



**Caracterización del repertorio de silbidos del delfín de Guiana (*Sotalia guianensis*, Van Bénéden, 1864) en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia**

Stefania Diaz Melo

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ecóloga de Zonas Costeras

Asesora

Maria Camila Rosso Londoño, Magíster (MSc) en Sistemas Costeiros e Oceânicos

Coasesoras

Laura Johana May Collado, PostDoctor (PostDoc) en Análisis de Paisaje Sonoro para estudiar y mejorar los esfuerzos de monitoreo animal utilizando tecnología acústica pasiva

Jenny Leal Flórez, Doctor (PhD) en Ciencias Naturales Marinas

Universidad de Antioquia  
Corporación Académica Ambiental  
Ecología de Zonas Costeras  
Turbo, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Diaz-Melo, 2022)
<b>Referencia</b> <b>Estilo APA 7 (2020)</b>	Diaz-Melo, S. (2022). <i>Caracterización del repertorio de silbidos del delfín de Guiana (Sotalia guianensis, Van Bénédén, 1864) en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.



Biblioteca Sede Ciencias del Mar (Turbo)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jairo León Zapata Martínez.

**Jefe departamento:** Paula Andrea Quiceno Cuartas.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## Dedicatoria



Foto: Maria Camila Rosso Londoño

Para Ana Silvis de mi corazón y Burrito.

Con todo mi amor para ustedes.

## **Agradecimientos**

Me parece increíble haber tenido la oportunidad de trabajar con mamíferos marinos y más en una zona tan imponente como lo es Urabá. En este proyecto participaron tantos seres maravillosos que me siento agradecida con cada uno por su granito de arena.

Inicialmente quiero agradecer a mi familia, especialmente a Ana Silvis, Jossie, María y Luvin, gracias por apoyarme en este camino hacia el mar. A mi hermana, mi persona favorita en el mundo, mil gracias por enseñarme a soñar y a creer en mí, sin su apoyo no estaría donde estoy.

A Camila Rosso, mi madre delfín, infinitas gracias por ser mi guía y apoyo incondicional en este proceso. Agradezco cada salida de campo, reunión y charla que tuvimos... gracias por todas las enseñanzas, gracias por escucharme y sobre todo por apostar por mí.

A mis amigos, Dayana, Sharon, Oscar y Yerys. Son el mejor sistema de apoyo que he podido tener en mi vida, los quiero mucho y agradezco cada palabra de motivación y amor.

A Diober, Jhonny y Pedro Luis, los mejores capitanes del mundo, gracias por cuidarnos y por ser nuestros ojos en el mar. A Dairo Assia, Alejandro Sandoval, Monica Duarte, Pablo Ovalle, Yessi Causil, Gael Rosso, Fabian Hernández, Ángel Padilla, Daniel Paso, Anyi Álvarez, María Álvarez, Nelsy Negrete, Javier Niño, Angela Escobar, Sofia Escobar y Lobo, gracias por acompañarnos en la búsqueda de los delfines.

A la profe Laura May y Jenny Leal, mil gracias por su voto de confianza y disposición para corregirme, ambas son parte importante de este proyecto.

A David Luna, mil gracias por su apoyo en la parte estadística.

A mis compañeros de la U, compartimos muchas experiencias maravillosas y se han convertido en personas importantes en mi vida. A Laurita y Caro, mil gracias por aguantar mis locuras y por todo el cariño, las quiero. A Mafe, gracias por estar siempre para mí, espero que la vida nos siga permitiendo trabajar con delfines.

A todos mis profes, nutrieron mi proceso académico en cada clase. Agradecimiento total con el profe Fernando Parra por sus enseñanzas, por influir tan positivamente en mí y por ayudarme siempre que lo he necesitado. A la profe Mónica Zambrano, infinitas gracias por abrirme las puertas de su casa y de su vida, por brindarme consejo, apoyo y por tenerme siempre en cuenta.

A doña Obeida, infinitas gracias por hacerme sentir parte de su familia y por cuidarme desde que llegué a Turbo.

A Rubén Vélez, Mónica, Levi y Gina Gil por auxiliarme ante el daño de mi computador.

Finalmente, a Fundación Omacha, al grupo GISMAC-UdeA y a Crediflores por financiar las salidas de campo de este proyecto y por los equipos prestados para ejecutarlo.

## Tabla de contenido

Resumen .....	11
Abstract .....	12
1 Introducción .....	13
1.1 Planteamiento del problema .....	14
1.2 Antecedentes .....	15
1.2.1 Sotalia guianensis .....	15
1.2.2 Acústica en Sotalia guianensis .....	16
1.2.3 Efectos de embarcaciones en Sotalia guianensis .....	18
2 Justificación.....	20
3 Objetivos .....	21
3.1 Objetivo general .....	21
3.2 Objetivos específicos.....	21
4 Hipótesis.....	22
4.1 Hipótesis de silbidos y comportamiento .....	22
4.2 Hipótesis de silbidos y embarcaciones.....	22
5 Marco teórico .....	23
5.1 Sonido en cetáceos .....	23
5.2 Sonido en odontocetos .....	24
6 Metodología .....	26
6.1 Área de estudio.....	26
6.2 Toma de datos .....	27
6.3 Análisis de los datos .....	29
7 Resultados .....	32
7.1 Parámetros acústicos de silbidos emitidos por el delfín de Guiana en la bahía El Roto.....	32

7.2 Asociación entre las características de los silbidos y los comportamientos del delfín de Guiana .....	35
7.3 Cambios en la estructura de los silbidos del delfín de Guiana en El Roto en presencia de embarcaciones .....	38
8 Discusión .....	42
8.1 Parámetros acústicos de silbidos emitidos por el delfín de Guiana en la bahía El Roto.....	42
8.2 Asociación entre las características de los silbidos y los comportamientos del delfín de Guiana .....	43
8.3 Cambios en la estructura de los silbidos del delfín de Guiana en El Roto en presencia de embarcaciones .....	44
9 Conclusiones .....	46
10 Recomendaciones.....	47
Referencias .....	48

## Lista de tablas

Tabla 1 <i>Estudios acústicos de algunas poblaciones de Sotalia guianensis y rangos de frecuencia fundamental.</i> .....	16
Tabla 2 <i>Característica de las embarcaciones que inciden en el ambiente acústico de la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.</i> .....	19
Tabla 3 <i>Coordenadas geográficas que delimitan el polígono de la Bahía El Roto. Datum WGS84.</i> .....	27
Tabla 4 <i>Definición de los estados comportamentales en superficie de delfines que se tomaron como referencia para los registros en campo.</i> .....	28
Tabla 5 <i>Definición de las categorías empleadas para la clasificación de contorno de los silbidos de Sotalia guianensis.</i> .....	31
Tabla 6 <i>Estadísticos descriptivos de las variables acústicas medidas para doce avistamientos de delfines de Guiana entre abril del 2019 y marzo del 2020 en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.</i> .....	33
Tabla 7 <i>Número de silbidos analizados para cada comportamiento observado durante las grabaciones de los silbidos de Sotalia guianensis en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.</i> .....	36
Tabla 8 <i>Parámetros acústicos de los silbidos de Sotalia guianensis que presentan diferencias entre comportamientos.</i> .....	38
Tabla 9 <i>Número de silbidos analizados por cada tipo de embarcación registrada durante las grabaciones de los silbidos de Sotalia guianensis en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.</i> .....	39
Tabla 10 <i>Parámetros acústicos de los silbidos de Sotalia guianensis que presentan diferencias entre tipos de embarcación.</i> .....	41



## Lista de figuras

Figura 1 <i>Sotalia guianensis</i> (delfín de Guiana) .....	15
Figura 2 Anatomía de la producción de sonido en cetáceos. Mysticetos (Ballenas) (izq.) y Odontocetos (definidos) (der.). .....	24
Figura 3 Señales tonales y pulsadas. 1) Silbidos y 2) clics de <i>Sotalia guianensis</i> en El Roto. ....	25
Figura 4 Área de estudio .....	26
Figura 5 a. Hidrófono usado para registros acústicos de <i>S. guianensis</i> en el Roto, Golfo de Urabá, Colombia. b. Registro acústico en campo. ....	28
Figura 6 Parámetros extraídos del silbido fundamental. FI: frecuencia inicial, FMA: frecuencia máxima, FC: frecuencia central, FMI: frecuencia mínima, FF: frecuencia final, AB: ancho de banda, PI: puntos de inflexión y D: duración. ....	30
Figura 7 Esfuerzo de muestreo en el golfo de Urabá en el marco del proyecto Delfín Gris donde se incluye este estudio (izq). Avistamientos de <i>Sotalia guianensis</i> en el sector del El Roto (Puntos verdes - derecha). ....	32
Figura 8 Porcentaje de los tipos de silbidos registrados para doce avistamientos de <i>Sotalia guianensis</i> en la bahía El Roto, golfo de Urabá Colombia. ....	34
Figura 9 Tipos de silbidos emitidos por el delfín de Guiana en la bahía El Roto, golfo de Urabá: a) ascendente, b) descendente, c) continuo, d) ascendente-descendente, e) descendente-ascendente y f) multi. ....	34
Figura 10 Comportamientos de <i>Sotalia guianensis</i> en El Roto, Golfo de Urabá, Caribe Colombiano. a. alimentación, b. desplazamiento, c. socialización. ....	35
Figura 11 Distribución de valores de los parámetros acústicos de silbidos de <i>Sotalia guianensis</i> respecto al comportamiento en superficie en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia a. Frecuencia inicial, b. Frecuencia final, c. Frecuencia mínima, d. Frecuencia máxima, e. Frecuencia central, f. Ancho de banda, g. Duración. Se muestra la mediana, 25% y 75% de la distribución y valores de mínimo y máximo. ....	37
Figura 12 Tipos de embarcaciones presentes durante los avistamientos de <i>Sotalia guianensis</i> en El Roto, Golfo de Urabá, Caribe Colombiano. a. pesquera, b. turística. ....	39
Figura 13 Distribución de valores de los parámetros acústicos de silbidos de <i>Sotalia guianensis</i> respecto al ruido generado por embarcaciones en la bahía El Roto, golfo de Urabá Colombia a. Frecuencia inicial, b. Frecuencia final, c. Frecuencia mínima, d. Frecuencia máxima, e. Frecuencia central, f. Ancho de banda, g. Duración. Se muestra la mediana, 25% y 75% de la distribución y valores de mínimo y máximo. ....	40

## Siglas, acrónimos y abreviaturas

<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>Hz</b>	Hertz
<b>s</b>	Segundos
<b>ms</b>	Milisegundos
<b>m</b>	Metros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>HP</b>	Caballos de fuerza
<b>dB</b>	Decibeles
<b>μPa</b>	Micropascales
<b>FI</b>	Frecuencia inicial
<b>FF</b>	Frecuencia final
<b>FMI</b>	Frecuencia mínima
<b>FMA</b>	Frecuencia máxima
<b>FC</b>	Frecuencia central
<b>AB</b>	Ancho de banda
<b>PI</b>	Puntos de inflexión
<b>D</b>	Duración

## Resumen

Los cetáceos (delfines y ballenas) utilizan los sonidos para comunicarse, cazar y socializar. Las emisiones se han clasificado en diferentes categorías y una de ellas son los silbidos. Estos sonidos son de banda estrecha y modulados en frecuencia y han sido los más estudiados para el Delfín de Guiana (*Sotalia guianensis*). Se sabe que los silbidos varían en su estructura por factores geográficos, fisiológicos y comportamentales del delfín y por influencia de actividades antrópicas que generen ruido marino. En el golfo de Urabá reside una población de esta especie y hasta el momento no se sabía nada sobre sus características acústica. El conocimiento de este componente es importante como característica ecológica de las poblaciones y como herramienta de manejo marino costero para proteger estas especies. Este trabajo representa el primer estudio acústico para *S. guianensis* y pretende generar información sobre la estructura de los silbidos y su relación con estados comportamentales en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia. Además, busca determinar si las embarcaciones que transitan esta región modifican los parámetros acústicos de emisión. Para ello, entre abril del 2019 a marzo del 2020 se registró el repertorio de silbidos, el comportamiento superficial de los individuos, el tamaño de grupo y el tipo de embarcaciones presentes durante los avistamientos. En total se analizaron 3 horas, 27 minutos y 17 segundos de grabaciones y se encontró que estos delfines emiten silbidos en un rango de frecuencias de 1.53 a 23.04 kHz, con una duración promedio de 0.29 s, donde los contornos de tipo ascendente son los más comunes. Los comportamientos de alimentación y desplazamiento presentaron estructuras similares de silbidos y en los comportamientos de socialización se encontraron diferencias en las frecuencias mínimas e iniciales. En presencia de embarcaciones turísticas los delfines modifican la duración del silbido probablemente en respuesta a evitar gastos energéticos extras durante la perturbación acústica que genera el motor. Se hace necesario continuar con estudios acústicos y se recomiendan algunas medidas de protección de la especie basados en los hallazgos.

*Palabras clave:* acústica, silbidos, comportamiento, embarcaciones, ruido.

## Abstract

Cetaceans (dolphins and whales) use sounds to communicate, hunt, and socialize. The emission of those sounds has been classified into different categories and one of them is the whistles. These sounds are narrowband, frequency modulated, and have been the most studied for the Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*). It is known that the whistles vary in their structure due to geographical, physiological, and behavioral factors and because of the influence of human activities that generate marine noise. A population of this species resides in the Gulf of Urabá and until now its acoustic characteristics are unknown. Knowledge of this component is important as an ecological characteristic of populations and as a coastal marine management tool to protect these species. This work represents the first acoustic study for *S. guianensis* and aims to generate information on the structure of whistles and their relationship with behavioral states in El Roto Bay, Gulf of Urabá, Colombia. It also seeks to determine if the vessels that transit this region modifies the acoustic emission parameters. Between April 2019 and March 2020, the repertoire of whistles, the superficial behavior of individuals, the size of the group, and the type of boats present during the sightings were recorded. In total, 3 hours, 27 minutes, and 17 seconds of recordings were analyzed and it was found that these dolphins emit in a frequency range of 1.53 to 23.04 kHz, with an average duration of 0.29 S, where the ascending type contours are the most common. Feeding and displacement behaviors presented similar structures of whistles and during socialization, differences were found in the minimum and initial frequencies. In the presence of tourist boats, the dolphins modify the duration of the whistle, probably, to avoid extra energy costs during the noise produced by the engines. It is necessary to continue with acoustic studies and some protection measures for the species.

*Keywords:* acoustic, whistle, behavior, boats, noise.

## 1 Introducción

Los delfines son mamíferos acuáticos con amplia distribución, adaptaciones especiales al medio, reproducción lenta, tiempos de vida similares a los humanos, depredadores y en algunos escenarios pueden ser indicadores de la salud de los ecosistemas marinos (Mouton & Botha, 2012; Fossi, Bani, & Simmonds, 2020). Además, son considerados especies sombrilla, es decir, promoviendo su conservación es posible garantizar el cuidado de otras especies y sus ecosistemas (Simberloff, 1998; Bazzalo, Flores, & Pereira, 2008). Debido a su capacidad de acumular contaminantes persistentes en algunos de sus tejidos (Andre, Boudu, & Ribeyre, 1991), muchos autores los han denominado “*centinelas del ambiente marino*” (Flores Sánchez, y otros, 2018; Kehrig, y otros, 2017; Moore, 2008).

