletin* is the number of different categories of articles which are published.

'**Research Papers**' form the core of the journal, with a maximum of 10000 words. Guidelines for the preparation of such papers are given under the section "preparation (hyperlink to the section)" below.

'**Baselines**' document measurements which are expected to have value in the future. Baseline manuscripts are less than 5000 words, contain an abstract and keywords, brief introductory remarks and discussion but do not have sections or subsections.

'**Short communication**' are short research papers of less than 4000 words, and a maximum of 3 Figures or Tables.

'**Reviews**' / '**Short reviews**' are generally invited by the editors on subjects which cross traditional lines, but suggestions for topics are welcomed. There are less than 20000 words (Reviews) or 8000 words (short reviews).

'**Viewpoints**' are a less formal forum for scientists to comment freely on matters of relevant national and international importance.

Other sections of the bulletin include '**News**', '**New Products**', '**Conference Reports**', '**Conference Diary**', '**Correspondence**' and '**Book Reviews**'.

Two volumes are published annually, one of which contains a series of special issues on topics of particular current interest. The importance and influence of these special issues, which address the major marine environmental concerns of our time, is increasingly being recognised not just by the wider scientific community, but also by environmental policy makers at national and international level.

Benefits to authors

We also provide many author benefits, such as free PDFs, a liberal copyright policy, special discounts on Elsevier publications and much more. Please click here for more information on our [author services](#).

Please see our [Guide for Authors](#) for information on article submission. If you require any further information or help, please visit our [Support Center](#)

AUDIENCE

Marine pollution environmental scientists, engineers, administrators, managers, politicians and lawyers.

IMPACT FACTOR

2019: 4.049 © Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2020

ABSTRACTING AND INDEXING

Aqualine Abstracts
Chemical Abstracts
Engineering Village - GEOBASE
BIOSIS Citation Index
Environmental Periodicals Bibliography
Fish and Fisheries Worldwide
EMBiology
Current Contents
Elsevier BIOBASE
Cambridge Scientific Abstracts
Current Contents - Agriculture, Biology & Environmental Sciences
Embase
Health and Safety Science Abstracts
Petroleum Abstracts
Science Citation Index
Tox Abstr Environment Abstracts
Scopus
Marine Literature Review
Oceanographic Literature Review

EDITORIAL BOARD

Editors-in-Chief

Francois Galgani, French Research Institute for Exploitation of the Sea, 92138, Bastia, Corsica, France
Pat Hutchings, Australian Museum, 1, William Street, Sydney NSW 2010, Australia
Gui-Peng Yang, Ocean University of China, 266100, Qingdao, China

Baseline Editor

B.J. Richardson, City University of Hong Kong Department of Biology and Chemistry, 83 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong

News Editor

P. Kingston

Associate Editors

P. Boehm, Exponent, Massachusetts, United States
Michel Boufadel, New Jersey Institute of Technology, Newark, New Jersey, United States
J. Burt, New York University - Abu Dhabi Campus, Abu Dhabi, United Arab Emirates
P. Chakraborty, Indian Institute of Technology Kharagpur, India
R.A. Hauser-Davis, Oswaldo Cruz Foundation, Oswaldo Cruz Institute, Environmental Health Promotion and Evaluation Laboratory, Rio de Janeiro, Brazil
K. Koop, New South Wales, Australia
Geoff MacFarlane, The University of Newcastle, Newcastle, New South Wales, Australia
M. Pelletier, US Environmental Protection Agency, Washington, District of Columbia, United States
K. Schiff, Southern California Coastal Water Research Project, Costa Mesa, California, United States
H. Shi, State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, Shanghai, China
P.K.S. Shin, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong
S. Vizzini, University of Palermo, Palermo, Italy
T. R. Walker, Dalhousie University School for Resource and Environmental Studies, Halifax, Nova Scotia, Canada
T. Yanagi, Kyushu University, Fukuoka, Japan

Editorial Board

M Ateweberhan, Coventry, United Kingdom

Angel Borja, AZTI-Tecnalia, Pasaia, Spain

J.C. Dauvin, Wimereux, France

M. Elliott, Hull, United Kingdom

D.A. Holdway, Melbourne, Australia

K.M.Y. Leung, Kowloon, Hong Kong

M. Martin, Marposa, California, United States

B. Morton, London, United Kingdom

J.W. Readman, Plymouth, United Kingdom

R.S. Tjeerdema, Davis, California, United States

A. Turner, Plymouth, United Kingdom

R.K.F. Unsworth, Swansea, United Kingdom

V. Wepener, Potchefstroom, South Africa

GUIDE FOR AUTHORS

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

INTRODUCTION

Types of paper

Research Reports; Shorter Research Notes; Baseline Records of Contamination Levels; Viewpoint Articles; Letters to the Editor; Focus Articles (short reviews of 1500 words); Reviews.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of competing interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors should complete the declaration of competing interest statement using [this template](#) and upload to the submission system at the Attach/Upload Files step. **Note: Please do not convert the .docx template to another file type. Author signatures are not required.** If there are no interests to declare, please choose the first option in the template. This statement will be published within the article if accepted. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Content should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader; contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition; and use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, stereotypes, slang, reference to dominant culture and/or cultural assumptions. We advise to seek gender neutrality by using plural nouns ("clinicians, patients/clients") as default/wherever possible to avoid using "he, she," or "he/she." We recommend avoiding the use of descriptors that refer to personal attributes such as age, gender, race, ethnicity, culture, sexual orientation, disability or health condition unless they are relevant and valid. These guidelines are meant as a point of reference to help identify appropriate language but are by no means exhaustive or definitive.

Author contributions

For transparency, we encourage authors to submit an author statement file outlining their individual contributions to the paper using the relevant CRediT roles: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Funding acquisition; Investigation; Methodology; Project administration; Resources; Software; Supervision; Validation; Visualization; Roles/Writing - original draft; Writing - review & editing. Authorship statements should be formatted with the names of authors first and CRediT role(s) following. [More details and an example](#)

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information](#).

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Open access

Please visit our [Open Access page](#) for more information.

Elsevier Researcher Academy

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language Services

Manuscripts should be written in English. Authors who are unsure of correct English usage should have their manuscript checked by someone proficient in the language. Manuscripts in which the English is difficult to understand may be returned to the author for revision before scientific review. Authors who require information about language editing and copyediting services pre- and post-submission please visit <https://www.elsevier.com/languagepolishing> or our customer support site at service.elsevier.com for more information. Please note Elsevier neither endorses nor takes responsibility for any products, goods or services offered by outside vendors through our services or in any advertising. For more information please refer to our Terms & Conditions: <https://www.elsevier.com/termsandconditions>.

Referees

Please submit the names and institutional e-mail addresses of several potential referees. For more details, visit our [Support site](#). Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

Page charges

Marine Pollution Bulletin has no page charges.

