



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Graduados

Caracterización acústica de la Marsopa
espinosa (*Phocoena spinipinnis*) y uso de
pingers como método disuasivo de su pesca
incidental en la bahía de Mejillones.

Tesis de Magíster en Acústica y Vibraciones

Diego Ignacio Díaz Herrera

Valdivia, Noviembre 2023



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Graduados

Caracterización acústica de la Marsopa espinosa
(*Phocoena spinipinnis*) y uso de *pingers* como método
disuasivo de su pesca incidental en la bahía de
Mejillones.

Esta tesis es presentada a la Escuela de Graduados de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Austral de Chile, como parte de los requisitos para la obtención del grado de Magíster en Acústica y Vibraciones. Certifico que el contenido de este trabajo es original, excepto cuando se hace referencia al trabajo de otros y, para que quede constancia, firma en Valdivia, Noviembre 2023.

Diego Díaz



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Graduados

Caracterización acústica de la Marsopa espinosa
(*Phocoena spinipinnis*) y uso de *pingers* como método
disuasivo de su pesca incidental en la bahía de
Mejillones.

Diego Ignacio Díaz Herrera

Certificación de Aprobación:

Dra. Ana María García Cegarra
Profesor Patrocinante
Universidad de Antofagasta, Chile

Dr. Víctor Espinosa Rosello
Profesor Co-Patrocinante
Dpto. Física Aplicada, UPV.

Dr. Víctor Poblete Ramírez
Profesor Informante
Instituto de Acústica, UACH

Dr. Jaime Ramis Soriano
Profesor Externo
Dpto. Física, Ing de sist y teoría, UA

Dr. Enrique Suarez Silva
Decano
Facultad de Ciencias de la Ingeniería UACH

*Para Paula y Lorena,
por su incondicional apoyo y
envalentonarme a enfrentar nuevos desafíos.*

*Para Luciano G;
este mundo es tuyo,
descúbrelo, ámalo y vívelo.*

*I'll try my best,
And that's the best anyone can do.
-Guillermo del Toro's Pinocchio (2022).*

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi profesora Ana María García Cegarra, por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto de investigación, por orientarme dentro del mundo de los cetáceos, por enseñarme la existencia de la marsopa espinosa y poder llevar a cabo este proyecto que combina las técnicas de monitoreo acústico, con la ecología y cuidado de esta especie. También quisiera agradecer el constante apoyo que me brindo en las reuniones para pulir este informe, para llevar mi prosa algo mal lograda, hasta un estado de lectura agradable.

Me gustaría agradecer al equipo de investigación de CETALAB, quienes entregaron todo para que las salidas de investigación en Mejillones fueran realizadas de forma exitosa. Que se logran instalar y recuperar los equipos, que se pudiesen efectuar registros fotográficos y así poder obtener los datasets que permitieron realizar esta investigación de forma exitosa.

Me gustaría agradecer al coordinador del Magister de la UACH, el profesor Víctor Poblete, por siempre estar dispuesto a orientarme, a resolver mis dudas y siempre poder organizar una reunión con las personas indicadas. También por haberme invitado a participar en Aumilab, donde se está desarrollando un ambiente que propicia la generación de conocimiento y de desarrollo personal de cada uno de sus integrantes.

Me gustaría agradecer a todos y a cada uno de mis profesores del magister, en la UACH y la UPV, por las clases impartidas y su buena disposición a la docencia. Agradecer a ambas instituciones la Universidad Austral de Chile y a la Universidad Politécnica de Valencia, por brindarme la oportunidad de cursar este magister y participar en el programa de doble titulación que permiten estas universidades.

Finalmente, quisiera darme la libertad de agradecerme a mí mismo, citando a Snoop Dogg: “Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive. I wanna thank me for just being me at all times”.

Índice

Índice de Tablas	iii
Índice de Figuras	iii
Resumen.....	vi
Abstract.....	viii
Objetivos.....	x
Objetivos específicos	x
1. Introducción	1
1.1 Tipos de actividad pesquera	3
1.1.1 Arte de pesca 1: Enmalle	3
1.1.2 Arte de pesca 2: Cerco	4
1.1.3 Arte de pesca 3: Arrastre	5
1.2 Pesca Incidental en Chile	6
1.3 Biología de la marsopa espinosa (<i>Phocoena spinipinnis</i>).	7
1.3.1 Zona de distribución de la marsopa espinosa	11
1.3.2 Estado de Conservación.....	12
1.4. Pesca incidental de marsopa espinosa en el Pacífico Sureste	13
1.5 Acústica como herramienta para evitar la pesca incidental de pequeños cetáceos.	13
1.5.1 ¿Qué es la acústica?	13
1.5.2 Aplicaciones acústicas en el estudio de cetáceos.....	14
1.5.3 Casos de estudio: Pingers como métodos disuasivos.	19
1.6 Presencia de Marsopa espinosa en el norte de Chile	19
1.7 Conclusión de la introducción	23
2. Metodología.....	25

2.1 Área de estudio	25
2.2 Salidas de navegación para implementación de hidrófono F-POD y <i>Pinger</i> en área de mayor densidad de marsopa espinosa.	27
2.3 Análisis de datos de señal acústica de marsopa espinosa	32
3. Resultados.....	36
3.1 Resultados generales.....	36
3.2 Descripción de la Forma de onda de un clic de la marsopa espinosa.	39
3.3 Diferencias acústicas de la marsopa espinosa durante el día y la noche.	40
3.4 Diferencias en las variables acústicas analizadas en ausencia y presencia de <i>Pinger</i>	46
4. Discusión	52
4.1 Comportamiento acústico de la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones.	52
4.2 Efectividad del uso de <i>pinger</i> para disminuir la pesca incidental de marsopas y medidas para su conservación en el norte de Chile.	54
5. Conclusión	57
6. Anexo.....	58
Bibliografía	59

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen del número de días de obtención de datos y horas totales.	37
Tabla 2: Horas y N° de Detecciones parámetro <i>Pinger</i> Sin y Con.....	38
Tabla 3: Clics NBHF detectados parámetro <i>Pinger</i> Sin y Con	38
Tabla 4: DPM, parámetro <i>Pinger</i> Sin y Con	39
Tabla 5: Parámetros onda acústica clic de la marsopa espinosa.....	39
Tabla 6: N° Clics parámetros <i>Pinger</i> y Día/Noche.....	41
Tabla 7: Media DPM para parámetros <i>Pinger</i> y Día/Noche	42
Tabla 8: Media ICI parámetros <i>Pinger</i> y Día/Noche.....	43
Tabla 9: Cuenta Feeding Buzzes parámetros <i>Pinger</i> y Día/Noche	44

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama pesca de enmalle. Fuente: Fao (web)(Consultado: Junio, 2023).....	4
Figura 2: Diagrama pesca de cerca. Fuente: espesca (web)(Consultado: Junio, 2023)...	5
Figura 3: Diagrama pesca de arrastre. Fuente: seafood media (web)(Consultado: Junio, 2023).	6
Figura 4: Ilustración Marsopa espinosa (<i>Phocoena spinipinnis</i>). Fuente: CIFAMAC.	8
Figura 5: (a) Serie normalizada de un clic representativo. (b) Media normalizada del espectro de todos los clics analizados, Fuente: (Reyes et al, 2018).....	10
Figura 6: Propuesta de distribución oceanográfica de la <i>Phocoena spinipinnis</i> . Fuente: (Molina-Schiller et al, 2005).....	12
Figura 7: Diagrama hidrófono y partes de un C-Pod. Fuente: C-POD User Guide (Chelonia Limited, 2018).....	15
Figura 8: Diagrama dimensiones Hidrófono TC4033. Fuente: (TELEDYNE MARINE, 2020).	16
Figura 9: Diagrama Especificaciones Técnicas Ecosonda Deeper Smart Sonar P`RO+ 2. Fuente: (Deeper, 2022).	17
Figura 10: Instrucciones de uso Banana Pinger. Fuente: (Fishtek Marine, 2022).....	18
Figura 11: Fotografía pinger Dukane Netmark 1000. Fuente: (NASA, 2022).	19
Figura 12: Propuesta de densidad de la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones. Fuente: (García-Cegarra & Pacheco, 2019).....	20

Figura 13: Rutas de pesca industrial de cerco. Fuente: (García-Cegarra & Pacheco, 2019).	21
Figura 14: Rutas de pesca artesanal de cerco. Fuente: (García-Cegarra & Pacheco, 2019).	22
Figura 15: Desembarque de especies pelágicas por zona, año 2021. Fuente: (SUBPESCA, 2022).....	23
Figura 16: Carta náutica Bahía de Mejillones del Sur, Carta N° 1331 SHOA. Fuente: (SHOA (Chile), 2022).....	25
Figura 17: Rangos de frecuencia a los que emiten generalmente los barcos y ecosondas de navegación, y a los que son sensibles los cetáceos con barbas (misticetos) y dientes (odontocetos). Fuente: (MAAM, Gobierno de España, 2012).	27
Figura 18: Grabadora Zoom H5, junto a Hidrófono Aquarian Audio CA 50.	28
Figura 19: Ubicación coordenadas despliegue F-POD. Fuente: databasin (web)(Consultado: Junio, 2023).	29
Figura 20: Diagrama instalación disposición Boya – Hidrófono – Ancla.....	30
Figura 21: Diagrama instalación Hidrófono – Pinger.....	32
Figura 22: Filtros aplicados en el análisis de grabaciones Software Fpod.exe.....	33
Figura 23: Graficos de grabación expedición del 29/01 al 05/02. A) Clics/seg en barras de 30 min. B) Train Q class. C) Train Species Class. D) Frecuencia en barras de 30 min.	33
Figura 24: Graficos de un tren de clics, escala de tiempo de 100 μ s. A) Qclass Colours/Amp. B) SpClass/Ncycles/Pk posn. C) Frecuencia – Hz. D) Amplitud escala completa.....	34
Figura 25: Marsopa Observada Incursión 29 de Enero.	36
Figura 26: Análisis espectrograma grabación hidrófono Aquarian Audio CA 50.	37
Figura 27: Forma de Onda y Respuesta en Frecuencia Clic de Marsopa Espinosa en la bahía de Mejillones. *SPL es el que indica software el cual utiliza una escala de SPL, pero sin especificar	40
Figura 28: Distribución de N° Clics a lo largo del día.....	41
Figura 29: Distribución de DPM a lo largo del día.....	42
Figura 30: Distribución ICI a lo largo del día.....	43

Figura 31: Feeding Buzzes detectados a lo largo del día.....	45
Figura 32: Duración Tren de Clics durante Dia y Noche.	45
Figura 33: Comparación registros DPM, parámetro pinger.	46
Figura 34: Comparación N° de Clics, parámetro pinger.	47
Figura 35: Comparación ICI parámetro pinger.....	48
Figura 36: Comparación buzzfeed parámetro pinger.	48
Figura 37: Comparación Duración tren de clic parámetro pinger.	49
Figura 38: Histograma detección actividad de marsopa espinosa por día.....	50
Figura 39: Boxplot probabilidad de detección de marsopa espinosa.....	51

Resumen

La pesca incidental se entiende como la captura no intencionada de fauna acompañante a las especies objetivo de la actividad de pesca. Se estima que el 40.4% de la producción pesquera corresponde a pesca incidental. Los depredadores superiores marinos como los cetáceos se encuentran dentro del grupo de las principales víctimas de la pesca incidental. Dentro de los cetáceos, se conoce el caso de la vaquita marina (*Phocoena sinus*), una especie de marsopa endémica del golfo de baja California, calificada en peligro de extinción, cuya población se ha reducido drásticamente producto de la pesca incidental. En América del Sur, la especie de marsopa endémica es la Marsopa Espinosa (*Phocoena spinipinnis*). Esta especie ha sufrido una intensa pesca incidental y dirigida en pesquerías de enmalle de orilla en Chile y Perú. Sin embargo, su estudio se ha basado en la observación de los cadáveres que llegan a los puertos o varamientos en el borde costero de ambos países. Debido a su comportamiento tímido y esquivo es muy difícil estudiarla en su hábitat natural y por tanto no existen estimaciones actuales de su abundancia, ni se conoce como le afecta la mortalidad por pesca en el Pacífico Sureste. El uso de herramientas acústicas ha sido una alternativa para el estudio de marsopas a nivel mundial, ya que estas emiten sonidos de alta frecuencia, fácilmente detectables por hidrófonos. Además, herramientas acústicas disuasivas como los *pingers*, han demostrado ser efectivas para ahuyentar a las marsopas comunes (*Phocoena phocoena*) durante la actividad pesquera en el Atlántico Norte. Estudios recientes han demostrado la presencia de marsopa espinosa en la bahía de Mejillones (Norte de Chile) en comportamiento de alimentación, así como varamientos, en esta región producto de la pesca incidental. Sin embargo, no se ha realizado ningún estudio acústico de esta especie en Chile. Es por ello que este estudio pretende detectar y caracterizar la actividad acústica de la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones y a través de un estudio piloto probar la efectividad del uso de *pinger* como herramienta acústica disuasiva de marsopa espinosa. Para ello se instaló un hidrófono FPOD, registrando en continuo durante 2 semanas (en ausencia de *pinger*) en la bahía de Mejillones en la zona de alta presencia de marsopa espinosa entre el 29 de Enero al 11 de Febrero 2023. Seguidamente se instaló un *pinger* a 100 metros de distancia del FPOD, emitiendo pulsos acústicos de alta frecuencia continuamente durante dos semanas (en presencia de *pinger*) entre el 11 al 25 de Febrero. Se analizaron las

variables respuesta de número de clics, número de detecciones por minuto (DPM), intervalo entre clics (ICI), clics de alimentación (Buzzfeed) y duración de trenes de clic. Estas variables respuesta se contrastaron con los factores presencia/ausencia de *pinger* y día/noche. En total se registraron 639 horas de señales acústicas (307 sin *pinger*, 332 con *pinger*).

La caracterización acústica de la marsopa espinosa demostró que la frecuencia central de sus clics es de 132 KHz. El análisis estadístico demostró que el número de clics, DPM, ICI y buzzfeed, aumentaban significativamente durante la noche. Esto indica que la marsopa espinosa se alimenta durante la noche en la bahía de Mejillones, dado a que los ICI de periodos más cortos, se pueden asociar a los ciclos de alimentación de la especie. Si bien durante la presencia del *pinger* las variables analizadas no mostraron cambios significativos, en ausencia del *pinger* la probabilidad de detectar marsopa espinosa fue de un 32%, mientras que ante la presencia del *pinger* la probabilidad disminuyó a un 12%. Esto demuestra que el *pinger* fue efectivo para ahuyentar a la marsopa espinosa del área del experimento.

Futuros estudios deberán implementar los *pingers* en las artes de pesca de cerco de anchoveta y enmalle de orilla, junto con observadores pesqueros y analizar si la presencia de los *pingers* disminuye la pesca incidental de la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones.

Palabras clave: marsopa espinosa, pesca incidental, norte de Chile, acústica, FPOD, *pinger*.

Abstract

Bycatch is the capture of marine organisms that are not the objective of the fishing activity. It is estimated that 40.4% of fishing production is bycatch. Marine predators like cetaceans are the more prone species to suffer bycatch mortality. For example, the vaquita (*Phocoena sinus*) an endemic porpoise species from the Gulf of California is listed as critically endangered, due to their population decrease due to bycatch.

South America's endemic porpoise species is the Burmeister's porpoise (*Phocoena spinipinnis*). This species has suffered bycatch and intentional fishing in Chilean and Peruvian coasts. However due to their elusive and shy behavior which makes it difficult to study in their natural habitat, overall studies are from landed carcasses in Peruvian ports. Worldwide porpoises are studied with acoustic instruments, as porpoises emit ultrasounds that can be easily analyzed with hydrophones. Furthermore, there exist acoustic devices such as, *pinger* that contribute to the mitigation of porpoise bycatch. These devices emit high frequency sounds that annoy porpoises and drive them away from the nets where they are deployed. Recent studies have showed, the presence of Burmeister's porpoise in Mejillones bay (northern of Chile) performing foraging behavior and also stranded individuals due to bycatch have been observed. There are not studies based on the acoustic characterization of Burmeister's porpoises in Chile. Hence in this study I detected and characterized the acoustic activity of the Burmeister's porpoise in Mejillones bay and performed a pilot study to analyze the effectiveness of *pinger* as a deterrent tool. A FPOD hydrophone was installed for 2 weeks (without *pinger*) in the area of high presence of Burmeister's porpoises in Mejillones bay, between 29th January to 11th February 2023. After this, a *pinger* was installed 100 meters away from the FPOD, transmitting ultrasound pulses continuously for 2 weeks (with *pinger*) between 11th to 25th February. Response variables analyzed were, number of clicks, detections positives per minute (DPM), inter-click interval (ICI), Buzz feed and train clicks time. Differences between day and night and differences between with and without *pinger* were analyzed. A total of 639 hours were registered (307 without *pinger*, 332 with *pinger*). The acoustic clicks parameters were a central frequency of 132 KHz. Statistical analysis proved that the number of clicks, DPM, ICI and buzz feed, increase significantly during the night. This means Burmeister's porpoise forage at night in Mejillones bay. As ICI has more

short time, this can be associated with feed behavior. During the presence of the *pinger*, response variables did not show significant differences. However, without *pinger* the probability of detecting porpoise's acoustic activity is 32%, while with *pinger* the probability decreases to a 12%. This means *pinger* may act as an acoustic harassment tool for Burmeister's porpoise in this pilot study.

Future studies should install *pingers* in gillnet and Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) purse seine fishing nets. Fishing activity should be accompanied with observers onboard to analyze if the use of *pingers* deterrent the presence of Burmeister's porpoises during the fishing activity.

Keywords: Burmeister's porpoise, bycatch, north of Chile, Acoustic signal, FPOD, *pinger*.

Objetivos

- Determinar la eficacia del uso de *pingers* como método disuasivo de marsopa espinosa en la bahía de Mejillones.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la acústica de la Marsopa espinosa en la bahía de Mejillones.
2. Determinar cambios en el comportamiento acústico entre el día y la noche.
3. Analizar la eficacia del uso de *pinger* como herramienta disuasiva de marsopas en un experimento piloto.

1. Introducción

La pesca incidental, se refiere a la captura no intencionada de especies marinas, las cuales no son el objetivo de la actividad pesquera. Estas, pueden ser capturas de especies con nulo valor económico o especies protegidas por múltiples estatutos y convenios internacionales (Davies et al, 2009). Esto define a la pesca incidental como uno de los desafíos más relevantes de mitigar en la actividad económica que representa. Se estima que anualmente se captura 38.5 toneladas de especies por pesca incidental, esto representa un 40.4% de la producción global de pesca (Davies et al, 2009). La pesca incidental, adicionalmente a los peligros significativos a la fauna marina, ocasiona pérdidas económicas a las empresas pesqueras e inestabilidad en los empleos. Esto último debido a que la pesca incidental es sancionada, dependiendo del marco regulatorio que cada país, en su soberanía posea. En el ejemplo local de Chile, quienes evadan e incumplan los protocolos establecidos y dictados por la normativa vigente, se arriesgan a una serie de sanciones según lo establecido por la ley General de Pesca y Acuicultura. (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile, 2021). Estas sanciones van escalando según los efectos y la magnitud de la infracción. Van desde multas económicas, suspensión o caducidad del título de capitán o patrón, clausura de los establecimientos comerciales o industriales, comiso de las artes y aparejos de pesca y comiso de las especies hidrobiológicas o de los productos derivados de estas (Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de Chile, 1992).

El marco regulatorio de la industria pesquera, es fundamental para mantener de manera sostenible la pesca. A nivel mundial, se estima que mil millones de personas, dependen del pescado como su principal fuente de proteína (The World Bank, 2008) por lo que detener esta actividad económica puede ocasionar inestabilidad de la seguridad alimentaria. Esto se define como la alteración o el quiebre total de una o más, de las dimensiones de la definición del concepto. 1° dimensión, “Disponibilidad física de los alimentos”, es decir la oferta física de especímenes en calidad apta para el consumo. 2° dimensión “Acceso”, la población debe poder optar en tiempo y forma, con los recursos monetarios disponibles, la compra y adquisición de los alimentos. 3° dimensión “Utilización”, se entiende por este concepto como la forma en la que el cuerpo aprovecha los diversos nutrientes, se comprende de la dieta de la población, niveles de nutrición y

de actividad física. 4° dimensión, “Estabilidad”, es la capacidad que tiene la población de mantener las tres dimensiones anteriores de forma regular a través del tiempo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2011).

Además de los efectos negativos que la pesca incidental ocasiona al ser humano, esta es una gran amenaza para la supervivencia de numerosas especies de vertebrados superiores marinos como tortugas, aves y mamíferos marinos que al interactuar con las redes mueren de forma directa por ahogamiento o enmalle. Un estudio en base a datos de pesca incidental de mamíferos marinos, recopilado en Estados Unidos entre los años 1990 a 1999, estimó que los niveles de pesca incidental mundial eran cercanos a 653364 especímenes (Read et al, 2005). En el Pacífico Sureste (Mangel et al, 2010) estimaron que se capturaban en Perú entre 10000 y 20000 pequeños cetáceos por año siendo las especies más susceptibles a la pesca incidental el delfín oscuro (*Lagenorhynchus obscurus*) y la marsopa espinosa (*Phocoena spinipinnis*). En el caso de las marsopas un ejemplo de cómo la pesca incidental puede llevar a especies de cetáceos al borde de la extinción es el caso de la marsopa conocida como vaquita marina (*Phocoena sinus*) cuya abundancia ha disminuido drásticamente con tan solo 19 individuos vivos en el año 2020, debido a la pesca incidental en redes de enmalle para la pesca de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California (Gulland et al, 2020). Para el caso de las aves marinas se estima que a nivel mundial la abundancia de aves ha disminuido en un 69.7% entre los años 1950-2010 debido a la mortalidad por pesca incidental. Tan solo en la costa de Canadá en el Pacífico Norte murieron 500.000 aves marinas al año antes de la moratoria mundial en 1992 (Zydalis et al, 2013). Actualmente se estima que mueren 400.000 aves marinas al año en redes de enmalle a nivel mundial, siendo las especies en peligro de conservación como los pingüinos, alcas, albatros y petreles los más susceptibles a morir por pesca incidental (Anderson et al., 2011, Zydalis et al., 2013, Suazo et al., 2014).

En el caso de los quelonioideos, la súper familia de las tortugas marinas, un estudio estimó que a nivel mundial se pueden contabilizar la captura incidental de cerca de 85000 especímenes de tortugas marinas, en el periodo estudiado que contempló data recopilada desde el año 1990, hasta el año 2008 (Wallace et al, 2010). Esto ha llevado a que hoy día la mayoría de especies de tortugas marinas se encuentran en peligro de conservación.

Dependiendo del arte de pesca empleado y de la especie de captura objetivo, unas especies de vertebrados superiores marinos son más susceptibles que otras a morir en determinadas artes de pesca.

