



**Universidad de Concepción**

**Dirección de Postgrado**

**Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas - Programa de Postrados en Oceanografía**

**PRESENCIA ACÚSTICA DE MISTICETOS Y SU RELACIÓN  
CON VARIABLES OCEANOGRÁFICAS.**

**Prospecciones con planeadores submarinos en la Patagonia Norte**

**POR LAURA ELENA MONSERRAT GUTIÉRREZ CABELLO**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
de la Universidad de Concepción para optar al grado de Magíster en  
Ciencias con mención en Oceanografía

Profesor Guía: Dra. Susannah Buchan  
Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
Universidad de Concepción

Enero, 2022  
Concepción, Chile

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

**Universidad de Concepción**

**Dirección de Postgrado**

La tesis de Magister en Ciencias con mención en Oceanografía titulada “Presencia acústica de misticetos y su relación con variables oceanográficas en base a prospecciones con planeadores submarinos en la Patagonia Norte”, de la Srta. Laura Elena Monserrat Gutiérrez Cabello y realizada bajo la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, ha sido aprobada por la siguiente Comisión de Evaluación:

Dra. Susannah Buchan  
Profesor Guía  
Universidad de Concepción

---

Dr. Oscar Pizarro  
Miembro Comité de Tesis  
Universidad de Concepción

---

Dr. Leonardo Castro  
Miembro Comité de Tesis  
Universidad de Concepción

---

Dr. Luis Bedriñana-Romano  
Evaluador Externo  
Universidad Austral de Chile

---

Dr. Diego Narváez  
Director del Programa  
Departamento de Oceanografía  
Universidad de Concepción

---

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a mi profesora guía Dra. Susannah Buchan, quién me dio la posibilidad de trabajar en bioacústica de misticetos y me ha dado su confianza y apoyo incondicional en estos años para seguir creciendo profesionalmente. Agradezco profundamente su paciencia, disposición, empatía y constante ánimo durante el desarrollo de esta tesis. También agradecer a los miembros de mi comisión, Dr. Oscar Pizarro, Dr. Luis Bedriñana y Dr. Leonardo Castro, por sus enseñanzas, tiempo y buena disposición para la corrección de esta tesis.

Agradezco el importante apoyo y financiamiento que se me entregó en estos años a través de becas por parte de la Dirección de Postgrado de la Universidad de Concepción y los centros COPAS-Sur-Austral y COPAS Coastal de la Universidad de Concepción. También agradecer el financiamiento de parte de la Oficina de Investigación Naval de EE.UU N00014-17-1-2606, el financiamiento parcial del Centro COPAS Sur-Austral PFB31, ANID APOYO CCTE AFB170006, y al Centro COPAS Coastal 210021.

Quiero agradecer de forma especial a Nadin Ramírez, quien estuvo a mi lado la mayor parte del proceso. Sin duda, su apoyo, paciencia, enseñanzas y por sobre todo su simpatía fueron primordiales para sacar adelante esta tesis. De igual forma, mis sinceros agradecimientos a Kate Stafford, quien siempre encontró tiempo para responder todas mis preguntas y por su gran disposición para enseñarme, y por siempre animarme a continuar. Su gran conocimiento, comentarios y guía fueron esenciales para sacar adelante esta tesis.

Mi más profundo agradecimiento a mi esposa Fernanda, quien me dio su contención, apoyo, amor, ánimos y fuerzas para continuar trabajando cada día. También a mi familia, siempre pendientes, orgullosos y alegres de lo que hago, especialmente a mi madre y hermanos, quienes me entregan su contante apoyo, consejos y motivación.

Agradezco a mis familias elegidas de Valparaíso y Santiago, que vienen desde hace años dándome su cariño, acompañándome en los momentos difíciles y celebrando las victorias. También agradecer a mis compañeros de postgrado y a las amistades que surgieron en mi paso por Concepción, especialmente a Edson, Camila, Julio, Sara y Lucas.

Por último, quiero mencionar a mi abuela Nidia Cifuentes y mi abuelo Angel Cabello, su cariño, apoyo y sonrisas me acompañan todos los días. Finalizo esta tesis en honor a ustedes y a la confianza que depositaron en mí. Los llevo en mi corazón.

# CURRICULUM VITAE

Laura Elena Monserrat Gutiérrez Cabello

Nacida el 11 de febrero, 1991 en Viña del Mar, Chile

**2009-2017:** Título de Bióloga Marina, Universidad de Valparaíso, Chile.

**2019-2022:** Candidata a Magister en Ciencias con Mención en Oceanografía, Universidad de Concepción, Chile.

## PUBLICACIONES

Buchan SJ, I Pérez-Santos, D Narváez, L Castro, KM Stafford, MF Baumgartner, A Valle-Levinson, P Montero, **L Gutiérrez**, C Rojas, G Daneri & S Neira. (2021). Intraseasonal variation in southeast Pacific blue whale acoustic presence, zooplankton backscatter, and oceanographic variables on a feeding ground in Northern Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography*, 199, 102709. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102709>

Santos-Carvalho M, F Barilari, MJ Pérez-Alvarez, **L Gutiérrez**, G Pavez, H Araya, C Anguita, C Cerda & M Sepúlveda. 2021. Impacts of whale-watching on the short-term behavior of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in a Marine Protected Area in the Southeastern Pacific. *Frontiers in Marine Science*, section Marine Megafauna 8:623954. DOI: 10.3389/fmars.2021.623954

**Gutiérrez L**, F Vargas, P Pinto, W Troncoso, M Santos-Carvalho & M Sepúlveda. 2019. Impact of human activity on area use and activity patterns of the marine otter (*Lontra felina*) in central Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 47(1): 122 –128. DOI: 10.3856/vol47-issue1-fulltext-13

Buchan S, **L Gutiérrez**, N Balcazar-Cabrera, KM Stafford. 2019. Seasonal occurrence of fin whale song off Juan Fernandez, Chile. *Endangered Species Research* 39: 135–145. DOI: 10.3354/esr00956