PREPARATION

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality

figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Abstract

Abstracts should not exceed 150 words.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, "and", "of"). Where relevant these should include the main species concerned, the geographical area and the contaminant. Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Please note that the instructions related to Abstract and Graphical abstract still apply to all new submissions.

Peer review

This journal operates a single anonymized review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of one independent expert reviewer to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. Editors are not involved in decisions about papers which they have written themselves or have been written by family members or colleagues or which relate to products or services in which the editor has an interest. Any such submission is subject to all of the journal's usual procedures, with peer review handled independently of the relevant editor and their research groups. [More information on types of peer review.](#)

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class [elsarticle.cls](#) to prepare your manuscript and [BibTeX](#) to generate your bibliography.

Our [LaTeX site](#) has detailed submission instructions, templates and other information.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**

- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal,

please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/marine-pollution-bulletin>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](#). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal encourages and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. If you are sharing data in one of these ways, you are encouraged to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data](#) page.

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 600 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

Data statement

To foster transparency, we encourage you to state the availability of your data in your submission. This may be a requirement of your funding body or institution. If your data is unavailable to access or unsuitable to post, you will have the opportunity to indicate why during the submission process, for example by stating that the research data is confidential. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

To ensure a fast publication process of the article, we kindly ask authors to provide us with their proof corrections within two days. Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

Contributors to Elsevier journals are entitled to a 30% discount on most Elsevier books, if ordered directly from Elsevier.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch.

You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).

© Copyright 2018 Elsevier | <https://www.elsevier.com>

Anexo 2: Antecedentes y marco teórico

1. Antecedentes

1.1. Temáticos

A nivel internacional se han realizado estudios que buscan describir o modelar los efectos de la contaminación acústica, producida por actividades humanas en paisajes acústicos de ecosistemas marinos (Aulancier et al., 2017; Haver et al., 2019; Heenehan et al., 2019; Kyhn et al., 2019; Seger et al., 2015). Algunos estudios, han empleado la metodología de monitoreo acústico pasivo, que ha permitido analizar las variaciones temporales y espectrales en el paisaje sonoro (Seger et al., 2015; Wang et al., 2019). En ballenas jorobadas, se han encontrado efectos de enmascaramiento potencial y cambios comportamentales en presencia de ruido (Bejder et al., 2019; Cholewiak et al., 2018; Avila et al., 2015). Adicionalmente, se han encontrado afectaciones en los niveles de hormona del estrés (Rolland et al., 2012), lo cual es motivo de preocupación para la conservación, especialmente en zonas donde las ballenas tienen crías (Bejder et al., 2019).

En algunas zonas como el Caribe se ha encontrado que el tráfico de embarcaciones hace parte del paisaje acústico y, se ha documentado una superposición significativa del canto de las ballenas jorobadas con el ruido de los barcos, durante la temporada de reproducción (Heenehan et al., 2019). Otros estudios, han registrado diversos ruidos antropogénicos, en un rango de frecuencia similar a los sonidos de cetáceos registrados, lo que puede significar la superposición de nichos acústicos y disminución en el espacio de comunicación (Rossi-Santos, 2015).

En Sur América, específicamente en países como Ecuador y Brasil, se han realizado estudios de respuestas a nivel comportamental, a corto plazo y en presencia de botes de avistamiento de ballenas, se han documentado las respuestas de las ballenas cantantes y las distancias en las que se da la perturbación o alejamiento de los botes (e.g. Scheidat et al., 2004; Sousa-Lima y Clark, 2009). Por otra parte, en el área de estudio, no se presentan hasta ahora estudios publicados sobre el ciclo de canto de las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*), el paisaje acústico y su variación frente a fuentes de ruido de origen antropogénico producido por pequeñas embarcaciones. Sin embargo, se han estudiado respuestas comportamentales de las ballenas en presencia de botes de avistamiento (Avila et al., 2015).

Adicionalmente, para peces de arrecife por ejemplo, del Parque Nacional de las Islas Vírgenes de EE. UU, se encontró que la frecuencia pico media, fue significativamente menor cuando había presencia de ruido de embarcaciones durante el día, pero no en la noche, además, la abundancia de ruido de botes reflejó la prevalencia de un factor estresante potencial (Kaplan & Mooney, 2015). Otra variable importante, es el ruido producido por camarones, porque puede dominar en algunas zonas de aguas tropicales (Lammers et al., 2008). Una investigación en la Laguna San Ignacio, Baja California Sur, México, mostro que en tres de las zonas estudiadas, los sonidos de camarones eran fuentes significativas en el paisaje acústico, junto con el ruido de tránsitos de barcos turísticos (Seger et al., 2015).

El ruido de embarcaciones en general, es una variable significativa en la reducción del espacio de comunicación de algunas especies en ecosistemas marinos, desde un mamífero marino hasta peces pueden verse afectados por efectos crónicos (Putland et al., 2018). Así mismo, las tendencias temporales en los niveles de sonido de banda de frecuencia varían dependiendo del lugar, ya que, en algunos casos las variaciones están impulsadas por fuentes de sonido biológico y en otros casos por fuentes antropogénicas (Haver et al., 2019; Seger et al., 2015).

1.2. Contexto

Un informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia para el año 2018 (INVEMAR, 2019), encontró que, para el Pacífico en el año 2018, el 18% de los sitios muestreados están entre pésima e inadecuada calidad de agua. Los ciclos están influenciados por los ciclos de marea donde se experimentan cambios progresivos en la dinámica y flujos del agua (IDEAM, 2007). Para el año 2019, se encontró que se redujo la proporción de sitios con aguas óptimas o favorables y, las aguas marinas y costeras con características desfavorables se observaron en el 30% del Pacífico, en categorías de pésima e inadecuada calidad (INVEMAR, 2020). La dinámica del agua en el mar es importante debido a que la velocidad del sonido incrementa al aumentar variables como la salinidad, temperatura y profundidad (Redondo y Ruiz, 2017).

Hasta la fecha, no existe aún en el área de estudio, una evaluación consolidada de impactos negativos, asociados a las actividades como el transporte de embarcaciones en el mar. Aun así, existen resultados obtenidos en monitoreos independientes y de la literatura en otros países ribereños, que muestran afectaciones causadas por estas actividades; entre estas, la contaminación acústica, daño de sistemas de orientación de especies marinas y perturbación de ciclos biológicos y fauna y flora, vinculados al sector turístico, pesquero, de hidrocarburos y marítimo portuario (Díaz, 2015).

Por otro lado, según la comisión internacional ballenera (IWC), la abundancia total de ballenas del hemisferio sur es probablemente de al menos 80,000 y en Colombia para las áreas del Golfo de Tribugá, Bahía Malaga y la Isla Gorgona, se han identificado por sus marcas naturales hasta el año 2007 alrededor de 1.100 ballenas jorobadas, 50 del área del Golfo de Tribugá, por medio de foto-identificación; a mediados de los años 90 se estimó una población de entre 1,120 y 2,190 ballenas para el Pacífico colombiano (Capella et al., 1998; Florez et al., 2007).