1.1 Tipos de actividad pesquera

La actividad pesquera posee diversos mecanismos para llevarse a cabo, denominados comúnmente como “artes de pesca”. El uso y aplicación de las distintas metodologías de pesca depende de las condiciones de la industria, regulaciones gubernamentales, restricciones naturales del entorno y/o especie objetivo.

En el desarrollo de esta investigación se estudiarán tres artes de pesca: Enmalle, Cerco y Arrastre.

1.1.1 Arte de pesca 1: Enmalle

El enmalle consiste en una pared vertical de tela que se mantiene fija mediante una línea de flotación y una línea de fondo con pesos. Es utilizada mayormente por pescadores más pequeños, debido a su bajo costo de implementación.

En Chile, los objetivos de este mecanismo se pueden mencionar las siguientes especies: pejerrey (*Odontesthes regia*), merluza común (*Merluccius gayi*), jurel (*Trachurus murphyi*), Lisa (*Mugil cephalus*), cojinova (*Seriolella violacea*), corvina (*Argyrosomus regius*), tollo (*Diplomystes chilensis*), robalo (*Eleginops maclovinus*), pez espada (*Xiphias gladius*).

Este mecanismo posee un gran impacto en la pesca de la fauna acompañante debido al tamaño de la malla y su altitud (nivel desde el fondo del lecho marino), los enmalles de mayor altitud que son usados para captura de especies migratorias, tienen una mayor probabilidad de capturar peces cartilaginosos como tiburones o cetáceos como delfines. Mientras que usar enmalles de menor altitud, denominado como enmalle de profundidad, puede generar la captura incidental de crustáceos (Subpesca, 2003).

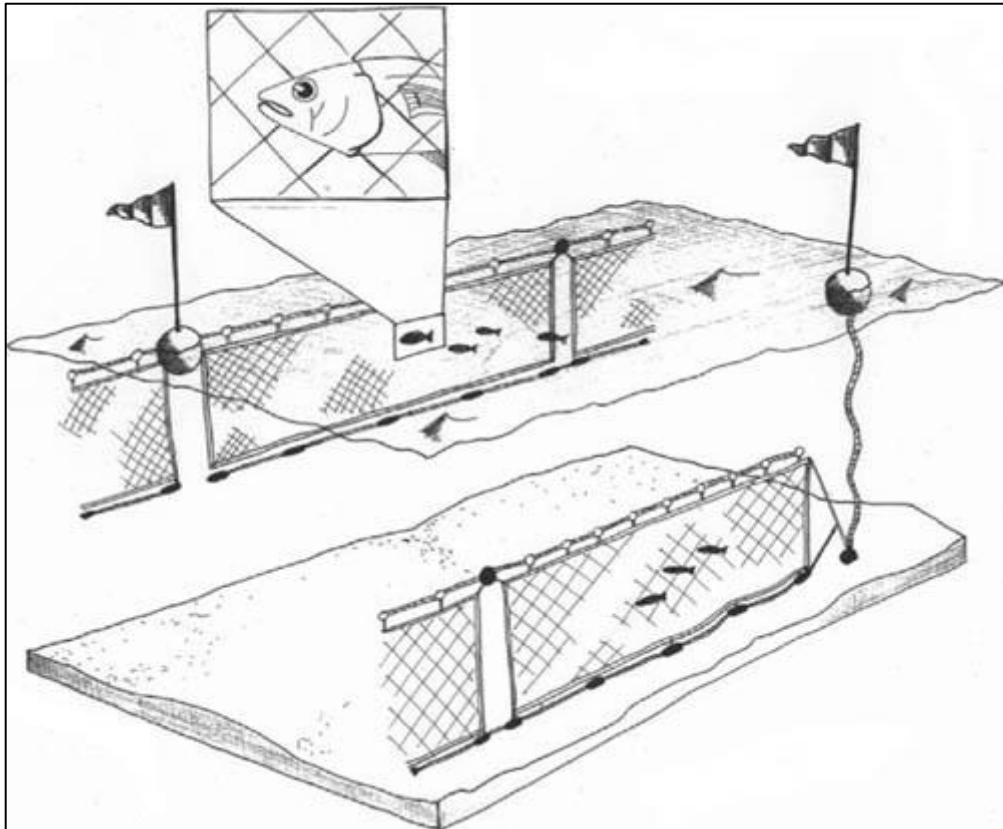


Figura 1: Diagrama pesca de enmalle. Fuente: Fao (web)(Consultado: Junio, 2023).

1.1.2 Arte de pesca 2: Cerco

La pesca de cerco, también denominada Cerco con Jareta, se trata de una larga pared de red enmarcada por una línea superior de flotadores y una línea inferior de pesos. En la parte inferior cuelgan una serie de anillas, a través de la cual corre un cabo (Cable de acero, llamado Jareta), que permite el cierre de la red.

Los objetivos de pesca, son especies de peces pelágicos de una amplia gama de tamaños que se agregan densamente (como cardúmenes). Se pueden mencionar las siguientes especies: sardina común (*Strangomera bentincki*), sardina española (*Sardinops sagax*), anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphy*), caballa (*Scomber japonicus*), merluza de cola (*Macruronus magellanicus*), bonito (*Sarda chiliensis*), palometa (*Seriola lalandi*).

El impacto ecológico que trae consigo el arte de pesca de cerco, es la pesca incidental de mamíferos marinos como lobos marinos o delfines (Subpesca, 2003).

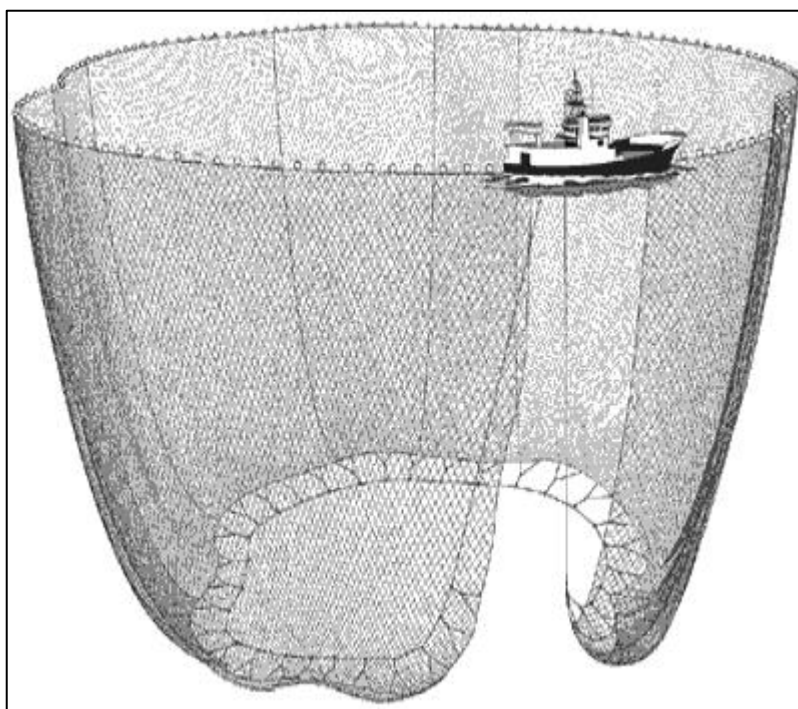


Figura 2: Diagrama pesca de cerca. Fuente: *espesca (web)*(Consultado: Junio, 2023).

1.1.3 Arte de pesca 3: Arrastre

La pesca de arrastre consiste en utilizar una red de forma cónica, a modo de embudo, la cual es arrastrada por una embarcación a través de largas distancias.

Este arte de pesca puede ser empleado por embarcaciones de pequeñas dimensiones (15 metros), como también por buques factorías de altamar (más de 100 metros). Se apoyan de equipos hidroacústicos como sonares para encontrar a las especies objetivo de la pesca. Por las características que comprende la pesca de arrastre de fondo puede causar levantamiento de material del lecho marino, ocasionando daños a organismos vivos sedentarios tales como algas o corales. El listado de fauna acompañante en Chile, a las especies objetivo de este arte de pesca, consta de 40 especies, de las cuales 29 se encuentran en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), de las cuales se incluyen moluscos, peces, delfines, lobos marinos y aves marinas (Ramírez Rueda, 2019). Dentro del listado definido por la subsecretaría de pesca y acuicultura de Chile, dentro de las especies se pueden mencionar: merluza común (*Merluccius gayi gayi*), agujilla (*Scomberesox saurus*), calamar (*Loligo gahi*), centolla espinuda (*Lithodes murrayi*), camarón acorazado

(*Glyphocrangon alata*), como también algunas especies de tiburones (Ej. *Apristurus nasutus*, *Deania sp*, *Etmopterus granulosus*) (Subpesca, 2013).

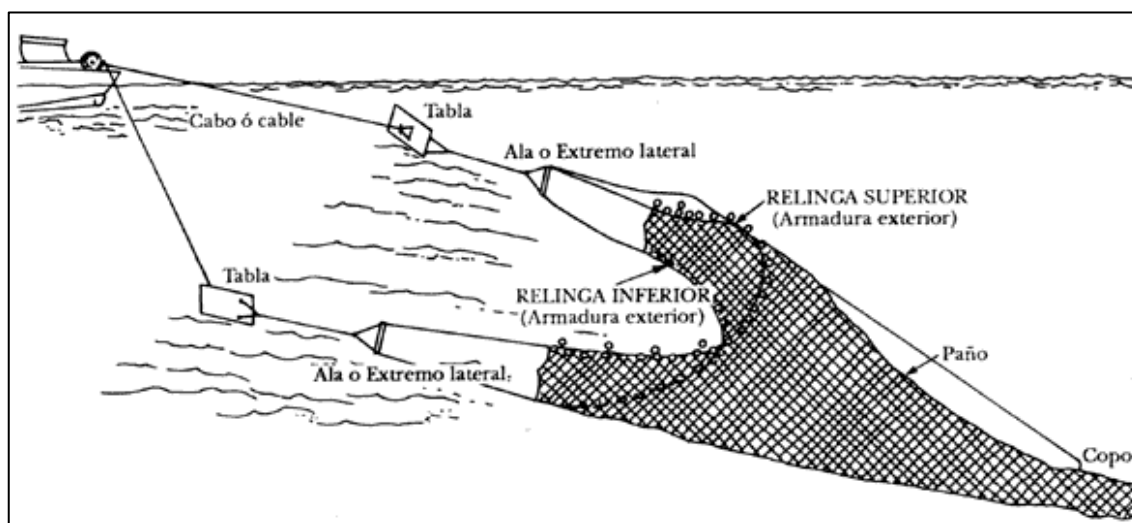


Figura 3: Diagrama pesca de arrastre. Fuente: seafood media (web)(Consultado: Junio, 2023).

1.2 Pesca Incidental en Chile

En Chile la industria pesquera puede dividirse en dos categorías principales. La pesca artesanal y la pesca industrial. La pesca artesanal consiste en barcos del tipo *Deckless*, que es un barco de entre 8 a 10 metros de longitud y embarcaciones de mediano tamaño, de longitud máxima 18 metros. En el país se encuentran registrados cerca de 92.000 pescadores artesanales (Subpesca, 2022).

La pesca industrial consiste en buques de 50 toneladas y más de 18 metros de longitud. En Chile la pesca industrial genera 26.502 puestos de trabajo directo (Subpesca, 2022).

Las cifras de pesca incidental en Chile, son escasas, registros más precisos pueden hallarse desde el año 2012, en donde después de establecerse modificaciones a la ley general de pesca y acuicultura, se definieron mecanismos de medición y control de la pesca incidental que las pesquerías deben cumplir (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile, 2012).

Estudios han determinado niveles de pesca incidental para mamíferos marinos. Un estudio a través de estimaciones basadas en la información disponible a través de la Ley 20.625, permitió estimar que a nivel nacional 303 especímenes de lobo marino sudamericano (*Otaria byronia*) y 99 especímenes de lobo fino austral (*Arctocephalus australis*), fallecieron producto de la pesca incidental en el periodo entre 2010 – 2019

(Punt et al, 2021). Sin embargo, estas estimaciones pueden estar subestimadas, ya que la mayoría de embarcaciones no cuenta con observadores a bordo, lo cual puede estar sesgando negativamente la cuantificación de la mortalidad de lobos marinos en las artes de pesca de cerco.

Otro de los mamíferos afectados de los que se han podido llevar mediciones y establecer estadísticas de pesca incidental en Chile es el delfín común (*Delphinus delphis*). En donde mediante un observador a bordo de ocho expediciones de pesca con cerco en la región norte de Chile, en este estudio se reportaron la captura incidental de 58 especímenes, de los cuales 3 fallecieron (Gonzalez- But & Sepúlveda, 2016). La totalidad de especímenes fueron capturadas en la misma red de enmalle, de los cuales se observó que 44 lograron escapar sin lesiones observables, 11 escaparon con lesiones físicas apreciables y 3 de ellos fallecieron. El estudio concluye remarcando la importancia y necesidad de poder llevar una contabilización exhaustiva y estándar de la captura incidental de estas especies.

Para el caso particular, de la especie de mamífero marino en la cual se centrará esta investigación, la marsopa espinosa (*Phocoena spinipinnis*), a la fecha actual de redacción de este estudio, no existen investigaciones específicas en demostrar un cálculo estimado de los niveles de pesca incidental de esta especie en Chile. Lo que si es que se tiene conocimiento de su captura intencionada y su uso como cebo para la captura de centolla desde la década de 1970, donde se determinó que en el año 1986 existió un *peak* en la tonelada de carne de cetáceo usada como carnada, 950 toneladas y que continuamente fue disminuyendo, hasta que, en el año 1992, esta cifra fue disminuyendo continuamente hasta llegar a un total de 450 toneladas (Lescrauwaet & Gibbons, 1994). A día de hoy, existe evidencia de la captura intencionada de esta especie para el uso de su carne como cebo en la pesquería de tiburón del Pacífico sureste (Alfaro-Sighetto et al.), un estudio de distribución y usos de hábitat de la marsopa espinosa, logró identificar en el año 2018 un espécimen varado en las costas de la ciudad de Arica y otro espécimen varado en las costas de San Antonio en el año 2019. Ambos individuos presentaban lesiones físicas que señalan su faena y posterior descarte del espécimen (Illanes Rivera, 2022).

1.3 Biología de la marsopa espinosa (*Phocoena spinipinnis*).

Los primeros registros escritos, que se tienen de la marsopa espinosa se remontan hasta el año 1865, en donde el doctor en zoología, Karl Hermann Konrad Burmeister describe

y clasifica un espécimen que había sido capturado por pescadores en la desembocadura del río de La Plata en Argentina (Burmeister, 1865).

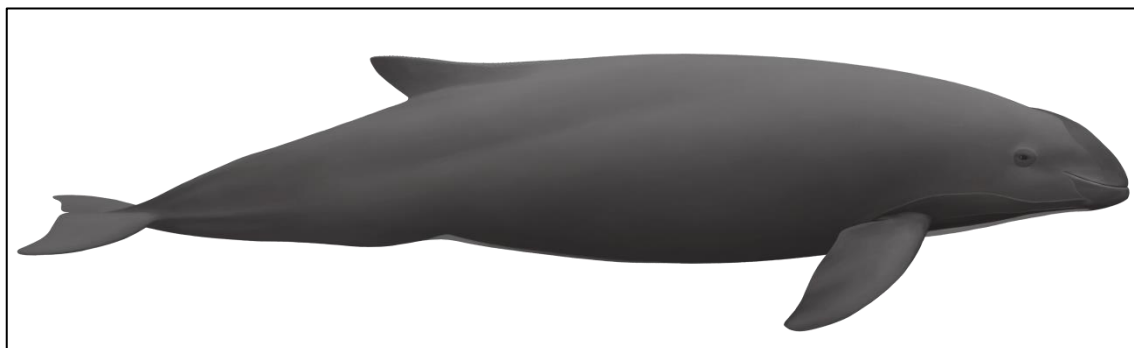


Figura 4: Ilustración Marsopa espinosa (*Phocoena spinipinnis*). Fuente: CIFAMAC.

En donde se identifica al espécimen dentro de la familia de las marsopas, al realizar comparaciones con las especies europeas, se determina que una de las principales diferencias que posee es la ubicación de la aleta dorsal, la cual está ubicada más atrás y posee espinas en el borde superior (Burmeister, 1865). De aquí provienen sus dos nombres característicos, en inglés *Burmeister's porpoise* en honor al Dr. H. Burmeister y en español Marsopa espinosa, por las espinas características de su aleta dorsal, otros nombres utilizados mayormente por la población de sus localidades son “chancho marino”, “tonino” en Perú y “antonino” en el sur de Chile (Reyes, 2009).

Su longitud para especímenes del Pacífico machos y hembras es de 182 y 183 cm respectivamente y el peso máximo registrado es de 72 Kg, para un espécimen macho de 170 cm de longitud. Para especímenes del Atlántico, la longitud máxima medida es de 200 cm y los pesos máximos registrados de 105 Kg para un espécimen hembra de 191 cm y de 78 Kg para un espécimen macho de 178 cm.

En especímenes vivos se ha observado que su color es de un gris oscuro y a veces gris plomo en la espalda y costados. La zona de los lados va diseminándose de una coloración gris claro a tonalidades blancas al ir llegando a la zona abdominal (Reyes, 2009).

La mayor edad registrada de un ejemplar ha sido de 12 años (Cetáceos de Perú, 2023).

La madurez reproductiva en especímenes hembras en Perú ronda cerca de los 154.8 cm y en especímenes macho se estima que su madurez reproductiva se encuentra cerca de los 159.9 cm. La temporada de apareamiento toma lugar durante el verano austral (de diciembre hasta marzo), con algunos cruces positivos fuera de temporada. El periodo de

gestación de un feto de marsopa espinosa es de alrededor de 11 y 12 meses, las crías nacen de 86 cm (Reyes, 2009).

Análisis del contenido estomacal de especímenes en las costas centrales de Perú, permiten tener una idea preliminar de la dieta de estos cetáceos, entre los restos se han podido identificar: anchoveta (*Engraulis ringens*), en un rango entre 77.6% - 88.9% por espécimen, pejerrey (*Odontesthes regia*), en un rango entre 0% - 6.5%, mote camotillo (*Normanichthys crockeri*), en un rango entre 0% - 8.1%, merluza común (*Merluccius gayi*), en un rango entre 0.6% - 7.9% (García-Godos et al, 2007).

La marsopa espinosa posee un sistema de ecolocalización, denominados como “clics”, “silbidos” o “chillidos”. Corresponde a un sistema, por el cual el cetáceo emite ondas sonoras en el medio acuático y que, a través de la recepción del reflejo de esta, es decir su “eco”, el animal es capaz de analizar estos datos en su cerebro y efectuar los cálculos que determinan su ubicación espacial.

Los clics se caracterizan por ser sonidos de emisión corta repetidas en el tiempo. Los clics pueden catalogarse como de baja frecuencia y de alta frecuencia. Los de baja frecuencia tienen la característica de poseer un alto poder de penetración, pudiendo cubrir largas distancias. Estas ondas de baja frecuencia se reflejan con las superficies y características topográficas del entorno, permitiendo que el animal conozca los límites de su alrededor. Existen distintas variables de sonidos de baja frecuencia que, a diferencia de los clics de eco localización, estos son utilizados por los cetáceos para comunicarse entre congéneres. Los clics de alta frecuencia, permiten a estas especies localizar presas cercanas. Los clics de alta frecuencia, tienen la característica de estar en el rango de frecuencias superior de la capacidad de audición del ser humano e incluso de emitir clics ultrasónicos, es decir, que están por encima del rango de audición del ser humano (Poyato Jiménez, 2022).

Una investigación de observación mediante hidrófonos, de estilo C-POD, (recolectores de información autónomos, con la capacidad de ser programados para poder funcionar en periodos de tiempo sin la supervisión técnica humana). Llevada a cabo en Perú entre Abril de 2009 y Diciembre de 2012 logró determinar que la frecuencia modal de los clics de la marsopa espinosa es entre 121 - 144 kHz, con ventanas temporales entre 8 μ s y 15 ms (Clay et al, 2018).

Un segundo estudio independiente, realizado en el canal Beagle, Tierra del fuego, Argentina. Realizó escuchas durante los días 2 y 3 de Enero del año 2017, grabadas con un sistema de hidrófono *Reson TC-4033*. Con metodología de seguimiento activo, usando un bote que navegó hasta avistar a los especímenes, el motor del bote se apagó y el hidrófono se sumergió con una profundidad máxima de 10 metros. Este estudio logró identificar un total de 481 clics, cuya caracterización acústica es de un peak de frecuencia de 138 ± 11 KHz, un centroide de frecuencia en el rango de 129 – 186 KHz y ventanas temporales de entre 40 – 286 μ s (Reyes et al, 2018) (Figura 5).

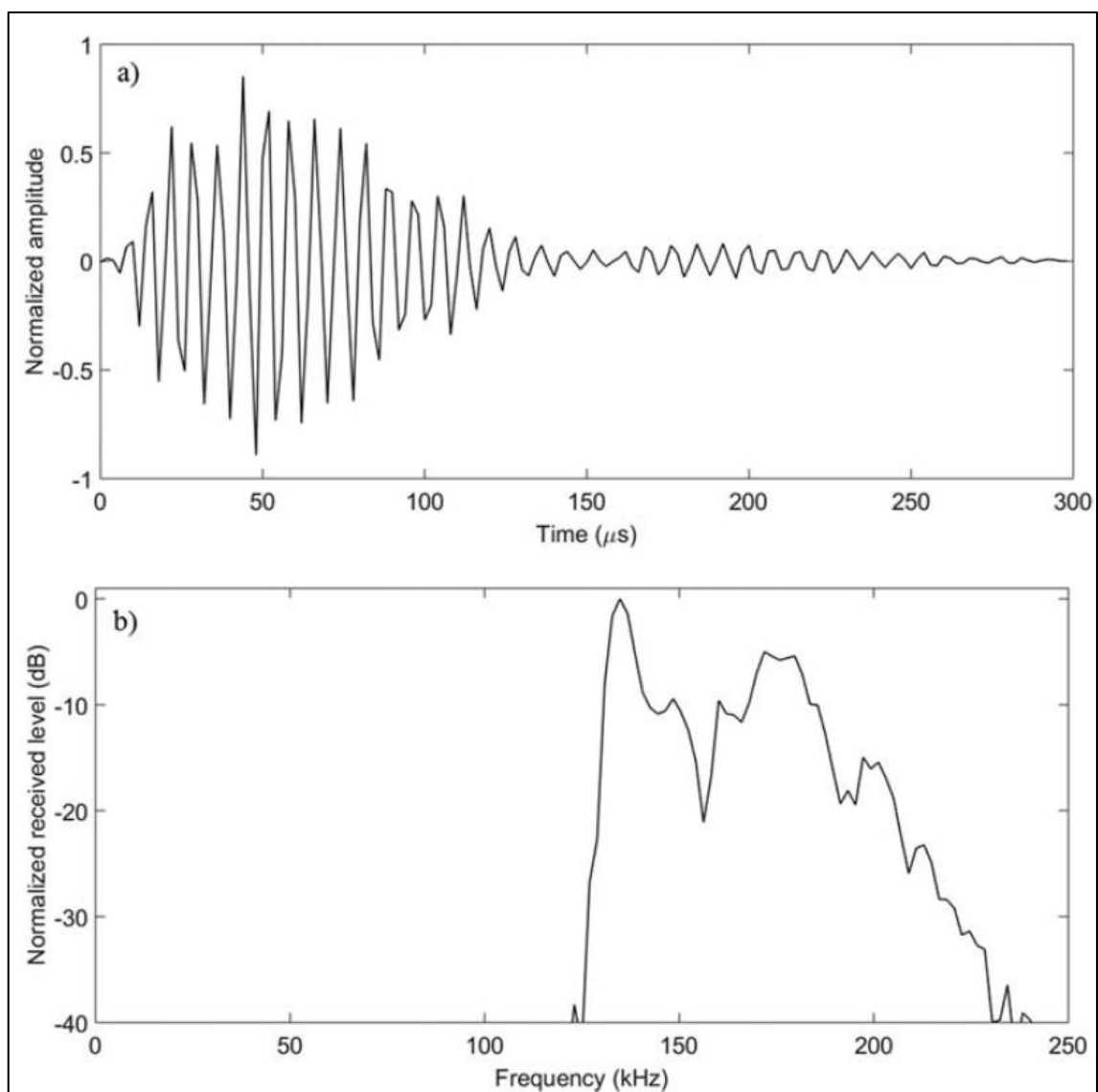


Figura 5: (a) Serie normalizada de un clic representativo. (b) Media normalizada del espectro de todos los clics analizados, Fuente: (Reyes et al, 2018).