Buchan S, R Mahu, J Wuth, N Balcazar-Cabrera, **L Gutiérrez** & S Neira & N Becerra Yoma. 2019. An unsupervised Hidden Markov Model-based system for the detection and classification of blue whale vocalizations off Chile, *Bioacoustics* 29: 140 – 167. DOI: 10.1080/09524622.2018.1563758

## **ÁREAS DE INVESTIGACIÓN**

Principal: Oceanografía Biológica

Secundaria: Oceanografía Física

Otras: Biología Marina

## **EXPERIENCIA LABORAL**

Tutora de Fundación Ciencia Joven, en el programa Academia Ciencia Joven Colegios. Año 2021 hasta la fecha

Co-investigador en el proyecto "Línea base y monitoreo de las poblaciones de cetáceos, chungungos y lobos marinos en el Golfo de Arauco, Región del Bío-Bío". Programa de Investigación Ecosistémica comprometido por Celulosa Arauco y Constitución en la RCA de la iniciativa Modernización Ampliación Planta Arauco (MAPA). Años 2019 y 2020.

Analista bioacústica en Proyecto "Whales in Estuaries: Glider surveys and fixed timeseries for explaining distribution". Financiado por United States Office of Naval Research Global (N00014-17-2606). Año 2017 hasta la fecha.

Colaboración en propuesta de estudio "Un análisis acerca de la posible utilización del disuasivo acústico OTAQ Sealfencetm en los canales y fiordos de la Patagonia Chilena". Mi trabajo estuvo enfocado en realizar una revisión bibliográfica de las condiciones oceanográficas de la Patagonia y, también sobre las condiciones relevantes para la propagación del sonido. Julio a septiembre 2020.

Investigador asociado al proyecto FIPA 2018-43: "Determinación del estado poblacional en las Reservas Marinas Isla Chañaral e Islas Choros y Damas de las

especies delfín nariz de botella, chungungo, pingüino de Humboldt y cetáceos”. Dirigido por la Dra. Maritza Sepúlveda de la Universidad de Valparaíso. Financiado por el Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura.

Colaboradora en trabajo de campo en el proyecto “Núcleo Milenio de Salmónidos Invasores (INVASAL)”. Financiado por Iniciativa Milenio. 2018 – 2020. Mi participación ha consistido en la organización y realización de campañas de terreno para la obtención de muestras de lobo marino común (*Otaria flavescens*), en distintas loberas del sur de Chile.

Colaboradora en trabajo de campo en el proyecto “III Concurso de fortalecimiento y desarrollo de centros regionales de desarrollo científico y tecnológico 2017. Línea de investigación oceanografía y dinámica costera”. Financiado por el Programa regional de investigación científica y tecnológica CONICYT. Desde enero 2018. Hasta la fecha, he participado campañas de terreno en la Reserva Marina Isla Chañaral, Región de Atacama. A cargo del seguimiento de cetáceos desde tierra y del avistamiento de mamíferos marinos desde una embarcación.

Analista bioacústica en proyecto “Diarization Applied to Detection and Classification of large Whale Species, Regional Dialects and Individuals”. Financiado por United States Office of Naval Research Global (Grant no. N00014-16-R-BA01), otorgado a Dr. Nestor Becerra (Universidad de Chile) y Dra. Susannah Buchan (Universidad de Concepción). Julio 2017- marzo 2018. A cargo de la identificación de unidades de cantos de ballena azul.

Analista bioacústica en Proyecto “Seasonal occurrence of fin whale song at a CTBTO station off Juan Fernandez, Chile”. Financiado por el Centro COPAS Sur-Austral, Universidad de Concepción. Años 2016 – 2017.

Co-investigador en el proyecto IFOP “Monitoreo de mamíferos y aves marinas. Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburos de Bahía Quintero, V región”. Desde octubre 2015 hasta mayo 2016. Estuve a cargo de un equipo de trabajo para realizar campañas de toma de datos de abundancia de *Lontra*



*felina* a lo largo de la V región y de realizar el posterior análisis de la información recolectada.

Colaboradora en trabajo de campo proyecto CORFO “Plan Estratégico de Desarrollo Sustentable para posicionar a la Región De Atacama como un Destino Turístico de Alta Calidad para el avistamiento de Cetáceos (TAC-AC), otros Mamíferos y Aves Marinas”. Noviembre, diciembre 2015, febrero, marzo 2016. Participé en tres campañas de terreno, con un total de ocho semanas en Isla Chañaral, Región de Atacama. A cargo del seguimiento de cetáceos.

Colaboradora en trabajo de campo proyecto FPA “Whale-watching en la Reserva Marina Isla Chañaral: manejo y planificación para una actividad sustentable”. Universidad de Valparaíso 2015. Participé en la toma datos de ballena fin (*Balaenoptera physalus*) durante tres semanas en la Isla Chañaral, Región de Atacama.

Investigadora principal del proyecto “Evaluación del impacto de la actividad turística en poblaciones del chungungo (*Lontra felina*) en la zona Central de Chile” Beca Concurso “Los Estudiantes Primero: Hacia una mayor eficacia y eficiencia curricular del pregrado en la UV, UVA1315”. Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso. Años 2014 y 2015. Mi trabajo consistió en organizar al equipo de trabajo, participar en campañas de terreno y analizar datos de abundancia y uso de hábitat. Actualmente me encuentro redactando un manuscrito sobre esta investigación.

## **FORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Curso en línea “Gestión de la Biodiversidad Marina y Áreas Marinas Protegidas”, actividad de Extensión Académica de la Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Diciembre 2020.

Curso en línea “Procesamiento y análisis de datos oceanográficos usando R”. Universidad Nacional del Sur, Argentina. Año 2020

Curso especializado (en línea) “Fotogrametría con drones”, dictado por la Asociación de Profesionales de Drones Latinoamérica. Agosto 2020. Septiembre 2020 a enero 2021.

Curso en línea “Herramientas de análisis ambiental, con enfoque oceanográfico: análisis y manejo de datos satelitales y de Gliders”, organizado por Baja Marine Science Project A.C. Julio 2020.