En la zona también se encontró que, las actividades de pesca en el año 2018 para captura artesanal fueron de 4,574.5 t, destacando las familias Penaeidae (camarón tití y camarón blanco; 42,3%), Scombridae (sierra; 9,0%) y Ophidiidae (merluza; 7,1%), y a nivel industrial fue de 7,943.7 t, con predominio de la familia Scombridae (atunes, 82,8%), registrando el valor más alto de los últimos diez años en el Pacífico colombiano (INVEMAR, 2019). Para el año 2019 se encontró que, el desembarco artesanal fue de 28,104 t, destacando las familias Penaeidae (camarón tití y camarón blanco; 11,1%), Scombridae (sierra; 7,5%) y Sciaenidae (corvina; 4,7%). A nivel industrial el desembarco fue de 11.554 t, con predominio de la familia Scombridae (atunes; 82,8%) (INVEMAR., 2020). Estos valores nos dan una idea de las dinámicas de pesca cercanas al área de estudio; en las que se destaca para pesca artesanal,

la captura de camarón y para industrial la de atún. Algunas de estas actividades pueden superponerse con la frecuencia de canto de las ballenas jorobadas del Stock G, que tienen como hábitat de reproducción la costa de Colombia. En cuanto al área de estudio, es importante conocer la interacción en el paisaje acústico entre las jorobadas, peces, camarones, sonidos naturales, y ruido producido por pequeñas lanchas, para conocer el estado actual del paisaje acústico bajo la figura de DRMI.

2. Marco Teórico

Teóricamente la investigación de este proyecto está compuesta por 4 componentes que le dan soporte. Se sustenta bajo los criterios de acústica subacuática, paisaje acústico, comunicación y migración de las ballenas jorobadas y ecología de los paisajes acústicos marinos. Los conceptos y relaciones más importantes se evidencian en la Figura 1.

2.1. Acústica subacuática

El sonido se propaga en forma de ondas mecánicas a través de materia sólida, líquida o gaseosa e involucra transporte de energía sin transporte de materia (Redondo y Ruiz, 2017). La velocidad y pérdida de transmisión, son los dos parámetros fundamentales en la propagación de una onda acústica en un medio subacuático (Aparicio et al., 2010) y, la velocidad incrementa al aumentar la salinidad, temperatura o profundidad (Redondo y Ruiz, 2017). La atenuación del sonido puede variar de acuerdo con los parámetros geoacústicos como la porosidad o tamaño de grano en los sedimentos, por ejemplo, es mayor cuando el tamaño del grano y porosidad es más pequeño (Buckingham, 1980).

Actualmente, el ruido antropogénico está presente y aumentando en los océanos, sin embargo, la medida en que varían las frecuencias acústicas y niveles de sonido es incierta, particularmente en ecosistemas costeros dinámicos (Kaplan & Mooney, 2015). El ruido generado por actividades humanas puede producir contaminación acústica con impactos de superposición en los paisajes sonoros naturales (Pine et al., 2019). Por tal razón, se han creado métricas acústicas como el nivel de presión sonora (SPL) y exposición sonora (SEL), este último se puede utilizar para comparar sucesos sonoros de diferentes duraciones y presiones máximas. Mientras que los percentiles de las estimaciones de SPL muestran los ciclos de diferentes fuentes de sonido y una comparación entre estas y sus ciclos en el ambiente. Por otro lado, los niveles pico, muestran si una señal puede producir un daño fisiológico debido a una presión muy alta y la raíz cuadrática media (RMS), se utiliza para cuantificar el ruido de naturaleza continua, como el tráfico marítimo; se pueden cuantificar en la banda completa, en 1/3 de octava o con “M-weighting” para expresar el nivel de una onda acústica adecuada más o menos, para cada tipo de señal o tipo de efecto, sobre los diferentes grupos de especies de fauna para las cuales es vital el paisaje acústico (Redondo y Ruiz, 2017).

2.2. Paisaje acústico

El sonido es una propiedad perpetua y dinámica en todos los paisajes; los paisajes acústicos se componen de tres elementos fundamentales: la antropofonía, que se define como los sonidos generados a través de actividades humanas, por ejemplo, el ruido de un motor de lanchas, embarcaciones o un sonar; la biofonía, definida como todos los sonidos generados

por animales, por ejemplo, las actividades vocales como el canto de las ballenas y las no vocales como sonidos de alimentación o cavitación de los moluscos (Kitting, 1979) y por último, la geofonía, son sonidos generados a través de características físicas como las olas, terremotos, lluvias o tormentas (Pijanowski et al., 2011; Montgomery y Radford, 2017; Wang et al., 2019). Por lo tanto, el paisaje acústico se puede definir como todos los sonidos presentes en un lugar determinado durante un período de tiempo determinado (Krause y Gage, 2003; Pijanowski et al., 2011)

2.3. Migración y comunicación de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*)

La ballena jorobada es un cetáceo cosmopolita distribuido por todos los océanos del mundo (Clapham y Mead, 1999). Las poblaciones del hemisferio sur se alimentan cerca a la Antártida, entre los meses de noviembre y marzo, y migran a las zonas de reproducción cerca del Ecuador, allí se aparean y dan a luz entre los meses de julio y octubre; mientras que las poblaciones del hemisferio norte, se alimentan en latitudes altas en las costas de América del Norte y Europa entre los meses de junio y octubre, y se aparean y dan a luz en latitudes bajas en aguas del Caribe, Pacífico y Atlántico occidental entre diciembre y marzo o abril (Clapham, 2000).

La especie se caracteriza por un comportamiento de vocalizaciones y canto, el ultimo realizado únicamente por los machos en mayor medida en las zonas de reproducción (Rossi-Santos, 2015; Stimpert et al., 2012). Estas vocalizaciones, tienen una variedad de sonidos y se ha llamado “canción” a las más prolongadas, que ocurren en secuencias largas y fijas y se repiten con considerable precisión cada pocos minutos, la canción consta de notas individuales o unidades que forman frases repetitivas llamadas temas (Payne y McVay, 1971). La funcionalidad de la canción no es totalmente conocida, pero se ha encontrado que probablemente funciona para atraer a las hembras o mediar interacciones entre machos (Herman, 2017).

2.4. Ecología del paisaje acústico

Algunos de los principios básicos de la ecología del paisaje acústico coinciden con los de la ecología del paisaje; por ejemplo, la asignación de un paisaje a un contexto geográfico y la relación de algunos procesos antropogénicos, biológicos y patrones espectrales/temporales en el paisaje sonoro, estos pueden alterar patrones y procesos por escalas, interacciones entre factores biológicos y antropogénicos y la forma en que son percibidas por los organismos, en la configuración espacial (Pijanowski et al., 2011).