1.3.1 Zona de distribución de la marsopa espinosa

La marsopa espinosa se ubica en el cono sur, de la unión de los océanos Pacífico y Atlántico. El registro más al norte, ha sido en Paita, una ciudad al norte del Perú ($5^{\circ}01'S$), que es donde la corriente de Humboldt (Corriente oceánica caracterizada por ser de aguas frías superficiales, continuas, de baja superficial, originada desde el continente antártico, que va subiendo en dirección norte, por las costas de Chile y Perú), se integra al oeste con la corriente ecuatorial del sur (del Pacífico). Al sur del Pacífico, se han observado especímenes en el estrecho de Magallanes, canal Beagle y en cercanías del Cabo de Hornos.

Registros del océano Atlántico, ubican a la especie desde las costas de Argentina, Uruguay, hasta el estado de Santa Catarina en Brasil ($\sim 28^{\circ}S$). (Reyes, 2009)(Figura 6). Basados en registros de conteo de especímenes, en conjunto de un análisis de las variables oceanográficas. Han llevado a la proposición de que la marsopa espinosa, se distribuye de forma continua desde Paita, Perú, hasta la cuenca del río de La Plata. Con récords esporádicos de Uruguay y Brasil (asociados a la intrusión de aguas frías con la convergencia subtropical) (Molina-Schiller et al, 2005).

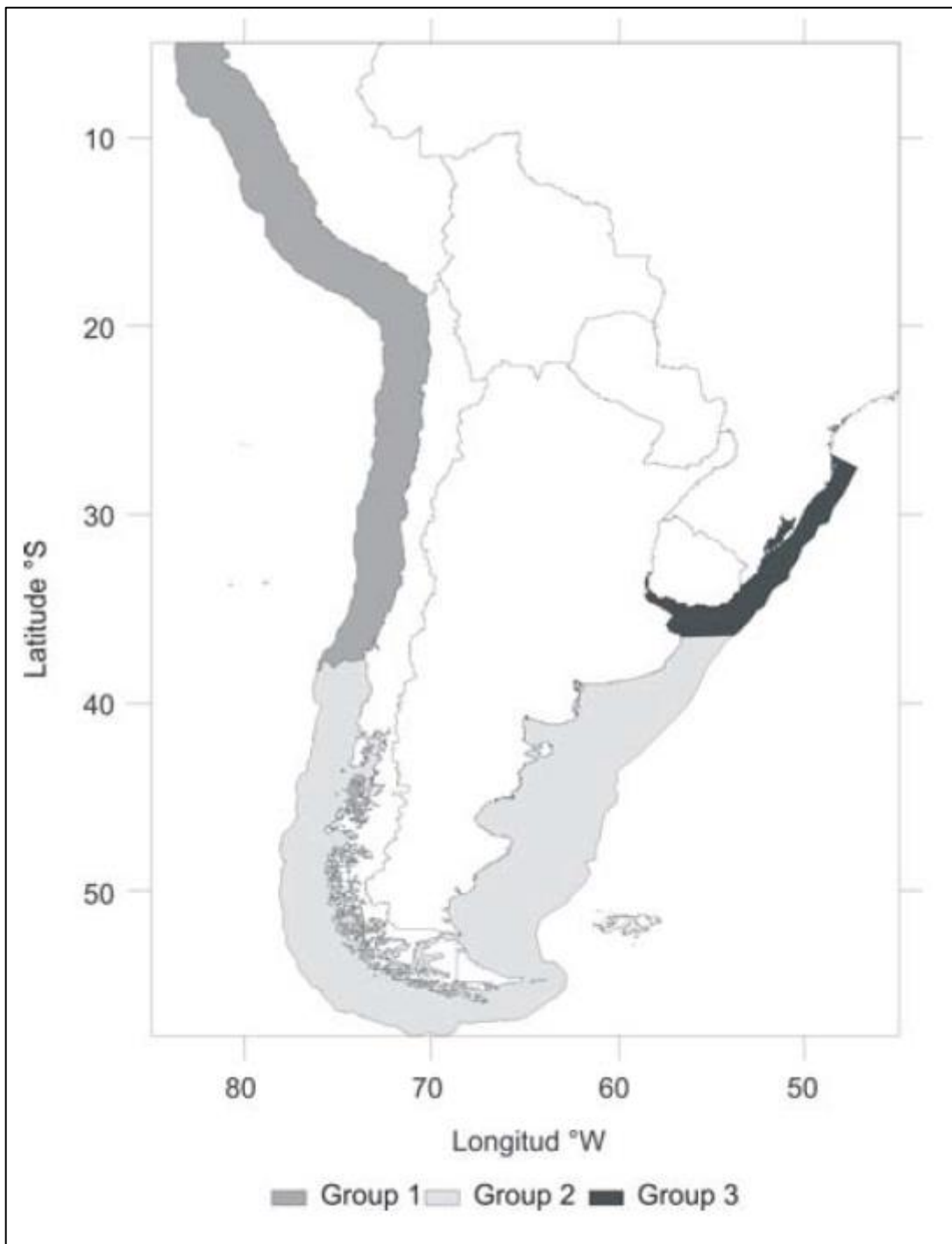


Figura 6: Propuesta de distribución oceanográfica de la *Phocoena spinipinnis*. Fuente: (Molina-Schiller et al, 2005).

1.3.2 Estado de Conservación.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, sus siglas en inglés, para *International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species*),

ha clasificado a la marsopa espinosa como especie casi amenazada (NT *Near threatened*), en 2018, ya que su estimado de población es desconocido, sus amenazas son la pesca y cosecha de recursos marinos, su caza es para uso meramente local (IUCN, 2022).

El estado de Chile, categoriza la amenaza de las especies basado en la Lista Roja de la IUCN, sin embargo, no existen antecedentes de cómo esta información se va actualizando dentro de los registros que manejan las diferentes entidades del gobierno de Chile, dado que al consultar sus bases de datos públicas estas se encuentran desactualizadas y catalogan a la marsopa espinosa, como una especie insuficientemente conocida (DD) (SERNAPESCA, 2009).

1.4. Pesca incidental de marsopa espinosa en el Pacífico Sureste

A lo largo de las diversas investigaciones que se han desarrollado en los países comprendidos del Pacífico sureste (Chile y Perú), no se han determinado estadísticas generales de pesca incidental de esta especie, por lo que la información que se puede recopilar, son estudios contextualizados a periodos de tiempo específicos, en zonas geográficas específicas.

Un estudio realizado en base a observadores del Puerto San Juan (Localidad del sur de Perú), con datos recopilados entre 1991 y 2001, determinó el avistamiento y captura incidental de 214 especímenes de marsopa espinosa, un número indeterminado de estas pescas incidentales eran devueltas al mar, sin poder definir si los individuos presentan lesiones o si estos fallecieron de forma posterior a la captura incidental (Majluf et al, 2000).

Otro estudio con observaciones realizadas a expediciones pesqueras entre abril 2009 y diciembre 2012, en las costas de Perú, desde la localidad del puerto de Salaverry (8°14'S, 78°59'W), registró la captura de dos especímenes de marsopa espinosa, para el total de expediciones realizada (Clay et al, 2018).

1.5 Acústica como herramienta para evitar la pesca incidental de pequeños cetáceos.

1.5.1 ¿Qué es la acústica?

La acústica es la rama de la física que estudia el fenómeno del sonido, infrasonido y ultrasonido. El sonido y sus derivados, es una onda mecánica que se propaga a través de distintos medios (sólidos, líquidos y gaseosos). Si se aísla un evento sonoro, en un punto

del tiempo y el espacio, se podría observar que esta posee dos características, volumen y tono. El volumen se relaciona con la magnitud física presión sonora, mientras que el tono, se relaciona con la frecuencia, que es el número de periodos por unidad de tiempo, en que el evento se repite y su medida es el *Hertz* (Hz) (Möser & Barros, 2009).

Los seres vivos han desarrollado sofisticados sistemas biológicos, que les permiten percibir, interpretar y dar sentido a estas ondas mecánicas. Los seres humanos han desarrollado un sistema auditivo que les permite percibir e interpretar ondas acústicas con un rango de frecuencia entre los 16 Hz, hasta los 16 KHz (Möser & Barros, 2009). Otras especies de animales, desarrollaron sistemas aún más sofisticados, se ha mencionado anteriormente en la sección 1.3, que la marsopa espinosa al igual que otros cetáceos, desarrolló un sistema de ecolocalización, que le permite determinar los componentes de su entorno.

1.5.2 Aplicaciones acústicas en el estudio de cetáceos

El desarrollo de la electrónica y la informática, ha permitido dar un salto sustancial en el estudio de la ecología. Labores que antiguamente requerían, el uso de una incalculable cantidad de horas de observadores humanos, que deben estar presentes en el lugar físico. Con el desarrollo de herramientas tecnológicas, han permitido que los observadores humanos, hayan sido paulatinamente reemplazados, por la tecnología de monitoreo, que permiten observar durante largos periodos de tiempo de manera ininterrumpida y utilizar los avances en inteligencia artificial, para poder identificar y clasificar, una cantidad de información que requerirían una cantidad exuberante de horas hombre.

Las herramientas de monitoreo acústicas actuales, se basan en la grabación de las ondas acústicas, pudiendo ser sonidos, infrasonidos o ultrasonidos. Su procesamiento y análisis, permite clasificar e identificar dicha información, esto permite entre otras características, individualizar y contextualizar diferentes emisores de ruido, definir y describir cada una de estas fuentes de señal, cual es el rango de frecuencia de los emisores, cuál es su volumen (Nivel de Presión Sonora), distancia entre la fuente y el receptor.

Aplicaciones acústicas que se pueden llevar a cabo para el estudio de cetáceos son: estimar densidad poblacional (Marques et al, Estimating animal population density using passive acoustics, 2012), demarcación de hábitat y distribución (Clay et al, 2018) , interacción entre especies e influencia humana (Schaffeld et al, 2022), o el uso de *pingers*

como método de mitigación de la pesca incidental (Mangel et al, 2012; Omeyer et al, 2020).

Los instrumentos acústicos utilizados actualmente, para realizar estudios e investigaciones en cetáceos, pueden ser receptores o transmisores. Los receptores, son hidrófonos, micrófonos adaptados para poder funcionar bajo el agua, pueden tener la característica de ser de funcionamiento autónomo, como el *C-POD* (Chelonia Limited, 2018), que permite realizar grabaciones prolongadas, sin que se deba realizar una supervisión directa sobre el instrumento (Figura 7).

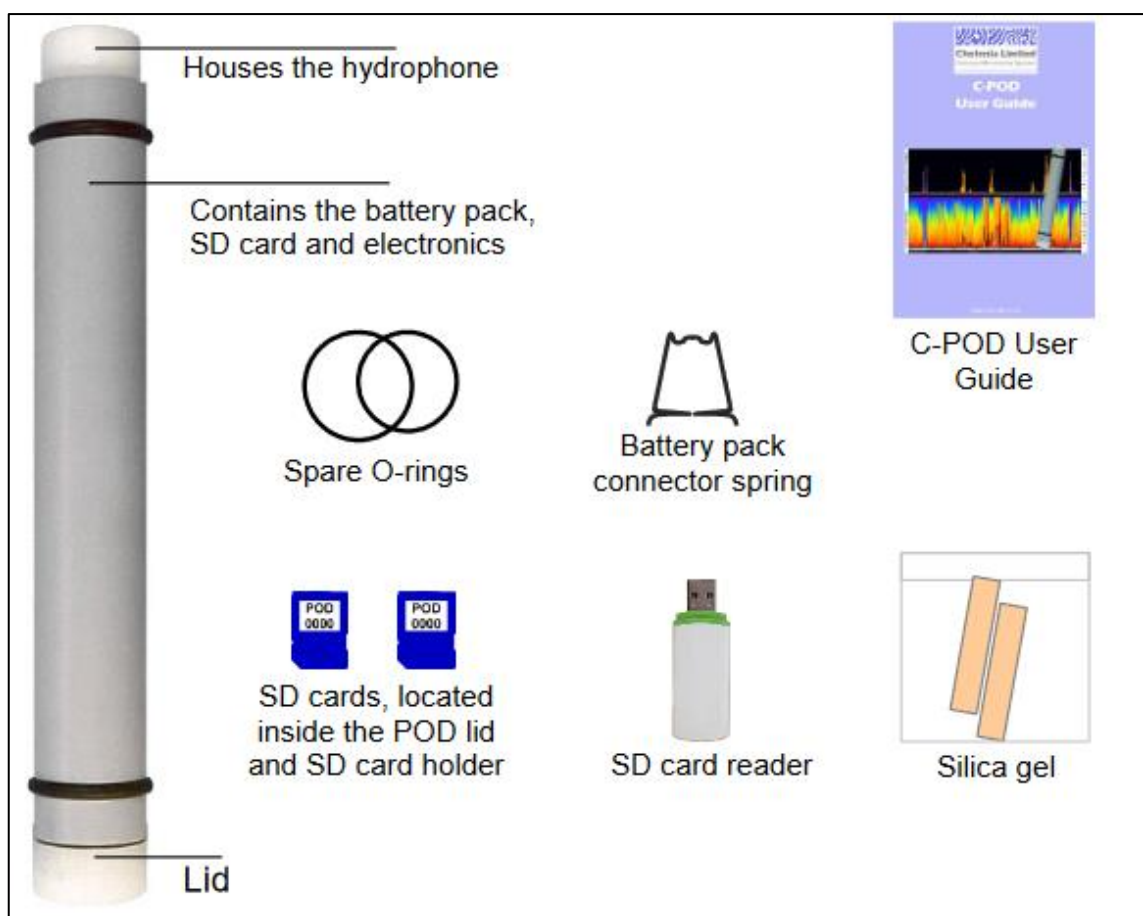


Figura 7: Diagrama hidrófono y partes de un C-Pod. Fuente: *C-POD User Guide* (Chelonia Limited, 2018).

La otra característica que pueden tener los hidrófonos, es la de un uso manual del hidrófono, es decir que estos hidrófonos, menos sofisticados que los autónomos, requieren de una supervisión más constante. Un ejemplo de este tipo de hidrófonos, es el

Hydrophone TC4033, que es un hidrófono omnidireccional, diseñado para captar ultrasonidos, hasta 250 KHz (TELEDYNE MARINE, 2020) (Figura 8).

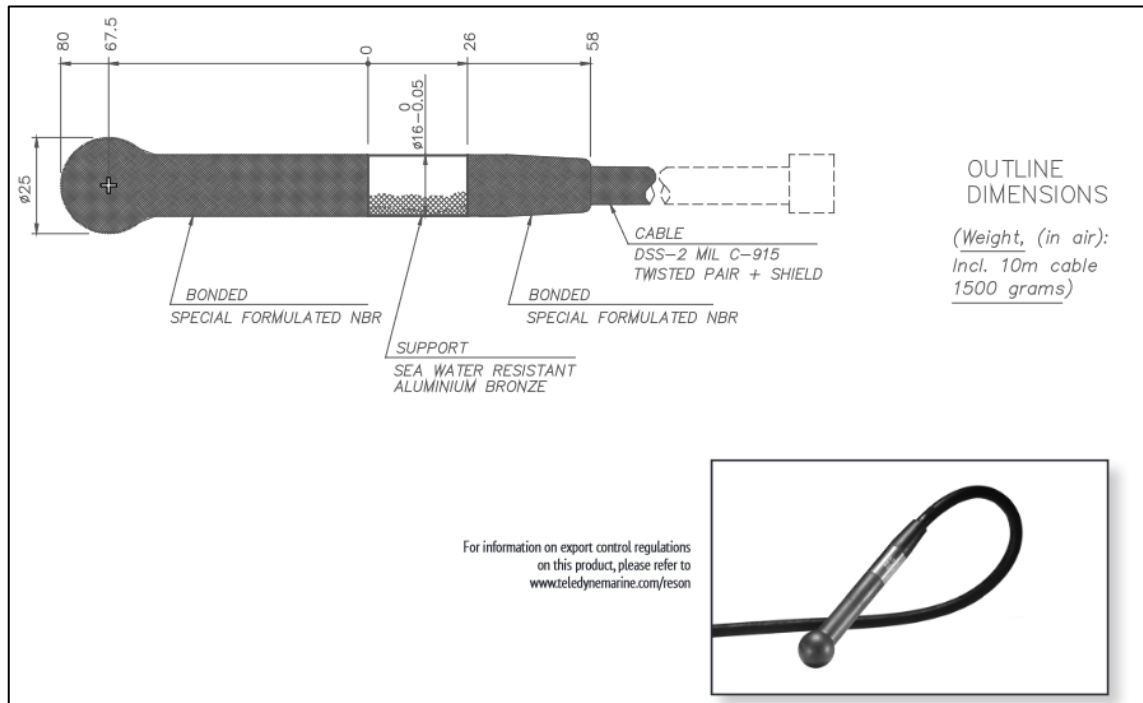


Figura 8: Diagrama dimensiones Hidrófono TC4033. Fuente: (TELEDYNE MARINE, 2020).

Los instrumentos acústicos transmisores, son aquellos utilizados para generar sonido y recopilar la información que se genere en la interacción de estos sonidos con el entorno. Estos instrumentos pueden diferenciarse según su aplicación, existiendo los ecosondas, que consisten en transductores ultrasónicos, que emiten una serie de pulsos acústicos, para analizar sus reflexiones y poder así determinar la presencia de bancos de peces, fauna marina o los contornos del entorno marino. Un modelo de ecosonda es el *Deeper Smart Sonar PRO+ 2* (Deeper, 2022) (Figura 9).

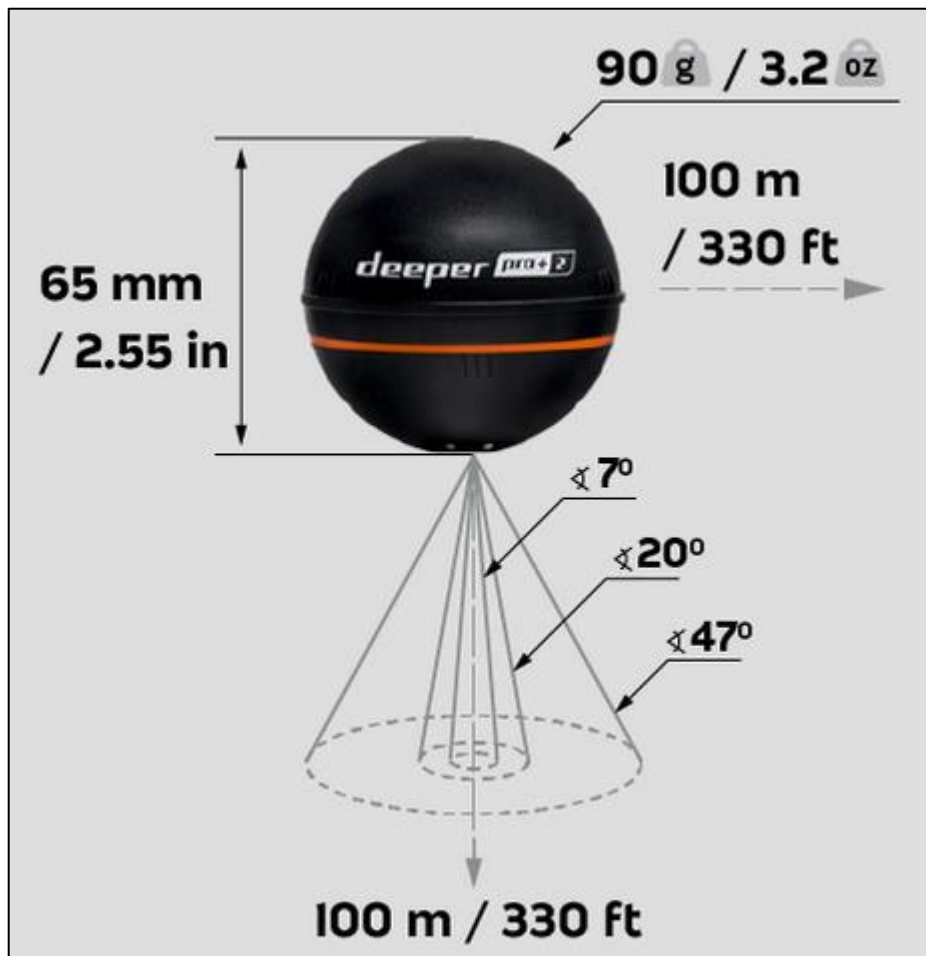



Figura 9: Diagrama Especificaciones Técnicas Ecosonda Deeper Smart Sonar PRO+ 2. Fuente: (Deeper, 2022).

Los *pingers*, son transductores de ultrasonidos, cuya aplicación es generar un muro de sonido, que disperse a ciertas especies marinas, con el fin de generar zonas protegidas, para reducir la interacción entre especies o la interacción de especies con las actividades humanas (Mangel et al, 2012; Omeyer et al, 2020). Un modelo de este instrumento es el *Banana Pinger*, un transductor ultrasónico, que se coloca en las redes de pesca, diseñado para disuadir a cetáceos de acercarse a estas (Fishtek Marine, 2022) (Figura 10).


DETERRENT PINGER FITTING INSTRUCTIONS

Battery fitting




1

Remove the Pinger from the rubber carrier and unscrew the lid.




2

Insert the battery ensuring the polarity is correct.



3

Replace the Pinger lid and tighten down fully, ensuring the O ring becomes compressed.