Curso “Sound Analysis Workshop”, impartido por el Centro de Conservación Bioacústica de la Universidad de Cornell, Ithaca, Estados Unidos. Septiembre 2019.

Listening for Aquatic Mammals in Latin America. XII Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos. Noviembre 2018.

Listening for Aquatic Mammals in Latin America. XI Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos. Diciembre 2016.

Curso de Biodiversidad en la Escuela de Verano, realizado en la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile. Año 2008.

Curso de “Preparación para enseñar del Mar de Chile” realizado en la Universidad Andrés Bello. Año 2010.

## **DIVULGACIÓN Y TUTORIAS**

Divulgación en “Festival de la Ciencia, con la presentación “Chungungos en el Golfo de Arauco. Actividad en línea, transmitida por Youtube y Facebook COPAS Sur-Austral. Noviembre 2020.

Apoyo en visita al campus de la Universidad de Concepción, actividad realizada para los “Embajadores Marinos”, niños provenientes de distintas localidades del Sur de Chile. Octubre 2019.

Divulgación en “Conce de Ciencia”, participando en el “Stand ChileMIO y COPAS Sur-Austral”, actividad de puertas abiertas con visitas de grupos familiares. Campus Universidad de Concepción. Octubre 2019.

Divulgación en "Semana de los Mares" con la actividad “Tarde Lúdica Marina”. Biblioteca Viva del Mall Trébol, Concepción. Julio 2019.

Divulgación en "Semana de los Mares" con la actividad “Realidad Aumentada y Realidad Virtual de ChileMIO”. Biblioteca Viva del Mall Trébol, Concepción. Julio 2019.

Dentro del contexto del proyecto ONRG Whales in Estuaries N00014-17-1-2606: Entrenamiento en análisis acústico a estudiante de Biología Marina de la Pontificia Universidad Católica de Santiago, que se encuentra desarrollando su práctica profesional. El entrenamiento considera el uso del programa “Low-Frequency Detection and Classification System” y apoyo para el análisis de datos. Entre octubre y diciembre 2019.

Dentro del contexto del proyecto ONRG Whales in Estuaries N00014-17-1-2606: Supervisión de estudiante de Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales de la Universidad de Concepción. Esto consideró el entrenamiento en análisis de datos acústicos utilizando el programa Raven pro y supervisión de trabajo. Entre agosto y noviembre 2019.

Supervisión de estudiante en práctica de Northern Arizona University. Mi labor fue asesorar la definición de su plan de trabajo, dar apoyo y directrices a lo largo de su investigación y análisis de datos. El proyecto final fue titulado “Bioacoustic análisis of blue whale vocalizations from the Corcovado Gulf, Chilean Patagonia”, el cual fue presentado en la actividad “Charlas en la ballena”. Entre marzo y julio 2019.

## **CONGRESOS**

World Marine Mammal Conference. “Modeling behavioral responses of fin whale (*Balaenoptera physalus*) to whale-watching tourism in the Marine Reserve Isla Chañaral, northern Chile”. Macarena Santos-Carvallo, Maria José Pérez Álvarez,

Fernanda Barilari, Guido Pavez, **Laura Gutiérrez**, Hector Araya, Maritza Sepúlveda. España, Barcelona, año 2019.

World Marine Mammal Conference. “Blue, sei and humpback whale acoustically-inferred distribution in relation to oceanographic features in Northern Chilean Patagonia using gliders and fixed timeseries data”. Susannah Buchan, Iván Pérez-Santos, Mark Baumgartner, Kathleen Stafford, Camila Calderon, **Laura Gutiérrez**, Oscar Pizarro, Diego Narvaez, Leonardo Castro, Nadin Ramirez, Paulina Vasquez, Arnoldo Valle-Levinson, Sergio Neira. España, Barcelona, año 2019

XII Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos – RT 18. “Reserva Marina Isla Chañaral como zona de protección de ballenas en Chile: la importancia de contar con información de línea base”. Macarena Santos-Carvallo, Fernanda Barilari, María José Perez-Alvarez, Carlos Olavarría, Susannah Buchan, **Laura Gutiérrez**, Naysa Balcazar, Andrea Colilef, Guido Pavez, Maritza Sepúlveda. Perú, Lima, año 2018.

XXII Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. “A review of blue and fin whale acoustically-inferred seasonal movements in the eastern south Pacific”. **Laura Gutiérrez**, Susannah Buchan, Kate Stafford, Rodrigo Hucke-Gaete, Christopher Clark, Naysa Balcazar, Julie Patris, Franck Malige, Sergio Neira, Maritza Sepúlveda, Macarena Santos, Carlos Olavarría. Canada, Halifax, año 2017.

XXXVII Congreso de Ciencias del Mar. Presentación del Trabajo “Whale watching en Chañaral de Aceituno: buenas prácticas para una actividad sustentable”. **Laura Gutiérrez**, Macarena Santos-Carvallo, Fernanda Barilari, María José Perez-Alvarez, Guido Pavez & Maritza Sepúlveda. Año 2017.

XI Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos. “Impacto de la actividad humana sobre el uso de área y patrones de actividad del chungungo (*Lontra felina*) en la zona central de Chile. **Laura Gutiérrez**, Fernanda Vargas, Pía Pinto, Walter Troncoso & Maritza Sepúlveda. Año 2016.

XI Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos. “Whale watching en Chañaral de Aceituno: buenas prácticas para una actividad sustentable”. **Laura Gutiérrez**, Macarena Santos-Carvalho, María José Perez-Alvarez, Fernanda Barilari, Guido Pavez & Maritza Sepúlveda. Año 2016.

XXXV Congreso de Ciencias del Mar 2015 Comité Científico. Presentación del Trabajo “Presencia del chungungo *Lontra felina* en la Región de Valparaíso, Chile”. Fernanda Vargas, **Laura Gutiérrez**, Pía Pinto, Walter Troncoso & Maritza Sepúlveda. Año 2015.

## TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	iv
CURRICULUM VITAE .....	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Importancia de la oceanografía en la distribución de misticetos.....	1
1.2. Oceanografía de la Patagonia Chilena y la Ecorregión Chiloense .....	2
1.3. El hábitat de misticetos en la Ecorregión Chiloense .....	4
1.4. Monitoreo acústico pasivo (PAM) .....	5
1.5. Planeadores submarinos o gliders .....	6
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	8
2.1. Objetivo General .....	8
2.2. Objetivos Específicos .....	8
3. METODOLOGÍA.....	9
3.1. Zona de estudio .....	9
3.2. Registro de datos con gliders.....	10
3.3. Descripción de las propiedades hidrográficas en la zona de estudio.....	12
3.4. Identificación de la presencia acústica de ballenas azules ( <i>B. musculus</i> ) y sei ( <i>B. borealis</i> ) dentro del área de estudio. ....	13
Acoplamiento de datos acústicos y oceanográficos.....	15

3.5.	Determinación del rango de detección del hidrófono para el registro de vocalizaciones a lo largo de la trayectoria de los gliders. ....	16
	Nivel de ruido ambiental (NL).....	17
	Rango de detección y análisis de sensibilidad del modelo .....	18
3.6.	Determinación cuantitativa de la relación entre la presencia acústica de misticetos y las propiedades hidrográficas.....	20
	Datos satelitales de temperatura y clorofila-a.....	24
4.	RESULTADOS .....	25
4.1.	Descripción hidrográfica del área de estudio .....	25
4.2.	Ocurrencia acústica de misticetos .....	30
4.3.	Estimación del rango de detección del DMON.....	35
	Velocidad del sonido por zona oceanográfica .....	35
	Pérdida de transmisión máxima por cada señal acústica .....	36
	Ajuste de datos de pérdida de propagación .....	37
	Rango de detección bajo distintos escenarios:.....	38
4.4.	Relación de presencia acústica con propiedades hidrográficas.....	40
5.	DISCUSIÓN .....	46
5.1.	Hidrografía del área de estudio .....	46
5.2.	Distribución espacio-temporal de presencia acústica de misticetos y su relación con la oceanografía.....	48
	Relación entre avistamientos y presencia acústica de misticetos .....	48
	Presencia de ballenas sei en la zona de estudio .....	48
	Presencia de ballenas azules en la zona de estudio.....	51
5.3.	Dificultades y desafíos metodológicos para acoplar datos acústicos y oceanográficos.....	59
	Incertezas en la estimación del rango de detección .....	59

Diferencias en escala espacial entre rango de detección de vocalizaciones y mediciones oceanográficas .....	63
Limitada cobertura espacio-temporal .....	64
Dificultades en el procesamiento y análisis de los datos acústicos y oceanográficos .....	65
Desafíos para trabajos futuros.....	66
6. CONCLUSIONES .....	68
7. BIBLIOGRAFÍA .....	71
Anexo 1 .....	88
Gradiente de temperatura y distancia a puntos de alta clorofila-a.....	89
anexo 2 .....	90
Distribution of blue and sei whale vocalizations, and temperature-salinity characteristics from glider surveys in the Northern Chilean Patagonia mega-estuarine system .....	92



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de los tres despliegues realizados en 2019 dentro del área de estudio en EC.....	12
Tabla 2. Parámetros acústicos considerados para el software PAMGuide.....	17
Tabla 3. Parámetros acústicos establecidos para determinar el rango de detección del DMON .....	20
Tabla 4. Comparación de variables hidrográficas entre las cuatro zonas oceanográficas que dividen el área de estudio mediante el análisis estadístico Kruskal Wallis. Donde, $X^2$ : Chi cuadrado y P: Probabilidad.....	25
Tabla 5. Promedios y desviaciones estándar de variables hidrográficas por zona oceanográfica y capa de la columna de agua, en paréntesis se indican los valores mínimos y máximos. TS: temperatura superficial; TP: temperatura profunda; SS: salinidad superficial; SP: salinidad profunda; PCM: profundidad de la capa de mezcla.....	29
Tabla 6. Información de registro de audio con DMON de los tres despliegues de gliders realizados dentro del área de estudio.....	31
Tabla 7. Se indica el tiempo de grabación (horas totales), número total de señales detectadas por cada vocalización y tasa de vocalización (vocalización/hora) por cada zona oceanográfica durante los tres despliegues.....	35
Tabla 8. Parámetros utilizados para el cálculo de la Passive Sonar Equation por cada señal acústica. Donde, SL: nivel de la fuente (dB); SNR: relación señal/ruido; NL: nivel de ruido ambiental; y $TL_m$ : máxima pérdida de transmisión.....	37
Tabla 9. Estimación del rango de detección de las zonas oceanográficas mediante el modelo RAM bajo condiciones reales. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA: Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de	