Muchos organismos marinos, incluidos invertebrados, peces y mamíferos forman ese paisaje acústico, con sonidos naturales biológicos como las vocalizaciones y estridulaciones, otros sonidos naturales no biológicos son producidos por la precipitación, olas o viento (Pijanowski et al., 2011). Las señales acústicas en el medio marino facilitan procesos biológicos y ecológicos para muchas especies, algunos son la reproducción, las interacciones depredador-presa, la navegación y la selección de hábitat (Richardson et al., 1995). Se ha encontrado que en peces por ejemplo que la interacción depredador presa se ve impactada por el ruido de el bote, favoreciendo al depredador (Simpson et al., 2016). Finalmente, la

interacción entre la biofonía, geofonía y antropofonía determinan los niveles de sonido del paisaje (Haver et al., 2018).

En invertebrados como los camarones, por ejemplo, se genera un sonido de “chasquido” al romper las burbujas de aire y es lo suficientemente intenso como para aturdir a las presas, aunque puede tener otras funciones biológicas adicionales no muy conocidas (Pijanowski et al., 2011). En peces existe el sonido de estridulación, un sonido mecánico generado gracias a las aletas pectorales, también, sonidos producidos por músculos especializados que hacen vibrar la vejiga natatoria que se encuentra llena de gas y sonidos generados por la contracción muscular producida cuando el pez gira rápidamente (Pijanowski et al., 2011). Los sonidos se asocian con la defensa territorial, la selección de pareja y la selección del hábitat, se ha demostrado que, los hábitats individuales de los arrecifes tienen particularidades acústicas que varían con el tiempo, a nivel espacial y con la salud del arrecife; algunas especies tanto de invertebrados como de vertebrados, se sienten atraídos sobre la base del sonido (Montgomery y Radford, 2017).

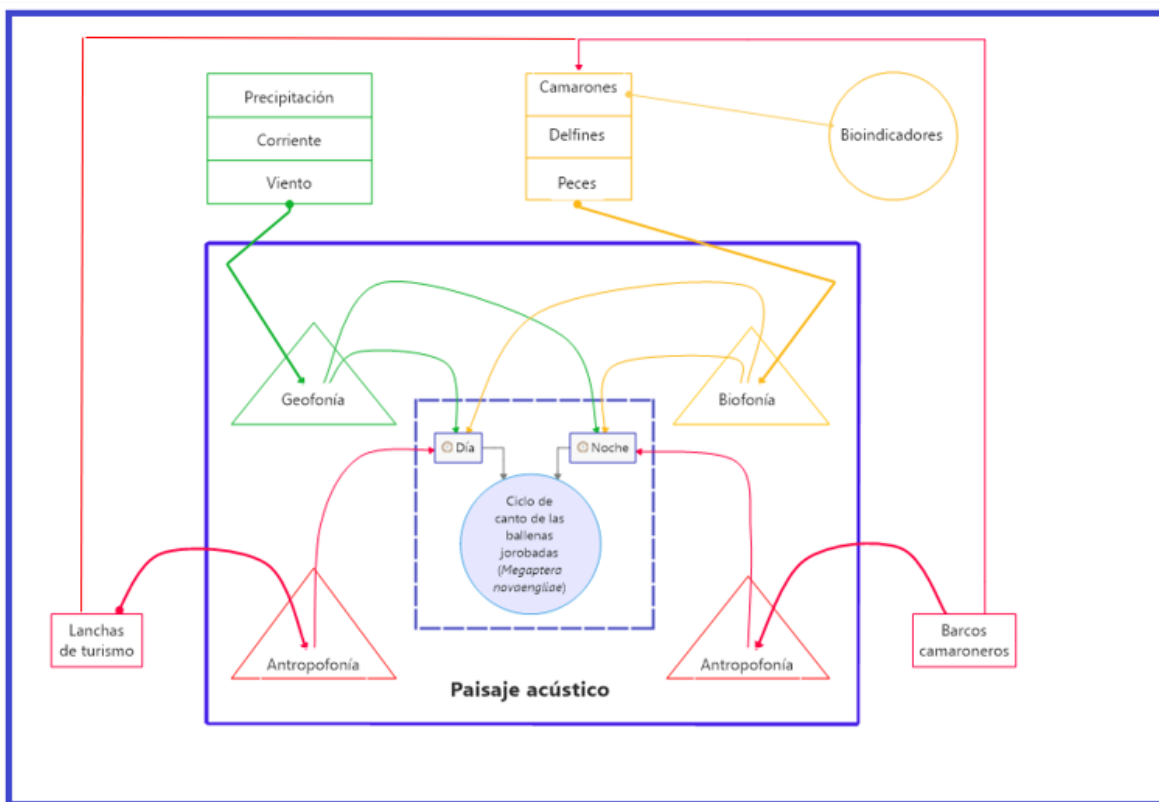


Figura 1. Diagrama que integra los conceptos principales del problema de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

Referencias

- Aparicio, J., García, E., Jiménez, A., & Álvarez, F. (2010). Modelos de Propagación de Señales Acústicas en Entornos Subacuáticos. *Gigatronic, mayo-septi*, 40–43.
- Aulanier, F., Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., & Bandet, M. (2017). Effects of shipping on marine acoustic habitats in Canadian Arctic estimated via probabilistic modeling and mapping. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1–2), 115–131. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.002>
- Avila, I. C., Correa, L. M., & Parsons, E. C. M. (2015). Whale-watching activity in bahía málaga, on the pacific coast of colombia, and its effect on humpback whale (*Megaptera Novaeangliae*) behavior. *Tourism in Marine Environments*, 11(1), 19–32. <https://doi.org/10.3727/154427315X14398263718394>
- Bejder, L., Videsen, S., Hermannsen, L., Simon, M., Hanf, D., & Madsen, P. T. (2019). Low energy expenditure and resting behaviour of humpback whale mother-calf pairs highlights conservation importance of sheltered breeding areas. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36870-7>
- Buckingham, M. J. (1980). *Geoacoustic Parameters of Marine Sediments : Theory and Experiment*. 5, 1–15. <https://doi.org/10.1121/1.385100>
- Capella, J., L. Florez-Gonzalez, P. Falk & G. A. Cells. (1998). Population size of Southeastern pacific humpback whale stock. It is recovering? Pag. 23. En Abstracts World Marine Mammal Science Conference, Monaco. 159 p.
- Cholewiak, D., Clark, C. W., Ponirakis, D., Frankel, A., Hatch, L. T., Risch, D., Stanistreet, J. E., Thompson, M., Vu, E., & Parijs, S. M. Van. (2018). Communicating amidst the noise: modeling the aggregate influence of ambient and vessel noise on baleen whale communication space in a national marine sanctuary. *Endang Species Res*, 36, 59–75. <https://doi.org/10.3354/esr00875>
- Clapham, P. J., & Mead, J. G. (1999). *Megaptera novaeangliae*. *Mammalian Species*, 604, 1–9.
- Clapham, P. J. (2000). The humpback whale: seasonal feeding and breeding in baleen whale, 173-196. In: J. MANN; R.C. CONNOR; P.L. TYACK y H. WHITEHEAD (Eds). *Cetacean Societies – field studies of dolphins and whales*. Chicago, University of Chicago Press, XIV+433p.
- Díaz, M. (2015). Afectación y protección de ecosistemas marino-costeros en Colombia. *Verbum*, 10(10), 95-116.
- Florez-Gonzalez, L., Avila, I.C., Capella Alzueta, J., Falk R, P., Felix, F., Gibbons, J., Guzman, H.M., Haase, B., Herrera C, J.C., Pena, V., Santillan, L., Tobon B,I.C., Warebeek, K.V. (2007). Estrategia para la conservación de la ballena jorobada del