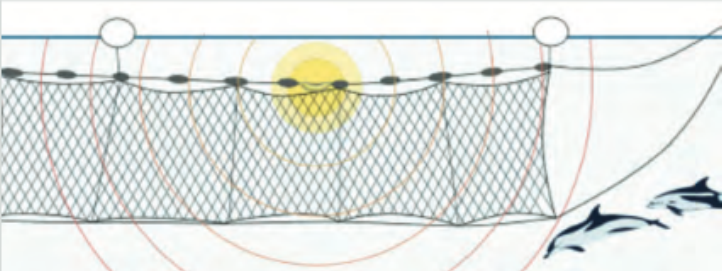


4

Insert the flashing end of the Pinger into the rubber carrier first, ensuring the correct orientation of the carrier.

Fitting the pinger to the net

Deterrent Pingers may be threaded onto ropes joining net panels on either the head rope or foot rope. We recommend that they are fitted to the rope that is not used for hauling.



- 1** Thread the foot/head rope through the Pinger carrier
- 2** Tie a knot 25mm from each end of the Pinger to prevent the carrier from moving along the rope.

If nets are under extreme tension (for example if the Pingers are fitted to the hauling rope) a cable tie may be used around the Pinger (but under the rope) for added security.

Figura 10: Instrucciones de uso Banana Pinger. Fuente: (Fishtek Marine, 2022).

Otro modelo de pinger es el *Dukane Netmark 1000*, siendo la modificación de tecnología desarrollada por la *NASA* en la década de los 60's, como una baliza de sonido para poder encontrar y recuperar equipo de alto valor. Posteriormente estos sistemas se fueron utilizando en las cajas negras de los aviones, con el fin de poder localizarlas en caso de siniestros sobre el océano, para posteriormente utilizarlo como elemento disuasivo para la pesca incidental de cetáceos (*NASA*, 2022) (Figura 11).



Figura 11: Fotografía pinger Dukane Netmark 1000. Fuente: (NASA, 2022).

1.5.3 Casos de estudio: Pingers como métodos disuasivos.

En un estudio llevado a cabo en las costas de Perú, para identificar el uso de *pingers* como elemento disuasivo en la pesca incidental de pequeños cetáceos, entre las diversas especies de estudio se consideró a la marsopa espinosa. Se llevaron a cabo pruebas de campo con *pingers* modelo *Dukane Netmark 1000*, en expediciones durante abril 2009 a agosto 2011. Se demostró que el uso de *pingers* tiene un efecto estadísticamente significativo en la captura incidental de pequeños mamíferos (Mangel et al, 2013). En cuanto a las características, como área y cantidad de tiempo, en que los *pingers* son efectivos, el estudio es poco conclusivo, aludiendo a que no existen datos suficientes o experimentos que permitan realizar esos análisis.

1.6 Presencia de Marsopa espinosa en el norte de Chile

La base de estudios publicados, respecto al censo de Marsopa espinosa en el norte de Chile, son escasos. Existen pocos estudios de observación de esta especie, por ejemplo, en una investigación de ciencia ciudadana, donde se recopilaron datos de observaciones efectuadas a través de un programa de entrenamiento de la ciudadanía, en las costas de la región de Antofagasta entre los años 2013 a 2020, registraron avistamientos por un total de 327 individuos de marsopa espinosa. Los cuales fueron observados durante las cuatro

estaciones del año, y se observaban mayoritariamente solos o en grupos de hasta 3 individuos (García-Cegarra et al, 2021).

Un segundo estudio de estimación de densidad poblacional de la marsopa espinosa, llevado a cabo en las costas de la bahía de Mejillones, región de Antofagasta, fue llevado a cabo mediante viajes de observación entre octubre 2018 y octubre 2021. En donde se observaron un total de 54 individuos, en donde se concluyó que para el área de estudio la población estimada de marsopas es de 76 individuos (Illanes Rivera, 2022).

La distribución de marsopa espinosa en la bahía de Mejillones, fue propuesta por un estudio, que concluyó que la zona de mayor densidad de observación es en la parte sur oeste de la bahía, tal como lo muestra la figura 12. Esta zona se caracteriza por tener profundidades entre los 80 y 100 m.

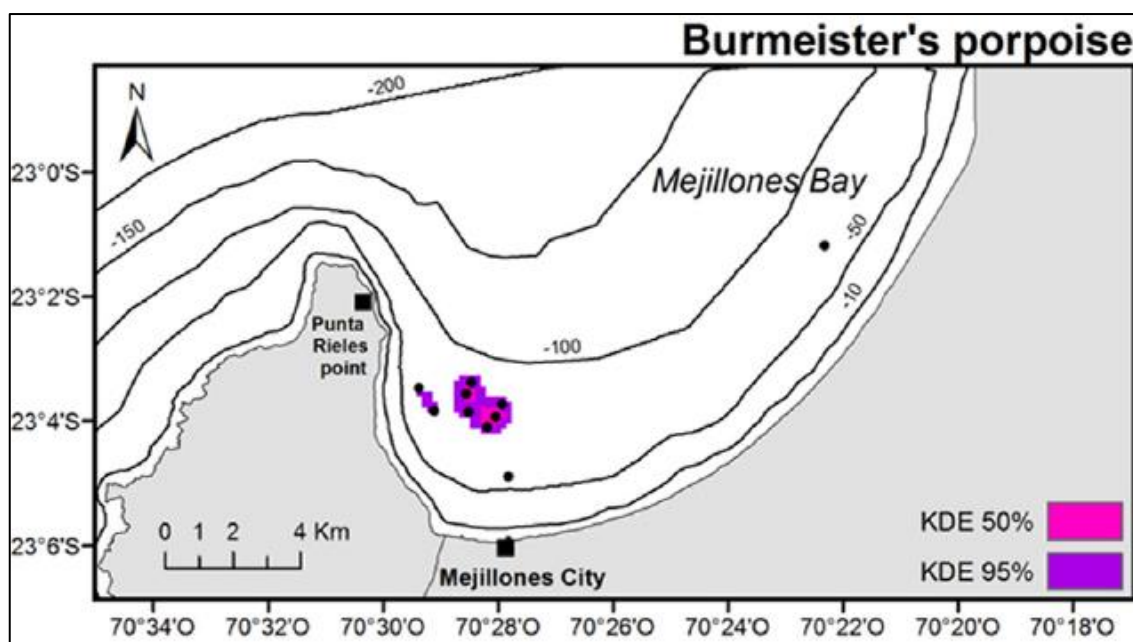


Figura 12: Propuesta de densidad de la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones. Fuente: (García-Cegarra & Pacheco, 2019).

Existen registros de varamientos de la marsopa espinosa, entre los años 2019 y 2021, se registraron 9 varamientos, en las costas de la región de Antofagasta, específicamente en las localidades de Antofagasta (n=3) y Mejillones (n=6). El registro permite evidenciar marcas de pesca incidental, marcas de lienzo, de red y diferentes cortes en el cuerpo del animal (Illanes Rivera, 2022. Sin publicar). Por lo que la pesca incidental sería la principal causa de muerte de marsopa espinosa en la bahía y región de Antofagasta.

La anchoveta, representa la principal fuente de alimentación de la marsopa espinosa (ver sección 1.3) (García-Godos et al, 2007), por lo cual, se entiende que la mayor probabilidad de que ocurra la pesca incidental de la especie es en las actividades de pesca de cerco de anchoveta, por lo cual se vuelve relevante saber la localización de las actividades de esta pesca, en el hábitat de la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones. La pesca principal de anchoveta, es mediante el arte de pesca con cerco. Registros en la bahía de Mejillones, indican la presencia de pesca artesanal e industrial de cerco en la bahía de Mejillones. En la Figuras 13 y 14, se puede visualizar que las actividades de pesca con cerco en sus dos variantes, coinciden geográficamente con las zonas de mayor densidad de la marsopa espinosa. En la bahía de Mejillones, se tiene registro de 16 embarcaciones artesanales y de 13 embarcaciones industriales de pesca de cerco (García-Cegarra & Pacheco, 2019).

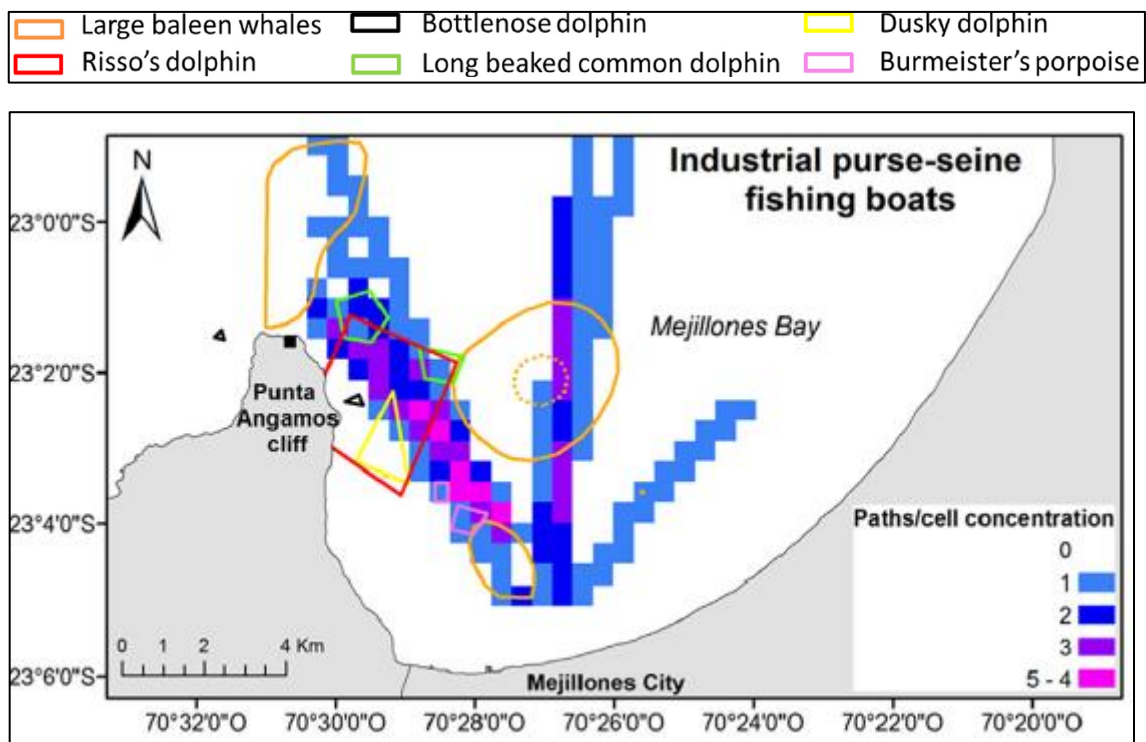


Figura 13: Rutas de pesca industrial de cerco. Fuente: (García-Cegarra & Pacheco, 2019).

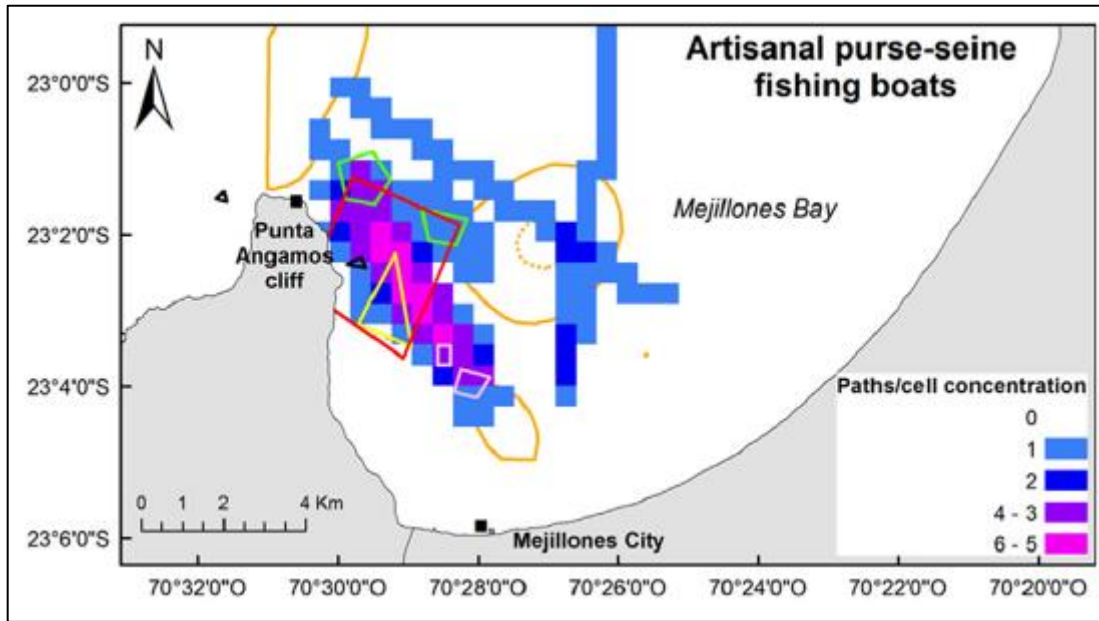


Figura 14: Rutas de pesca artesanal de cerco. Fuente: (García-Cegarra & Pacheco, 2019).

En Chile, durante el año 2021 se desembarcaron un total de 607000 toneladas de anchoveta, de las cuales un 63,1% corresponden a las zonas de la región de Arica y Parinacota a Antofagasta. La pesca industrial de anchoveta, durante el año 2021 para la zona Arica y Parinacota – Antofagasta, contabiliza un total de 100000 toneladas, mientras que la pesca artesanal registra 282000 toneladas (SUBPESCA, 2022) (Figura 15). Esto evidencia que la pesquería de anchoveta es un recurso económico importante para el norte de Chile. Sin embargo, la marsopa espinosa también se alimenta de anchoveta y por tanto su distribución coincide potencialmente con las zonas de pesca y es ahí cuando se produce la muerte por pesca incidental de esta especie. Es por ello que es de vital importancia tratar de mitigar la mortalidad por pesca incidental de marsopa espinosa en la región y poder así proponer herramientas que ayuden a mejorar el estado de conservación de esta especie en Chile.

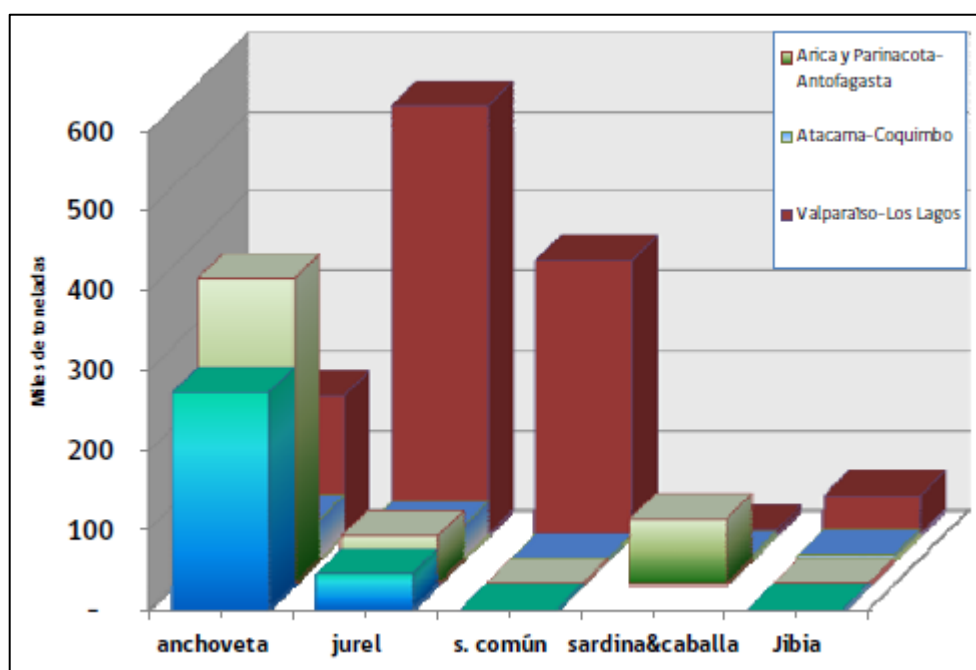


Figura 15: Desembarque de especies pelágicas por zona, año 2021. Fuente: (SUBPESCA, 2022)

1.7 Conclusión de la introducción

La caza indiscriminada de cetáceos, incrementada posteriormente a la revolución industrial del S. XIX, ha dejado al borde de la extinción a diversas especies de estos mamíferos. Ha sido el incremento del conocimiento científico y el desarrollo de estudios e investigaciones, sobre el impacto ambiental que tiene la actividad humana sobre la naturaleza, que se han generado una serie de medidas de cuidado y control de estas especies, que se han vuelto animales de especial protección en la comunidad científica.

A pesar de que la IUCN, ha establecido la Lista roja de especies amenazadas, en donde se clasifica a la marsopa espinosa como una especie casi amenazada (NT) (Ver sección 1.3.2), el Ministerio de Medio Ambiente de Chile, no ha establecido un censo de la especie en aguas nacionales, por lo que se carece de información que permita determinar el estado de la población y sus medidas de cuidado específicas para la especie.

En la actualidad la marsopa espinosa, se ha seguido encontrando en varamientos, con evidencia de lesiones físicas que conducen a determinar que estos especímenes murieron debido a la pesca incidental en la región de Antofagasta. Para evitar la muerte de marsopa espinosa en redes de pesca de cerco de anchoveta se pueden implementar herramientas

acústicas disuasivas. En este punto es donde entran los objetivos de la presente investigación, generar conocimiento científico de las características acústicas de la marsopa espinosa y poder desarrollar a través del uso de *pingers*, una metodología que permita disminuir la pesca incidental de esta especie en la bahía de Mejillones.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

La bahía de Mejillones, formada geográficamente por el extremo norte de la Península de Mejillones sector Punta Angamos ($23^{\circ} 1,7'S$; $70^{\circ} 30,6'W$), hasta Punta Chacaya ($22^{\circ} 58,3'S$; $70^{\circ} 19,5'W$) (CEA, 2019), está orientada hacia el norte, dominada por la corriente Costera Chilena y la contracorriente de Humboldt. Es una zona donde se producen surgencias (proceso en el cual las aguas subsuperficiales afloran estacionalmente, proveyendo de nutrientes a las zonas superficiales). Esta zona de surgencia está localizada en las cercanías de Punta Angamos. El proceso de surgencia de la bahía de Mejillones, se produce de manera ininterrumpida durante todo el transcurso del año, existiendo variables en su intensidad de manera estacional. El periodo con mayor intensidad se produce en octubre (primavera austral), mientras que el periodo con menor intensidad se produce durante enero (verano austral) (Centro de Ecología Aplicada, 2019).

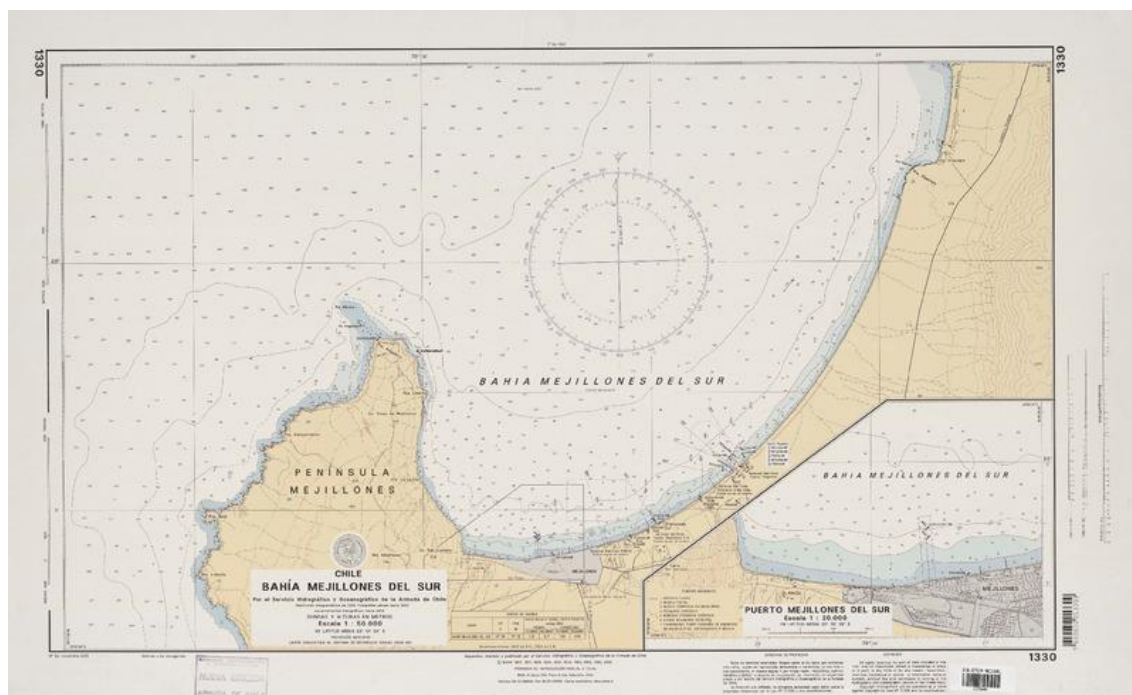


Figura 16: Carta náutica Bahía de Mejillones del Sur, Carta N° 1331 SHOA. Fuente: (SHOA (Chile), 2022).

El afloramiento de aguas profundas, frías y ricas en nutrientes hacia la superficie con ayuda de la energía del sol favorece la proliferación de fitoplancton (organismos

fotosintéticos que producen oxígeno en la columna de agua). Este fitoplancton a su vez es el alimento del zooplancton, y este, es el alimento de especies clave como la anchoveta y el krill en la corriente de Humboldt, nutriendo así la cadena trófica. Especies clave como anchoveta y krill son alimento de numerosas especies de depredadores superiores como aves marinas, lobos marinos y cetáceos, entre ellos la marsopa espinosa (Reyes & Van Waerebeek, 2008).

Sin embargo, a pesar de su rica biodiversidad, la bahía de Mejillones agrupa diversas fuentes de actividades humanas, como pesqueras, industriales e investigación científica. Cada una de ellas con sus potenciales impactos a la ecología de la bahía. Se estima que la anchoveta representa el 97,7% del total de extracción de pesca artesanal de la bahía, durante el período 2017-2019.

Las actividades recreativas, corresponden a la pesca deportiva, el buceo, deportes acuáticos (surf, canotaje) y uso de naves motorizadas.

Las actividades económicas, se centran en el uso y aprovechamiento de los recursos marítimos, considera las actividades de pesca y acuicultura, como también el uso de las aguas para procesos de desalamiento o su uso como método de enfriamiento de centrales termoeléctricas, cuyos productos residuales salmuera y agua a temperaturas elevadas que son retornadas a la bahía.