## 1.1 Planteamiento del problema

Una de las especies de delfines costeros emblemáticas de América del Sur es *Sotalia guianensis* (delfín gris o de Guiana), cuya conservación se ve amenazada por la pesca incidental, la ingesta de detritos (Guimarães, Batista, Mariani, & Vergara-Parente, 2013), el desarrollo urbano en regiones costeras, la degradación del hábitat por contaminación química a través de vertimientos (Secchi, Santos, & Reeves, *Sotalia guianensis*, 2018) y la contaminación por ruido como motores de embarcaciones (Monteiro Filho & Monteiro, 2008; Penin Garcia, 2009). Se ha clasificado a nivel internacional como Casi Amenazada (Secchi, Santos, & Reeves, 2018), a nivel nacional como Vulnerable y se encuentra en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES por sus siglas en inglés), donde se agrupan las especies “en peligro de extinción”.

En el golfo de Urabá, Caribe colombiano, existe una población de delfín de Guiana que habita el sector conocido como “El Roto” (Patiño-Perez, 2011), y hasta el momento, no se ha llevado a cabo ningún estudio acústico de ésta.

El estudio de las señales acústicas de los delfines permite identificar especies e individuos dentro de las poblaciones (Oswald, Barlow, & Norris, 2003; Caldwell & Caldwell, 1965), detectar variaciones geográficas (Morisaka, Shinohara, Nakahara, & Akamatsu, 2005) e incluso conocer el efecto de actividades antrópicas sobre éstas (Buckstaff, 2005).

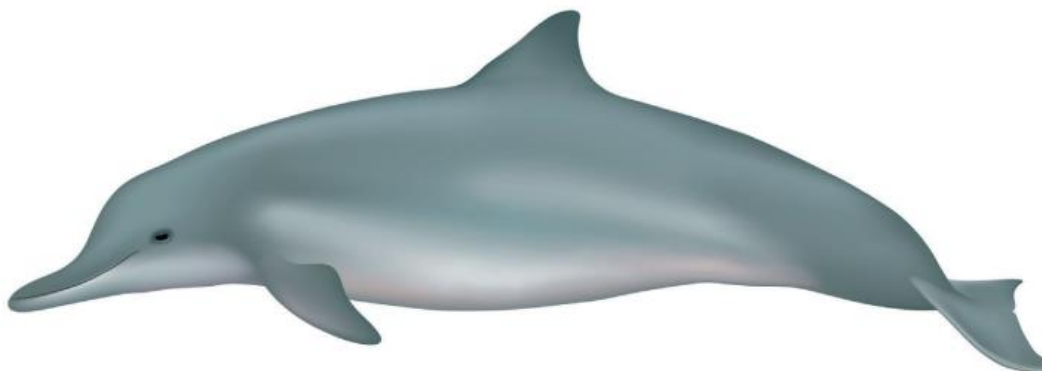
## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 *Sotalia guianensis*

*Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1874) conocida comúnmente como el delfín de Guiana o delfín gris pertenece al orden Artiodactyla y a la familia Delphinidae (Secchi, Santos, & Reeves, 2018), se caracteriza por ser un delfín pequeño que puede medir hasta 1.8 metros y pesar hasta 100 kilos, posee una coloración gris-azul en el dorso y clara en los flancos, su región ventral es de color rosado claro, tiene una aleta dorsal pequeña, triangular y de base ancha, y su melón es redondeado y sin pliegue pronunciado (Figura 1) (Caballero, y otros, 2007). La base de su dieta está compuesta por presas neríticas, principalmente de peces clupéidos y de algunos cefalópodos, camarones y cangrejos (Flores, da Silva, & Fettuccia, 2018).

#### **Figura 1**

*Sotalia guianensis* (delfín de Guiana)



*Nota.* Fuente Flores et al (2018).

Esta especie se encuentra con mayor frecuencia en estuarios, bahías, y aguas costeras someras, distribuyéndose en Latinoamérica desde Honduras hasta el sur de Brasil (Flores & Da Silva, 2009). En Colombia, se reconocen poblaciones residentes para el golfo de Morrosquillo (Ávila, 1995) y el golfo de Urabá (Patiño-Perez, 2011).

De acuerdo con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) el estado de conservación de *S. guianensis* ha cambiado en los últimos años. Entre el 2010 - 2012 carecía de datos para tener una clasificación concreta (Secchi, 2012) mientras que, en el 2018, su

estatus cambio a Casi Amenazada debido a la evidencia de disminución poblacional posiblemente dada por la exposición a contaminantes y pesca incidental (Secchi, Santos, & Reeves, 2018). En Colombia, esta especie se encuentra amenazada por la degradación de su hábitat, mortalidad por interacción con pesca y su población disminuye progresivamente, por ello, se ha categorizado como vulnerable - VU A2cde (Trujillo, Diazgranados, Garcia, & Dussan, 2006).

### 1.2.2 Acústica en *Sotalia guianensis*

Se han realizado estudios acústicos para *Sotalia guianensis* a lo largo de su distribución donde los sonidos tonales, en términos de rangos de frecuencia y duración, han sido el tipo de sonido más estudiado (Tabla 1). La población de Gandoca en Costa Rica y la de la Bahía de Guanabara en Brasil tienden a emitir silbidos más altos en casi todos sus parámetros de frecuencia y los estudios al sur de Brasil junto con la población de Venezuela presentan silbidos de mayor duración.

**Tabla 1**

*Estudios acústicos de algunas poblaciones de Sotalia guianensis y rangos de frecuencia fundamental.*

ÁREA DE ESTUDIO	FRECUENCIA MÍNIMA (kHz)	FRECUENCIA MÁXIMA (kHz)	DURACIÓN (s)	REFERENCIA
Estuario Cananéia, Brasil	1.89	44.64	0.17	Deconto y Monteiro-Filho (2017)
Bahía Guaraquecaba, Brasil	2.42	44.32	0.15	Deconto y Monteiro-Filho (2013, 2017)
Bahía Sepetiba, Brasil	1.87	44.90	0.36	Andrade et al. (2014)
Bahía Guanabara, Brasil	1.70	66.70	0.28	Andrade et al. (2015)
Bahía Benevente, Brasil	3.51	37.60	0.29	Moron et al. (2018)
Estuario Caravelas, Brasil	1.39	23.90	0.23	Garcia (2009)
Distrito de Pipa, Brasil	0.70	47.50	0.19	Martins et al. (2016)
Fortaleza, Brasil	2.44	23.84	0.25	Azevedo and Van Sluys (2005)



ÁREA DE ESTUDIO	FRECUENCIA MÍNIMA (kHz)	FRECUENCIA MÁXIMA (kHz)	DURACIÓN (s)	REFERENCIA
Sistema de Lago Maracaibo, Venezuela	1.89	21.64	0.27	Barrios-Garrido et al. (2016)
Golfo de Morrosquillo, Colombia	5,08	23,80	0.25	Bernasconi, Dussán-Duque, Di Lorio, & Passerini, 2005
Gandoca Manzanillo, Costa Rica	1.38	48.40	0.20	May-Collado and Wartzok (2009), May-Collado (2013)

La variación de los silbidos puede darse principalmente por el tipo de comportamiento que presentan los individuos y por el ruido de origen antrópico que esté presente en el ambiente. Por ejemplo, May-Collado (2013) encontró que durante el comportamiento de desplazamiento los silbidos son cortos ( $0.15 \pm 0.15$  s) y las frecuencias mínimas e iniciales son mayores ( $14.0 \pm 4.8$  kHz y  $15.1 \pm 5.3$  kHz, respectivamente) en comparación con comportamientos de alimentación y socialización. Mientras que la duración y complejidad del silbido tiende a ser mayor durante los comportamientos de alimentación ( $0.21 \pm 0.18$  s y  $0.42 \pm 0.81$  puntos de inflexión) y socialización ( $0.23 \pm 0.21$  s y  $0.64 \pm 1.41$  puntos de inflexión).

Autores como May-Collado y Wartzok (2009) y Deconto y Monteiro-Filho (2017) describen que la presencia de embarcaciones modifican la estructura de los silbidos, los delfines tienden a aumentar las tasas de emisión y cambiar las frecuencias para mantener la estructura del grupo y como estrategia para evitar el enmascaramiento por el sonido de los motores (May-Collado & Wartzok, 2009).

En Colombia, el primer estudio acústico de *Sotalia guianensis* se realizó en el golfo de Morrosquillo. Allí se encontraron silbidos con duración media de 0,25 s, frecuencia máxima de 23,8 kHz y mínima de 5,08 kHz (Bernasconi, Dussán-Duque, Di Lorio, & Passerini, 2005). Años después, Bazúa-Durán et al (2009), en la misma zona, obtuvo por primera vez reportes de frecuencias altas, mayores a 45 kHz para esta especie. Para el Golfo de Urabá este es el primer estudio sobre el repertorio acústico del delfín de Guiana.

### 1.2.3 Efectos de embarcaciones en *Sotalia guianensis*

El ruido en el medio marino ha incrementado en los últimos años por el aumento de actividades sísmicas, petroleras y portuarias y por el tráfico de embarcaciones (Rossi-Santos & Oliveira, 2016). El ruido antropogénico suele estar concentrado en las áreas costeras debido a que las actividades humanas son más frecuentes allí. En estas áreas, las embarcaciones de pesca y recreación son una de las principales fuentes de impacto (The Acoustic Ecology Institute, 2008), pues contribuyen a crear ambientes acústicos ruidosos que dificultan la comunicación de los cetáceos (Albuquerque & Souto, 2013). El ruido de las embarcaciones es generado por el fenómeno de cavitación, el cual consiste en la formación y explosión de burbujas de aire debido al movimiento apresurado de las palas de la hélice del motor, que emite en frecuencias medias y altas (por encima de los 2 kHz (Leaper, Renilson, & Ryan, 2014). Además, el aumento de la velocidad de rotación de la hélice también puede cambiar el ruido del motor a frecuencias más altas, lo que aumenta el potencial para enmascarar las señales de los delfines (Houghton, y otros, 2015). Sumado a esto, los niveles de ruido también van a depender del tipo y cantidad de motores y del tamaño de la embarcación (Rako N. , y otros, 2013).

El ruido puede generar cambios comportamentales como respuesta a afectaciones físicas y/o al enmascaramiento o superposición de las señales acústicas de los odontocetos (Evans, Canwell, & Lewis, 1992; Hermannsen, Mikkelsen, Tougaard, & Beedholm, 2019; Oakleya, Williams, & Thomas, 2017; Salgado, McCauley, Parnum, & Gavrilov, 2012). Este fenómeno de enmascaramiento sobre los sonidos que usan los individuos para comunicarse y socializar obliga a que empleen cambios de frecuencias y amplitud para evitarlo, o propicia variación en la duración y la tasa de emisión de la señal, e inclusive puede llevar a la privación de la misma; llegando a elevar sus niveles de estrés que pueden derivar en el abandono del área (Weilgart, 2007; Tyack, 2008).

Dado que el ruido antropogénico se concentra en áreas costeras, las poblaciones de *Sotalia guianensis* son especialmente susceptibles. Por ejemplo, Andrade (2014) registra un incremento en las frecuencias de los silbidos de la población de la bahía de Guanabara respecto a las de la bahía de Sepetiba y Paraty atribuido a las características acústicas del ambiente, ya que esa zona concentra altos niveles de ruido por tráfico de embarcaciones (Bittencourt L. , Carvalho, Lailson-Brito, & Azevedo, 2014). Asimismo, Albuquerque & Souto (2013) reportan que los motores son

una fuente potencial de perturbación en la comunicación acústica de los delfines puesto que las embarcaciones turísticas en el Distrito de Pipa promueven cambios en la amplitud y enmascaran las señales tonales del delfín de Guiana al emitir en frecuencias similares, que incluso, llegan a alcanzar frecuencias de hasta 40 kHz. En el Roto, el ruido antropogénico dominante se debe al tráfico de embarcaciones para pesca artesanal y el transporte de pasajeros del sector turístico. Estas embarcaciones poseen motores fuera de borda que emiten en frecuencias similares a las reportadas para el delfín de Guiana (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Característica de las embarcaciones que inciden en el ambiente acústico de la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.*

<b>Tipo de embarcación</b>	<b>Eslora (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Motor (HP)</b>	<b>Velocidad (nudos)</b>	<b>Frecuencia (kHz)</b>	<b>Intensidad (dB)</b>
Pesquera	5 - 10	1 - 3	9 - 75	8 - 15	1 - 8*	80 - 168
Turística	8 - 20	4 - 7	75 - 350	30 - 40	1 - 11*	90 - 174

*\*La frecuencia máxima del motor puede llegar a 24 kHz.*

## **2 Justificación**

Dentro del repertorio acústico del delfín de Guiana se han identificado clics, llamadas, gruñidos y silbidos (Montoya Jaramillo & Toro Botero, 2008), siendo este último el tipo de sonido más estudiado. Se sabe que los silbidos pueden variar de acuerdo con su ubicación geográfica (Rodríguez & Bazúa-Durán, 2012) y la duración y frecuencia puede variar a nivel intraespecífico donde el comportamiento es un factor importante (May Collado, 2013).

Teniendo en cuenta la importancia intrínseca y ecológica de esta especie en los sistemas costeros y las categorías de conservación en las que ha sido clasificada, es necesario generar información sobre las poblaciones del golfo de Urabá, del Caribe y del mundo. En ese sentido, esta investigación pretende responder ¿qué características presentan los silbidos del delfín de Guiana en la bahía El Roto, golfo de Urabá?

Esta información contribuirá al conocimiento de esta especie, además servirá como base para nuevas investigaciones y como herramienta para generar acciones de conservación en “El Roto”. Además, el archivo sonoro puede usarse como herramienta para fortalecer los procesos de educación ambiental y de apropiación del territorio.

## **3 Objetivos**

### **3.1 Objetivo general**

Generar una línea base de los silbidos producidos por la población de delfines de la especie *Sotalia guianensis* en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Describir la estructura acústica de los silbidos emitidos por el delfín de Guiana en la bahía El Roto.
- Identificar si hay una asociación entre las características de los silbidos y los comportamientos superficiales del delfín.
- Inferir si existen cambios en la estructura de los silbidos del delfín de Guiana en El Roto en respuesta a la presencia de embarcaciones pesqueras y turísticas.

## **4 Hipótesis**

### **4.1 Hipótesis de silbidos y comportamiento**

- Se ha registrado en diferentes regiones a lo largo de la distribución del delfín de Guiana que sus silbidos son específicos en cada categoría de comportamiento, entonces, se espera que en cada uno de los comportamientos observados en superficie, los silbidos de los delfines de El Roto presenten características específicas.

### **4.2 Hipótesis de silbidos y embarcaciones**

- El ruido de motores fuera de borda genera respuestas comportamentales y acústicas en los cetáceos por lo que se espera que en presencia de embarcaciones pesqueras y turísticas se observen variaciones en la estructura acústica de los delfines de El Roto.