- Pacífico Sudeste. Lineamientos de un plan de acción regional e iniciativas nacionales. Fundación Yubarta. Call. Colombia. 106 p.
- Haver, S. M., Fournet, M. E., Dziak, R. P., Gabriele, C., Gedamke, J., Hatch, L. T., Haxel, J., Heppell, S. A., McKenna, M. F., Mellinger, D. K., & Van Parijs, S. M. (2019). Comparing the underwater soundscapes of four U.S. National Parks and marine sanctuaries. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUL), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00500>
- Haver, S. M., Gedamke, J., Hatch, L. T., Dziak, R. P., Van Parijs, S., McKenna, M. F., Barlow, J., Berchok, C., DiDonato, E., Hanson, B., Haxel, J., Holt, M., Lipski, D., Matsumoto, H., Meinig, C., Mellinger, D. K., Moore, S. E., Oleson, E. M., Soldevilla, M. S., & Klinck, H. (2018). Monitoring long-term soundscape trends in U.S. Waters: The NOAA/NPS Ocean Noise Reference Station Network. *Marine Policy*, 90(February), 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.023>
- Heenehan, H., Stanistreet, J. E., Corkeron, P. J., Bouveret, L., Chalifour, J., Davis, G. E., Henriquez, A., Kiszka, J. J., Kline, L., Reed, C., Hoetjes, P., & Van Parijs, S. M. (2019). Caribbean sea soundscapes: Monitoring humpback whales, biological sounds, geological events, and anthropogenic impacts of vessel noise. *Frontiers in Marine Science*, 6(JUN). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00347>
- Herman, L. M. (2017). The multiple functions of male song within the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) mating system: review, evaluation, and synthesis. *Biological Reviews*, 92(3), 1795–1818. <https://doi.org/10.1111/brv.12309>
- IDEAM. (2007). Módulo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos de “El Niño” y “La Niña” en Colombia. Bogotá. 81 p.
- INVEMAR. (2019). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2018. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 200 p.
- INVEMAR. (2020). Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. Santa Marta. 183 p.
- Kaplan, M. B., & Mooney, T. A. (2015). Ambient noise and temporal patterns of boat activity in the US Virgin Islands National Park. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1–2), 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.047>
- Kitting, C. L. (1979). The use of feeding noises to determine the algal foods being consumed by individual intertidal molluscs. *Oecologia*, 40(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/BF00388806>
- Krause, B. L., & Gage, S. H. (2003). Testing Biophony as an Indicator of Habitat Fitness and Dynamics. Natural Soundscape Vital Signs Pilot Program Report. Sequoia National Park: Wild Sanctuary, Inc.

- Kyhn, L. A., Wisniewska, D. M., Beedholm, K., Tougaard, J., Simon, M., Mosbech, A., & Madsen, P. T. (2019). Basin-wide contributions to the underwater soundscape by multiple seismic surveys with implications for marine mammals in Baffin Bay, Greenland. *Marine Pollution Bulletin*, *138*(January 2018), 474–490. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.038>
- L. Redondo, & A. Ruiz-Mateo. (2017). Ruido subacuático: fundamentos, fuentes, cálculo y umbrales de contaminación ambiental. *Ingeniería Civil*, *186*, 73–94.
- Lammers, M. O., Brainard, R. E., Au, W. W. L., Mooney, T. A., & Wong, K. B. (2008). An ecological acoustic recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other marine habitats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *123*(3), 1720–1728. <https://doi.org/10.1121/1.2836780>
- Montgomery, J. C., & Radford, C. A. (2017). Marine bioacoustics. *Current Biology*, *27*(11), R502–R507. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.01.041>
- Payne, R. S., & McVay, S. (1971). Songs of humpback whales. *Science*, *173*(3997), 585–597. <https://doi.org/10.1126/science.173.3997.585>
- Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L., Napoletano, B. M., Gage, S. H., & Pieretti, N. (2011). Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape. *BioScience*, *61*(3), 203–216. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.6>
- Pine, M. K., Schmitt, P., Culloch, R. M., Lieber, L., & Kregting, L. T. (2019). Providing ecological context to anthropogenic subsea noise: Assessing listening space reductions of marine mammals from tidal energy devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *103*(July 2018), 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.024>
- Putland, R. L., Merchant, N. D., Farcas, A., & Radford, C. A. (2018). Vessel noise cuts down communication space for vocalizing fish and marine mammals. *Global Change Biology*, *24*(4), 1708–1721. <https://doi.org/10.1111/gcb.13996>
- Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., Wasser, S. K., & Kraus, S. D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *279*(1737), 2363–2368. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2429>
- Rossi-Santos, M. R. (2015). Oil Industry and Noise Pollution in the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Soundscape Ecology of the Southwestern Atlantic Breeding Ground. *Journal of Coastal Research*, *31*(1), 184. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00195.1>
- Scheidat, M., Williams, R., Castro, C., & Gonzalez, J. (2004). Behavioural responses of

- humpback whales to whalewatching boats near Isla de la Plata, Machalilla National Park, Ecuador. *J. CETACEAN RES. MANAGE*, *January*, 11.
- Seger, K. D., Thode, A. M., Swartz, S. L., & Urbán R., J. (2015). The ambient acoustic environment in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *138*(5), 3397–3410. <https://doi.org/10.1121/1.4935397>
- Simpson, S. D., Radford, A. N., Nedelec, S. L., Ferrari, M. C. O., Chivers, D. P., McCormick, M. I., & Meekan, M. G. (2016). Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nature Communications*, *7*.
<https://doi.org/10.1038/ncomms10544>
- Sousa-Lima, R. S., & Clark, C. W. (2009). Whale sound recording technology as a tool for assessing the effects of boat noise in a Brazilian marine park. *Park Science*, *26*(1).
- Stimpert, A. K., Peavey, L. E., Friedlaender, A. S., & Nowacek, D. P. (2012). Humpback Whale Song and Foraging Behavior on an Antarctic Feeding Ground. *PLoS ONE*, *7*(12), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051214>
- Wang, Z. T., Akamatsu, T., Nowacek, D. P., Yuan, J., Zhou, L., Lei, P. Y., Li, J., Duan, P. X., Wang, K. X., & Wang, D. (2019). Soundscape of an Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) hotspot before windfarm construction in the Pearl River Estuary, China: Do dolphin engage in noise avoidance and passive eavesdropping behavior? *Marine Pollution Bulletin*, *140*(December 2018), 509–522.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.013>

Anexo 3: Metodología extendida

Área de estudio

El área de estudio es el Pacífico norte colombiano, que cuenta con una extensión de 335 km a lo largo de línea de costa, y cubre un espacio marino aproximadamente de 5,700 km² (Díaz et al., 2016). Las zonas de muestreo, Morro Mico y Nuquí, se encuentran ubicadas en el Golfo de Tribugá (Fig. 1), al sur del Parque Nacional Natural Utría. Es una de las regiones más lluviosas en el mundo, las precipitaciones anuales promedio están alrededor de los 6,000 mm (entre 5,030-7,700 mm) (IDEAM, 2005). Además, hay una aparente predisposición a incrementar los valores totales anuales, primero en el Golfo de Tribugá y luego al norte, en el Golfo de Cupica y Bahía de Humboldt (Velandia y Diaz, 2016).