El uso de la bahía de Mejillones como un recurso económico logístico, es aquel donde se usa la bahía como un punto estratégico para el comercio nacional e internacional. Puerto Angamos se ha posicionado como uno de los principales puertos de carga en el país, durante el año pasado se transfirieron 3.9 millones de toneladas en carga, correspondiendo 1.4 millones de toneladas a cobre. Existiendo un tráfico de 381 naves comerciales (Puerto Angamos, 2022). Otro puerto existente en la bahía es el Puerto de Mejillones donde una de sus principales transferencias de carga es la de carbón, siendo en 2019 de aproximadamente 3 millones de toneladas (Complejo Portuario Mejillones, 2020). Los barcos mercantes son una gran fuente de ruido submarino sobre todo en baja frecuencia, los buques mercantes producen 220 dB re $1\mu\text{Pa}$ a 1 m, concentrándose en un rango de frecuencia de entre 5 a 500 Hz. Como estos sonidos son de baja frecuencia pueden propagarse durante largas distancias abiertas, por lo que puede medirse el incremento del ruido submarino aun cuando se esté lejos del punto de origen (Ocean Studies Board,

2003). Estudios han demostrado que la alta velocidad de navegación produce sonidos de alta frecuencia, a partir de los 16 nudos (29.6 Km por Hora), los barcos al entrar a puertos suelen viajar entre 2 a 4 nudos y en altamar suelen navegar a velocidades de entre 20 a 25 nudos. Los sonidos de alta frecuencia son originados por la cavitación de las palas de la hélice, que genera burbujas que explotan ruidosamente. Con una banda de frecuencia entre 0.35 a 44.8 KHz a 136 dB re 1 μ Pa a >700 m de distancia (Aguilar Soto et al, 2006).

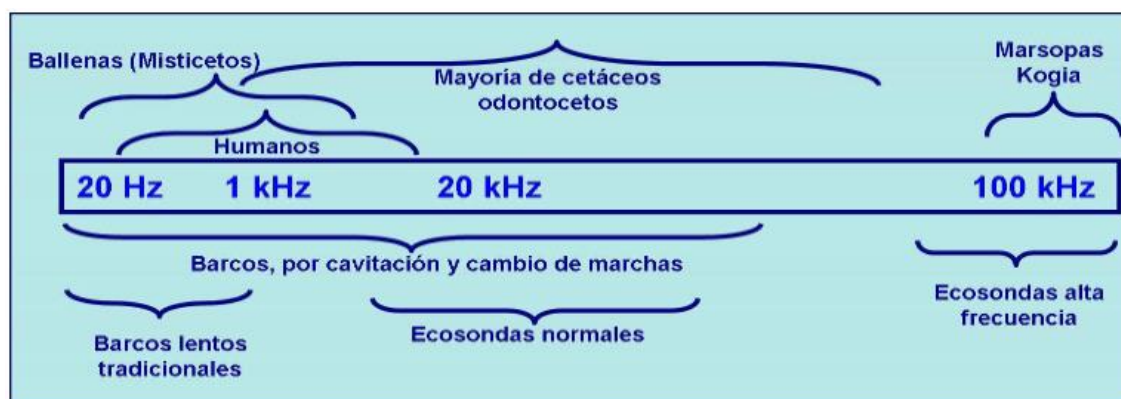


Figura 17: Rangos de frecuencia a los que emiten generalmente los barcos y ecosondas de navegación, y a los que son sensibles los cetáceos con barbas (misticetos) y dientes (odontocetos). Fuente: (MAAM, Gobierno de España, 2012).

También el ecosistema de la bahía de Mejillones puede verse afectado por los desperdicios que la actividad industrial que produce la bahía de Mejillones. En el año 2019, se identifican 26 puntos de descarga de residuos industriales líquidos (RILes) y 4 emisarios submarinos. Cuyo volumen de descarga es de 1.898.067 m³/año (Centro de Ecología Aplicada, 2019).

Todos estos antecedentes muestran las numerosas actividades industriales, pesqueras y recreativas que pueden afectar de forma negativa al bienestar y supervivencia de especies como la marsopa espinosa.

2.2 Salidas de navegación para implementación de hidrófono F-POD y Pinger en área de mayor densidad de marsopa espinosa.

La primera salida de navegación, realizada el día 29 de enero 2023, tuvo como objetivo el despliegue del F-POD. La expedición se realizó a bordo de una embarcación de 5 m de eslora, con un motor fuera de borda de 40 HP. Se navegó rumbo a playa Áncora y se observaron marsopas en la navegación. Durante la observación de las marsopas se

desplegó un hidrófono manual Aquarian audio CA 50, conectado a una grabadora Zoom H5 para registrar el sonido de las marsopas espinosas durante su observación (Figura 18).



Figura 18: Grabadora Zoom H5, junto a Hidrófono Aquarian Audio CA 50.

Una vez registrado el sonido se procedió a navegar a las coordenadas $23^{\circ} 4,108' S$, $70^{\circ} 29,902' O$, que es la ubicación donde se implementó el F-POD. En esta ubicación se dejó caer un primer bloque de concreto de aproximadamente 20 Kg a aproximadamente 50 m de profundidad. El bloque de concreto cumplirá la función de mantener instrumentos estables en la ubicación deseada. Posteriormente la embarcación se ubicó a 40 m de distancia en las coordenadas $23^{\circ} 4,108' S$, $70^{\circ} 29,902' O$ (Figura 19), desplegando un segundo bloque de concreto de iguales características. Desde este bloque de concreto se

amarró una boya con una cuerda de 50 m, la cual se elevó de forma vertical, esto permitió que se instalara F-POD a 7 m bajo la superficie. Una vez instalado F-POD, termina la fase de despliegue de instrumentos (Figura 20).



Figura 19: Ubicación coordenadas despliegue F-POD. Fuente: databasin (web)(Consultado: Junio, 2023).

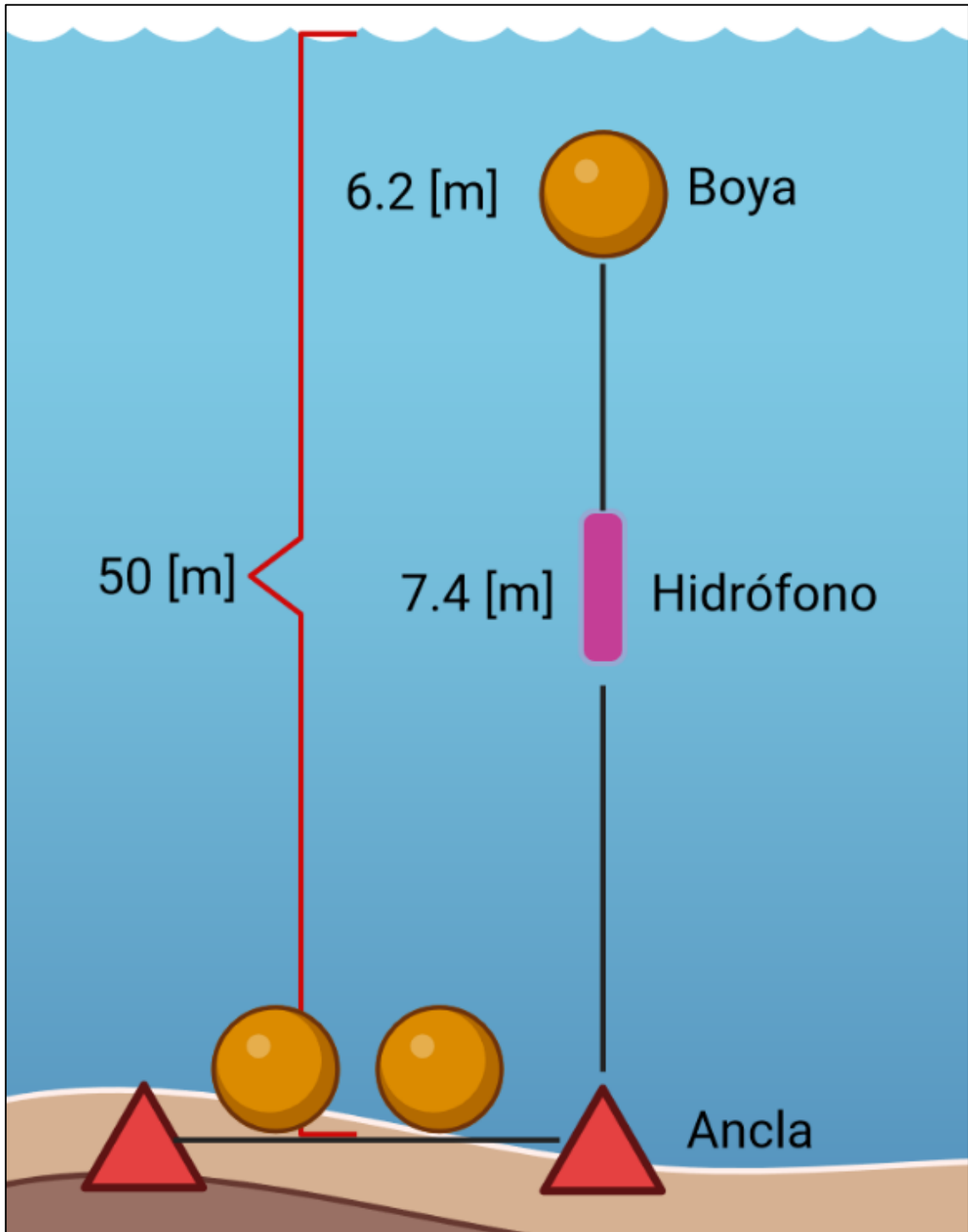


Figura 20: Diagrama instalación disposición Boya – Hidrófono – Ancla.

El despliegue del F-POD se mantuvo durante una semana, hasta el día 05 de febrero, durante este periodo hidrófono se mantuvo recopilando información (Ver sección 3.1), recopilando un total de 166 horas.

La segunda expedición realizada el día 05 de febrero, se navegó hasta la ubicación de despliegue de F-POD, donde un buzo realizó una maniobra de búsqueda y recuperación de F-POD. Una vez se tuvo a bordo el F-POD, se extrajo tarjeta de memoria, se verificaron los datos grabados, se traspasaron a un ordenador, dejando listo el F-POD para verificar nivel de baterías y desplegar para una segunda semana de toma de muestras. Esta segunda semana comprendida entre los días 05 a 11 de febrero 2023, se recopilaron datos en condiciones similares a las de la primera expedición, se recopiló un total de 141 horas.

La tercera expedición, realizada el día 11 de febrero, se rescató F-POD, extrayendo y respaldando los datos almacenados en la tarjeta SD del hidrófono, se revisan niveles de batería y se vuelve a desplegar. Adicionalmente se navega a unos 100 m, de distancia de la localización del F-POD, a las coordenadas $23^{\circ} 4,032' S$ $70^{\circ} 29,936' O$, Se lanza ancla de bloque de concreto de aproximadamente 20 Kg, con una boya amarrada al extremo de una cuerda de aproximadamente 45 m, desplegando *pinger* a una profundidad de 7 m (Figura 21), el *pinger* emitirá pulsos ultrasónicos de manera constante. Sistema de F-POD y *pinger*, permaneció en funcionamiento entre los días 11 y 25 de febrero.

La cuarta expedición, realizada el día 25 de febrero 2023, consistió en la finalización de las tomas de datos en terreno y recuperación de los instrumentos. Se dirige a las coordenadas de F-POD, donde buzo especializado se sumerge a la ubicación, recuperando hidrófono sin complicaciones, datos nuevamente son extraídos y respaldados en ordenador. En segundo lugar, se traslada a coordenadas del *pinger*, donde nuevamente el buzo se sumerge y se recupera *pinger*, en condiciones físicas óptimas.

Con ambos instrumentos recopilados se da por finalizado las tomas de datos en terreno.

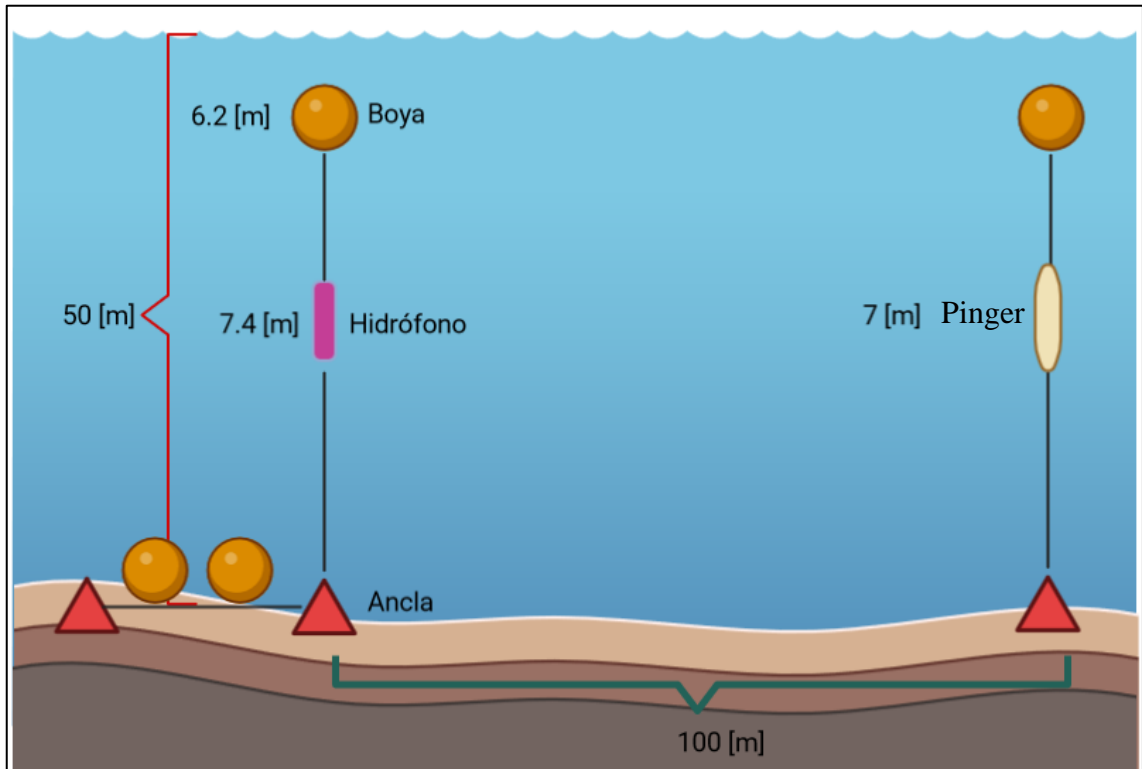


Figura 21: Diagrama instalación Hidrófono – Pinger.

2.3 Análisis de datos de señal acústica de marsopa espinosa

El análisis inicial de los datos recopilados se realizó mediante el *software* «*F-Pod.exe*» (*Chelonia Limited*) (Build 1.0), el cual es un *software* diseñado por la misma compañía desarrolladora del hidrófono, lo que permite facilitar el análisis de la información recolectada.

F-Pod.exe, es un *software* de análisis de *clics* de mamíferos marinos (delfines, marsopas y otros mamíferos dentados). El *software* permite analizar un *clip* de audio, en base a parámetros comparativos, *peaks* de frecuencia y cantidad de *clics* en un determinado tiempo (esto es lo que se conoce como un *tren de clics*), que, según la combinación de estas dos características, se puede determinar la especie, minimizando la posibilidad de obtener un «falso positivo». Para ello se filtraron los sonidos *Narrow Band High Frequency*, dado a que el *software* clasifica los clics de la marsopa en esta categoría y con el filtro de certeza en media y alta (según los parámetros definidos por defecto en el *software*) (Figura 22).

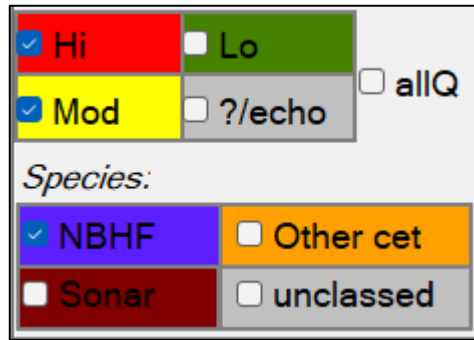


Figura 22: Filtros aplicados en el análisis de grabaciones Software Fpod.exe.

El software entrega la información contenida en el archivo de grabación en una serie de gráficos (Figura 23), los gráficos muestran la información de *Clic/seg*, Train Q Class (Categoría del tren según su calidad), Train Species Class (Categoría del tren según especie) y Frecuencia.

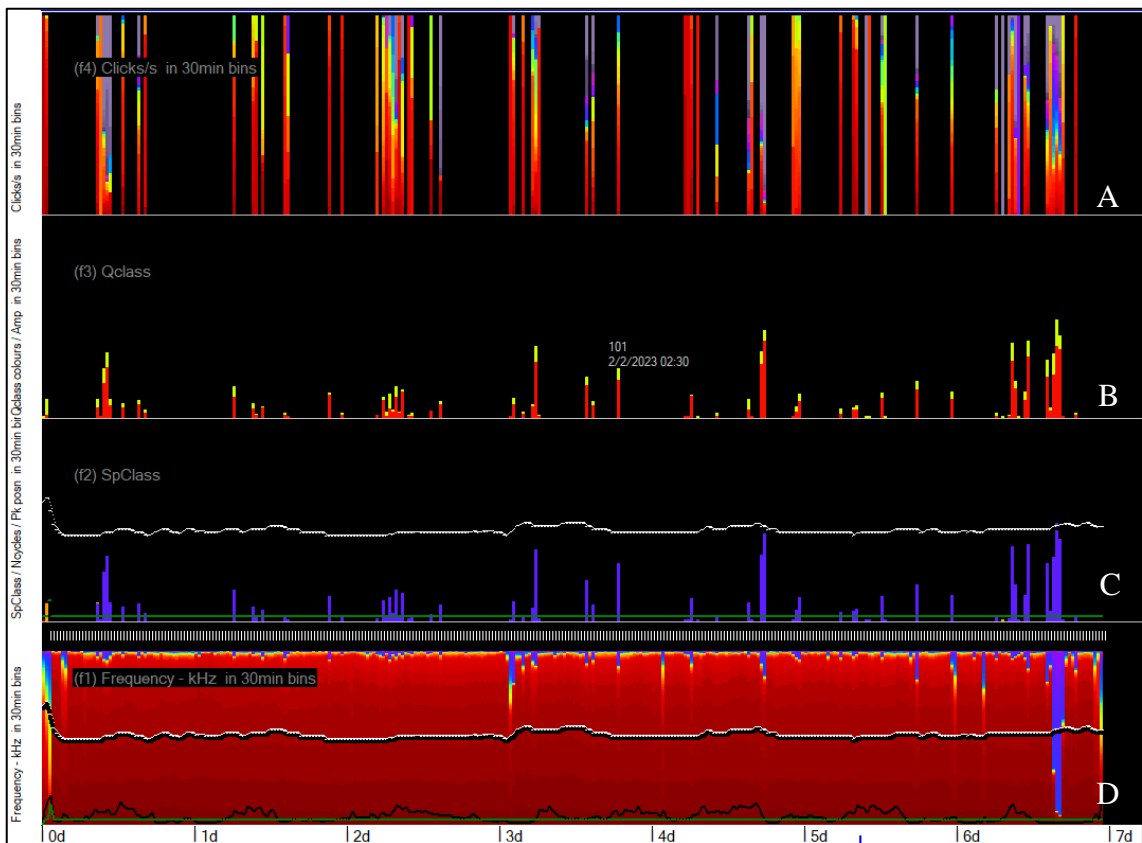


Figura 23: Gráficos de grabación expedición del 29/01 al 05/02. A) *Clics/seg* en barras de 30 min. B) *Train Q class*. C) *Train Species Class*. D) *Frecuencia* en barras de 30 min.

Si se modifica la escala de tiempo, a un valor de microsegundos o milisegundos, se puede apreciar de manera más detallada como sería un tren de *clics*.

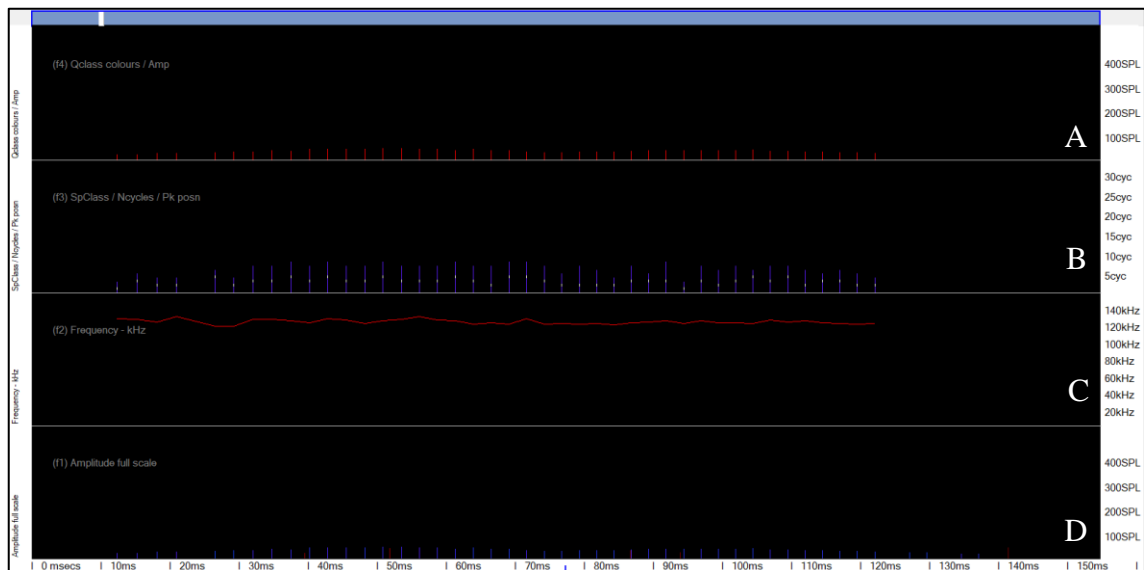


Figura 24: Gráficos de un tren de clics, escala de tiempo de 100 μ s. A) Qclass Colours/Amp. B) SpClass/Ncycles/Pk posn. C) Frecuencia – Hz. D) Amplitud escala completa.

Una vez los datos son filtrados, se procedió a analizar bajo las siguientes variables acústicas:

- Forma de onda y espectrograma: Describe al clic en su forma de onda, como varía el nivel de presión sonora en el tiempo. También lo describe en su espectrograma, mostrando los niveles de presión sonora según frecuencia.
- N° de clics: Describe la cantidad de clics totales registrados en un periodo de una hora.
- ICI: *Interclick Interval*, describe la ventana de tiempo entre clics consecutivos de un tren.
- DPM: Detecciones Positivas por Minuto, es una variable que registra la cantidad de minutos en que se haya detectado señales que se clasifiquen como un tren de clics, dentro de un lapso de sesenta minutos.
- *Buzzfeed*: Es el término utilizado para identificar cuando se está en presencia de ciclos de cacería y alimentación activa por parte de las marsopas. Se caracteriza por presentar un ICI menor a 10000 μ s (Todd et al, 2023).
- Duración tren de clics: Variable que indica en tiempo, la duración de un tren de clic, independiente de la cantidad de clics que este contenga.