## 5 Marco teórico

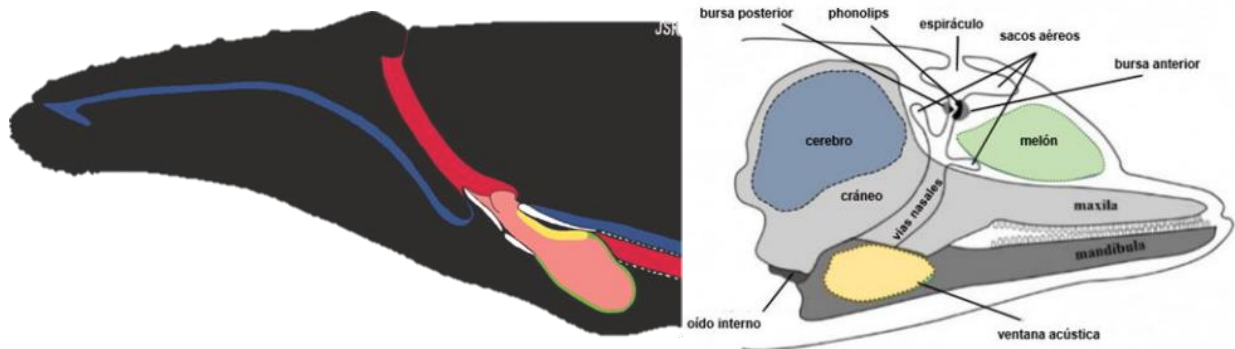
### 5.1 Sonido en cetáceos

La comunicación animal emplea modalidades de tipo visual, química y acústica (Bradbury & Vehrencamp, 2011). En el medio acuático la energía electromagnética y lumínica es atenuada mientras que la acústica tiene una mayor velocidad de propagación (1520 m/s) que en el aire (343 m/s), por ser un medio más denso. (Bauer & Westfall , 2011). Por tanto, algunos animales se han adaptado para recibir información del entorno y comunicarse predominantemente a través de la producción de sonidos (Au & Hastings, 2008).

Dentro del orden Artiodactyla se encuentran los subórdenes Mysticeti (cetáceos barbados) y Odontoceti (cetáceos dentados) (Secchi, Santos, & Reeves, *Sotalia guianensis*, 2018), estos grupos han desarrollado sistemas complejos para la emisión de sonidos (Figuro 2). Por ejemplo, los misticetos producen sus señales empleando la laringe, para ello contraen los músculos de la garganta y el pecho permitiendo que el aire circule entre los pulmones y el saco laríngeo, estas contracciones consecuentemente hacen que las paredes laterales de un pliegue en forma de U se aproximen y formen una especie de “labios”, los cuales, vibran y generan sonido cuando el flujo de aire pasa a través de ellos (Reidenberg & Laitam, 2007). Por su parte, los odontocetos producen sonido mediante un sistema de sacos nasales donde el aire pasa a través de los labios fónicos, los cuales se abren y cierran permitiendo la vibración de todo el complejo MLBD - Labios de Mono y Bursa Dorsal (dividida en bursa anterior y posterior) (Berta, Sumich, & Kovacs, 2006). Los sonidos son enfocados por el melón (estructura grasa en la parte superior de la cabeza) y la recepción sucede a través de los cuerpos grasos de la mandíbula inferior antes de ser transmitidos al oído interno (Berta, 2012) (Figura 2).

## Figura 2

Anatomía de la producción de sonido en cetáceos. Mysticetos (Ballenas) (izq.) y Odontocetos (delfinidos) (der.).



Nota. Fuente Reidenberg et al. (2007) y Kaschwitz et al. (2016) con modificaciones de Menchaca (2018) respectivamente.

Ambos grupos han evolucionado para usar el sonido durante los comportamientos biológicamente importantes como los son la alimentación, comunicación y reproducción (Berta, 2012). Los misticetos, emiten sonidos de bajas frecuencias que se extienden desde 14 Hz hasta aproximadamente 5 kHz, pero generalmente por debajo de 1 kHz para la comunicación a larga distancia debido a que tienen menor pérdida de absorción en el agua (Au W. , 2000). Los odontocetos emiten una variedad de sonidos que van desde 5 kHz hasta más de 135 kHz (Au W. , 2000) caracterizándose así por emitir sonidos ultrasónicos (Matthews, Macdonald, Rendell, & Gordon, 1999).

## 5.2 Sonido en odontocetos

Las señales acústicas que emiten los odontocetos se dividen en dos categorías: señales pulsadas y tonales (Figura 3). En las primeras se encuentran los clics de ecolocalización, sonidos pulsados y codas mientras que las últimas son conocidas como silbidos (Janik, 2009). Los “*clics*” que son pulsos de muy corta duración, alta intensidad, alta frecuencia (de 30 a 150 kHz) (Figura 3) y que pueden durar menos de un milisegundo, se utilizan para la ecolocalización, la navegación y forrajeo (Ketten, 2002; Nachtigall, 2016 & Berta, 2012). Los sonidos pulsados son pulsos de banda ancha con intervalos entre clics de 2 a 10 ms, sin embargo, también pueden ser de banda estrecha

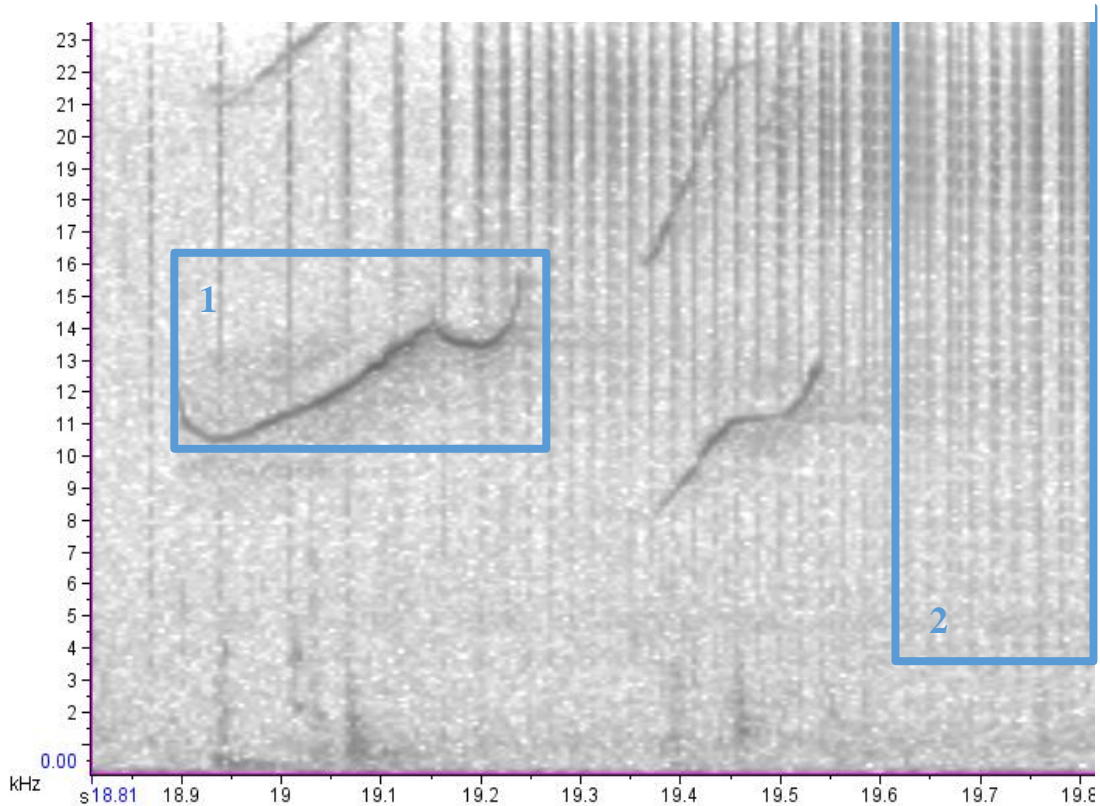


como lo es el caso de marsopas y delfines del género *Cephalorhynchus* (Lammers, Au, & Aubauer, 2004 & Morisaka, 2012). Y las codas, son patrones de series de 3 a 40 clics de banda ancha que duran generalmente menos de 3 segundos, se usan en actividades sociales y son específicas para los cachalotes (Watkins y Schevill 1977).

Por su parte, los silbidos (Figura 3) se caracterizan por ser sonidos de banda estrecha y modulados en frecuencia (May-Collado & Wartzok, 2008), suelen estar en el rango de 0,5– 40 kHz (Berta, 2012) y pueden poseer armónicos; su función suele atribuirse a la cohesión de grupo e incluso para el reconocimiento individual a través de los “silbidos firma” (Janik, 2009). La hipótesis del “silbido firma” sugiere que es un sonido con características distintas para cada animal, produciendo un patrón único de contorno que permite diferenciar a cada individuo (Caldwell & Caldwell, 1965), esta se ha estudiado principalmente en *Tursiops truncatus*, sin embargo, se ha observado también para la población de *Sotalia guianensis* de Ilhéus, Brasil (Lima & Le Pendu, 2014).

### Figura 3

Señales tonales y pulsadas. 1) Silbidos y 2) clics de *Sotalia guianensis* en El Roto.

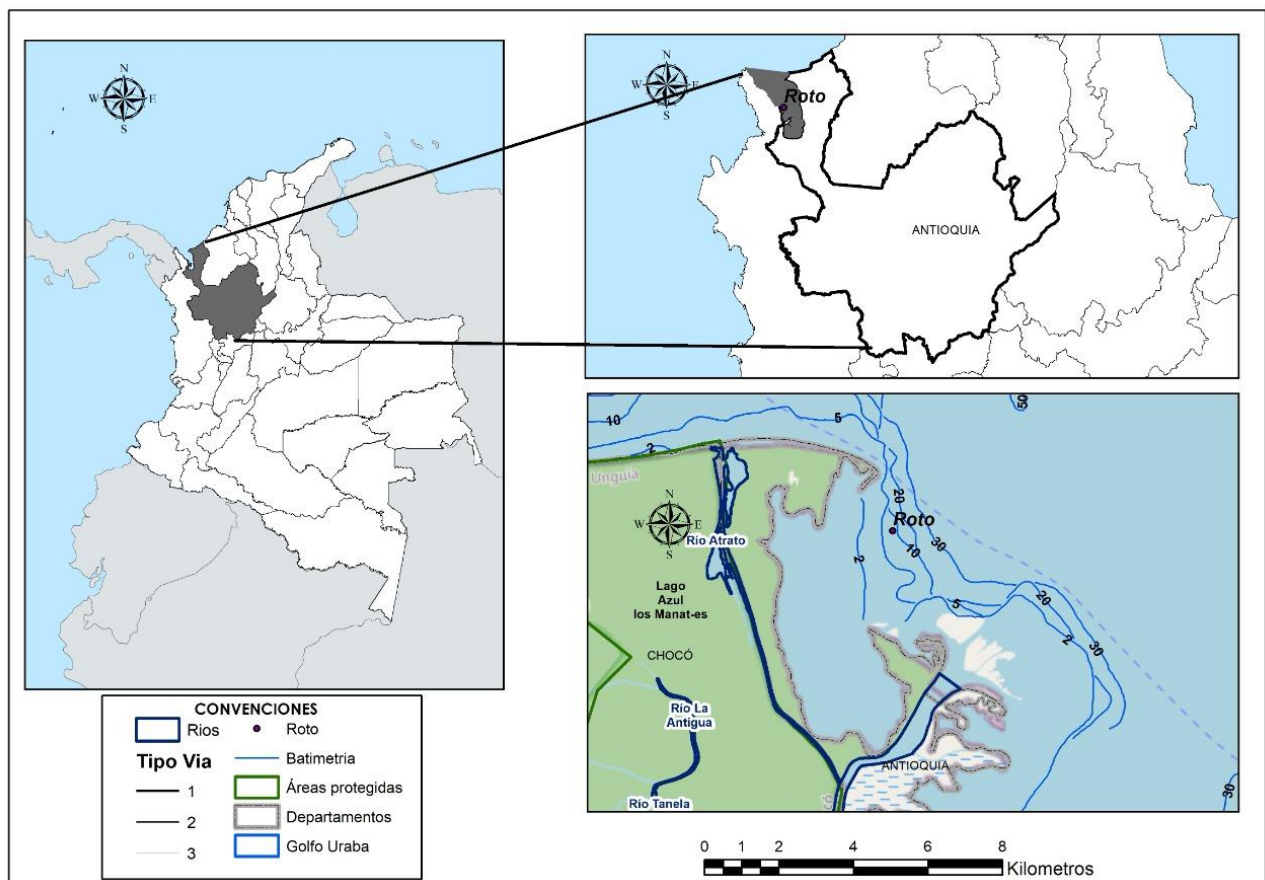


## 6 Metodología

### 6.1 Área de estudio

El Roto es una bahía localizada en la zona suroccidental del golfo de Urabá, entre los departamentos de Chocó y Antioquia (Figura 4). Tiene un área aproximada de 24 km<sup>2</sup> que varía según la época del año y cuyas coordenadas se presentan en la Tabla 3. El centro poblado con el mismo nombre cuenta con 168 habitantes y pertenece a la jurisdicción del municipio de Turbo, dentro del territorio antioqueño (Taborda-Marín, Maldonado-Lizarazo, & Palacios-Baena, 2008).

**Figura 4**  
*Área de estudio*



**Tabla 3**

*Coordenadas geográficas que delimitan el polígono de la Bahía El Roto. Datum WGS84.*

Punto	Latitud	Longitud	Punto	Latitud	Longitud
1	8° 09.536'	76° 56.663'	7	8° 06.682'	76° 54.304'
2	8° 08.131'	76° 53.860'	8	8° 05.978'	76° 55.173'
3	8° 08.137'	76° 54.047'	9	8° 05.865'	76° 56.903'
4	8° 07.361'	76° 53.791'	10	8° 06.188'	76° 56.337'
5	8° 07.126'	76° 53.771'	11	8° 06.957'	76° 56.179'
6	8° 06.876'	76° 53.949'	12	8° 07.805'	76° 57.018'

La zona presenta una precipitación anual de 2000 a 3000 mm, temperaturas mayores a los 24°C (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2012) y sus aguas estuarinas tienen baja salinidad (menor a 0.2) y transparencia debido a los aportes constantes del río Atrato (Blanco-Libreros & Londoño-Mesa, 2016). En la bahía se desarrolla la pesca artesanal, y se han registrado los valores más altos de diversidad y las capturas más altas entre 11 lugares de desembarco en la región antioqueña del Golfo analizados en el año 2016 (Universidad de Antioquia, Sistema General de Regalías, & Gobernación de Antioquia, 2017).

## 6.2. Toma de datos

Entre abril del 2019 y marzo del 2020, en el marco del Proyecto Delfín Gris se realizaron recorridos en el golfo de Urabá en los cuales siempre se incluía la bahía de El Roto haciendo transectos en Zig Zag (Figura 7) desde una embarcación de 10 metros de eslora, 1.1 metros de ancho y motor fuera de borda de 80HP a una velocidad máxima de 8 nudos. Estos recorridos se realizaron en condiciones de mar en calma (Beaufort  $\leq 3$ ).