En la zona se distinguen dos épocas del año que dependen del desplazamiento del frente de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT); una es de menor precipitación, entre los meses de diciembre y abril, y la otra es lluviosa, entre los meses mayo y noviembre (IDEAM, 2005). En promedio llueve entre 20 y 25 días al mes y se presentan olas de gran amplitud (hasta 2 metros); otra característica es la variación espacial y temporal de la clorofila (indicador de alta biomasa) a lo largo de la costa, y la mayor concentración de materia orgánica en Cabo Corrientes y el Golfo de Tribugá (Velandia y Díaz, 2016).

La fauna en la zona es relativamente diversa con invertebrados, peces, crustáceos demersales, especies vegetales y animales de alto valor ecológico, algunos endémicos y otros migratorios (Velandia y Díaz, 2016). Las aguas del Pacífico norte colombiano forman parte del corredor de migración de las ballenas jorobadas y, algunas áreas se distinguen por ser lugares donde las hembras acuden a parir a sus ballenatos, como la ensenada de Utría y la parte sur del Golfo de Tribugá (Velandia y Díaz, 2016).

La zona es una región rica culturalmente y con una alta expectativa de preservación, las comunidades presentes, en mayor número son de afrodescendientes cuyos territorios están reconocidos bajo la figura de tierras colectivas; la economía de la región esta soportada principalmente por la agricultura de subsistencia, la pesca artesanal, las labores asociadas con el manglar y el turismo de naturaleza (Riscales, 2007). Además, existe el Distrito Regional de Manejo Integrado Golfo de Tribugá-Cabo Corrientes (DRMI), que posee 60,183 hectáreas y es administrado por Codechocó. Es decir, que se combinan acciones de conservación con posibilidades de uso y aprovechamiento sostenible, por ejemplo, el turismo de avistamiento de ballenas.

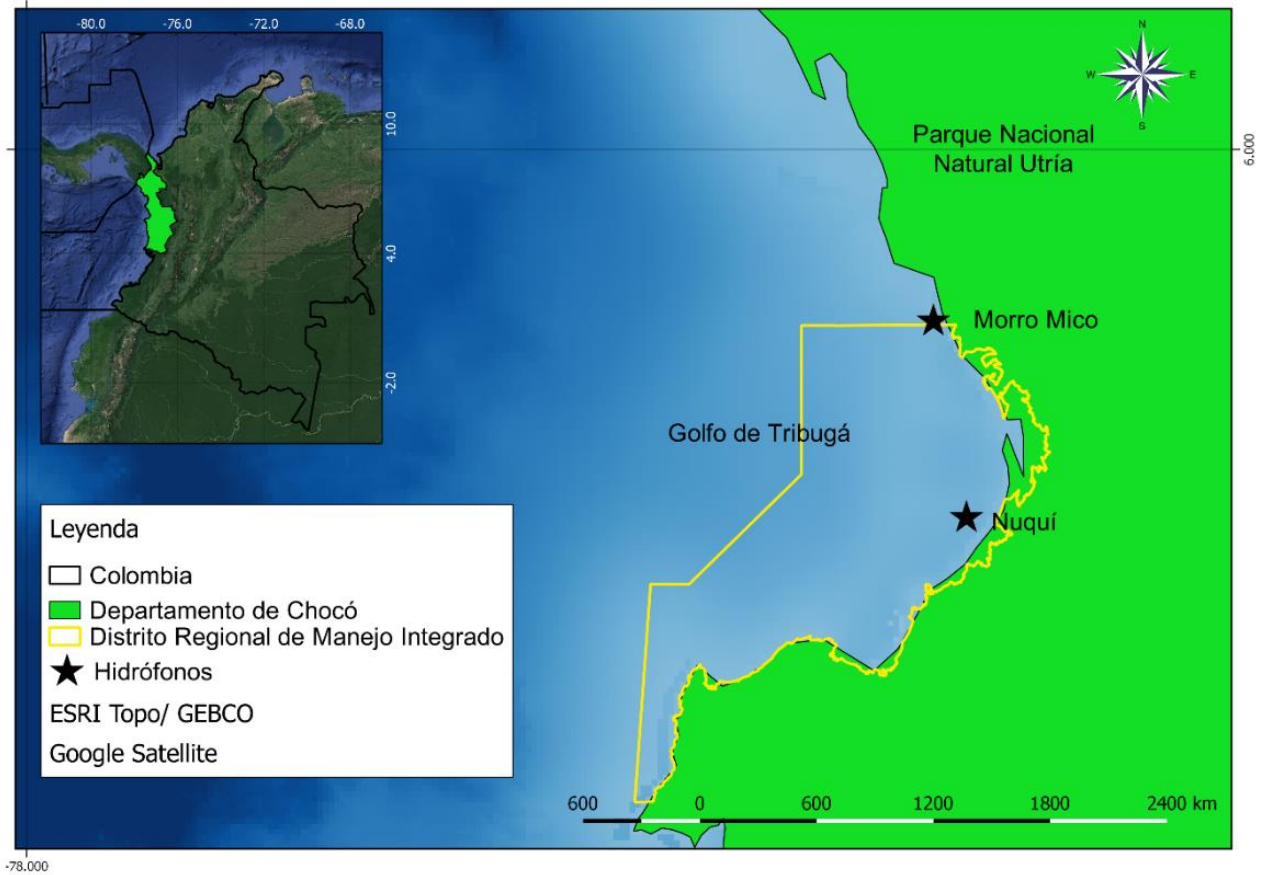


Figura 1. Área de estudio, ubicada en el departamento de Chocó, Colombia. Al sur del Parque Nacional Natural Utría y dentro del Distrito de Manejo Integrado Golfo de Tribugá-Cabo Corriente. Las estrellas indican la ubicación del hidrófono en Morro Mico y Nuquí, es decir, los lugares de muestreo.