Seguidamente se exportaron en un archivo formato .CSV, el cual puede ser visualizado a través del *software Excel (Microsoft Office, Build 2304)*. Estos archivos con datos tabulados se analizaron estadísticamente en el *software Rstudio (R Core Team, Build 2023.03.0+386)*. Se realizó test de normalidad Anderson-Darling, aquellas variables que no cumplían la hipótesis de normalidad, se analizaron con test no paramétricos Kruskal-Wallis. Se consideró un valor significativo aquellas variables, cuyo p-valor resultase menor a 0.05. Los resultados se graficaron en gráficos estilo boxplot e histogramas. Todas las variables respuesta analizadas se compararon entre los factores día/noche y ausencia/presencia de *pinger*. Para ello se consideró el parámetro día entre las 08:00 – 19:59 hrs y el parámetro noche entre las 20:00 – 07:59 hrs (dado a que, durante el tiempo de estudio, ese es el horario estándar para la salida y la puesta de sol, en la zona de estudios).

3. Resultados

3.1 Resultados generales

Se completaron 27 días de estudio, comprendidos entre el 29 de enero y el 25 de febrero de 2023, obteniendo un total de 639 horas de grabaciones acústicas (Tabla 1). El primer día se navegó dentro de la bahía en búsqueda de poder observar algún grupo de marsopas, se visualizaron en total aproximadamente 8 individuos, en grupos de dos o tres, en un periodo de dos horas. La distancia entre el bote y los grupos observados eran de entre 50 a 100 metros (Figura 25).



Figura 25: Marsopa Observada Incursión 29 de Enero.

En este espacio se desplegó hidrófono Aquarian Audio CA 50 (Figura 18), en donde se registraron aproximadamente 30 minutos de audio, segmentado en dos grabaciones diferentes, pero dado a que la frecuencia de muestreo del hidrófono está limitada a 20 kHz, no se pudo obtener registro directo del sonido de marsopa espinosa. Se observa que, en la segunda grabación, en el minuto 13:13 se percibe una barrera y distorsión de señal, que podría interpretarse como señal de marsopa espinosa (Figura 26).

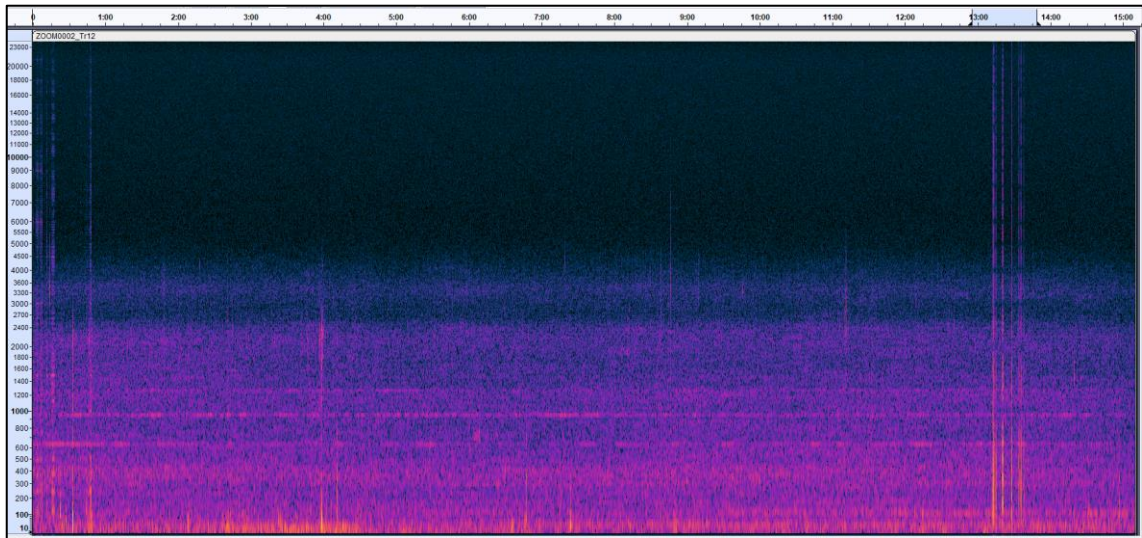


Figura 26: Análisis espectrograma grabación hidrófono Aquarian Audio CA 50.

Tabla 1: Resumen del número de días de obtención de datos y horas totales.

Incurción	Inicio	Termino	Total [Días]	Total [Horas]
1° Incurción	29 de enero 2023	05 de febrero 2023	07	166
2° Incurción	05 de febrero 2023	11 de febrero 2023	06	141
3° Incurción	11 de febrero 2023	25 de febrero 2023	14	332
Total	29 de enero 2023	25 de febrero 2023	27	639

A continuación, se describen las horas totales de estudio realizadas en presencia de *pinger* (332 horas) y en ausencia de *pinger* (307 horas). Las detecciones acústicas de marsopa durante el *pinger* fueron de 40, mientras que en ausencia de *pinger* fueron 102 (Tabla 2).

Tabla 2: Horas y N° de Detecciones parámetro <i>Pinger</i> Sin y Con				
Método	Inicio	Termino	Total [Horas]	Detecciones [Cantidad]
Sin Pinger	29 de enero 2023	11 de febrero 2023	307	102
Con Pinger	11 de febrero 2023	25 de febrero 2023	332	40

El número de clics de *Narrow Band High Frequency* detectados en ausencia de *pinger* fue de 89634, mientras que en presencia de *pinger* fue inferior (28448). En total se registraron 118082 clics NBHF (Tabla 3).

Tabla 3: Clics NBHF detectados parámetro <i>Pinger</i> Sin y Con	
Método	Clics NBHF detectados
Sin Pinger	89634
Con Pinger	28448
Total	118082

Al analizar las DPM observamos una media de 5.49 DPM (\pm SD =4.95) durante el periodo de estudio, mientras que en ausencia de *pinger* fueron de 5.94 (\pm SD =5.49) y en ausencia de *pinger*, la media disminuye a 4.35 (\pm SD =2.99). Para ejemplificar la interpretación del DPM. La muestra del día 29 de enero entre las 13:00 a 13:59 hrs. es de 15, esto se interpreta como que en el bloque horario señalado en 15 minutos independientes se detectó actividad. Esta variable no habla de la calidad, ni cantidad de actividad, es lo mismo un minuto con alto nivel de actividad que uno de bajo nivel de actividad.

Tabla 4: DPM, parámetro <i>Pinger</i> Sin y Con				
Variable	Media	SD	Min	Max
DPM	5,49	4,95	1	31
DPM Sin <i>Pinger</i>	5,94	5,49	1	31
DPM Con <i>Pinger</i>	4,35	2,99	1	12

3.2 Descripción de la Forma de onda de un clic de la marsopa espinosa.

Una de las capacidades del F-POD, es que puede reconstruir la forma de onda a través de 10 puntos de muestra, a través del *software F-POD.exe*, cada vez que capta y graba lo que entiende como un clic de sonido. Entregando una forma de onda reconstruida de 100 a 200 μs de duración, junto a su respuesta en frecuencia. Esto permite identificar la forma del pulso en el tiempo, como sus características de frecuencia. En la figura 27 se visualiza la forma de onda y la respuesta en frecuencia para un clic específico de los datos analizados.

Tabla 5: Parámetros onda acústica clic de la marsopa espinosa				
Variable	Promedio	SD	Min	Max
KHz	132,13 [KHz]	4,04 [KHz]	125 [KHz]	148 [KHz]
ICI	23582,65 [μs]	28928,63 [μs]	965 [μs]	661365 [μs]

Información de la tabla 5 fue obtenida tras analizar la totalidad de 5451 clics identificados por el software. El peak de frecuencia en promedio fue de 132.12 KHz ($\pm SD = 4.04$) para la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones durante el periodo de estudio.

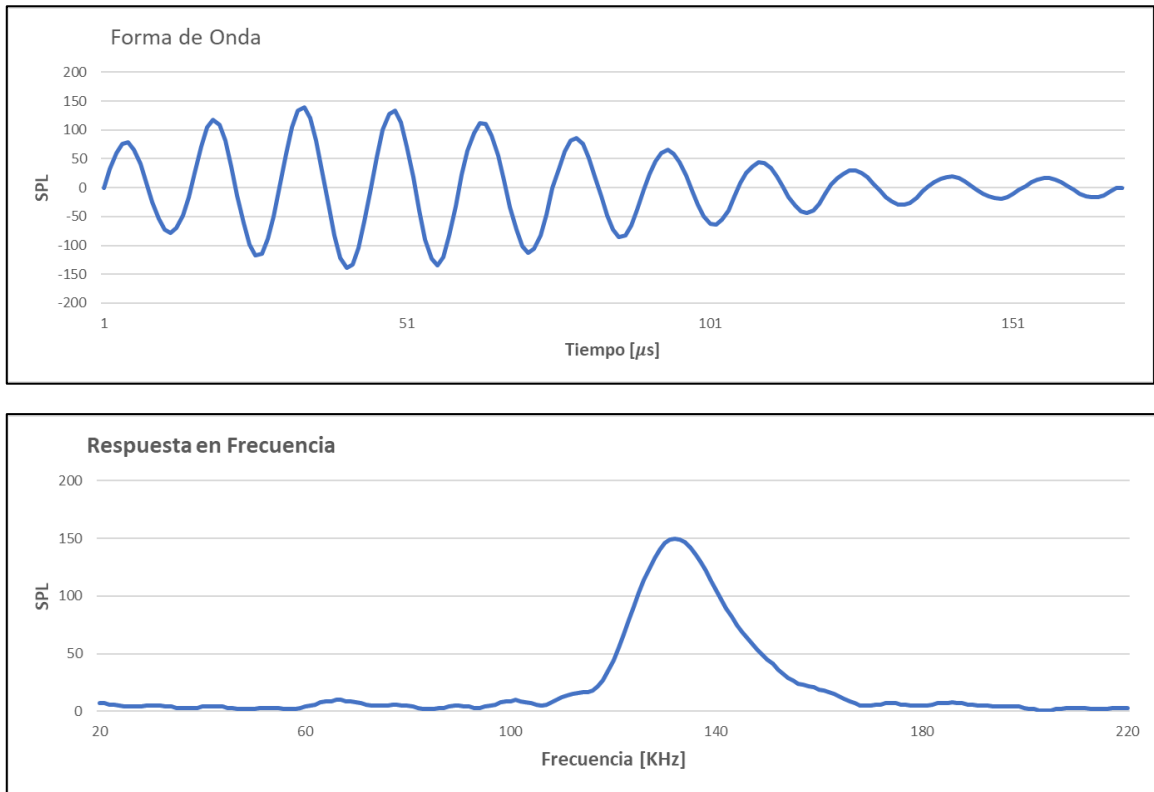


Figura 27: Forma de Onda y Respuesta en Frecuencia Clic de Marsopa Espinosa en la bahía de Mejillones. *SPL es el que indica software el cual utiliza una escala de SPL, pero sin especificar

3.3 Diferencias acústicas de la marsopa espinosa durante el día y la noche.

El F-POD al haber estado desplegado de forma continua, durante los 27 días de estudio, permite realizar análisis comparativos para día y noche.

En la variable de cantidad de clics registrados, en el estudio general, se obtiene que el 77% de estas detecciones son registrados en la noche. En la condición sin *pinger* el 75% de los clics ocurre en la noche, mientras que el 25% ocurren en el día. Ante el escenario con *pinger* aumenta a un 84% la detección de clics en la noche.

Tabla 6: N° Clics parámetros <i>Pinger</i> y Día/Noche				
Metodología	Tiempo	Cantidad	Media (Clics/Tren)	SD
Sin Pinger	Día	22311	603	766,39
Sin Pinger	Noche	67323	1035,74	1165,9
Con Pinger	Día	4431	369,25	425
Con Pinger	Noche	24017	857,75	816,22

La figura 28 muestra la distribución del número de clics a lo largo de las 24 horas del día. Se observa que hay un mayor número de clics entre las 17:00 y las 04:00 horas, mientras que disminuye entre las 09:00 a 16:00 horas.

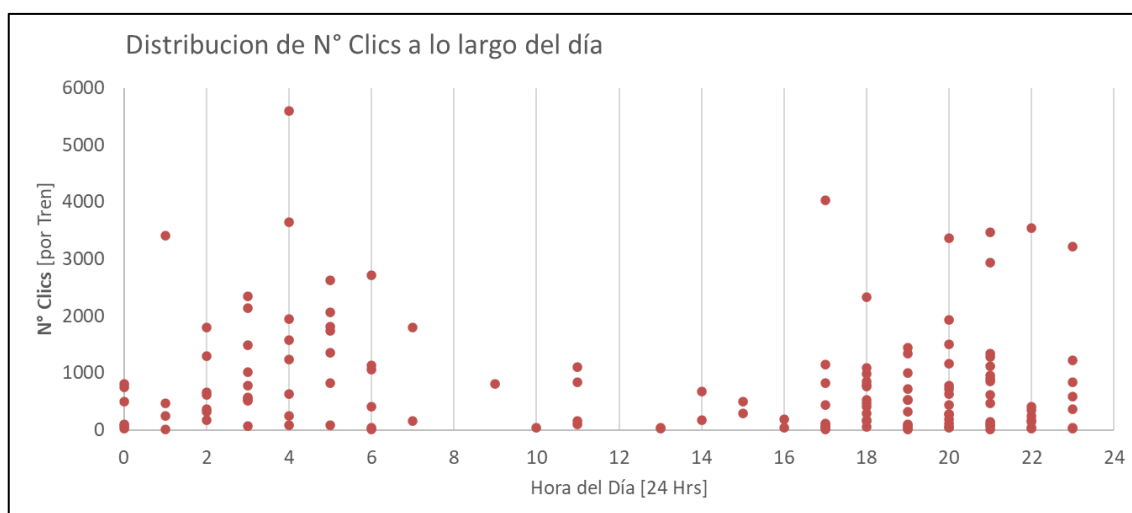


Figura 28: Distribución de N° Clics a lo largo del día.

Al comparar el número de clics detectados entre el día y la noche, el test Kruskal-Wallis mostró un pvalor = 0,026. Indicando que existen diferencias significativas entre el número de clics detectados en el día y la noche.

El análisis del DPM mostró una media de 3.94 (\pm SD =3.15) durante el día y una media de 5.77 (\pm SD =4.62) durante la noche. Ante la presencia y ausencia de *pinger* los resultados muestran que el DPM sigue siendo mayor durante la noche (Tabla 7).

Tabla 7: Media DPM para parámetros <i>Pinger</i> y Día/Noche			
Metodología	Tiempo	Media (DPM/h)	SD
Sin Pinger	Día	4,38	3,69
Sin Pinger	Noche	6,83	6,13
Con Pinger	Día	3,5	2,61
Con Pinger	Noche	4,71	3,11

La figura 29 muestra los registros de DPM obtenidos a lo largo de las 24 horas del día. Se observa que durante la noche (entre las 20:00 y las 07:59 horas) existe una mayor cantidad de DPM mientras que disminuye durante el día (entre las 08:00 y las 19:59 horas).

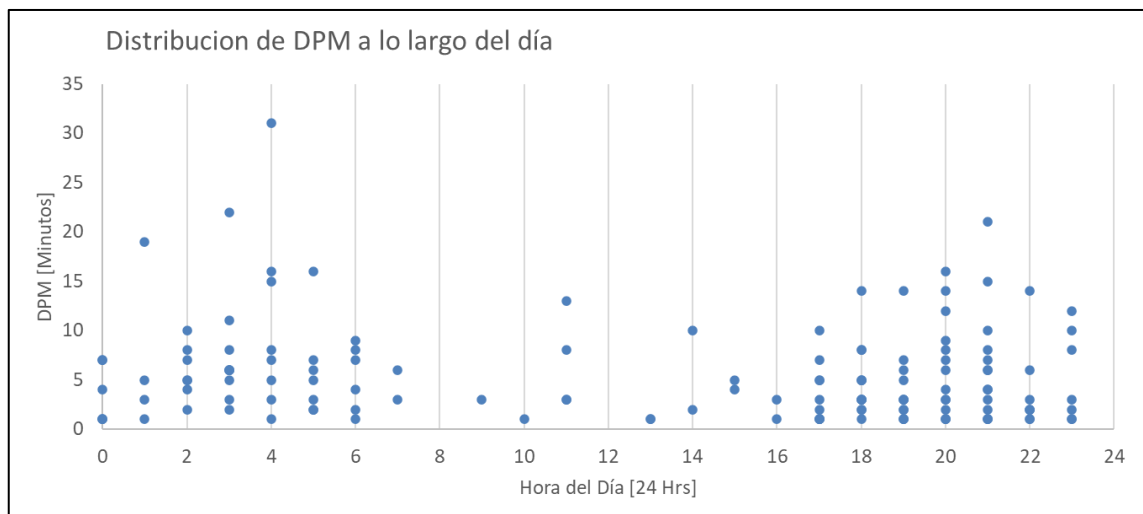


Figura 29: Distribución de DPM a lo largo del día.

El test Kruskal-Wallis muestra un pvalor = 0.026, indicando que existen diferencias significativas en el DPM entre el día y la noche.

Los resultados de Intervalo entre Clics (ICI), muestran una media de 40868,84 μ s (\pm SD =40390,45) durante el día y de 20235,53 μ s (\pm SD =26323,88) durante la noche. Ante la presencia del *pinger*, se observa que de igual forma los ICI son mayores durante el día

que la noche. Esto indicaría que la marsopa espinosa emite sonidos más cortos durante la noche.

Tabla 8: Media ICI parámetros <i>Pinger</i> y Día/Noche			
Metodología	Tiempo	Media ICI (μs)	SD
Sin Pinger	Día	32056,21	30996,03
Sin Pinger	Noche	20337,39	25258,53
Con Pinger	Día	49681,48	49784,87
Con Pinger	Noche	20133,68	27389,24

La figura 30 muestra la duración de los ICI en las 24 horas del día, se puede observar que durante la noche los ICI son menores que durante el día. Existen dos tiempos: 06:00 y 17:00 horas donde se tienen registrados los ICI más largos.

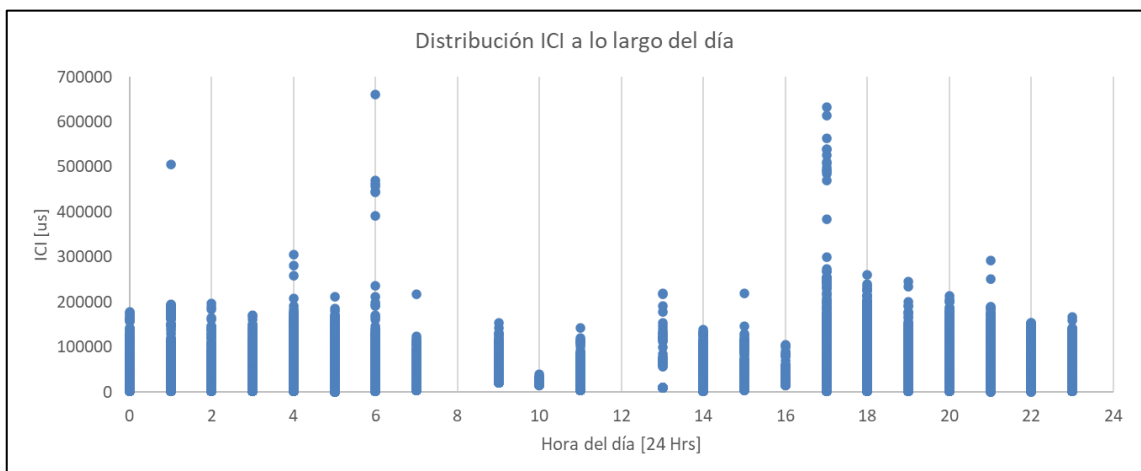


Figura 30: Distribución ICI a lo largo del día.

El test Kruskal-Wallis mostró un $p\text{valor} = 2,26\text{e-}16$ indicando que existen diferencias significativas entre los ICI detectados en el día y la noche.

Los resultados obtenidos para los buzzfeed indican que durante el día se obtiene un 27% de buzzfeed (del total de clics durante el día) mientras que en la noche aumenta a un 54% (del total de clics durante la noche). Ante la presencia de *pinger*, igualmente los buzzfeed son mayores durante la noche que durante el día (Tabla 9).

Tabla 9: Cuenta Feeding Buzzes parámetros *Pinger* y Día/Noche

Metodología	Tiempo	Variable Feeding Buzzes	Contabilización (% de Metodología)
Sin Pinger	Día	Si	6210 (07%)
Sin Pinger	Día	No	15025(18%)
Sin Pinger	Noche	Si	34299 (40%)
Sin Pinger	Noche	No	30290 (35%)
Con Pinger	Día	Si	579 (02%)
Con Pinger	Día	No	3616 (13%)
Con Pinger	Noche	Si	12681 (46%)
Con Pinger	Noche	No	10460 (38%)

La figura 31 muestra los Feeding buzzes obtenidos durante el periodo de estudio, distribuidos en las 24 horas del día. Observamos que durante la noche hay una mayor presencia de buzzfeed mientras que desaparecen a las 07:00 hasta las 11 horas donde vuelven a aparecer y desaparecen de nuevo desde las 12:00 hasta las 16:00 horas,

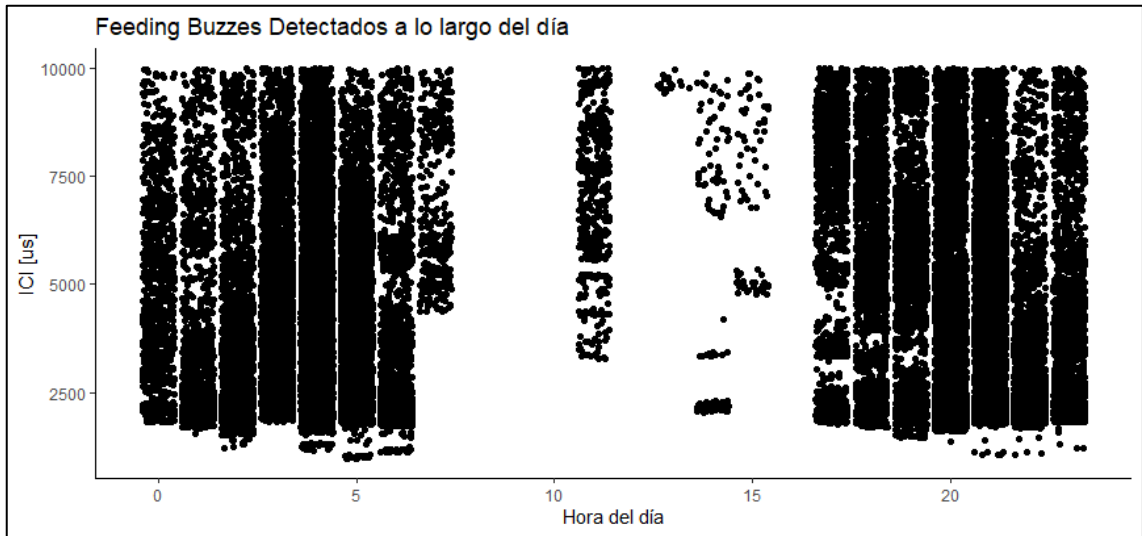


Figura 31: Feeding Buzzes detectados a lo largo del día.