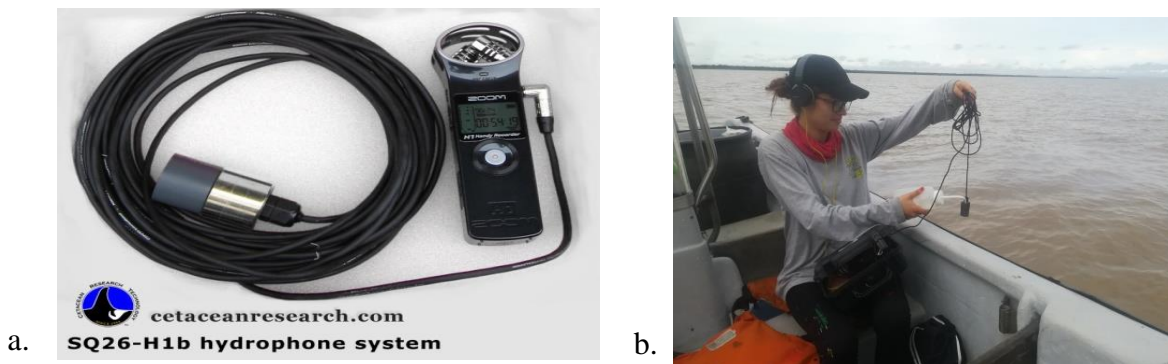
Cuando ocurría un encuentro con delfines, se procedía a acercar la embarcación, apagar el motor e introducir un hidrófono a 2 metros de profundidad para el registro de las señales sonoras, mientras que, simultáneamente se tomaban datos del comportamiento predominante que exhibían en superficie (Romero-Mujali, Tárano, & Cobarrubias, 2014; Deconto & Monteiro-Filho, 2013). Las grabaciones se realizaron a una distancia máxima de 100 m de los delfines y se interrumpieron

cuando no se percibían sus señales sonoras y cuando no era posible identificar sus comportamientos. Así que, cuando fue posible detectar nuevamente al grupo, la embarcación se reposicionó cerca a estos para continuar con la grabación. En caso contrario, se continuó el recorrido por la bahía (Figura 5).

Los registros acústicos se hicieron en archivos continuos de 2 a 5 minutos, en formato digital WAV y a una tasa de muestreo de 48 kHz con resolución a 24 bits utilizando un sistema de grabación SQ26-H1, que consta de un hidrófono omnidireccional SQ26-08 con respuesta de frecuencia de 0.020 a 50 kHz, -194 dB, re 1V/ $\mu$ Pa, que va conectado a una grabadora Zoom H1n (Figura 5).

**Figura 5**

*a. Hidrófono usado para registros acústicos de S. guianensis en el Roto, Golfo de Urabá, Colombia. b. Registro acústico en campo.*



Los comportamientos fueron identificados teniendo en cuenta las descripciones de la Tabla 4. Adicionalmente, se tomaron datos del número de individuos, la composición del grupo (madre-cría) y tipo de embarcaciones presentes durante la grabación.

**Tabla 4**

*Definición de los estados comportamentales en superficie de delfines que se tomaron como referencia para los registros en campo.*

Comportamiento	Descripción
Alimentación	Inmersiones cortas y asincrónicas, movimientos en distintas direcciones (excepto en la pesca grupal) resultantes de la persecución de presas; con mucha frecuencia, las aves están asociadas con este comportamiento (Daura Jorge, Rossi-Santos, Wedekin, & Simões-Lopes, 2007).

Comportamiento	Descripción
Desplazamiento	Movimiento de todo el grupo en una sola dirección de forma sincrónica a menudo a una velocidad constante y presentando saltos; en la superficie se observan respiraciones continuas (Daura Jorge, Rossi-Santos, Wedekin, & Simões-Lopes, 2007 y França do Nascimento, Medeiros, & Yamamoto, 2008).
Descanso	Bajos niveles de actividad en superficie; dado por movimiento lento en la superficie, aleta dorsal expuesta, cuerpo poco arqueado (Flach, Flach, & Chiarello, 2008).
Socialización	Gran actividad en superficie de varios animales, mostrando contacto cuerpo a cuerpo, saltos, persecución y golpes con la aleta caudal (Flach, Flach, & Chiarello, 2008).

### 6.3 Análisis de los datos

Los silbidos se analizaron de forma visual y audible mediante el software Raven Pro (versión 1.5; Cornell Laboratory of Ornithology), empleando una ventana tipo Hanning y una transformación fast Fournier 512-550, y un traslape de 50%.

Fueron seleccionados los silbidos de alta calidad, es decir aquellos que exhibieron un contorno espectral claro de principio a fin y que mostraran mayor intensidad respecto al ruido de fondo (Deconto & Monteiro-Filho, 2017).

Se tomó como unidad de muestreo cada avistamiento definido como cualquier agregación de 1 o más grupos<sup>1</sup> observados en aparente asociación dentro de un radio de 100 m enfocados en el mismo comportamiento (adaptado de Altmann, 1974 y Wedekin, Daura-Jorge, Piacentini, & Simões-Lopes, 2007). Durante un avistamiento, los grupos estaban cercanos y no se podía determinar cuál de ellos estaba produciendo los sonidos durante las grabaciones. Para reducir el problema de muestreo con independencia de los datos, el número máximo de silbidos analizados para cada avistamiento de delfines fue el cuádruple del número de individuos presentes en este (Azevedo & Van Sluys, 2005 y May-Collado & Wartzok, 2008).

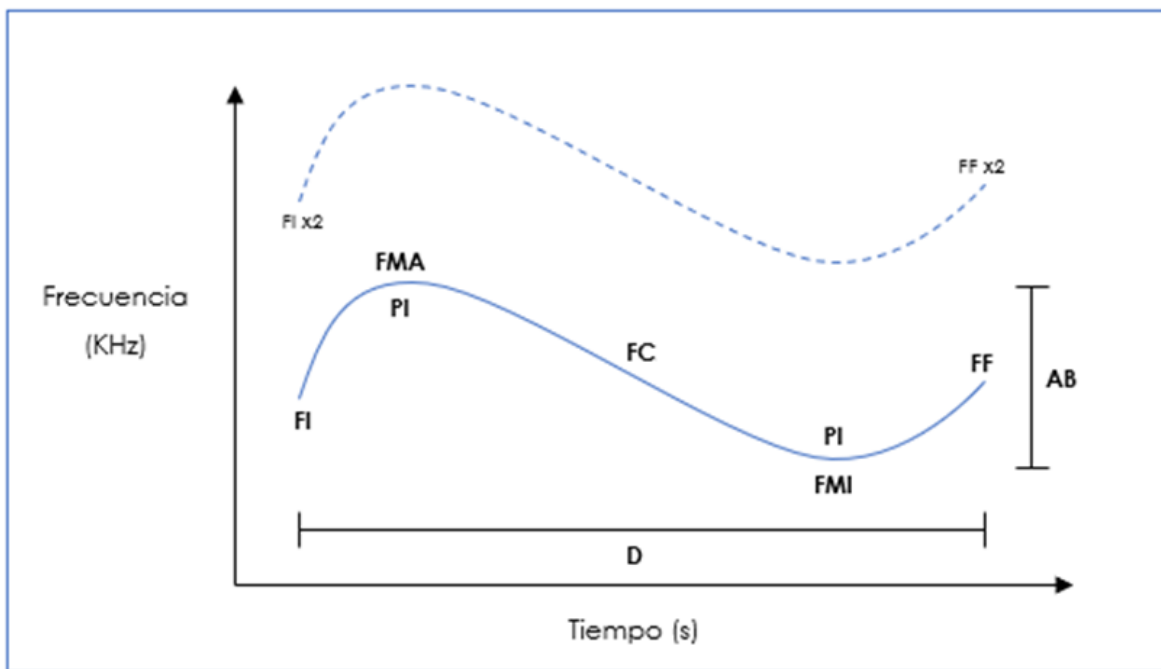
A partir del silbido fundamental, es decir, la frecuencia más baja de una forma de onda periódica, se extrajeron las variables de frecuencia inicial, final, mínima, máxima, central, ancho

<sup>1</sup> Grupo: se definió como dos o más delfines en los que cada individuo estaba dentro de los 10 m de al menos otro miembro del grupo y dentro de la misma categoría de comportamiento (Quick & Janik, 2008).

de banda<sup>2</sup> (medidos en kHz); duración (segundos) y número de puntos de inflexión<sup>3</sup> (Azevedo y Van Sluys, 2005; May-Collado y Wartzok, 2009 y May-Collado, 2013) (Figura 6). Adicionalmente, los silbidos se agruparon de acuerdo con el tipo de contorno que exhibieron: ascendente, descendente, constante, descendente-ascendente, ascendente-descendente y multi (Deconto & Monteiro-Filho, 2013) (Tabla 5). En ese sentido y con el propósito de caracterizar el repertorio de sonidos tonales del delfín de Guiana se realizaron estadísticos descriptivos (Rango, media, desviación estándar y coeficiente de variación), además, se obtuvo la tasa de emisión general y específica de los silbidos.

**Figura 6**

*Parámetros extraídos del silbido fundamental. FI: frecuencia inicial, FMA: frecuencia máxima, FC: frecuencia central, FMI: frecuencia mínima, FF: frecuencia final, AB: ancho de banda, PI: puntos de inflexión y D: duración.*



<sup>2</sup> Ancho de banda: definido como la diferencia entre la frecuencia máxima y la mínima (Romero-Mujali, Tárano, & Cobarrubias, 2014).

<sup>3</sup> Puntos de inflexión: puntos en los que la forma del contorno del silbido cambia de ascendente a descendente y viceversa (De Andrade et al., 2015).

**Tabla 5**

*Definición de las categorías empleadas para la clasificación de contorno de los silbidos de *Sotalia guianensis*.*

<b>Contorno</b>	<b>Definición</b>
Ascendente	Silbido que aumenta en frecuencia y no posee puntos de inflexión (Azevedo & Van Sluys, 2005).
Descendente	Silbido que disminuye en frecuencia y no posee puntos de inflexión (Azevedo & Van Sluys, 2005).
Constante	Silbido cuya duración cambia 1000 Hz o menos durante el 90% de la duración (Azevedo & Van Sluys, 2005).
Ascendente-descendente	Silbido con un aumento inicial de frecuencia seguido por un punto de inflexión y luego cae en frecuencia (Azevedo & Van Sluys, 2005)
Descendente-ascendente	Silbido con una disminución inicial de frecuencia seguido por un punto de inflexión y luego aumenta en frecuencia (Azevedo & Van Sluys, 2005).
Multi	Silbido con más de un punto de inflexión (Andrade, y otros, 2014).

Para comparar los parámetros acústicos y los comportamientos en superficie de la especie se usó la prueba no para métrica de Kruskal-Wallis. Debido a que las múltiples comparaciones de un mismo silbido pueden comprometer la independencia de los datos se aplicó el procedimiento de Bonferroni para ajustar el nivel de significancia ( $p < 0.01$ ) (May Collado, 2013). Para verificar entre qué comportamientos se presentaban diferencias se aplicó la prueba de Dunn.

De igual manera se realizaron estos análisis para determinar la influencia de las embarcaciones sobre los silbidos. Aunque se intentó reducir la perturbación durante los encuentros con los delfines a medida que nos acercábamos, no fue posible estimar si el barco de investigación influyó en los parámetros acústicos de los silbidos. En ese sentido, en los análisis también se consideró el barco de investigación. El tipo de embarcación presente en cada sesión de grabación se utilizó como una medida indirecta de los niveles de ruido del motor, teniendo una aproximación de estos niveles a partir de la caracterización general de las embarcaciones presentada en la Tabla 2 (May-Collado & Wartzok, 2008). Los análisis se hicieron usando el software estadístico R.

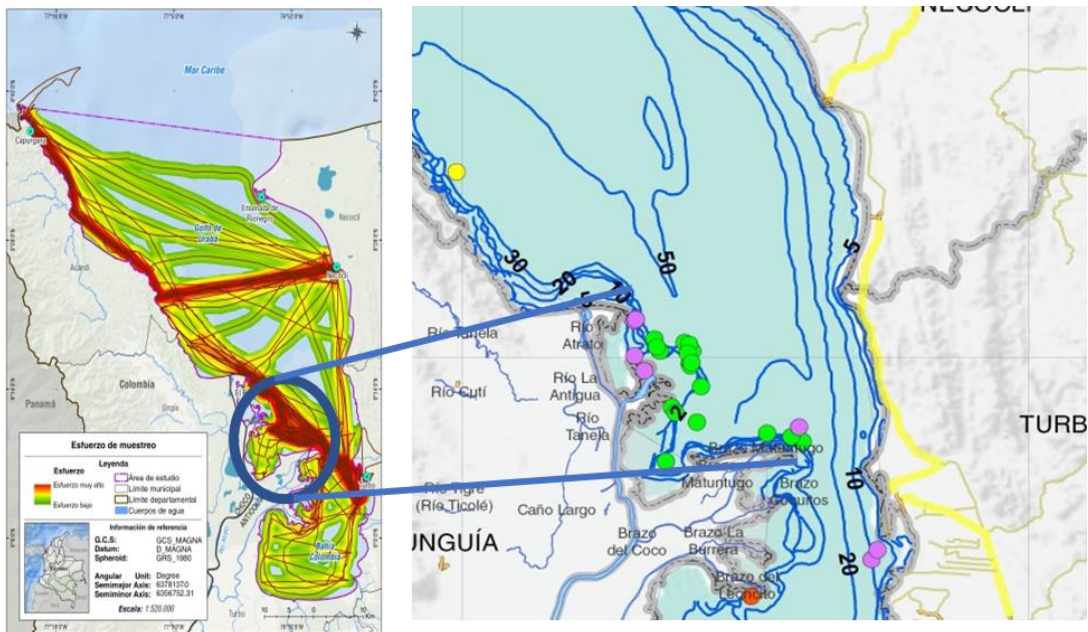


## 7 Resultados

Durante 23 salidas a la bahía El Roto (Figura 7), correspondientes a un esfuerzo de muestreo de 141.45 horas, se obtuvieron 12.51 horas (8.84%) de avistamiento efectivo para el delfín de Guiana. De 18 avistamientos registrados, se lograron grabaciones acústicas en 12. En total se analizaron 3 horas, 27 minutos y 17 segundos de grabaciones.

### Figura 7

*Esfuerzo de muestreo en el golfo de Urabá en el marco del proyecto Delfín Gris donde se incluye este estudio (izq). Avistamientos de Sotalia guianensis en el sector del El Roto (Puntos verdes - derecha).*



### 7.1 Parámetros acústicos de silbidos emitidos por el delfín de Guiana en la bahía El Roto

Se identificaron 202 silbidos con una duración promedio de  $0.29 \pm 0.13$  segundos, frecuencias iniciales y mínimas similares de  $9.59 \pm 3.36$  y  $9.28 \pm 3.16$  kHz respectivamente, y frecuencias máximas de  $17.39 \pm 4.19$  kHz (Tabla 6) y silbidos arriba del límite de detección del equipo (24 kHz). La tasa de emisión general de estas señales sonoras fue de 7.07 silbidos/minuto en los análisis generales y, se obtuvo una tasa de emisión específica de 0.04 silbidos/minuto/individuo cuando se consideró el tamaño de grupo que fue entre 8 y 24 individuos.