detección; ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.....	38
Tabla 10. Análisis de sensibilidad, rango de detección en base a variaciones en la profundidad de la columna de agua. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA: Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de detección. ....	39
Tabla 11. Análisis de sensibilidad, rango de detección en base al uso de diferentes perfiles de velocidad del sonido, correspondientes a cada zona oceanográfica. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA: Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de detección. ....	40
Tabla 12. Análisis de sensibilidad, rango de detección en base a variaciones en la profundidad del receptor. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA: Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de detección. ....	40
Tabla 13. Parámetros utilizados para la selección del modelo: Máxima Verosimilitud Restringida (REML), Desvianza Explicada (ExpDev), Criterio de Información de Akaike (AIC), Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSE) y Área bajo la Curva (AUC). Donde, DACC: Distancia a puntos de alta concentración de clorofila; TSP: Temperatura superficial promedio; TPP: Temperatura profunda promedio; SSP: Salinidad superficial promedio; SPP: Salinidad profunda promedio; y PFP: Profundidad de fondo promedio. En negrita se indican los mejores modelos seleccionados.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio dentro de la EC. Los puntos de color señalan las rutas realizadas por cada despliegue de un glider. Además, se indica sus puntos de liberación (círculos) y recuperación (triángulos). .....	10
Figura 2. Espectrograma de: a) Sep2, canto completo de ballena azul; b) Dcalls de ballena azul; c) downsweeps (tripletes) de ballena sei; y d) upsweeps de ballena sei. ....	15
Figura 3. Área de estudio dividida por grilla de 12 x 12 km en base al rango de detección del DMON para vocalizaciones Dcalls. Los círculos magenta indican la presencia de estas vocalizaciones en la trayectoria de los gliders. ....	24
Figura 4. Comparación de valores promedio de: A) Salinidad profunda; B) Temperatura profunda; y C) Profundidad de la capa de mezcla entre las cuatro zonas oceanográficas. La línea central roja indica la mediana, los bordes inferior y superior del cuadro indican los percentiles 25 y 75, respectivamente. Los bigotes representan los datos más extremos y los valores atípicos corresponden al símbolo rojo '+'. Donde, ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.....	26
Figura 5. Valores de PCM dentro del área de estudio. Círculos rojos indican perfiles sin una PCM determinada, ya sea porque no se encontró un valor del gradiente densidad superior a $0,03 \text{ kg/m}^4$ o por ser valores menores a 2 o mayores a 50 m. ....	27
Figura 6. Distribución de variables hidrográficas en las cuatro zonas oceanográficas. A) Salinidad en la capa superficial, B) Salinidad en la capa profunda, C) temperatura en la capa superficial y, D) temperatura en la capa profunda. Se indica con líneas negras la división entre las cuatro zonas oceanográficas: ES= zona Estuarina; ET= zona de Transición Estuarina; OT= zona de Transición Oceánica; OC=zona Oceánica.....	28

Figura 7. Diagramas TS de las cuatro zonas oceanográficas. Las líneas negras verticales delimitan los criterios de salinidad según Sievers & Silva (2008) y Pérez-Santos et al. (2014): ASAAM: agua subantártica modificada (31-33); ASAA: agua subantártica (33-33,9); AESS: agua ecuatorial subsuperficial (>33,9). Además, las líneas negras diagonales corresponden a isolíneas de densidad. Donde, ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.....	30
Figura 8. Detecciones de las señales Sep2 (ballena azul), Dcalls (ballena azul), downsweeps (ballena sei) y upsweeps (ballena sei) registradas durante el despliegue I (abril del 2019), abarcando las zonas oceanográficas ES y ET. Los círculos magenta representan los puntos geográficos de la transecta de los gliders en donde se detectaron señales acústicas. ....	32
Figura 9. Detecciones de las señales Sep2 (ballena azul), Dcalls (ballena azul), downsweeps (ballena sei) y upsweeps (ballena sei) registradas durante el despliegue II (abril/mayo del 2019), abarcando las zonas oceanográficas ET, OT y OC. Los círculos magenta representan los puntos geográficos de la transecta de los gliders en donde se detectaron señales acústicas. ....	33
Figura 10. Detecciones de las señales Sep2 (ballena azul), Dcalls (ballena azul), downsweeps (ballena sei) y upsweeps (ballena sei) registradas durante el despliegue III (mayo/junio del 2019), abarcando las zonas oceanográficas ES, ET, OT y OC. Los círculos magenta representan los puntos geográficos de la transecta de los gliders en donde se detectaron señales acústicas. ....	34
Figura 11. Perfiles verticales promedio de las variables salinidad (línea azul), temperatura (línea roja) y velocidad del sonido (línea negra) por cada zona oceanográfica. En color verde se representan sus desviaciones estándar. Donde, ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.....	36
Figura 12. Pérdida de propagación en ES considerando al receptor a 50 m de profundidad (línea azul). Además, se muestran las curvas ajustadas mediante una regresión lineal, cuadrática y polinomial de grado 10. ....	38

Figura 13. Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera las variables TPP + SSP (modelo 1, Tabla 13) y que mejor explica la relación entre la presencia de Dcalls y las variables hidrográficas.....	43
Figura 14. Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera la variable TPP (Modelo 2, Tabla 13).....	44
Figura 15. Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera la variable SPP (Modelo 3, Tabla 13).....	45
Figura 16. Gradientes de temperatura (°C) determinados en base a celdas de 12 km x 12 km para el área de estudio. Los datos se generaron en base al promedio de datos de temperatura superficial entre abril y mayo del 2019. ....	89
Figura 17. Puntos de alta concentración de clorofila-a dentro del área de estudio. Los datos corresponden al promedio de datos de la primavera del 2018 (septiembre a noviembre) y fueron transformados a logaritmo en base 10.....	90

## RESUMEN

Presencia acústica de misticetos y su relación con variables oceanográficas.  
Prospecciones con planeadores submarinos en la Patagonia Norte.

Laura Gutiérrez Cabello

Programa de Magíster en Ciencias mención Oceanografía

Universidad de Concepción, 2020

Dra. Susannah Buchan, Profesor Guía

Dentro de la Patagonia chilena se encuentra la Ecorregión Chiloense, una zona de alimentación para misticetos reconocida a nivel mundial, donde se han documentado grandes agregaciones de ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) en particular, pero también otras especies como la ballena sei (*Balaenoptera borealis*) y la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), alimentándose durante el verano austral y principios de otoño. En esta zona existe una importante interacción entre masas de agua provenientes desde la zona oceánica y aguas estuarinas provenientes de precipitaciones, ríos y deshielos, las cuales tienen influencia en la disponibilidad de alimento para los misticetos que llegan a esta zona. El objetivo principal de este trabajo fue analizar la relación entre propiedades hidrográficas y la presencia acústica de misticetos en la zona comprendida entre Isla Guafo, Golfo de Corcovado y el Mar Interior de Chiloé a partir de datos acústicos y oceanográficos. Para ello, se realizaron tres despliegues de gliders durante otoño del 2019, obteniendo datos de temperatura y salinidad de la columna de agua, y un registro de audio continuo con un hidrófono. A partir de estos datos se describieron las propiedades hidrográficas del área de estudio, se identificó la presencia acústica de ballenas azules y sei, y se evaluó el rango de detección del hidrófono para las señales acústicas de estas especies. El área de estudio se dividió en cuatro zonas oceanográficas y mediante diagramas T-S se determinó la presencia de las masas de agua subantártica, agua subantártica modificada y el agua ecuatorial subsuperficial. Además, se identificó la presencia de señales acústicas de ballena azul, Sep2 (n = 47205) y Dcalls (n = 5634),