El test Kruskal-Wallis mostró un pvalor = $2,2e-16$ indicando que existen diferencias significativas entre el número de buzzfeed emitidos por la marsopa espinosa durante el día y la noche.

Respecto a la duración de tren de clics, la figura 32 muestra que durante la noche hay una tendencia mayor de duración de trenes de clics. Al realizar un test Kruskal-Wallis este muestra un pvalor = 0,6446, por lo que la variación no es significativa para la duración del tren de clics entre el día y la noche.

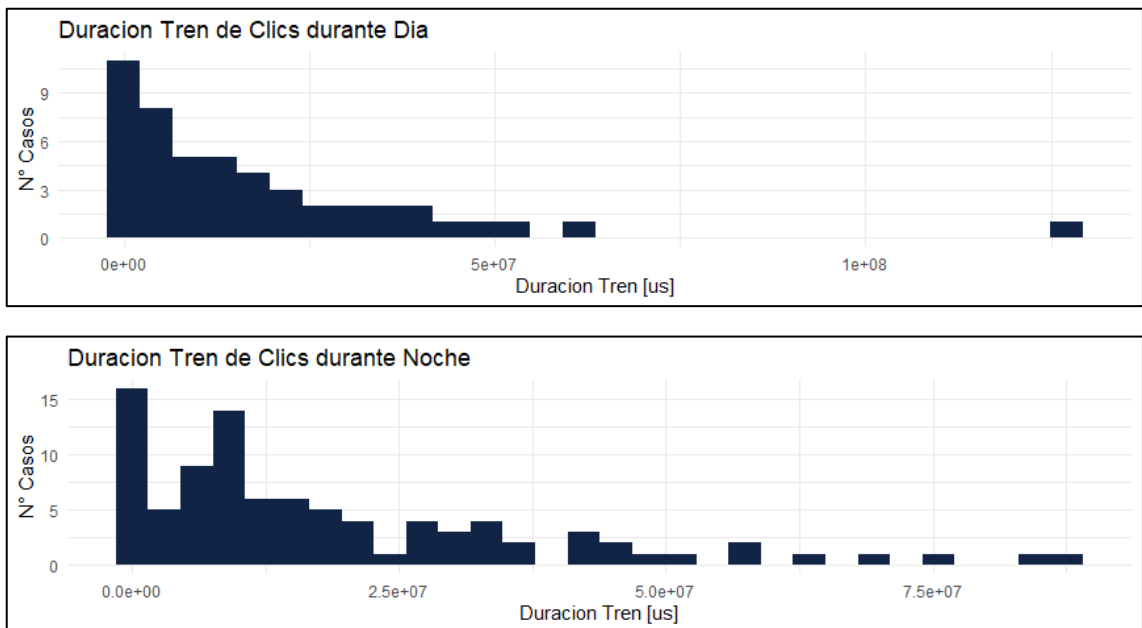


Figura 32: Duración Tren de Clics durante Dia y Noche.

3.4 Diferencias en las variables acústicas analizadas en ausencia y presencia de *Pinger*.

El objetivo principal de la investigación es determinar si bajo la condición de que el *Pinger* se encuentre presente o ausente, la cantidad de actividad acústica de marsopa que el *F-POD* detecta varía. Esto demostraría evidencia de que el *pinger* alejaría a las marsopas del lugar donde esté instalado.

La primera variable analizada es la comparación de DPM, para aquello se agruparon y distribuyeron los DPM en dos gráficos (Figura 33). Ante la ausencia del *pinger* hay una mayor cantidad de DPM registrados, como también se registran mayores valores de DPM, llegando incluso a obtener valores entre los 20 a 30 DPM. Caso que, con el *pinger*, este no supera los 15 DPM. Sin embargo, al comparar los resultados, el test Kruskal-Wallis mostró un pvalor = 0,2911, por lo que no existen diferencias significativas en el DPM registrado ante la presencia del *pinger*.

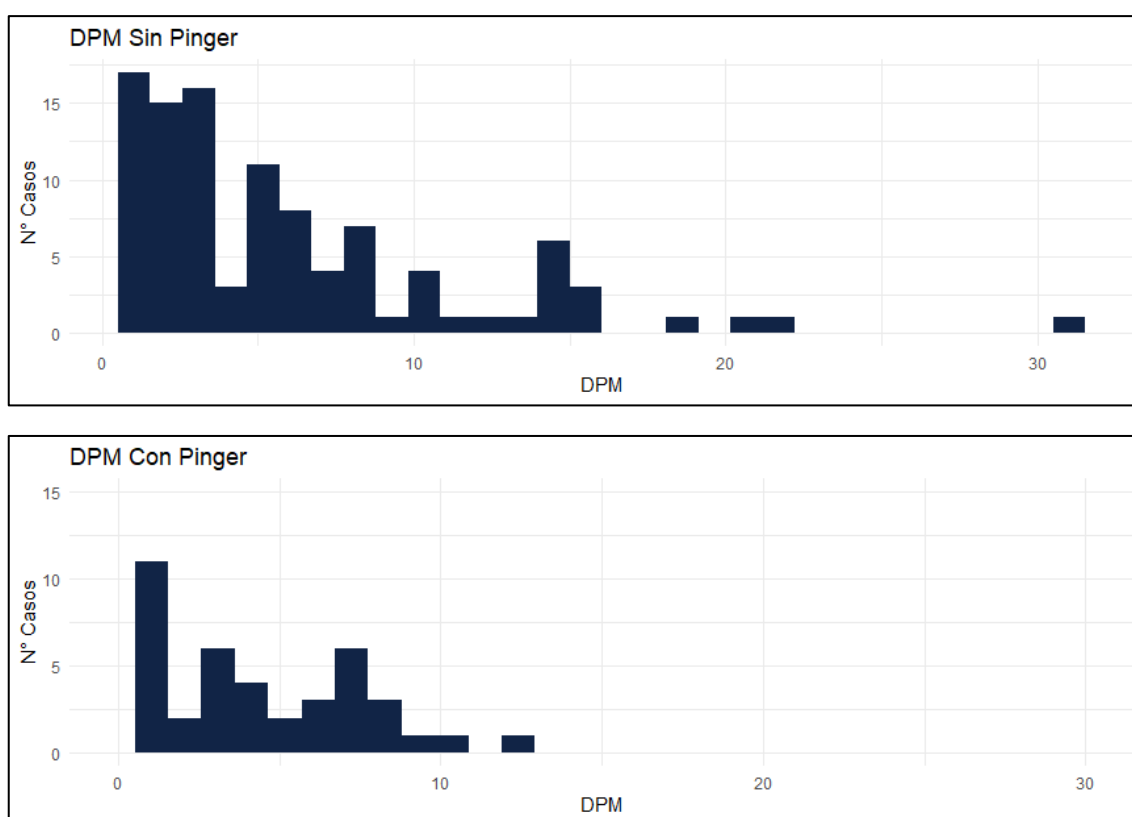


Figura 33: Comparación registros DPM, parámetro pinger.

Algo similar ocurre con la cantidad de clics (Figura 34), al organizarlas por recopilación y según la condición de presencia del *Pinger*. Se puede observar que ante la ausencia del

Pinger, se observa un número mayor de clics. Sin embargo, el test Kruskal-Wallis mostró un pvalor = 0,361, por lo que no existen diferencias significativas para el número de clics en presencia/ausencia de *pinger*.

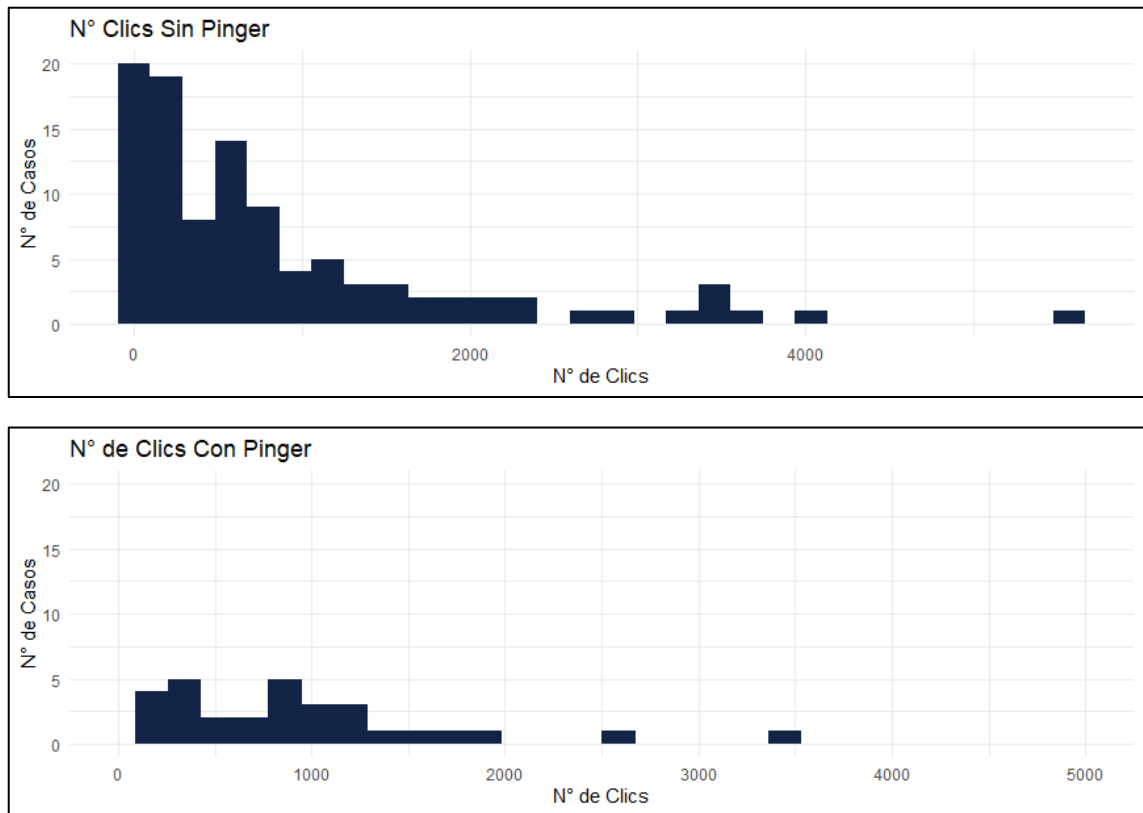


Figura 34: Comparación N° de Clics, parámetro *pinger*.

El ICI (Figura 35), en presencia del *Pinger* sigue la misma tendencia de las variables DPM y N° de Clics, observando valores en rangos similares, pero con una menor cantidad de registros ante la presencia del *Pinger*. El test Kruskal-Wallis mostró un pvalor = 0,044, por lo que existe diferencia significativa en el ICI ante la presencia de *pinger*.

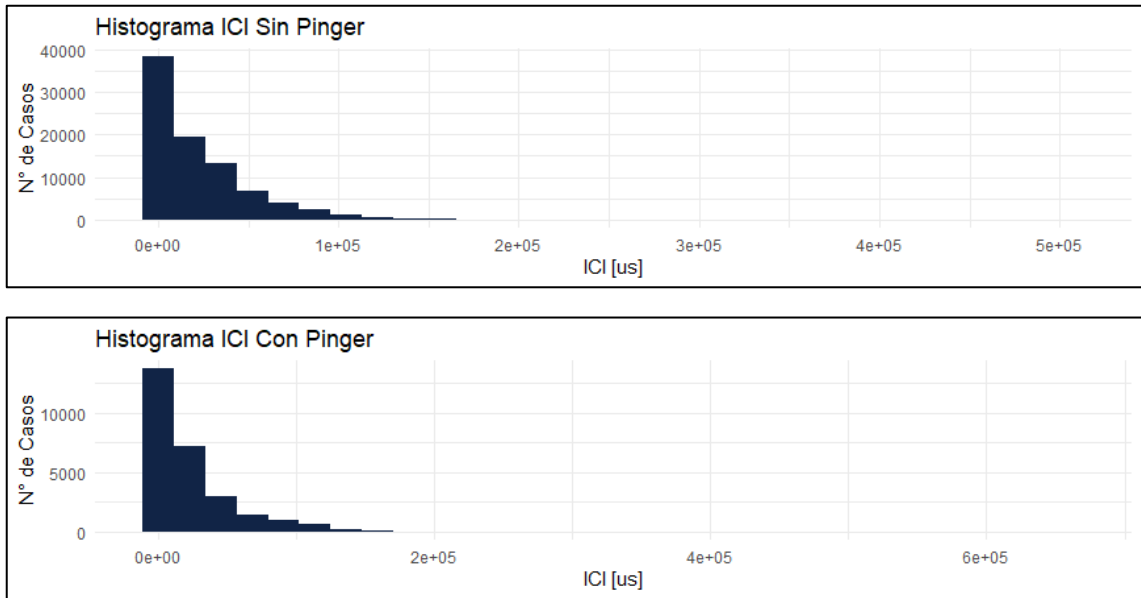


Figura 35: Comparación ICI parámetro pinger.

La variable buzzfeed (Figura 36) mantiene la tendencia de que se observen valores en rangos similares ante la presencia de *pinger*. El test Kruskal-Wallis mostró un pvalor = 0,3675, por lo que no existen diferencias significativas para el buzzfeed en presencia/ausencia de *pinger*.

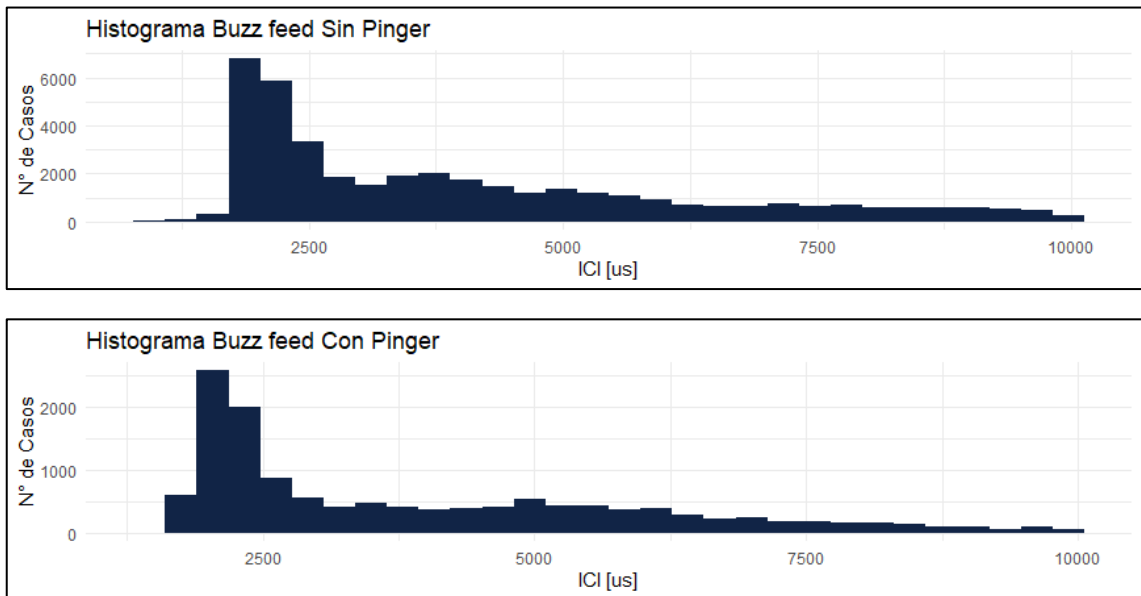


Figura 36: Comparación buzzfeed parámetro pinger.

La duración del tren de clic (Figura 37), posee rangos de valores similares para ambas condiciones, sólo diferenciándose ante la presencia de casos, ya que con *pinger* hay mayor número de eventos. Sin embargo, el test Kruskal-Wallis mostró un pvalor = 0,5988, por

lo que no existen diferencias significativas en la duración del tren de clic ante la presencia de *pinger*.

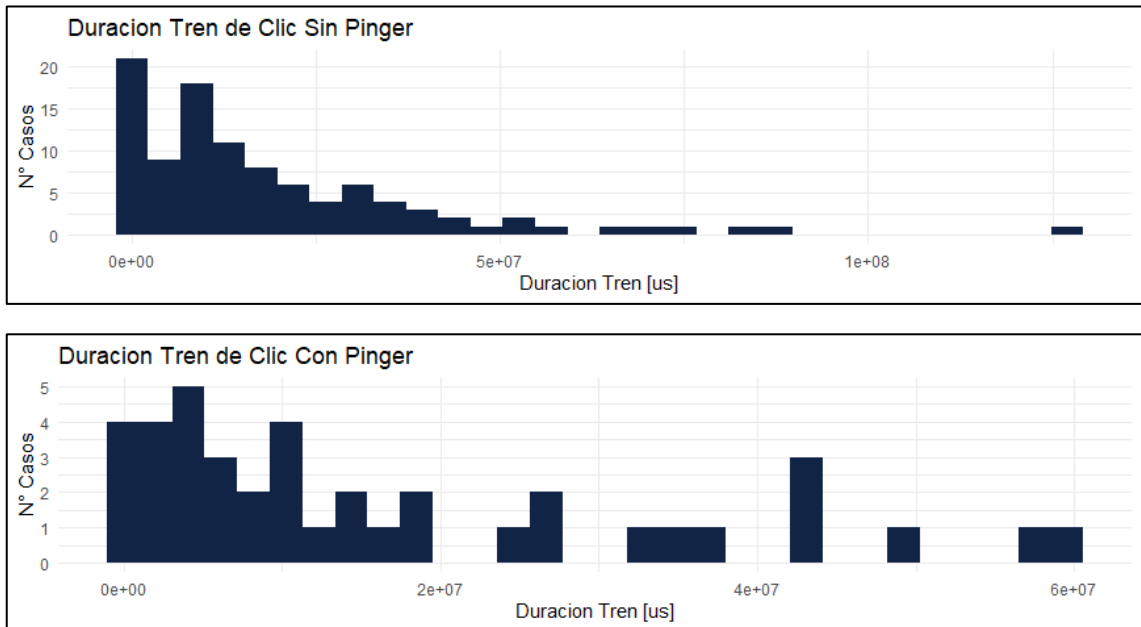


Figura 37: Comparación Duración tren de clic parámetro pinger.

Una de las variables significativas, para determinar si la condición de la presencia del *pinger*, determina o no el comportamiento de las marsopas es comparar la cantidad de actividad acústica general detectada (Figura 38). Para hacer este análisis se contaron la cantidad de actividad acústica de sonidos NBHF detectado por día de estudio. Entre los días 0 a 14, los niveles de actividad son entre 2 a 6 en un rango normal, estos valores disminuyen significativamente ante la presencia del *pinger*, es decir entre los días 15 a 27, en donde los valores de actividad detectada diaria disminuyen en un rango de entre 1 a 4.

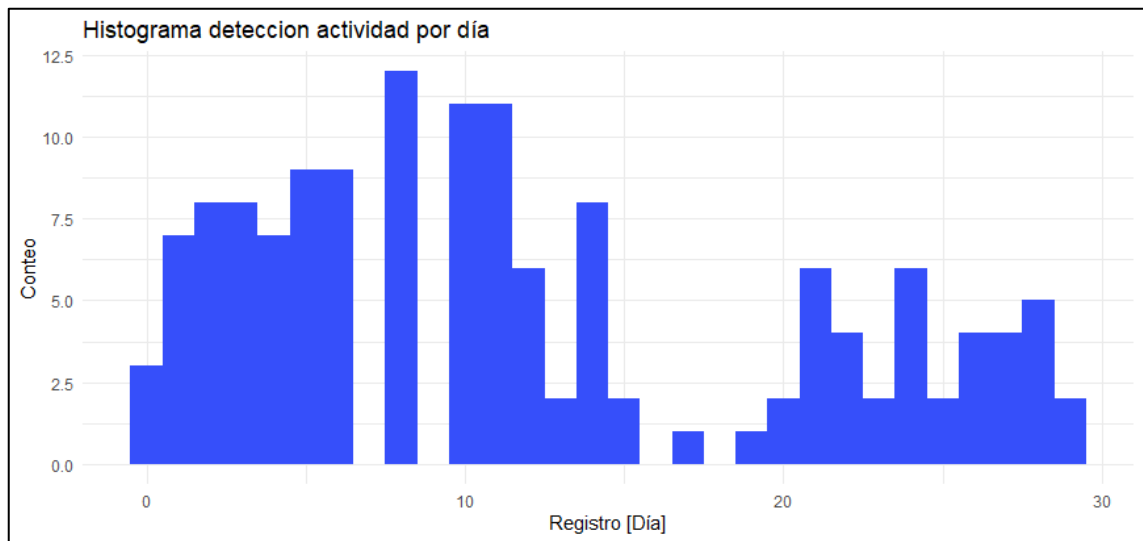


Figura 38: Histograma detección actividad de marsopa espinosa por día.

La prueba Chi-cuadrado determinó un pvalor = $2,329e-10$, indicando que sí existen diferencias significativas en la actividad acústica de marsopa espinosa detectada en presencia de pinger, siendo esta menor.

Al llevar los datos de cantidad de actividad acústica diaria detectada a probabilidad (Figura 39), dándole un valor de tomar una hora de un día cualquiera y que en esa hora se haya detectado actividad de marsopas, ante la ausencia del *pinger* la probabilidad de detección de marsopa espinosa es de un 32%, mientras que ante la presencia del *pinger*, esta probabilidad disminuye a un 12%. El test Kruskal-wallis muestra un pvalor = 0,0001, indicando que si existen diferencias significativas en la probabilidad de detectar marsopa ante la presencia/ausencia del *pinger*.

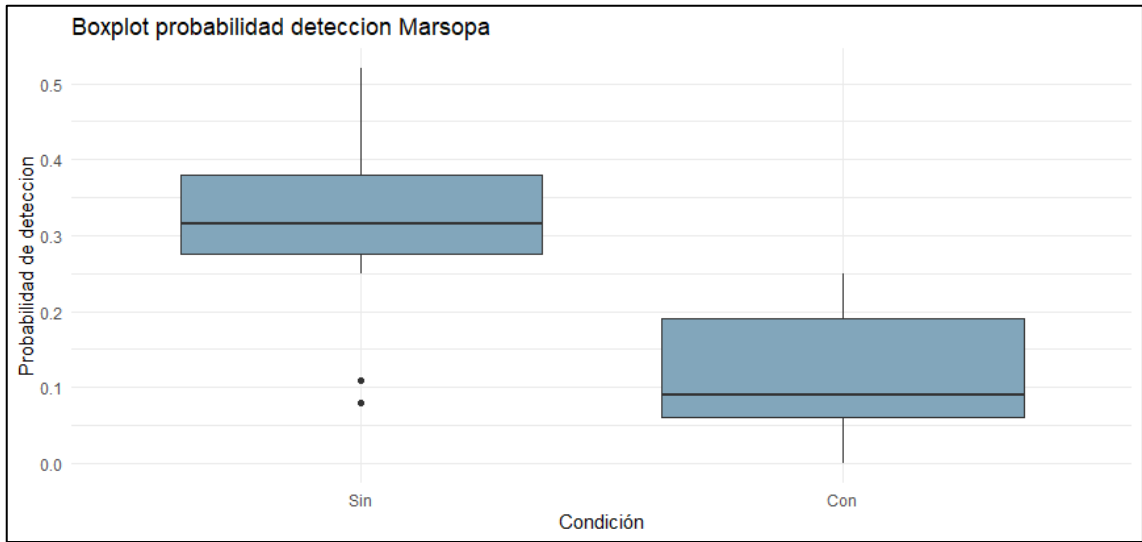


Figura 39: Boxplot probabilidad de detección de marsopa espinosa.