**Tabla 6**

*Estadísticos descriptivos de las variables acústicas medidas para doce avistamientos de delfines de Guiana entre abril del 2019 y marzo del 2020 en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.*

Contorno	F. inicial (kHz)	F. final (kHz)	F. mínima (kHz)	F. máxima (kHz)	F. central (kHz)	Ancho de banda (kHz)	Duración (s)
Ascendente (n=124)	2.06-19.13	5.53-22.41	1.76-18.81	8.07-23.04	2.77-20.77	2.02-17.29	0.02-0.69
	9.27±3.09	18.05±3.20	9.18±3.05	18.41±3.14	12.58±3.68	9.24±3.43	0.31±0.14
	0.33	0.18	0.33	0.17	0.29	0.37	0.45
Descendente (n=2)	14.39-17.77	11.39-13.64	10.94-13.41	14.97-18.45	11.72-16.45	4.03-5.04	0.10-0.16
	16.08±9.43	12.52±7.31	12.18±7.13	16.71±9.80	14.09±8.46	4.54±2.67	0.13±0.03
	0.59	0.58	0.59	0.59	0.60	0.59	0.26
Ascendente-descendente (n=20)	3.89-14.02	8.81-22.0	3.78-13.97	9.28-22.59	6.09-18.89	3.03-16.49	0.09-0.57
	9.32±3.05	15.86±3.68	9.03±2.99	16.41±3.76	13.11±3.24	7.38±3.53	0.28±0.14
	0.33	0.23	0.33	0.23	0.25	0.48	0.51
Descendente-ascendente (n=30)	6.09-17.16	12.14-22.22	5.10-15-33	12.25-22.38	6.28-20.20	1.78-13.32	0.08-0.37
	11.60±2.84	18.02±3.39	10.50±2.40	17.69±3.45	12.02±2.93	7.20±3.20	0.23±0.08
	0.25	0.19	0.23	0.20	0.24	0.45	0.36
Constante (n=12)	1.59-13.45	2.30-17.77	1.53-13.36	2.40-17.95	1.97-14.25	0.71-4.99	0.15-0.60
	6.87±4.96	7.96±5.73	6.73±5.00	8.09±5.70	7.30±5.26	1.36±1.18	0.28±0.13
	0.72	0.72	0.74	0.70	0.72	0.86	0.46
Multi (n=14)	5.77-16.13	13.69-22.03	4.99-16.10	13.11-22.29	9.42-17.86	3.28-17.04	0.15-0.58
	9.90±2.77	17.70±3.09	9.71±2.83	17.07±3.28	13.41±2.62	7.36±3.50	0.30±0.14
	0.28	0.17	0.29	0.19	0.20	0.48	0.45
<b>Total (n=202)</b>	<b>1.59-19.13</b>	<b>2.30-22.41</b>	<b>1.53-18.81</b>	<b>2.40-23.04</b>	<b>1.97-20.77</b>	<b>0.71-17.29</b>	<b>0.02-0.69</b>
	<b>9.59±3.36</b>	<b>17.15±4.20</b>	<b>9.28±3.16</b>	<b>17.39±4.19</b>	<b>12.31±3.78</b>	<b>8.11±3.82</b>	<b>0.29±0.13</b>
	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.34</b>	<b>0.24</b>	<b>0.31</b>	<b>0.47</b>	<b>0.46</b>

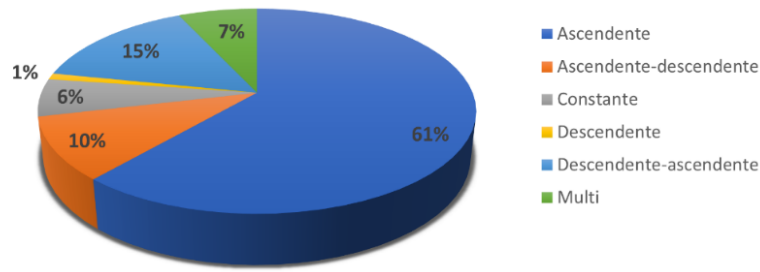
*Nota.* Rango: mínimo-máximo, promedio ± desviación estándar y coeficiente de variación; n: número de muestras.

Las características cualitativas de los silbidos permitieron que se agruparan en 6 tipos donde los contornos ascendentes (61%, n = 124) y descendente-ascendente (15%, n = 30) fueron los más frecuentes, mientras que los de tipo constante (6%, n = 14) y descendente (1%, n = 2) fueron los menos representativos (Figura 8 y Figura 9). Los contornos multi presentaron de 2 a 3 puntos de inflexión. De acuerdo con estos contornos se encontró que en promedio los de tipo ascendente y multi tienden a ser más largos ( $0.31 \pm 0.14$  s y  $0.30 \pm 0.14$  s, respectivamente), además, junto con

los de tipo descendente-ascendente presentan mayor ancho de banda y frecuencia máxima (Tabla 6).

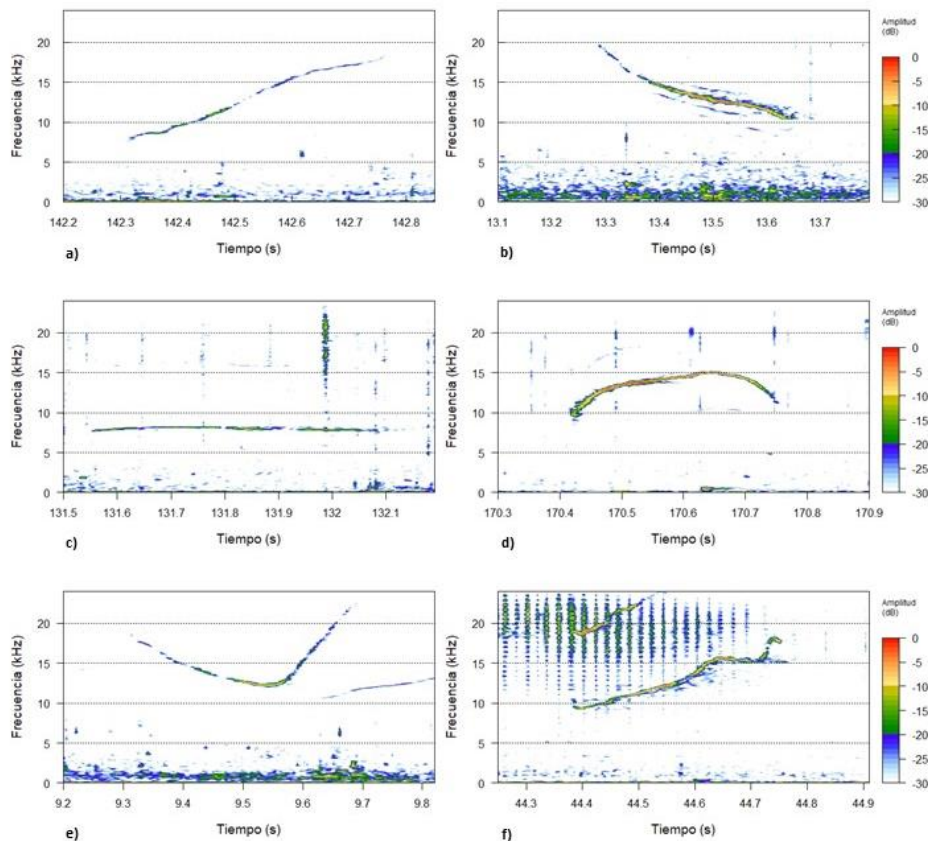
**Figura 8**

*Porcentaje de los tipos de silbidos registrados para doce avistamientos de Sotalia guianensis en la bahía El Roto, golfo de Urabá Colombia.*



**Figura 9**

*Tipos de silbidos emitidos por el delfín de Guiana en la bahía El Roto, golfo de Urabá: a) ascendente, b) descendente, c) continuo, d) ascendente-descendente, e) descendente-ascendente y f) multi.*

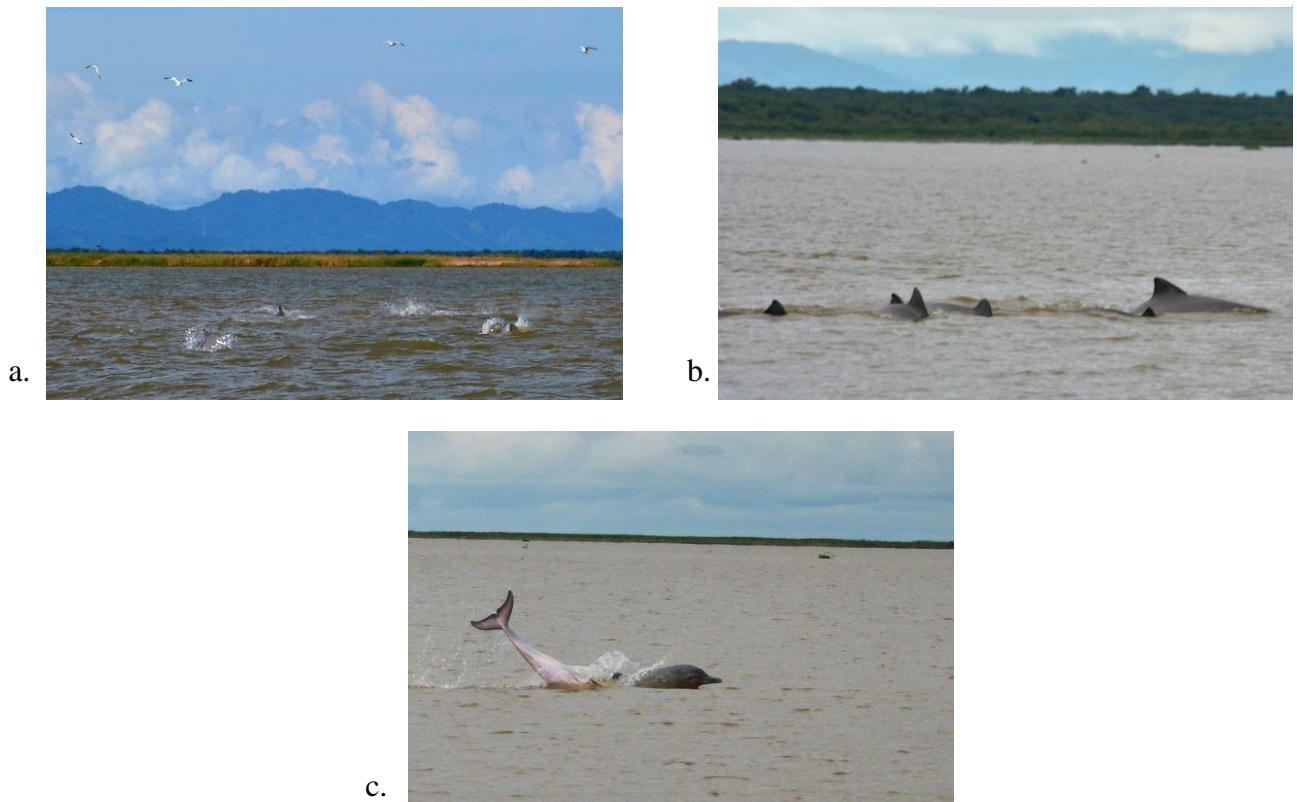


## 7.2 Asociación entre las características de los silbidos y los comportamientos del delfín de Guayana

Para las comparaciones entre comportamientos y parámetros acústicos de los silbidos del delfín de Guayana se tuvieron en cuenta 7 avistamientos, ya que para los otros se extrajeron pocos silbidos ( $n \leq 3$ ) y no era posible cumplir con el supuesto de que los silbidos analizados debían ser el cuádruple de los individuos observados. Durante las grabaciones se observaron tres comportamientos: socialización, alimentación y desplazamiento (Figura 10). En la Tabla 7 se relaciona el número de silbidos analizados en cada comportamiento.

### Figura 10

*Comportamientos de Sotalia guianensis en El Roto, Golfo de Urabá, Caribe Colombiano. a. alimentación, b. desplazamiento, c. socialización.*



*Nota.* Fuente María Camila Rosso Londoño.

**Tabla 7**

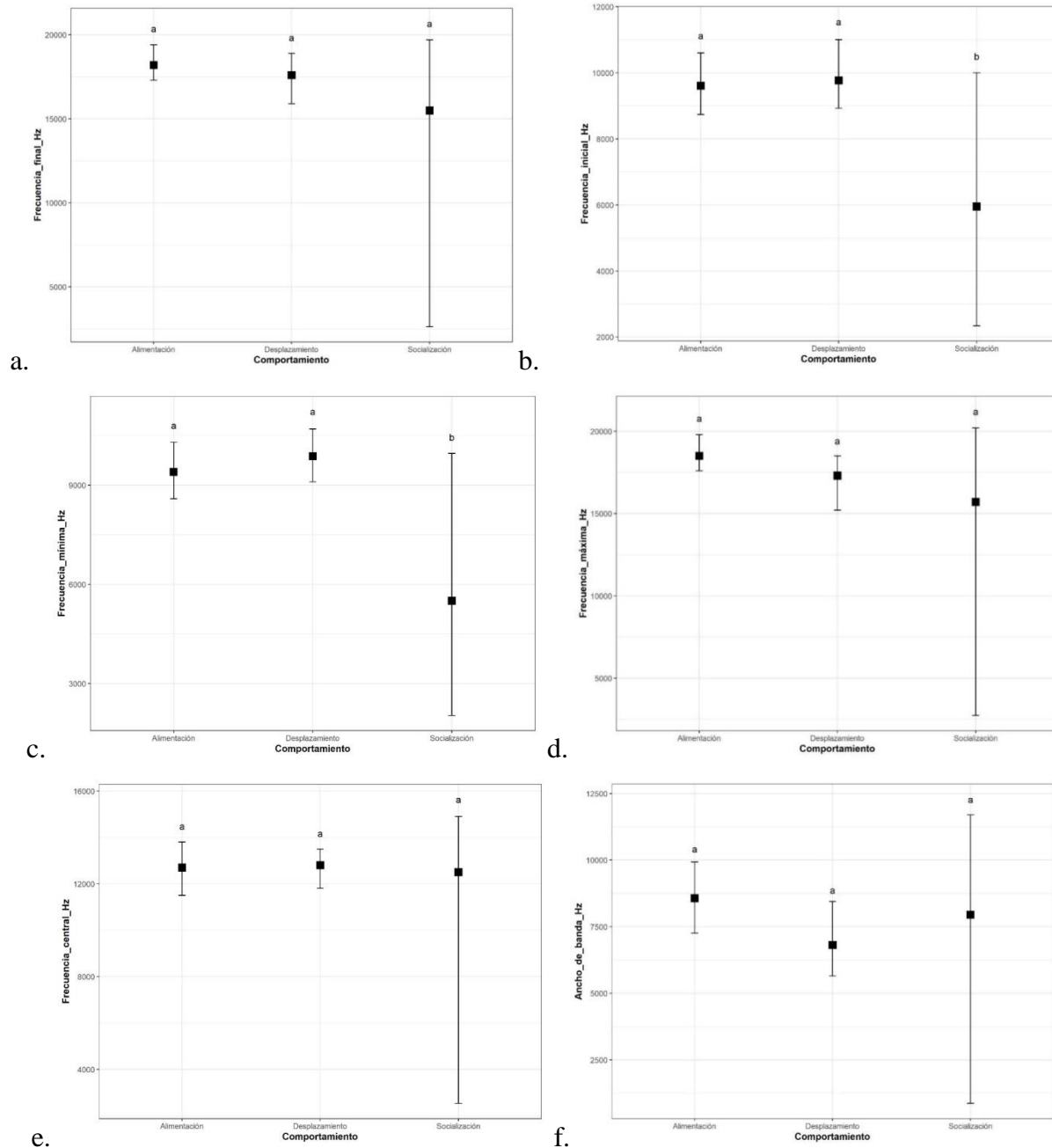
*Número de silbidos analizados para cada comportamiento observado durante las grabaciones de los silbidos de Sotalia guianensis en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.*

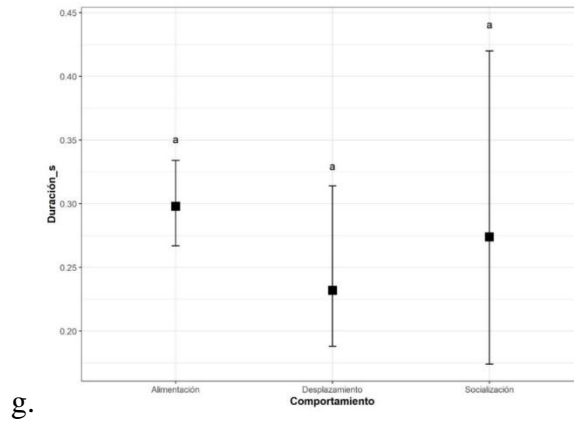
COMPORTAMIENTO	NÚMERO DE SILBIDOS
Alimentación	108
Socialización	64
Desplazamiento	17

La comparación entre los silbidos emitidos durante los tres comportamientos del delfín de Guiana presentó diferencias estadísticamente significativas con dos de los parámetros acústicos: frecuencia inicial (prueba de Kruskal Wallis,  $X^2 = 9.8$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.0075$ ) y frecuencia mínima (prueba de Kruskal Wallis,  $X^2 = 11.3$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.0035$ ) (Tabla 8). Tales diferencias se dan entre los comportamientos de alimentación y socialización (prueba de Dunn, FI:  $p = 0.0086$ , y FMI:  $p = 0.0062$ ), y desplazamiento y socialización (prueba de Dunn, FI:  $p = 0.0081$ , y FMI:  $p = 0.0028$ ) donde ambas frecuencias tienden a ser más bajas en eventos sociales (Figura 11:a,c.). Además, se observó una alta variación en las frecuencias durante actividades sociales, quizás por cambios en modulación, ya que esta varía con el comportamiento y a nivel individual (Figura 11 y Tabla 8).