y señales acústicas de ballena sei, downsweeps ( $n = 831$ ) y upsweeps ( $n = 3877$ ). Posteriormente, se calculó el rango de detección de estas señales acústicas por medio de un modelo de pérdida de transmisión del sonido, determinando rangos de detección sobre los 30 km para Sep2 de ballenas azules y downsweeps de ballena sei, y un promedio de ~12 km para Dcalls de ballenas azules. A partir del rango de detección de los Dcalls se analizó la relación entre la presencia de estas vocalizaciones y diferentes variables oceanográficas mediante Modelos Aditivos Generalizados, los cuales mostraron una relación significativa entre temperatura profunda promedio, la salinidad superficial promedio y la salinidad profunda promedio con la presencia de Dcalls, indicando que existe mayor probabilidad de encontrar esta vocalización en zonas oceánicas. Aquí se presentan posibles explicaciones de por qué la mayor ocurrencia de Dcalls, y por ende de ballenas azules, estaría asociada a la zona oceánica, a temperaturas profundas más bajas y a salinidades profundas más altas. Por otro lado, el desarrollo de este estudio permitió identificar problemáticas y desafíos para trabajos a futuro con el fin de generar una metodología pertinente que facilite el acoplamiento de datos acústicos y oceanográficos recolectados mediante gliders.

## ABSTRACT

Acoustic presence of mysticetes and its relationship with oceanographic variables.  
Underwater glider surveys in North Patagonia.

Laura Gutiérrez Cabello

Master of Science Program in Oceanography

University of Concepción, 2022

Dr. Susannah Buchan, Advisor

The Chiloense Ecoregion in Northern Chilean Patagonia is a globally recognized feeding area for mysticetes, where large aggregations of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in particular, but also sei whales (*Balaenoptera borealis*) and humpback whales (*Megaptera novaeangliae*), have been documented feeding during the austral summer and early autumn. In this area there is an important interaction between water masses coming from the oceanic zone and estuarine waters from rainfall, rivers and ice melt, which have a direct influence on the availability of food for the mysticetes that arrive in this area. The main objective of this work was to analyze the relationship between hydrographic properties and the acoustic presence of mysticetes in the area between Guafo Island, Corcovado Gulf and the Inner Sea of Chiloé based on acoustic and oceanographic data. For this purpose, three glider deployments were carried out during autumn 2019, obtaining water column temperature and salinity data and a continuous audio record with a hydrophone. From these data, the hydrographic properties of the study area were described, the acoustic presence of blue and sei whales was identified, and the detection range for the acoustic signals of these species was assessed. The study area was divided into four oceanographic zones and by T-S diagrams the presence of sub-Antarctic water, modified sub-Antarctic water and subsurface equatorial water was determined. In addition, the presence of blue whale acoustic signals, Sep2 (n = 47205) and Dcalls (n = 5634), and sei whale acoustic signals, downsweeps (n = 831) and upsweeps (n = 3877), were identified. The detection range of these acoustic signals was calculated by sound



transmission loss modelling, determining detection ranges over 30 km for blue whale Sep2 song calls and sei whale downsweeps, and an average of ~12 km for blue whale Dcalls. From the detection range of Dcalls, the relationship between the presence of these vocalizations and different oceanographic variables was analyzed by means of Generalized Additive Models, which showed a significant relationship between average deep temperature, average surface salinity and average deep salinity with the presence of Dcalls, indicating that this vocalization is more likely to be found in oceanic zones. Here are some possible explanations as to why the higher occurrence of Dcalls, and therefore of blue whales, would be associated with the oceanic zone, lower deep temperatures and higher deep salinities. This study also allowed to identify problems and challenges for future work to generate a relevant methodology that allows the coupling of acoustic and oceanographic data collected by means of gliders.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Importancia de la oceanografía en la distribución de mysticetos

Los mysticetos se caracterizan por ser especies migratorias, capaces de recorrer miles de kilómetros en su búsqueda de alimento y áreas de reproducción, diferenciándose sus trayectos tanto entre especies como entre individuos (Mackintosh, 1946; Perrin et al., 2009). Para entender su distribución geográfica y presencia en sus zonas de alimentación, es necesario tener claridad sobre su comportamiento como depredadores, la distribución de sus presas (Hazen et al., 2009), cuáles son las condiciones oceanográficas presentes, y cómo éstas varían en pequeña y mediana escala ya que estos animales pueden verse afectados (directa o indirectamente) por estas variaciones (García et al., 2018; Mannocci et al., 2017). Sin embargo, la información sobre la disponibilidad de presas es escasa (Virgili et al., 2021) y es difícil obtener datos simultáneos de abundancia y distribución de depredadores, presas y de condiciones ambientales a escalas espaciales y temporales adecuadas (Croll et al., 2005). Por ello, proxies indirectos de distribución de presas son comúnmente utilizados para describir la distribución de depredadores marinos (Virgili et al., 2021) como los mysticetos. Estos proxies permiten caracterizar las condiciones ambientales que influyen en su distribución, las que pueden ser puramente físicas, como profundidad, pendiente del fondo o temperatura del agua (Baumgartner et al., 2014; De Vos et al., 2014; Palacios et al., 2013), o biológicas, como la concentración de clorofila y densidad de presas (Croll et al., 2005). Así, distintos estudios han utilizado proxies como la temperatura, batimetría, velocidad del viento y concentración de clorofila-a, observando que se relacionan tanto con los niveles de productividad primaria como con la cantidad de alimento disponible, y en consecuencia con la presencia y distribución de mysticetos como las ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) y fin (*Balaenoptera physalus*) (Bedriñana-Romano et al.,

2018; Croll et al., 2005; Panigada et al., 2008; Shabangu et al., 2019). Otro proxy que se puede ocupar para la presencia de misticetos es la presencia acústica de sus vocalizaciones, así se han realizado estudios que considerando datos acústicos de ballenas azules han determinado relaciones entre la tasa de vocalización de los misticetos y datos de temperatura superficial, clorofila-a y velocidad del viento (ej: Barlow et al., 2021; Burtenshaw et al., 2004; Stafford et al., 2009). Por lo tanto, la correlación entre factores abióticos y la presencia de misticetos debe verse como un primer paso para comprender los procesos claves que eventualmente permitirán pronosticar con precisión su distribución geográfica (Palacios et al., 2013).