4. Discusión

Este proyecto de investigación es el primer estudio de la acústica de la marsopa espinosa en el norte de Chile, realizado durante 27 días seguidos (29 de enero al 25 de febrero 2023). Esto ha permitido evaluar diferencias acústicas para esta especie entre el día y la noche en el área de estudio de la bahía de Mejillones. Además, este es el primer estudio que evalúa la efectividad del uso de *pinger* como herramienta para disuadir la presencia de marsopa espinosa en el norte de Chile.

4.1 Comportamiento acústico de la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones.

Los datos registrados de la forma de onda del clic de la marsopa espinosa, indican que su frecuencia central es de 132,13 KHz (Figura 27). Estos resultados son similares a los encontrados por Reyes et al (2018) para la población de marsopa espinosa registrada en Tierra del Fuego, Argentina.

Las variables respuesta analizadas en este estudio muestran que la marsopa espinosa en la bahía de Mejillones posee un promedio de 5,49 DPM (es decir de 5 minutos por cada 60), el promedio de ICI es de 40868,84 μ s y el promedio de Feeding Buzzes es de 84,14 por hora. Comparándolo con un estudio de características similares de efectos disuasivos de *pingers* para la marsopa espinosa en incursiones de pesca en las costas de Perú, publicado por Clay et al (2019), este obtuvo un DPM de cerca de 0,01 en un periodo de estudio de 21 horas. Este menor valor obtenido en el estudio de Perú, puede deberse dado a que el estudio se realizó en un tiempo de muestreo 30 veces menor y que se hizo sobre arte de pesca, con barcos en movimiento, cuya presencia puede ser un factor que aleje a la marsopa espinosa del área de estudio.

Sin embargo, un estudio publicado por Aksoy (2022), realizado en las costas de Suecia sobre la marsopa común (*Phocoena phocoena*) muestra niveles de DPM similares a los obtenidos en este estudio para la marsopa espinosa.

Dado a la implementación del F-POD, en posición fija y funcionamiento continuo (24 horas del día), durante los 27 días de estudio, pudimos obtener diferencias en el patrón de comportamiento acústico entre el día y la noche para la especie. En general las marsopas se caracterizan por ser cetáceos de hábitos nocturnos, por ejemplo, se sabe que la marsopa común en el Atlántico Norte, presenta mayor actividad acústica durante la noche (Osiecka

et al, 2020). En este estudio se demuestra por primera vez que la marsopa espinosa es de hábitos nocturnos ya que existen diferencias significativas en las variables acústicas analizadas (ICI, DPM, n° de clics, buzzfeeds) entre el día y la noche, siendo mayor durante la noche. Además, se demuestra que la marsopa espinosa emite un 692% más clics de buzzfeed durante la noche, lo cual indica que se estaría alimentando durante la noche en la bahía de Mejillones (Figura 28). Según lo descrito por García-Godos et al (2007), que analizó la dieta de la marsopa espinosa en Perú, indicó que la principal presa es la anchoveta (*Engraulis ringens*) en un 88.9%, seguido de pejerrey (*Odontesthes regia*) en un 6.5% y merluza (*Merluccius galli*) en un 0.6%. La bahía de Mejillones se caracteriza por una alta presencia de anchoveta y pejerrey, pero también de calamares. Durante el año 2022 desembarcaron 100 mil toneladas de anchoveta y 1 tonelada de pejerrey (SERNAPESCA, 2022). Por ejemplo, la marsopa común en el Atlántico Norte, se alimenta principalmente de peces, identificando 44 especies diferentes, que representa el 98% de la dieta y el porcentaje restante comprende invertebrados, en los que se identificaron 5 especies de calamar (Leopold, 2015). La vaquita marina se alimenta principalmente de peces identificando 13 especies diferentes, esto es en el 87,5% y el porcentaje restante comprende invertebrados, en los que se identificaron 2 especies de calamares (Pérez-Cortés, et al, 1996). Por lo tanto, es probable que la marsopa espinosa en Mejillones se alimente también de pequeños calamares durante la noche.

Dada la escasa información sobre la presencia de marsopa espinosa en el norte de Chile, su abundancia y comportamiento, futuros estudios podrían implementar el uso de herramientas de monitoreo acústico pasivo, para detectar si la presencia de marsopa espinosa es constante todo el año en la bahía de Mejillones o estacional. Por ejemplo, un estudio de la presencia de marsopa lisa (*Neophocoena asiaeorientalis asiaeorientalis*), en la cuenca del río Yangtze y el lago Poyang (Provincia de Jiangxi, China), observó un comportamiento estacional de la marsopa lisa, ya que entre los meses de Mayo a Agosto (verano boreal) se encuentran en la cuenca del río, mientras que en los meses más fríos se encuentra en el lago Poyang. Esto se explica por la presencia de peces, que serían su principal fuente de alimentación (Kimura, et al, 2011). Esta diferencia de hábitat podría traer cambios en el comportamiento acústico, ya que un estudio realizado en la bahía de Babitonga (Brasil), donde se monitorearon los parámetros acústicos del clic de la

franciscana (*Pontoporia blainvillei*) dentro de la bahía y fuera de esta, determinando que existían diferencias en los parámetros acústicos del clic cuando se encuentra en la bahía y cuando se encuentra en mar abierto (Paitach et al, 2021).

Se ha demostrado que la marsopa espinosa tiene preferencia de hábitat en la costa oeste de la bahía de Mejillones en base a observaciones oportunistas desde tierra y desde embarcación (García-Cegarra et al, 2021). Sin embargo, se desconoce cuál es el uso de hábitat en el resto de la bahía. Es por ello que futuros estudios podrían instalar sistemas de monitoreo acústico tanto en la zona este, como en la oeste de la bahía, para así entender la distribución de la marsopa en ambos hábitats. La bahía de Mejillones es una zona altamente industrializada donde actualmente hay nueve puertos marítimos para el transporte de insumos de la minería en grandes buques mercantes concentrados en la parte este de la bahía (García-Cegarra & Pacheco, 2019). Futuros estudios acústicos ayudarían a entender si la intensa actividad industrial y por tanto ruido submarino en la parte este de la bahía influye la distribución de la marsopa espinosa, ya que este estudio ha demostrado que la marsopa espinosa es un animal altamente acústico por lo que la contaminación acústica provocada por la actividad industrial podría tener también consecuencias negativas para su bienestar.

4.2 Efectividad del uso de *pinger* para disminuir la pesca incidental de marsopas y medidas para su conservación en el norte de Chile.

En este estudio las variables respuesta analizadas (DPM, Buzzfeed, n° de clics, duración tren de clic), no muestran diferencias significativas ante la presencia/ausencia del *pinger*. Sin embargo, muestran una tendencia a cambiar ante la presencia del *pinger*. Por ejemplo, el ICI disminuye ante la presencia del *pinger*, esto indica que cuando el *pinger* está presente, el intervalo entre clics disminuye, lo cual indicaría que la marsopa espinosa está emitiendo más sonidos de alimentación ante la presencia del *pinger*. Sin embargo, este estudio determinó que la probabilidad de detectar a la marsopa espinosa en un periodo de una hora, ante la ausencia del *pinger* es de un 32%, la cual disminuye a un 12% ante la presencia del *pinger*. Esta reducción es similar al estudio de Omeyer et al (2020) en donde estudiaron a la marsopa común en las costas de Inglaterra y determinaron que ante la presencia del *pinger* disminuyó la detección de las marsopas, siendo esta reducción de un 37%. El estudio de Aksoyd (2022), desarrollado sobre la población de marsopa común en

las costas de Suecia, también presenta una reducción similar de la actividad de marsopa detectada ante la presencia de *pingers*, siendo esta reducción de los DPM detectados de un 50%. Estudios en las costas de Perú, sobre la marsopa espinosa como el de Mangel et al. (2013) y Clay et al. (2019), presentan resultados similares en la reducción de actividad acústica de la marsopa espinosa ante la presencia de *pinger*, siendo esta reducción de un 50% y de 86%, respectivamente. Entonces ante la experiencia comparativa se demuestra que, en el norte de Chile, el uso de *pinger* en redes de pesca sería una herramienta efectiva para disminuir la pesca incidental de marsopa espinosa.

La marsopa espinosa está catalogada por la *IUCN's red list*, como una especie casi amenazada. En Chile no existen medidas de cuidado y protección extraordinarias, más allá de los protocolos para los eventos de pesca incidental (Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile, 2021). En Europa existe el acuerdo por la conservación de pequeños cetáceos en el Mar Báltico, Atlántico Noroeste, Irlanda y Mares del norte (ASCOBANS), el cual es un compromiso de colaboración internacional, para el cuidado de los pequeños cetáceos, en donde se declara a la marsopa común, como una especie de interés y declaran que la pesca incidental debe ser menor a un 1.7%. Sin embargo, no existe un acuerdo de similares características para los países del Pacífico Sur y Atlántico Sur. No tener medidas de cuidado especial podría ocasionar que la marsopa espinosa, pudiera llegar a estar en peligro de extinción como la vaquita marina, endémica del Golfo de California, es una especie que al año 2023, se encuentra virtualmente extinta, dado a los altos niveles de pesca incidental por la pesca de Totoaba.

Si bien este estudio no ha demostrado la efectividad del *pinger* como herramienta disuasiva de marsopa espinosa durante la actividad pesquera, los resultados en disminución de probabilidad de detección cuando el *pinger* está presente indican que, si futuros estudios colocan varios *pinger* en las redes de pesca de cerco de anchoveta, estos deberían ahuyentar a las marsopas espinosas de las cercanías de la red. Futuros estudios deberían probar esto en la bahía de Mejillones. Esto junto con la presencia de observadores de pesca, podría demostrar si efectivamente la marsopa espinosa se aleja de la red de pesca cuando los *pingers* están presentes. Esto ya se ha implementado en el Atlántico Sur, para la especie franciscana, en un estudio publicado por Paitache et al

(2021), donde demostraron que artilugios de pesca que portaban sistemas acústicos tipo *pinger* reducían la pesca incidental en un 84%.

5. Conclusión

El uso de herramientas acústicas como el hidrófono FPOD ha sido efectivo para caracterizar la acústica de la marsopa espinosa (pequeño cetáceo tímido y esquivo del norte de Chile). En este estudio se ha demostrado que la marsopa espinosa emite sonidos de alta frecuencia cuyo peak de frecuencia central de 132, 13 ($\pm 4,04$) KHz. Esto demuestra que el uso de hidrófonos es efectivo para estudiar cetáceos que son difíciles de observar en su hábitat natural. Al estar grabando en continuo durante 27 días el FPOD logró registrar el número de clics, DPM, ICI, buzzfeed y duración de los trenes de clics de la marsopa espinosa durante el día y la noche. Estos resultados han sido cruciales para determinar que la marsopa espinosa es un cetáceo de hábitos nocturnos emitiendo significativamente un mayor número de clics cortos de alimentación durante la noche. Sin embargo, en este estudio se utilizó un solo FPOD para estudiar la acústica de la marsopa espinosa en una zona de alta probabilidad de observación de la misma en la bahía de Mejillones, por lo que futuros estudios podrían implementar el uso de múltiples FPOD, distribuidos en la bahía de Mejillones y determinar así su estacionalidad y uso de hábitat. Al analizar los parámetros buzzfeed, número de clics, DPM e ICI ante la presencia del *pinger*, no se observaron diferencias significativas para la marsopa espinosa en el área de estudio, sino una tendencia a disminuir. Esto puede ser debido a que la marsopa necesita realizar sus actividades vitales de alimentación/comunicación a pesar de la presencia del *pinger*, por lo que estas varían, pero no significativamente. Sin embargo, al analizar la probabilidad de detección en presencia/ausencia de *pinger*, está si disminuye un 20%, cuando el *pinger* está presente. Este estudio es tan solo un estudio piloto por lo que no se determinó si efectivamente durante el uso de artes de pesca e implementación de alarmas sonoras como *pinger* en la red, disminuiría la pesca incidental de marsopa espinosa. Para ello, futuros estudios deberán implementar los *pinger* en las redes de pesca de cerco de anchoveta y de enmalle de orilla en la bahía de Mejillones, y determinar si efectivamente las marsopas se alejan de la red y si disminuye la probabilidad de captura incidental. En general los resultados obtenidos de este estudio han proporcionado información acústica que era inexistente para la marsopa espinosa en Chile, especialmente en el norte del país y son la línea base para futuros estudios acústicos de comportamiento de la especie y uso de hábitat.

6. Anexo

Los Datasets utilizado en el desarrollo de esta investigación y sus respectivos análisis, se encuentran a libre disposición de quien lo solicite mediante el envío de solicitud directa con el investigador principal, al correo “diegoidiazh@gmail.com”. Con el Instituto de Acústica de la UACH, correo “acustica@uach.cl”. Al Laboratorio de Estudio de Mega Fauna Marina Chile (CETALAB) “<https://cetalab.weebly.com/contact.html>”.

Bibliografía

- Aguilar Soto et al. (2006). *Does intense ship noise disrupt foraging in deep-diving Cuvier's beaked whales (Ziphius cavirostris)*. Marine Mammal Science.
- Aksoy, S. B. (2022). *Do potentially seal-safe pingers deter harbour porpoises (Phocoena phocoena) in the vicinity of gillnets and thereby reduce bycatch?*
- Anderson et al. (2011). *Global seabird bycatch in longline fisheries.*
- Burmeister, H. (1865). *Description of a new species of porpoise in the Museum of Buenos Aires. Proc. Zool. Soc. Lond.*
- CEA. (2019). *Actualización de información de objetos de conservación en bajía Mejillones, comuna de Mejillones, región de Antofagasta.* Valdivia.
- Centro de Ecología Aplicada. (2019). *Diagnóstico y monitoreo ambiental de la bahía Mejillones del Sur - Informe final OE-4: Cartera de proyectos.*
- Centro de Ecología Aplicada. (2019). *Diagnostico y monitoreo ambiental de la bahía Mejillones del Sur-Informe Final Cap.1 Recopilación y Sistematización de Información.*
- CESSO. (2021). *Informe final análisis para la creación de un área de conservación marina en la bahía de Mejillones del Sur, Región de Antofagasta.*
- Cetáceos de Perú. (Junio de 2023). Obtenido de <https://sites.google.com/site/cetaceosperu/especies/p-spi>
- Chelonia Limited. (2018). *C-POD User Guide.*
- Chelonia Limited. (2020). *F-POD Software Guide.*
- Clay et al. (2018). *Distribution and Habitat Use of Cryptic Small Cetacean, the Burmeister's Porpoise, Monitored From a Small-Scale Fishery Platform.* doi:10.3389/fmars.2018.00220
- Complejo Portuario Mejillones. (2020). *Memoria 2019.*
- Davies et al. (2009). Defining and estimating global marine fisheries bycatch. *Marine Policy* 33, 661-672.
- Deeper. (06 de Agosto de 2022). *Deeper.* Obtenido de Deeper sonar Web Site: https://deepersonar.com/es/es_es/productos/deeper-smart-sonar-pro-plus-2

- Fishtek Marine. (2022). *Fishtek Marine Product Catalogue*. Totnes.
- García-Cegarra et al. (2021). *Citizen science as a tool to assess cetacean diversity in the Atacama Desert coast*. doi:10.1016/j.ocecoaman.2021.105858
- García-Cegarra, A. M., & Pacheco, A. S. (2019). *Collision risk areas between fin and humpback whales with large cargo vessels in Mejillones Bay (23°S), northern Chile*. doi:10.1016/j.marpol.2018.12.022
- García-Godos et al. (2007). *Prey occurrence in the stomach contents of four small cetacean species in Peru*. doi:10.5597/lajam00122
- Gonzalez- But, J. C., & Sepúlveda, M. (2016). *Incidental capture of the short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*) in the industrial purse seine fishery in northern Chile*. doi:10.4067/S0718-19572016000200019
- Gulland et al. (2020). *Vaquitas (*Phocoena sinus*) continue to die from bycatch not pollutants*. doi:10.1136/vr.105949
- Illanes Rivera, S. A. (2022). *Abundancia, distribución y usos del hábitat de la marsopa espinosa (*Phocoena spinipinnis*) en la bahía de Mejillones*.
- IUCN. (26 de 07 de 2022). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-1*. Obtenido de <https://www.iucnredlist.org>
- Kimura, et al. (2011). *Seasonal changes in the local distribution of Yangtze finless porpoises related to fish presence*. doi:10.1111/j.1748-7692.2011.00490.x
- Leopold, M. F. (2015). *Eat and be eaten. Porpoise Diet Studies*. Wageningen.
- Lescrauwaet, A.-C., & Gibbons, J. (1994). *Mortality of small cetaceans and the crab bait fishery in the Magallanes area of Chile since 1980*. Punta Arenas.
- MAAM, Gobierno de España. (2012). *Documento Técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina*. Madrid.
- Majluf et al. (2000). *Catch and Bycatch of Sea Birds and Marine Mammals in the Small-Scale Fishery of Punta San Juan, Peru*. doi:10.1046/j.1523-1739.2002.00564.x
- Mangel et al. (2010). *Small cetacean captures in Peruvian artisanal fisheries: High despite protective legislation*. doi:10.1016/j.biocon.2009.09.017

- Mangel et al. (2013). *Using pingers to reduce bycatch of small cetaceans in Peru's small-scale driftnet fishery*. doi:10.1017/S0030605312000658
- Marques et al. (2012). *Estimating animal population density using passive acoustics*. doi:10.1111/brv.12001
- Marques et al. (2012). *Estimating animal population density using passive acoustics*. doi:10.1111/brv.12001
- Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción de Chile. (1992). *Decreto 430 - Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley N°18892, Ley General de Pesca y Acuicultura*.
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile. (2012). *Ley 20625 - Define el descarte de especies hidrobiológicas y establece medidas de control y sanciones para quienes incurran en esta práctica en las faenas de pesca*.
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo de Chile. (2021). *Resolución Excenta N° 2667 - Protocolo Mamíferos Marinos*. Valparaíso.
- Molina-Schiller et al. (2005). *Oceanographic conditions off Coastal South America in relation to the distribution of Burmeister's porpoise, Phocoena spinipinnis*. doi:10.5597/lajam00078
- Möser, M., & Barros, J. L. (2009). *Ingeniería Acústica*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-02544-0
- NASA. (07 de Agosto de 2022). *Spinoff NASA*. Obtenido de Spinoff NASA Web site: <https://spinoff.nasa.gov/spinoff1997/er1.html>
- Ocean Studies Board. (2003). *Committee on Potential Impacts of Ambient Noise in the Ocean on Marine Mammals, National Research Council of the National Academies 2003*. Washington DC: The National Academies Press.
- Omeyer et al. (2020). *Assessing the Effects of Banana Pingers as a Bycatch Mitigation Device for Harbour Porpoises (Phocoena phocoena)*. doi:10.3389/fmars.2020.00285
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria*.

- Osiecka et al. (2020). *The diel pattern in harbour porpoise clicking behaviour is not a response to prey activity*. doi:10.1038/s41598-020-71957-0
- Paitach et al. (2021). *Echolocation variability of franciscana dolphins (Pontoporia blainvillei) between estuarine and open-sea habitats, with insights into foraging patterns*. doi:10.1121/10.0007277
- Pérez-Cortés, et al. (1996). *Contribución al conocimiento de la alimentación de la vaquita, Phocoena sinus*.
- Poyato Jiménez, J. V. (2022). *Universidad de Malaga*. Recuperado el 28 de Julio de 2022, de UMA Web site:
<https://www.uma.es/estudios/centros/Ciencias/publicaciones/encuentros/encuentros81/ecolocalizacion.html>
- Puerto Angamos. (2022). *Memoria Anual Puerto Angamos y TGN 2021*.
- Punt et al. (2021). *Assessing pinniped bycatch mortality with uncertainty in abundance and post-release mortality: A case study from Chile*. Fisheries Research. doi:10.1016/j.fishres.2020.105816
- Ramírez Rueda, H. (2019). *Artes y aparejos de pesca*. Santiago: Fundacion Terram.
- Read et al. (2005). *Bycatch of Marine Mammals in U.S. and Global Fisheries*.
- Reyes et al. (2018). *Clicks of wild Burmeister's porpoises (Phocoena spinipinnis) in Tierra del Fuego, Argentina*. doi:10.1111/mms.12489
- Reyes, J. (2009). Burmeister's Porpoise. En *Encyclopedia of Marine Mammals* (págs. 163-167). doi:10.1016/B978-0-12-373553-9.00043-2
- Schaffeld et al. (2022). *A Result of Accidental Noise Pollution: Acoustic Flowmeters Emit 28 kHz Pulses That May Affect Harbor Porpoise Hearing*. doi:10.3389/fmars.2022.892050
- SERNAPESCA. (2009). *Marsopa Espinosa*.
- SERNAPESCA. (2022). *Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura 2022, Desembarco total por mes y puerto*.
- SHOA (Chile). (14 de Agosto de 2022). *Biblioteca Nacional Digital*. Obtenido de Biblioteca Nacional Web site:
<https://www.bibliotecanacionaldigital.gob.cl/bnd/631/w3-article-331724.html>

- Suazo et al. (2014). *Seabird bycatch in Chile: A synthesis of its impacts, and a review of strategies to contribute to the reduction of a global phenomenon*.
- Subpesca. (2003). *Cerco con Jareta [PS]*.
- Subpesca. (2003). *Red de Enmalle [GNS]*.
- Subpesca. (2013). *Listado de Fauna Acompañante de Pesquerías sometidas a LTP, conforme L.G.P.A.*
- Subpesca. (2022). *Artículo sobre la pesca artesanal*. Obtenido de <https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-article-645.html>
- Subpesca. (2022). *Artículo sobre la pesca industrial*. Obtenido de <https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-article-805.html>
- SUBPESCA. (2022). *Informe sectorial de pesca y acuicultura consolidado (2020 - 2021)*.
- TELEDYNE MARINE. (2020). *Hydrophone TC4033*.
- The World Bank. (2008). *The Sunken Billions*. Washington D.C.: Library of Congress.
- Todd et al. (2023). *What the F-POD? Comparing the F-POD and C-POD for monitoring of harbour porpoise (Phocoena phocoena)*. doi:10.25541
- Wallace et al. (2010). *Global patterns of marine turtle bycatch*. doi:10.1111/j.1755-263X.2010.00105.x
- Zydelis et al. (2013). *The incidental catch of seabirds in gillnet fisheries: A global review*. doi:10.1016/j.biocon.2013.04.002