## Figura 11

Distribución de valores de los parámetros acústicos de silbidos de *Sotalia guianensis* respecto al comportamiento en superficie en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia a. Frecuencia inicial, b. Frecuencia final, c. Frecuencia mínima, d. Frecuencia máxima, e. Frecuencia central, f. Ancho de banda, g. Duración. Se muestra la mediana, 25% y 75% de la distribución y valores de mínimo y máximo.





**Tabla 8**

*Parámetros acústicos de los silbidos de Sotalia guianensis que presentan diferencias entre comportamientos.*

Parámetros/valores	Kruskal Wallis			Prueba de Dunn		
	X <sup>2</sup>	df	p	Alimentación / desplazamiento	Alimentación / socialización	Desplazamiento / socialización
Frecuencia inicial	9.7773	2	0.0075 *	p = 1.0000	p = 0.0087 *	p = 0.0082 *
Frecuencia final	5.7671	2	0.0559	p = 1.0000	p = 0.0535	p = 0.2483
Frecuencia mínima	11.3182	2	0.0034 *	p = 1.0000	p = 0.0062 *	p = 0.0028 *
Frecuencia máxima	8.1638	2	0.0169	p = 0.0938	p = 0.0620	p = 0.9995
Frecuencia central	1.4611	2	0.4816	p = 1.0000	p = 0.6854	p = 0.8762
Ancho de banda	6.4106	2	0.0405	p = 0.0629	p = 0.3754	p = 1.0000
Duración	8.0236	2	0.0181	p = 0.0139	p = 1.0000	p = 0.7899

\* Diferencias estadísticamente significativa,  $p < 0.01$ .

### 7.3 Cambios en la estructura de los silbidos del delfín de Guiana en El Roto en presencia de embarcaciones

Para las comparaciones entre embarcaciones y parámetros acústicos de los silbidos de la población de delfines de El Roto se consideraron los mismos 7 avistamientos de los análisis de comportamiento. Durante las grabaciones se observaron embarcaciones pesqueras, turísticas (Figura 12) y eventos en los que ambas ocurrían, además, se consideró también el barco de investigación (con el motor apagado). En la Tabla 9 se relaciona el número de silbidos analizadas en presencia de las embarcaciones que transitaban por el área de estudio.

**Tabla 9**

*Número de silbidos analizados por cada tipo de embarcación registrada durante las grabaciones de los silbidos de *Sotalia guianensis* en la bahía El Roto, golfo de Urabá, Colombia.*

TIPO DE EMBARCACIÓN	NÚMERO DE SILBIDOS
Pesquera	88
Turística	31
Pesquera y turística	9
No: barco de investigación (motor apagado)	61

**Figura 12**

*Tipos de embarcaciones presentes durante los avistamientos de *Sotalia guianensis* en El Roto, Golfo de Urabá, Caribe Colombiano. a. pesquera, b. turística.*



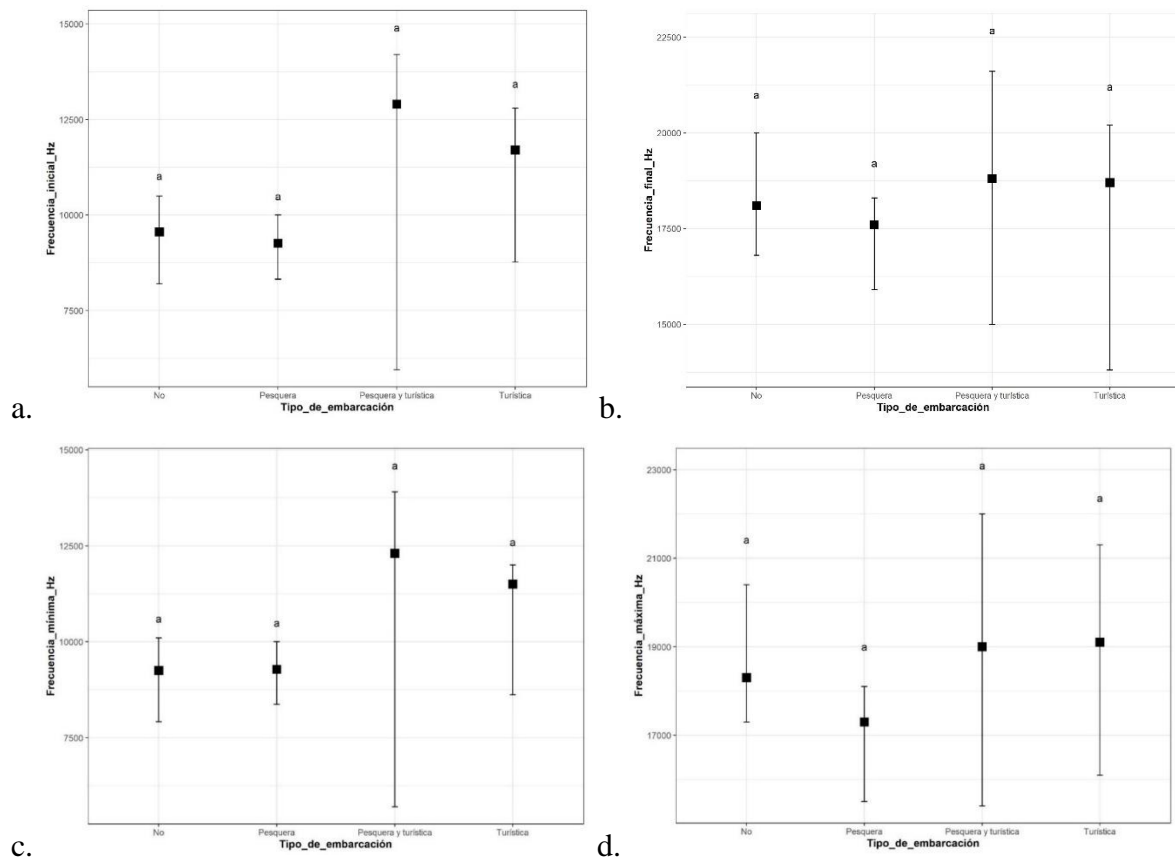
*Nota. Fuente fotos: María Camila Rosso Londoño.*

La comparación entre los tipos de embarcación solo presento diferencias estadísticamente significativas para la duración del silbido (prueba de Kruskal Wallis,  $X^2 = 23.5963$ ,  $df = 3$ ,  $p = 0.00003$ ). Tales diferencias se presentaron entre el barco de investigación (con motor apagado) y embarcaciones turísticas (prueba de Dunn, no-turística,  $p = 0.000007$ ) donde los silbidos tienden a ser más largos en ausencia de ruido, es decir, en presencia del barco de investigación; y se

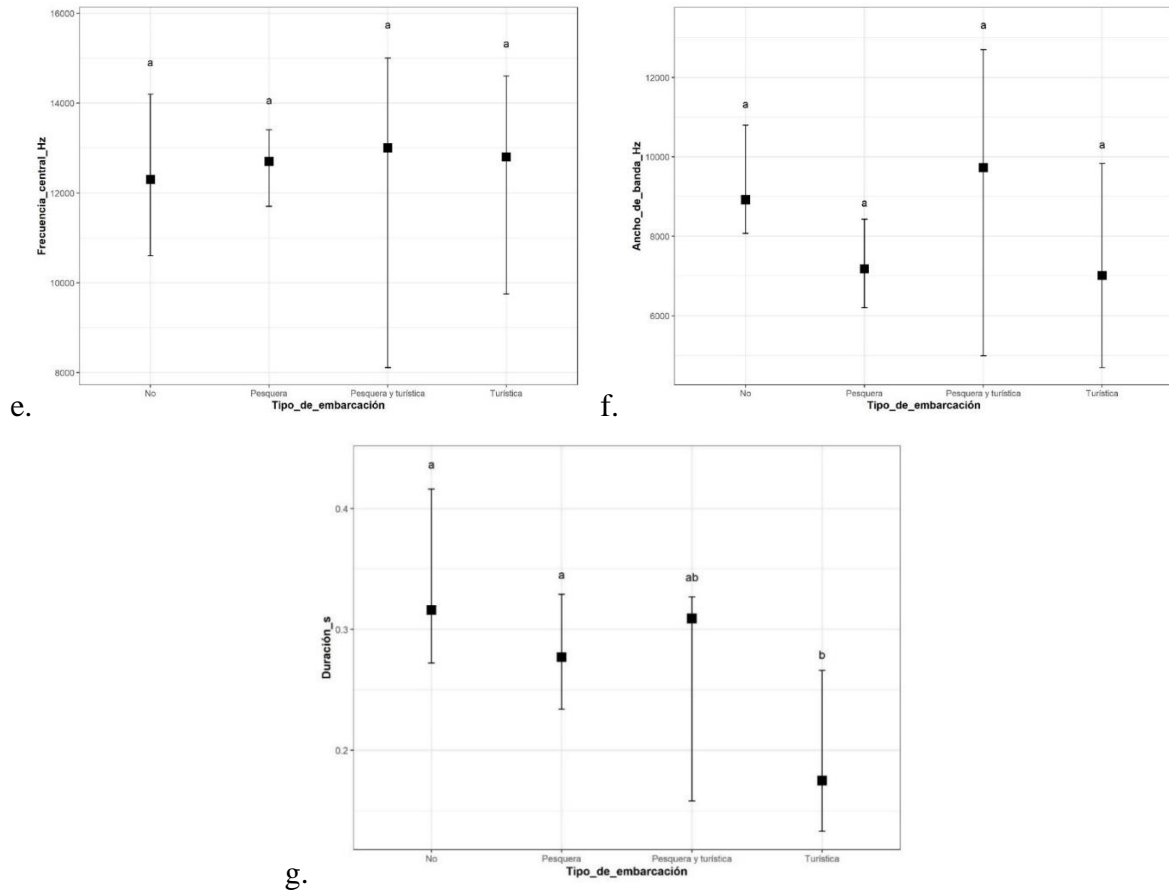
presentaron diferencias entre embarcaciones pesqueras y turísticas (prueba de Dunn,  $p = 0.0084$ ) siendo más largos en presencia de embarcaciones pesqueras (Figura 13:g y Tabla 10). Además, se observó una mayor variación en las frecuencias cuando transitaban embarcaciones pesqueras y turísticas al tiempo, quizá como estrategia para evitar el enmascaramiento de la señal (Figura 13 y Tabla 10).

**Figura 13**

*Distribución de valores de los parámetros acústicos de silbidos de Sotalia guianensis respecto al ruido generado por embarcaciones en la bahía El Roto, golfo de Urabá Colombia a. Frecuencia inicial, b. Frecuencia final, c. Frecuencia mínima, d. Frecuencia máxima, e. Frecuencia central, f. Ancho de banda, g. Duración. Se muestra la mediana, 25% y 75% de la distribución y valores de mínimo y máximo.*







**Tabla 10**

*Parámetros acústicos de los silbidos de Sotalia guianensis que presentan diferencias entre tipos de embarcación.*

Parámetros/valores	Kruskal Wallis			Prueba de Dunn (Valores p=)					
	X <sup>2</sup>	Df	p	No / pesquera	No / pesquera y turística	Pesquera / pesquera y turística	No / turística	Pesquera / turística	Pesquera y turística / turística
Frecuencia inicial	9.2061	3	0.0267	1.0000	1.0000	0.5982	0.1739	0.0415	1.0000
Frecuencia final	4.8395	3	0.1839	0.4000	1.0000	0.7286	1.0000	1.0000	1.0000
Frecuencia mínima	9.7956	3	0.0204	1.0000	0.7302	0.4647	0.1361	0.0392	1.0000
Frecuencia máxima	9.6921	3	0.0214	0.0345	1.0000	0.3685	1.0000	0.8470	1.0000
Frecuencia central	0.2424	3	0.9705	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Ancho de banda	7.6673	3	0.0534	0.0814	1.0000	1.0000	0.1873	1.0000	1.0000
Duración	23.5963	3	0.00003*	0.0959	1.0000	1.0000	0.000007 *	0.0084 *	0.6000

\* Diferencias estadísticamente significativa, p<0.01.

## 8 Discusión

Este trabajo permitió describir y comprender parte del repertorio acústico de *S. guianensis* y de las variaciones que este puede presentar en respuesta a estímulos acústicos causados por embarcaciones pesqueras y/o turísticas, repercutiendo así en sus comportamientos. En ese sentido, representa un primer acercamiento al estudio de las poblaciones de cetáceos a través de la acústica en el golfo de Urabá.

### 8.1 Parámetros acústicos de silbidos emitidos por el delfín de Guiana en la bahía El Roto

Los silbidos presentan frecuencias mayores a 24 kHz, sin embargo, debido al sistema de ancho de banda empleado no fue posible determinar la frecuencia máxima para el área de estudio donde se registró un rango de 1.53 kHz a 23.04 kHz. En el área más cercana, en el golfo de Morrosquillo se han registrado frecuencias superiores a este límite, llegando incluso a frecuencias mayores a 45 kHz (Bazúa-Durán, y otros, 2009). En Brasil se han registrado silbidos ultrasónicos con frecuencias máximas de hasta 66.7 kHz (Andrade, y otros, 2015). Para estudios futuros se recomienda ajustar un sistema de ancho de banda diferente para determinar si en el golfo de Urabá también se presenta este tipo de emisiones (May-Collado & Wartzok, 2009).