A continuación, en la Figura 2 se presenta el diagrama metodológico. Se compone de 3 fases: La fase 1 corresponde a la recopilación de datos y análisis de espectrogramas, la fase 2 corresponde al análisis estadístico y la fase 3 al análisis acústico.

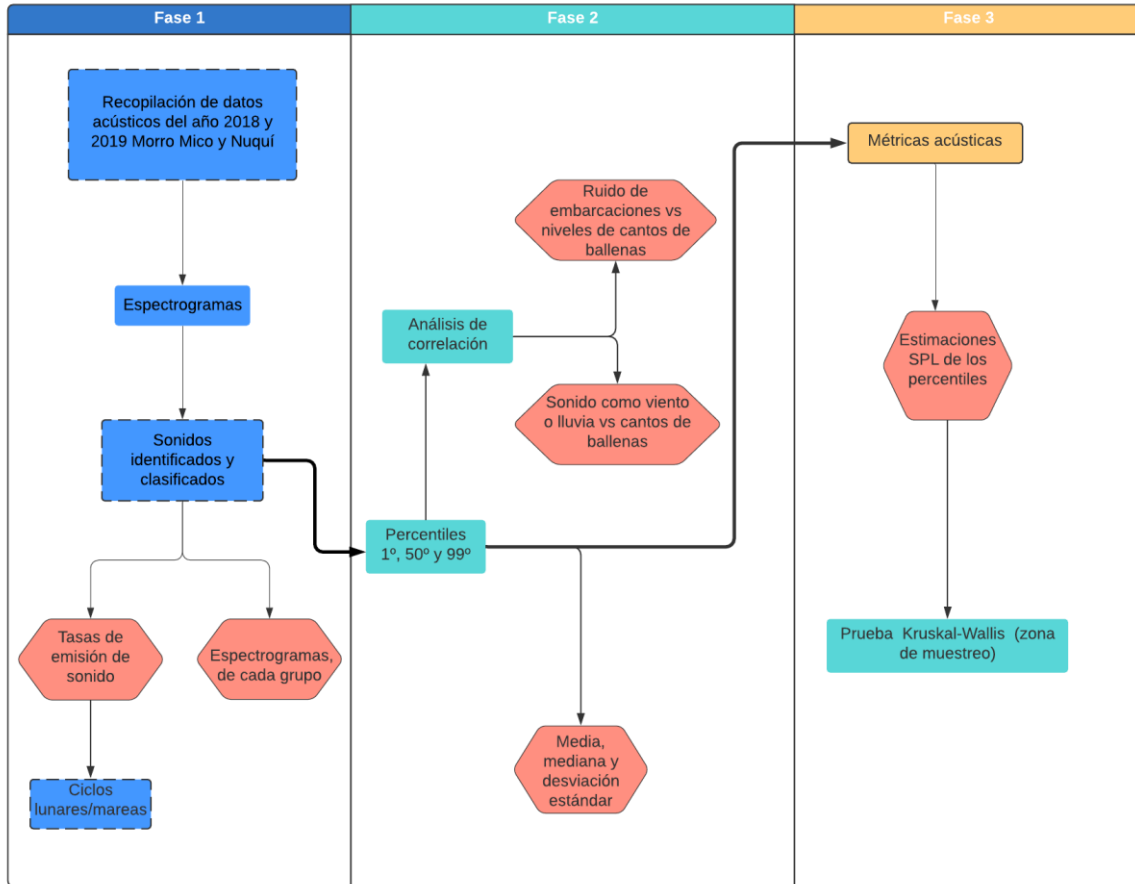


Figura 2. Diagrama metodológico.

Recopilación de datos

Se utilizó un grabador ecológico acústico (EAR), en dos zonas del Pacífico norte colombiano, Nuquí y Morro Mico y en dos años (2018 y 2019), elegidas por las características en cuanto a la presencia de actividades humanas, siendo Nuquí un área con mayor tráfico marítimo y Morro Mico una zona más alejada y cercana al Parque Nacional Natural Utría, con menos lanchas. Se programó para grabar en intervalos de 10 minutos seguidos, con lapsos de 30 minutos sin grabar, es decir un ciclo de trabajo de 33.3%. Para el año 2018 en la zona de Morro Mico se obtuvieron 1,681 grabaciones, un total de 38 días de muestreo entre el 22 de octubre y 28 de noviembre; para el 2019 se obtuvieron 3,675 grabaciones, un total de 71 días de muestreo entre el 31 de julio y 16 octubre. Por último, en la zona de Nuquí el muestreo se hizo para el año 2019 y se obtuvieron un total de 1,804 grabaciones, un total de 39 días de muestreo, entre el 31 de julio y 7 de septiembre. A continuación, en la Tabla 1 se evidencian con más detalle los periodos de muestreo.

Tabla 1. Zonas del área de estudio donde fueron tomadas las muestras en los años 2018 y 2019.

Zona	Año	Instrumento	Localización	Periodo de muestreo	Días
Morro Mico	2018	EAR	05 52'10.1''- 77 18'40.7''	22/10 a 28/11	38
Morro Mico	2019	EAR	05 52'10.1''- 77 18'40.7''	31/07 a 9/10	71
Nuquí	2019	EAR	05 43'12.2''- 77 17'10.1''	31/07 a 7/09	39

Análisis de espectrogramas

Las muestras se analizaron por medio de visualización espectral o a través de espectrogramas, es decir con la intensidad (dB) de frecuencia en hercios (Hz) y con el tiempo (s), estos dos elementos juegan un papel importante en el análisis acústico (Rossing, 2007), debido a que la visualización por medio de espectrogramas parece correlacionarse bien con nuestra percepción por lo cual, proporciona una distinción importante entre diferentes características de los sonidos (Alm & Walker, 2002). Además, el uso de espectrogramas es bastante útil para estudiar la frecuencia de modulación (Rossi-Santos, 2015). Por ejemplo, en llamadas de animales, sean de alta o baja frecuencia (Heenehan et al., 2019); algunas de las que se visualizan más fácilmente son los clics de banda ancha o las armonías sociales (Rossi-Santos, 2015).

Cada 6 horas de forma manual y empleando el software bioacústico Raven Pro (versión 1.6.1; Cornell Laboratory of Ornithology), se marcó presencia o ausencia de cada tipo de sonido. Los sonidos fueron clasificados en seis posibles grupos: ballenas, delfines, peces, viento/luvia, camarones y lanchas. Lo anterior, con el fin de evaluar y describir ciclos biológicos y patrones de temporalidad, que evidencian las tasas de emisión por sonido y permiten ver la composición del paisaje acústico en los dos años y lugares.