## **1.2. Oceanografía de la Patagonia Chilena y la Ecorregión Chilense**

La Patagonia Chilena es un sector que posee uno de los conjuntos de fiordos más extensos del mundo y que se extiende desde Reloncaví (41°51'S) hasta Cabo de Hornos (55°91'S) (Palma & Silva, 2004). Frente a esta región, la Corriente del Pacífico Sur transporta agua subantártica (ASAA) que posteriormente alimenta la Corriente de Perú-Chile o Corriente de Humboldt que fluye hacia el norte y la Corriente del Cabo de Hornos (CCH) que fluye hacia el sur (Colpaert et al., 2016). Según el modelo planteado por Sievers & Silva (2008), el ASAA (que llega hasta los 150 m de profundidad) ingresa al mar interior de la Patagonia mezclándose con las aguas de los fiordos y canales, agua dulce proveniente desde ríos, lluvias y del derretimiento de glaciares, formando el agua subantártica modificada (ASAAM). Además, bajo el ASAA se encuentran restos de agua ecuatorial subsuperficial (AESS) entre 150 y 300 m de profundidad; y el agua intermedia antártica (AIAA) por debajo de los 300 m de profundidad (Palma & Silva, 2004; Sievers & Silva, 2008). Así, en la Patagonia se genera un gradiente vertical y horizontal de salinidad y temperatura a medida que las aguas oceánicas se acercan a la costa.

Debido a las particulares características ecológicas y oceanográficas de la Patagonia Chilena (Vila et al., 2016), en la zona norte se definió la Ecorregión marina Chiloense (EC) (Spalding et al., 2007) que comprende entre el Canal de Chacao (41°S) y la Península de Taitao (47°S), caracterizándose por presentar una intrincada red de canales originados por fiordos y archipiélagos. Dentro de la EC se encuentran Isla Guafo (43,60°S, 74,72°W), el Golfo de Corcovado (43,37°S, 73,37°W) y el Mar Interior de Chiloé (43,19°S, 73,28°W), sectores reconocidos por su alta productividad (González et al., 2011) y diversidad de vertebrados marinos (Viddi et al., 2010; Seguel & Pavés, 2018). Entre estos sectores, se observan diferencias en las condiciones hidrográficas (temperatura y salinidad) entre el polo más estuarino (Mar Interior de Chiloé) y el polo más oceánico (Isla Guafo). Por ejemplo, en Boca del Guafo se ha registrado una temperatura de 11,5°C en invierno, a diferencia del Golfo de Corcovado, sector donde se mezclan aguas oceánicas y estuarinas, que presenta temperaturas cercanas a los 10,5°C. Por otro lado, en Boca del Guafo se han encontrado valores de salinidad de 34 psu, en cambio dentro del Mar Interior de Chiloé, sector estuarino, la salinidad es de 32 psu (Silva & Guzman, 2006; Iriarte et al., 2007; González et al., 2010; Pavés et al., 2015). Cabe destacar que el Golfo de Corcovado, donde se forma el ASAAM, es la entrada principal de agua oceánica (proveniente desde Boca del Guafo) hacia el Mar interior de Chiloé, y permite la entrada de grandes proporciones de macronutrientes oceánicos, los que favorecen procesos de producción primaria en la zona (Pavés et al., 2015).

A modo general, dentro de la EC se puede encontrar una estructura vertical generada por la presencia de aguas oceánicas y estuarinas (circulación estuarina) (González et al., 2013), donde la capa superficial, compuesta por AE, contiene altos niveles de ácido silícico y bajos niveles de nitrato y fosfato a diferencia de la capa subsuperficial, compuesta por ASAA, y a mayores profundidades AESS, que traen consigo bajas cantidades de ácido silícico e importantes aportes de fosfato y nitrato {Formatting Citation}. Sin embargo, las condiciones hidrográficas y las concentraciones de nutrientes pueden variar de una estación a otra (Iriarte et al., 2017), lo que afecta directamente a la biomasa y diversidad del fitoplancton presente (Iriarte et al., 2005). Así, algunos estudios han registrado floraciones, principalmente

diatomeas y dinoflagelados, en primavera y verano (Iriarte et al., 2017; Montero et al., 2011), primavera e invierno (González et al., 2011) y, para sectores como el mar interior de Chiloé, en principios de otoño, donde se ha observado una biomasa relativamente elevada (Montero et al., 2011).

### **1.3. El hábitat de misticetos en la Ecorregión Chiloense**

La EC es una zona de alimentación para misticetos reconocida a nivel mundial. Se han documentado grandes agregaciones de ballenas azules, jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) y sei alimentándose durante el verano austral y principios del otoño (Hucke-Gaete et al., 2004, 2013; Cabrera et al., 2005; Abramson & Gibbons, 2010; Viddi et al., 2010; Galletti Vernazzani et al., 2012; Buchan et al., 2014, 2015, 2021<sup>a</sup>; Bocconcelli et al., 2015; Buchan & Quiñones, 2016). Particularmente, el arribo de las ballenas azules se puede asociar a que en la EC se concentran grandes agregaciones de eufáusidos, particularmente de *Euphausia vallentini* (Palma & Silva, 2004), la cual ha sido reportada como la presa objetivo de las ballenas azules en estas áreas (Buchan & Quiñones, 2016). Especie que a su vez se alimenta de poliquetos, copépodos, y principalmente de fitoplancton (como diatomeas y dinoflagelados) (Hamamé & Antezana, 2010), las cuales están disponibles en la zona debido a nutrientes claves para su crecimiento: fosfatos y nitratos traídos por ASAA y ácido silícico que proviene de AE (Buchan & Quiñones, 2016; González et al., 2010; Torres et al., 2014). Además, dentro de la EC se puede encontrar el decápodo *Munida gregaria*, que ha sido descrito como la presa objetivo de ballenas sei en la EC (Buchan et al., 2021<sup>b</sup>).