De acuerdo con la hipótesis de variación latitudinal propuesta por Rossi-Santos y Podos (2006), existe una relación en las frecuencias iniciales y mínimas para las poblaciones brasileras de *S. guianensis*, las cuales tienden a aumentar en sentido de sur a norte. Este comportamiento se ha corroborado con la población de Gandoca Manzanillo en Costa Rica (May-Collado & Wartzok, 2009). Sin embargo, dadas las frecuencias promedio iniciales y mínimas de la población de El Roto se encontraron similitudes al sur de Brasil con las poblaciones de la bahía Benevente, el estuario de Caravelas y el Distrito de Pipa (Moron, y otros, 2018; Penin Garcia, 2009; Albuquerque & Souto, 2013), por lo que, este estudio no se ajusta y refleja una discontinuidad de frecuencias entre las poblaciones de Brasil, Colombia y Costa Rica. Es importante notar que nuestro equipo de grabación estaba limitado a grabar sonidos 24 kHz para abajo, y que había silbidos cortados en las grabaciones lo que sugiere que probablemente el rango de frecuencia es más alto de lo reportado en este estudio.

Las poblaciones de la bahía de Benevente, Guanabara y del Sistema del Lago de Maracaibo presentan los silbidos de mayor duración reportados para el delfín de Guiana (Moron, y otros, 2018; Andrade, y otros, 2015; y Barrios-Garrido, y otros, 2016) y son similares a los valores encontrados para la población de El Roto. Andrade (2014) sugiere que las características de estos sonidos están relacionadas con las características acústicas del ambiente.

El delfín de Guiana emite silbidos principalmente ascendentes en el área de estudio. Esto es similar a lo encontrado para las poblaciones de Brasil (Deconto & Monteiro-Filho, 2013; Andrade, y otros, 2014), Venezuela (Barrios-Garrido, y otros, 2016) y Costa Rica (May-Collado & Wartzok, 2009), donde la especie tiende a producir contornos de baja complejidad, es decir, con pocos puntos de inflexión que comúnmente son de tipo ascendente y de corta duración. Esto podría usarse como característica distintiva para identificar a la especie y parece relacionarse con que sus sociedades son relativamente simples y no se presentan relaciones largas entre individuos como se ha detectado en otras especies con sociedades más sofisticadas que exigen sistemas de comunicación con contornos más complejos y variaciones acentuadas (May-Collado & Wartzok, 2009).

## **8.2 Asociación entre las características de los silbidos y los comportamientos del delfín de Guiana**

Estudios acústicos de *S. guianensis* se han enfocado en las características de sus sonidos y en la variación que estos presentan entre poblaciones a lo largo de su distribución (May-Collado & Wartzok, 2009; Andrade, y otros, 2014; Deconto & Monteiro-Filho, 2017). Sin embargo, para algunas poblaciones aún hay desconocimiento entorno al repertorio de silbidos y a la relación que este puede tener con el comportamiento en superficie.

Durante los registros acústicos en la bahía El Roto se observaron tres de los cuatro comportamientos descritos para esta población (Patiño-Perez, 2011), donde los silbidos en el comportamiento de socialización presentaron una frecuencia inicial y mínima más baja respecto a comportamientos de alimentación y desplazamiento. Esta situación puede deberse a: 1) el bajo número de registros de silbidos para este comportamiento pues los animales solo fueron encontrados socializando en ausencia de embarcaciones o ruido, lo que les permite usar bandas de bajas frecuencias sin que su comunicación se vea comprometida y 2) las frecuencias bajas viajan

más lejos, lo que podría indicar que durante este comportamiento se están comunicando con otros grupos de delfines y no solo entre miembros de grupos cercanos.

La población de Costa Rica presenta variaciones en la estructura del silbido durante la ejecución de comportamientos de alimentación, socialización y desplazamiento. May Collado (2013) encontró que los delfines presentan un mayor ancho de banda y números de armónicos durante eventos de socialización, señales cortas con altas frecuencias mínimas e iniciales durante el desplazamiento, y frecuencias finales bajas en la búsqueda de alimento. En la bahía El Roto, la estructura del silbido no presenta variaciones entre los comportamientos de desplazamiento y alimentación, en ese sentido, se rechaza la hipótesis de que los silbidos emitidos por el delfín de Guiana en El Roto son característicos para cada estado comportamental. Cabe mencionar que durante el comportamiento de alimentación la emisión de clics era común, lo que podría indicar que este sonido puede ser más relevante durante este comportamiento, mientras que para la socialización emplean comúnmente los silbidos (Deconto & Monteiro-Filho, 2017).

Es importante reconocer el posible sesgo en la metodología ya que durante la toma de datos puede que algunos individuos estuvieran realizando comportamientos en profundidad diferentes a los que se observaban en superficie, dificultando la correspondencia de silbidos y comportamientos (May-Collado & Wartzok, 2008). Algunos autores subsanan esto mediante el uso de cámaras subacuáticas para el registro de comportamientos en profundidad (Lopez-Marulanda, y otros, 2017); sin embargo, este método en ambientes de baja transparencia, como lo es El Roto, no es viable.

### **8.3 Cambios en la estructura de los silbidos del delfín de Guiana en El Roto en presencia de embarcaciones**

Las embarcaciones son una entrada de ruido que modifican el ambiente acústico marino y que afectan la conducta y/o fisiología de los cetáceos, (Birkun, 2002; Southall, 2005; Boyd, Boen, & Iverson, 2010). En ambientes ruidosos se han detectado efectos potenciales en pequeños cetáceos como el enmascaramiento de las señales producidas para realizar funciones biológicas (Evans, Canwell, & Lewis, 1992; Hermannsen, Mikkelsen, Tougaard, & Beedholm, 2019; Oakleya, Williams, & Thomas, 2017; Salgado, McCauley, Parnum, & Gavrilov, 2012), variación en la estructura de la señal (Bittencourt L. , Carvalho, Lailson-Brito, & Azevedo, 2014), daños en el sistema auditivo y abandono del área (Rako N. , y otros, 2013). El ambiente acústico de El Roto

está influenciado por embarcaciones pesqueras y turísticas con motores fuera de borda, los cuales pueden ser una amenaza para la población del delfín de Guiana al comprometer su comunicación o interrumpir sus comportamientos.

Los niveles de ruido generados por embarcaciones turísticas repercuten en la estructura de los silbidos de los delfines en el sector de El Roto donde tienden a ser más cortos. Los motores de este tipo de embarcación emiten en frecuencias similares a las reportadas para la especie estudiada (1 a 40kHz) (Albuquerque & Souto, 2013) por lo que la variación de los parámetros del silbido, en este caso de la duración, podría ser en respuesta a evitar un gasto energético extra al no producir sonidos más extensos. *Sotalia guianensis* es considerada como una especie esquiva (Sousa Pais, y otros, 2019) y, generalmente, durante los encuentros con ella en la bahía, se observaron comportamientos de evasión y una baja producción de sonidos, e incluso la no producción de los mismos, durante el paso de estas embarcaciones.

En el Golfo de Urabá, actualmente se planea la construcción de tres puertos (ANLA, 2017a; ANLA, 2017b; ANLA, 2016). Rosso-Londoño (2022) evaluó los niveles de impacto y los riesgos en los cetáceos generados por actividades portuarias, donde encontró que con la construcción del puerto proyectado en Bahía Colombia (parte sur del golfo) aumentará el tráfico de embarcaciones y la presión de la pesca en el sector de El Roto, lo cual modificará su ambiente acústico; así pues, la construcción y operación en conjunto de estas tres terminales portuarias suponen un riesgo mayor para la población de *Sotalia guianensis*. En un escenario ideal para la conservación de los delfines debería descartarse la construcción de los puertos pero para mitigar los impactos, se recomienda no perseguir a los animales siguiendo las recomendaciones del manual de avistamiento responsable del Ministerio del Medio Ambiente (Trujillo, y otros, 2017), controlar la cantidad de embarcaciones que pueden entrar y permanecer en El Roto, disminuir la velocidad de las embarcaciones en el área costera, apagar los motores durante las actividades pesqueras, encender los motores y mantener bajas potencias durante los primeros tres kilómetros de los recorridos (Jensen, y otros, 2009; Martins, 2010).

## 9 Conclusiones

- La población de *Sotalia guianensis* en la bahía El Roto emite silbidos en un rango de frecuencias de 1.53 kHz a 23.04 kHz, con una duración media de 0.29 segundos. Dentro de su repertorio los silbidos de tipo ascendente son los más frecuentes. Estas características están asociadas a sociedades simples y se han detectado en otras poblaciones de delfín de Guiana a lo largo de su distribución.
- La frecuencia inicial y mínima siempre es más baja durante el comportamiento de socialización. Las frecuencias bajas viajan más lejos, lo que podría indicar que durante este comportamiento se están comunicando con otros grupos de delfines y no solo entre miembros de grupos cercanos. Durante los comportamientos de alimentación y desplazamiento los silbidos mantienen la misma estructura asociado a las características del ambiente protegido de la bahía. Además, la alimentación se asocia comúnmente a clics.
- Durante la presencia de embarcaciones rápidas de tipo turístico se detectaron silbidos de menor duración como respuesta. Este comportamiento puede estar asociado a que los individuos evitan gastos energéticos adicionales en la producción de los silbidos durante la perturbación acústica del motor.
- Es vital que se continúe el estudio acústico de las poblaciones de *S. guianensis* en El Roto, debido a que los proyectos de desarrollo que se planean en el área modificarán las características acústicas del ambiente, aumentando el ruido subacuático. Esta especie se encuentra en grave peligro y es urgente tomar medidas para su cuidado y conservación.

## 10 Recomendaciones

- Futuros estudios deberían emplear tasas de muestreo como mínimo de 96 kHz para capturar frecuencias más altas del repertorio de silbidos del delfín de Guiana en El Roto.
- Realizar monitoreos acústicos que aborden todo el repertorio sonoro de *Sotalia guianensis* en El Roto para ampliar el conocimiento de su ecología.
- Realizar estudios que analicen los impactos acústicos sobre la población de delfines de El Roto, contemplando parámetros de medida de la contaminación acústica generada por las embarcaciones.
- Elaborar una línea base del paisaje acústico que compone El Roto antes de la construcción y operación de los proyectos portuarios.

## Referencias

- Albuquerque, N., & Souto, A. (2013). Motorboat noise can potentially mask the whistle sound of estuarine dolphins (*Sotalia guianensis*). *Ethnobiology and Conservation*, 1-15.
- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49(3), 227-267.
- Andrade, L., Seabra Lima, I. M., Bittencourt, L., Lemos Bisi, T., Brito Júnior, J. L., & de Freitas Azevedo, A. (2015). High-frequency whistles of Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) in Guanabara Bay, southeastern Brazil. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(1), 15-19.
- Andrade, L., Seabra, I., da Silva, H., Ramos, R., Lailson-Brito, J., Flach, L., & y de Freitas, A. (2014). Variation in Guiana dolphin (*Sotalia guianensis*) whistles: using a broadband recording system to analyze acoustic parameters in three areas of southeastern Brazil. *Springer*, 18, 47-57.
- Andre, J. M., Boudou, A., & Ribeyre, F. (1991). Mercury Accumulation In Delphinidae. *Water, Air and Soil Pollution*, 56, 187-201.
- ANLA. (2016). Resolución 0078 - Por la cuál se modifica la Licencia Ambiental otorgada mediante la resolución No032 de 2012 a Puerto Bahia Colombia de Uraba. Bogotá: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
- ANLA. (2017a). Resolución 00297 - Por la cual se otorga una Licencia ambiental a la Sociedad Portuaria de Turbo - Pisisi. Bogotá: Autoridad Ambiental de Licencias Ambientales.
- ANLA. (2017b). Resolución 1092 - Por la cual se otorga una Licencia Ambiental a la Sociedad de Proyectos e Infraestructura SPIASA-SAS. Bogotá: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.
- Au, W. (2000). Hearing in Whales and Dolphins: An Overview. En W. Au, A. N. Popper, & R. R. Fay, *Hearing by Whales and Dolphins* (págs. 1-42). New York, United States: Springer.
- Au, W. W., & Hastings, M. C. (2008). *Principles of marine bioacoustics*. New York, United States: Springer.
- Ávila, J. M. (1995). *Aspectos Biológicos y Etológicos De Delfines Costeros Con Énfasis En La Especie Sotalia fluviatilis (Delphinidae) En La Bahía De Cispatá, Caribe Colombiano (Tesis de Pregrado)*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Cartagena.



- Azevedo, A. F., & Van Sluys, M. (2005). Whistles Of Tucuxi Dolphins (*Sotalia fluviatilis*) In Brazil: Comparisons Among Populations. *Acoustical Society of America*, 117, 1456-1464.
- Bauer, W., & Westfall, G. (2011). *Física para Ingeniería y Ciencias*. Distrito Federal de México, México: McGraw-Hill.
- Bazúa-Durán, C., Vergara, V., & Dussán-Duque. (2009). *We Are Not Silent! Sotalia guianensis Calls Are Mainly Ultrasonis*. 18th Biennial Conference On The Biology Of Marine Mammals, 12-16 Oct - 09. Quebec, Canadá.
- Bazzalo, M., Flores, P., & Pereira, M. (2008). Uso De Hábitat y Principales Comportamientos Del Delfín Gris (*Sotalia guianensis*, Van Béneden, 1864) En La Bahía Norte, Estado De Santa Catarina, Brasil. *Mastozoología Neotropical*, 15(1), 9-22.
- Bernasconi, M., Dussán-Duque, S., Di Lorio, L., & Passerini, A. (2005). Vocal behaviour of marine tucuxi dolphins (*Sotalia fluviatilis*) in the Gulf of Morrosquillo, Colombia (Caribbean Sea). *16th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*, (págs. 12-16). San Diego California, USA.
- Berta, A. (2012). *Return to the Sea: The Life and Evolutionary Times of Marine Mammals*. Berkeley, United States: University of California Press.
- Berta, A., Sumich, J. L., & Kovacs, K. M. (2006). *Marine Mammals: Evolutionary Biology*. United States: Elsevier.
- Birkun, A. J. (2002). Disturbance to cetaceans in the Black Sea. . En N. di Sciara (Ed.), *Cetaceans of the Mediterranean and Black Seas: state of knowledge and conservation strategies* (págs. 7-14). Monaco: A report to the ACCOBAMS Secretariat.
- Bittencourt, L., Carvalho, R. R., Lailson-Brito, J., & Azevedo, A. F. (2014). Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. *Marine Pollution Bulletin*, 1-6.
- Bittencourt, L., Carvalho, R., Lailson-Brito, J., & Azevedo, A. (2014). Underwater noise pollution in a coastal tropical environment. *Marine Pollution Bulletin*, 83, 331–336.
- Blanco-Libreros, J. F., & Londoño-Mesa, M. H. (2016). *Expedición Caribe Sur: Antioquia y Chocó Costeros (1ed.)*. Bogotá: Secretaria Ejecutiva de la Comisión Colombiana Del Océano.
- Boyd, I. L., Boen, W. D., & Iverson, S. J. (2010). *Marine Mammal Ecology and Conservation* (Primera ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Bradbury, J. W., & Vehrencamp, S. L. (2011). *Principles of animal communication*. Massachusetts, United States: Sinauer Associates Inc.