Análisis acústico

Las métricas acústicas son usadas para expresar el nivel de la onda y la señal, ya que puede ser impulsiva, continua o intermitente (Redondo & Ruiz, 2017). La densidad espectral de poder (PSD, en el espectrograma) se promedió cada 2 segundos para producir un nivel de presión sonora promedio, que corresponde al percentil 50 y otros percentiles como el 1 y el 99 de los 10 minutos de grabación en cada muestra, estos valores son útiles ya que se pueden graficar con el tiempo y para todos los instrumentos en diferentes zonas, para todos los años (Seger et al., 2015). Los parámetros utilizados fueron los niveles de presión de sonido (SPL), en el mar, se utiliza la referencia de 1 μ Pa, y se mide en dB re 1 μ Pa (Redondo & Ruiz, 2017). Los datos se analizaron cada 2 segundos, entre 0- 6,250 Hz y, se tomaron las distribuciones del percentil 1, 50 y 99 de las estimaciones de SPL, cada 10 minutos. A continuación, se identificaron las variaciones de las fuentes de sonido natural y antropogénico

respecto a los meses, años y horas analizadas. Lo anterior, permite hacer comparaciones entre las tendencias que se dan en el tiempo, para cada uno de los percentiles, adicionalmente comparar con la altura de la marea (metros) y el porcentaje de iluminación de la luna, puede dar más información porque permite identificar los ciclos diarios o lunares en animales o patrones en otras actividades, que hagan contribuciones al paisaje acústico. El análisis se realizó empleando el software R© (versión 3.5.2).

Análisis estadístico

Para ver la diferencia entre las tasas de sonido emitidas por meses, se realizó una prueba de Chi-cuadrado que comparó las proporciones de sonido a lo largo del periodo de muestreo. La hipótesis nula (H_0) planteaba que no existe relación entre los meses y las proporciones de sonido, mientras que la hipótesis alternativa (H_1) presume que si existe relación entre los meses y las proporciones de sonido. Debido a que las frecuencias esperadas en algunas celdas eran demasiado pequeñas para usar la distribución chi-cuadrado se realizó una simulación de Monte Carlo (Verzani, 2014).

En la banda de 0 a 6,250 Hz promediada cada 2 segundos, se generaron los percentiles 1, 50 y 99, por medio de densidades espectrales de potencia en todas las grabaciones para comparar los respectivos niveles (Seger et al., 2015). Se realizaron análisis estadísticos descriptivos para obtener la media, mediana y desviación estándar de los percentiles 1, 50 y 99 cada 2 segundos, de los niveles de presión de sonido (SPL), de esta forma se evidencia la variación del paisaje acústico por medio de las distribuciones cada hora, mes, y año (Seger et al., 2015).

Los datos fueron analizados con la prueba de normalidad Shapiro-Wilk para determinar si las distribuciones eran normales. Los datos no se pudieron analizar con la prueba de Pearson ya que, no cumplieron con los supuestos de normalidad de pruebas paramétricas (Zar, 2013). Por lo tanto, se realizaron pruebas de correlación no paramétricas de Spearman y Kendall, en función del comportamiento de los datos (Zar, 2013; Verzani, 2014). Para los datos de Morro Mico del 2019, se realizó la prueba de correlación de Kendall, ya que presentaba muchos empates para realizar Spearman. Para los datos de Morro Mico del 2018 y Nuquí del 2019, se realizó la prueba de correlación de Spearman. Se identificó como era la relación entre el percentil que se aproximaba al ciclo de canto de las ballenas, el ruido de lanchas y el sonido del viento/lluvia. Si el coeficiente de Spearman y Kendall era = -1, la relación entre las variables era decreciente, si era = 0, no existía una relación y si era = 1, estaban fuertemente relacionados (Verzani, 2014). El valor de p que indica si la correlación es significativa, cuando $p < 0.05$ (Zar, 2013). Además, se realizó una correlación de Kendall entre el número de sonidos de ballenas y lanchas.

Por último, para probar si hubo una diferencia significativa entre las medias de los dos lugares en el año 2019, se realizó una prueba de Kruskal Wallis, tomando 0.05 como valor de significancia (Zar, 2013). La comparación se hizo únicamente entre lugares, es decir Morro Mico y Nuquí del año 2019, con las fechas que coincidían (31 de julio al 7 de septiembre). Para Morro Mico 2018 y Morro Mico 2019 no se realizó la prueba para diferencia de medias ya que los datos no fueron tomados en los mismos meses. Las medias son significativamente diferentes si $p < 0.05$. Posterior a esto, se realizó una prueba Mann-Whitney para ver cuáles

eran los grupos con diferencia estadísticamente significativa. Los análisis estadísticos se realizaron empleando el software R© (versión 3.5.2).

Referencias

- Alm, J. F., & Walker, J. S. (2002). Time-frequency analysis of musical instruments. *SIAM Review*, 44(3), 457–476. <https://doi.org/10.1137/S00361445003822>
- Díaz, J. M., Guillot, L. y Velandia, M.C. (eds.). 2016. La pesca artesanal en la costa norte del Pacífico colombiano: un horizonte ambivalente. Fundación MarViva. Bogotá. 154 p.
- Heenehan, H., Stanistreet, J. E., Corkeron, P. J., Bouveret, L., Chalifour, J., Davis, G. E., Henriquez, A., Kiszka, J. J., Kline, L., Reed, C., Hoetjes, P., & Van Parijs, S. M. (2019). Caribbean sea soundscapes: Monitoring humpback whales, biological sounds, geological events, and anthropogenic impacts of vessel noise. *Frontiers in Marine Science*, 6. DOI: 10.3389/fmars.2019.00347
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2005). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá. 217 p.
- Redondo, L. & Ruiz-Mateo, A. (2017). Ruido subacuático: fundamentos, fuentes, cálculo y umbrales de contaminación ambiental. *Ingeniería Civil*, 186, 73-94.
- Riscales. (2007). Plan de Etnodesarrollo “Visión de vida de las comunidades negras del golfo de Tribugá. 2007-2020. Nuquí. Documento interno. 336 p.
- Rossing, T.D., 2007. *Handbook of Acoustics*. New York: Springer, 1182p.
- Rossi-Santos, M. R. (2015). Oil Industry and Noise Pollution in the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Soundscape Ecology of the Southwestern Atlantic Breeding Ground. *Journal of Coastal Research*, 31(1), 184. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-13-00195.1
- Seger, K. D., Thode, A. M., Swartz, S. L., & Urbán R., J. (2015). The ambient acoustic environment in Laguna San Ignacio, Baja California Sur, Mexico. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 138(5), 3397–3410. DOI: 10.1121/1.4935397
- Verzani, J. (2014). *Using R for Introductory Statistics* (Second ed.). Chapman & Hall/CRC.
- Velandia, M. C. y Díaz, J. M. 2016. Atlas Marino-Costero del Pacífico Norte Colombiano. Fundación MarViva, Bogotá. 130 p.
- Zar, J.H. (2013). *Biostatistical Analysis: Pearson New International Edition*. Pearson Education Limited.

9. Material suplementario

Sonidos encontrados:

Nuquí



SCAN ME



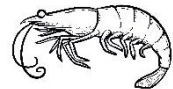
Morro Mico



SCAN ME



SCAN ME



SCAN ME



SCAN ME