- Buckstaff, K. C. (2005). Effects of watercraft on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science*, 20(4), 709-725.
- Caballero, S., Trujillo, F., Vianna, J. A., Barrios-Garrido, H., Montiel, M. G., Beltran-Pedreras, S., . . . Baker, C. (2007). Taxonomic status of the genus *Sotalia*: species level ranking for “Tucuxi” (*Sotalia fluviatilis*) and “Costero” (*Sotalia guianensis*) dolphins. *Marine Mammal Science*, 23(2), 358-386.
- Caldwell, M. C., & Caldwell, D. K. (1965). Individualized Whistle Contours in Bottle-nosed Dolphins (*Tursiops truncatus*). *Nature*(207), 434-435.
- Daura Jorge, F. G., Rossi-Santos, M. R., Wedekin, L. L., & Simões-Lopes, P. C. (2007). Behavioral patterns and movement intensity of *Sotalia guianensis* (P. J. van Bénédén) (Cetacea, Delphinidae) in two different areas on the Brazilian coast. *Revista Brasileira de Zoologia*, 24(2), 265-270.
- Deconto, L. S., & Monteiro-Filho, L. A. (2017). Differences In The Sounds Of Guiana Dolphin *Sotalia guianensis* (Cetacea: Delphinidae) Between Two Areas Of Southeastern And Southern Brazil. *Bioacustics*, 28, 26-41.
- Deconto, L., & Monteiro-Filho, E. (2013). High initial and minimum frequencies of *Sotalia guianensis* whistles in the southeast and south of Brazil. *Journal Acoustical Society of America*, 134(5), 3899–3904.
- DIMAR. (2018). *Respuesta a su oficio No. 182018102212\_ Solicitud de Datos para Proyecto de Investigación el “DELFIN GRIS”*. Turbo, Antioquia: Dirección General Marina.
- Evans, P., Canwell, P., & Lewis, E. (1992). An experimental study of the effects of pleasure craft noise upon bottlenose dolphins in Cardigan Bay, West Wales. *6th European Annual Conference European Cetacean Society*. San Remo, Italy: European Cetacean Society.
- Flach, L., Flach, P. A., & Chiarello, A. G. (2008). Aspects of behavioral ecology of *Sotalia guianensis* in Sepetiba Bay, southeast Brazil. *Marine Mammals Science*, 24(3), 503-515.
- Flores Sánchez, E. d., Garcia-Salinas, M. A., Delgado-Estrella, A., Calderón-Garcidueñas, A. L., Waliszewski, S., Infanzón-Ruiz, R., & Ruis.Ramos, R. (2018). Presencia de plaguicidas organoclorados en muestras biológicas de toninas (*Tursiops truncatus*) y manatíes (*Trichechus manatus manatus*) colectadas en el golfo de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34, 17-28.

- Flores, P. A., & Da Silva, V. M. (2009). Tucuxi And Guiana Dolphin - *Sotalia fluviatilis* And *Sotalia guianensis*. *Encyclopedia of Marine Mammals*, 1180-1192. Amsterdam: Academic Press. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123735539002716>
- Flores, P. A., da Silva, V. M., & Fettuccia, D. d. (2018). Tucuxi and Guiana. *Encyclopedia of Marine Mammals*, 1024-1027.
- Fossi, M. C., Baini, M., & Simmonds, M. P. (2020). Cetaceans as ocean health indicators of marine litter impact at global scale. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 255.
- Guimarães, J., Batista, R., Mariani, D., & Vergara-Parente, J. E. (2013). Ingestion Of Plastic Dbris By Estuarine Dolphin, *Sotalia guianensis*, Off Northeastern Brazil. *Arquivos de Ciências do Mar*, 46(1), 107-112.
- Hermanssen, L., Mikkelsen, L., Tougaard, J., & Beedholm, K. (2019). Recreational vessels without Automatic Identification System (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape. *Scientific Reports-Nature*, 9, 1-10.
- Houghton, J., Holt, M., Giles, D., Hanson, B., Emmons, C., Hogan, J., . . . VanBlaricom, G. (2015). The relationship between vessel traffic and noise levels received by killer whales (*Orcinus orca*). *PLos One*, 10(12), 1-20.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2012). *Zonificación Climática*. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn>
- Janik, V. M. (2009). Acoustic Communication in Delphinids. En M. Naguib , & V. M. Janik., *Advances in the Study of Behavior* (págs. 123-157). Burlington, Canada: Elsevier.
- Jensen, F. H., Bejder, L., Wahlberg, M., Soto, N., Johnson, M., & Madsen, P. T. (2009). Vessel noise effects on delphinid communication. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 161-175.
- Kehrig, H., Baptista, G., Di Benedetto, A. P., Almeida, M., Rezende, C., Siciliano, S., . . . Moreira, I. (2017). Biomagnificación De Mercurio En La Cadena Trófica Del Delfín Moteado Del Atlántico (*Stenella frontalis*), Usando El Isótopo Estable De Nitrogeno Como Marcador Ecológico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(2), 233-244.
- Lammers, M. O., Au, W. W., & Aubauer, R. (2004). *A comparative analysis of echolocation and burst-pulse clic trains in Stenella longirostris*. University of Chicago Press.
- Leaper, R., Renilson, M., & Ryan, C. (2014). Reducing underwater noise from large commercial ships: current status and future directions. *Journal of Ocean Technology*, 9(1), 50-69.

- Lopez-Marulanda, J., Adam, O., Blanchard, T., Vallée, M., Cazau, D., & Delfour, F. (2017). First Results of an Underwater 360° HD Audio-Video Device for Etho-Acoustical Studies on Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*). *Aquatic Mammals*, 43(2), 162-176.
- Martins, D. T. (2010). *Caracterização do repertório acústico do botocinza, sotalia guianensis, e impacto de embarcações no nordeste do brasil*. Tesis de maestría, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Matthews, J. N., Macdonald, D. W., Rendell, L. E., & Gordon, J. C. (1999). A review of frequency and time parameters of cetacean tonal calls. *Bioacoustics: The International Journal of Animal Sound and its Recording*, 10(1), 47-71.
- May Collado, L. J. (2013). Guyana dolphins (*Sotalia guianensis*) from Costa Rica emit whistles that vary with surface behaviors. *Acoustical Society Of America*, 134(4), 359-365.
- May-Collado, L. J., & Wartzok, D. (2008). A Comparison Of Bottlenose Dolphin Whistles In The Atlantic Ocean: Factors Promoting Whistle Variation. *Journal of Mammalogy*, 89(5), 1229-1240.
- May-Collado, L. J., & Wartzok, D. (2009). A Characterization Of Guyana Dolphin (*Sotalia guianensis*) Whistles From Costa Rica: The Importance Of Broadband Recording Systems. *Acoustical Society of America*, 125(2), 1202-1213.
- Monteiro Filho, E., & Monteiro, K. (2008). Repertório Sonoro. En E. Monteiro Filho, & K. Monteiro, *Biologia, Ecologia e Conservação do Boto-Cinza* (págs. 67-74). São Paulo, Brasil : Instituto de Pesquisas Cananéia - IPeC.
- Montoya Jaramillo, L. J., & Toro Botero, F. M. (2008). Descripción de la dinámica oceanográfica del Golfo de Urabá utilizando mediciones de campo. En G. E. Morales Mira (Ed.), *Tendencias de la investigación en Ingeniería Ambiental* (págs. 103-126). Bogotá D.C: Universidad de Medellín .
- Moore, S. E. (2008). Marine mammals as ecosystem sentinels. *Journal of Mammalogy*, 89(3), 534-540.
- Morisaka, T. (2012). Evolution of Communication Sounds in Odontocetes: A Review. *International Journal of Comparative Psychology*, 25, 1-20.
- Morisaka, T., Shinohara, M., Nakahara, F., & Akamatsu, T. (2005). Geographic variations in the whistles among three Indo-Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. *Fisheries Science*, 71(3), 568-576.

- Mouton, M., & Botha, A. (2012). Cutaneous lesions in cetaceans: an indicator of ecosystem status? . En A. Romero, & E. O. Keith, *New Approaches to the Study of Marine Mammals* (págs. 123-151). Rijeka, Croatia: InTech.
- Oakley, J. A., Williams, A. T., & Thomas, T. (2017). Reactions of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) to vessel traffic in the coastal waters of South West Wales, UK. *Ocean & Coastal Management*, 138, 158-169.
- Oswald, J. N., Barlow, J., & Norris, T. F. (2003). Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Mammal Science*, 19(1), 20-37.
- Patiño-Perez, J. (2011). *Comportamiento y Uso De Hábitat De Sotalia guianensis En El Roto, Golfo De Urabá (Tesis de Pregrado)*. Universidad de Antioquia, Medellin, Colombia.
- Penin Garcia, F. C. (2009). *Caracterização do repertório sonoro da população de boto-cinza (Sotalia guianensis) da região do estuário do rio Caravelas, Bahia, Brasil. [Master's thesis]*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Pine, M. K., Jeffs, A. G., Wang, D., & Radford, C. A. (2016). The potential for vessel noise to mask biologically important sounds within ecologically significant embayments. *Ocean & Coastal Management*, 127, 63-73.
- Quick, N., & Janik, V. (2008). Whistle Rates of Wild Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*): Influences of Group Size and Behavior. *Journal of Comparative Psychology*, 122(3), 305-311.
- Rako, N., Fortuna, C. H., Mackelworth, P., Nimak-Wood, M., Pleslić, G., Sebastianutto, L., . . . Picciulin, M. (2013). Leisure boating noise as a trigger for the displacement of the bottlenose dolphins of the Cres-Lošinj archipelago (northern Adriatic Sea, Croatia). *Marine Pollution Bulletin*, 68(1-2), 77-84.
- Rako, N., Fortuna, C., Holcer, D., Mackelworth, P., Nimak-Wood, M., Pleslic, G., . . . Picciulin, M. (2013). Leisure boating noise as a trigger for the displacement of the bottlenose dolphins of the Cres-Lošinj archipelago (northern Adriatic Sea, Croatia). *Marine Pollution Bulletin*, 68, 77-84.
- Reidenberg, J. S., & Laitam, J. T. (2007). Discovery of a Low Frequency Sound Source in Mysticeti (Baleen Whales): Anatomical Establishment of a Vocal Fold Homolog. *The Anatomical Record*, 290(6), 745-759.

- Rodríguez, C., & Bazúa-Durán, C. (2012). *Caracterización De Los Silbidos De Los Delfines De Guyana, Sotalia guianensis (Cetacea, Delphinidae) En El Golfo De Morrosquillo, Colombia*. En XXXIII Reunión Internacional para el estudio de los mamíferos marinos, San Patricio Melaque, Jalisco.
- Romero-Mujali, D., Tárano, Z., & Cobarrubias, S. (2014). Caracterización De Silbidos De Tursiops truncatus (Cetacea: Delphinidae) Y Su Asociación Con El Comportamiento En Superficie. *Revista Argentina de Ciencias Del Comportamiento*, 6(1), 15-29.
- Rossi-Santos, M. R., & Oliveira, G. (2016). Combining Cetacean Soundscape Ecology and Niche Modeling to Contribute in the Mapping of the Brazilian Continental Shelf. En C. Finkl, & C. Makowski, *Seafloor Mapping along Continental Shelves*. Amsterdam: Elsevier.
- Rossi-Santos, M., & Podos, J. (2006). Latitudinal Variation in Whistle Structure of the Estuarine Dolphin *Sotalia guianensis*. *Behaviour*, 143(3), 347-364.
- Rosso Londoño, M. C. (2022). *Delfines en el golfo de Urabá Caribe Colombiano: Implicaciones para su conservación y el manejo costero*. Tesis doctoral, Universidad de Antioquia.
- Salgado, C. P., McCauley, R. D., Parnum, I. M., & Gavrilov, A. N. (2012). Underwater noise sources in Fremantle inner harbour: dolphins, pile driving and traffic. *Proceedings of Acoustics*, 1-7.
- Secchi, E. (2012). *Sotalia guianensis*. Obtenido de The IUCN Red List of Threatened Species: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2012.RLTS.T181359A17583662.en>
- Secchi, E., Santos, M. C., & Reeves, R. (2018). *Sotalia guianensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T181359A144232542*. Recuperado el 08 de 04 de 2019
- Secchi, E., Santos, M. d., & Reeves, R. (2018). *Sotalia guianensis*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T181359A144232542*. Recuperado el 08 de 04 de 2019
- Simberloff, D. (1998). Flagships, Umbrellas, And Keystones: Is Single-Species Management Passi In The Landscape Era? *Biological conservation*, 83(3), 247-257.
- Sousa Pais, F., Prado Cardoso, R., Rossi-Santos, M., Wedekin, L., Silva, F., Monteiro-Filho, E., & Leao, D. (2019). Anthropogenic Noise and Guiana Dolphins (*Sotalia guianensis*) in Brazil: Ecological and Conservation Concerns. En M. Rossi-Santos, & C. Finkl, *Advances in Marine Vertebrate Research in Latin America* (págs. 321-366). Springer.
- Southall, B. L. (2005). *Shipping noise and marine mammals: a forum for science, management, and technology*. NOAA.

- Taborda-Marín, A., Maldonado-Lizarazo, C., & Palacios-Baena, J. (2008). Participación Comunitaria En El Golfo De Urabá: El Caso Del Corregimiento Bocas Del Atrato Y La Vereda El Roto, Municipio De Turbo, Antioquia. *Gestión y Ambiente*, 11(3), 97-108.
- The Acoustic Ecology Institute. (2008). *Special Report: Ocean Noise*.
- Trujillo, F., Caicedo, D., Duque, L., Becerra, C., Rosso-Londoño, M., & Ortiz, E. (2017). *Guía de avistamiento responsable de mamíferos acuáticos en Colombia* (1 ed.). Bogotá, D.C.: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.
- Trujillo, F., Diazgranados, M. C., Garcia, C., & Dussan, S. (2006). *Sotalia guianensis*. En J. V. Rodríguez-Maecha, M. Alberico, F. Trujillo, & J. Jorgenson, *Libro Rojo De Los Mamíferos De Colombia. Serie Libros Rojos De Especies Amenazadas De Colombia* (págs. 273-277). Bogotá, Colombia: Conservación Internacional Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Tyack, P. L. (2008). Implications for marine mammals of large-scale changes in the marine acoustic environment. *Journal of Mammalogy*, 89(3), 549-558.
- Universidad de Antioquia, Sistema General de Regalías, & Gobernación de Antioquia. (2017). *Pesca, familias y territorios en el mar: construcción colectiva de conocimiento para el ordenamiento pesquero del golfo de Urabá*. Medellín, Colombia .
- Wedekin, L. L., Daura-Jorge, F. G., Piacentini, V. Q., & Simões-Lopes, P. C. (2007). Seasonal variations in spatial usage by the estuarine dolphin, *Sotalia guianensis* (van Bénédén, 1864) (Cetacea; Delphinidae) at its southern limit of distribution. *Brazilian Journal of Biology*, 67(1), 1-8.
- Weilgart, L. S. (2007). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology*, 85, 1091-1116.
- Williams, R., Cholewiak, D., Clark, C. W., Erbe, C., George, C., Lacy, R., & Wright, A. (2020). Chronic ocean noise and cetacean population models. *J. Cetacean Res. Manage.*, 21(1), 85-94.