Ambas especies, azules y sei, de acuerdo con la Lista Roja para especies amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, se encuentran “En Peligro” (IUCN 2020), esto debido a la disminución en sus poblaciones como consecuencia de un periodo de masivas capturas frente a las costas de Chile y Perú (Leaper et al., 2008; Surma et al., 2014). Actualmente, dentro de la

EC estas especies también se ven amenazadas, ya que existe una gran cantidad de concesiones para acuicultura, especialmente de salmoneras (SUBPESCA). Debido a ello, estas especies comparten sus zonas de distribución con las embarcaciones de pesca y acuicultura, principalmente dentro del Mar interior de Chiloé, lo que puede causar colisiones entre ellas (Bedriñana-Romano et al., 2021). Sumado a esto, la pérdida de hábitats críticos para estas especies debido a actividades antrópicas realza la importancia de identificar y monitorear las zonas donde se forman agregaciones de estos animales con el fin de conservarlos (Colpaert et al., 2016).

Por estos motivos es importante monitorear las condiciones oceanográficas en zonas de alimentación de misticetos como la EC, a escalas relevantes para ellos y sus presas, específicamente a sub-meso escala (0,1-10 km) y meso-escala (10-100 km) (Cotté et al., 2011; Palacios et al., 2013; Tetley et al., 2008).

#### **1.4. Monitoreo acústico pasivo (PAM)**

El Monitoreo Acústico Pasivo, o PAM por sus siglas en inglés, es un “método de observación en el que se despliega un dispositivo acústico en el océano para captar los sonidos del entorno” (DOSITS, 2021). Esta técnica puede utilizarse para estudiar la presencia y distribución de animales que producen sonidos (Browning et al., 2017; Zimmer, 2011). El PAM se presenta como un método útil para estudios de distribución espacial y temporal de cetáceos debido a que vocalizaciones de diferentes especies y poblaciones pueden ser monitoreadas en base a un registro continuo, por largos periodos de tiempo y sin importar las condiciones climáticas (Küsel et al., 2011; Mellinger et al., 2007; Thomisch et al., 2016). Estas características lo diferencian de los estudios de cetáceos basados en registros visuales, los que pueden ser difíciles de llevar a cabo debido a que, en algunos casos, estos animales se encuentran en pequeños grupos, habitan sectores de difícil acceso lejanos a la costa y pasan la mayor parte del tiempo bajo la superficie (Baumgartner et al., 2014; Marques et al., 2009). Adicionalmente, el monitoreo visual está limitado

por las condiciones meteorológicas, la luz del día y la disponibilidad de embarcaciones o plataformas terrestres para hacer las observaciones, lo que puede ser muy costoso (Davis et al., 2017; Stafford et al., 2011).

No obstante, también es necesario considerar las limitaciones que tiene el PAM: En primer lugar, la especie objetivo se debe encontrar vocalizando en los periodos de muestreo, ya que no podemos detectar animales que se encuentran en silencio (Wright et al., 2017); en segundo lugar, la dificultad para identificar a que especie corresponde una señal acústica (Baumgartner & Mussoline, 2011; Browning et al., 2017; Parks et al., 2011) y la poca información que existe respecto a los comportamientos asociados a estas señales (Risch et al., 2013); y en tercer lugar, las dificultades para hacer estimaciones de densidad y abundancia, ya que requiere conocer la distancia a la que se encuentra el animal y esto no siempre es factible (Küsel et al., 2011). Por ello, en general el PAM solo se utiliza para estimaciones de abundancia relativa en base a la probabilidad de detección de vocalizaciones, y debe complementarse con herramientas visuales para cálculos de abundancia absoluta (Rogers et al., 2013). Por otro lado, el número de vocalizaciones detectadas se ve influenciado por las características de propagación del sonido en el área que se esté estudiando y al ruido ambiental, dos factores que pueden cambiar estacionalmente (Samaran et al., 2010). En consecuencia, el rango de detección de las vocalizaciones, no solo se verá influenciado por la capacidad del equipo utilizado, sino también por parámetros como la temperatura, salinidad, velocidad del sonido, batimetría, tipo de fondo, entre otros (Au & Hastings, 2008; Hamilton, 1979; Jensen et al., 2011; Samaran et al., 2010; Urick, 1979).

### **1.5. Planeadores submarinos o gliders**

La gran mayoría de las aplicaciones de PAM en la actualidad utilizan equipos acústicos fijos (Moore et al., 2007; Baumgartner & Fratantoni, 2008; Baumgartner et al., 2013). Sin embargo, los vehículos autónomos, como los planeadores submarinos

(underwater gliders), son cada vez más utilizados como plataforma para el PAM (Baumgartner et al., 2018; Küsel et al., 2017) y para la exploración e investigación oceánica en general (Meyer, 2016; Pizarro et al., 2016; Todd et al., 2011). Estos equipos pueden permanecer en el mar durante semanas o meses, realizando prospecciones de decenas hasta cientos de kilómetros, y con la capacidad de muestrear la columna de agua completa (Baumgartner et al., 2014). Los gliders pueden ser equipados con una gran variedad de sensores, incluyendo sensores de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto (CTD-O), fluorómetros para estimar la concentración de clorofila-a, e hidrófonos que permiten recolectar datos continuos sobre la presencia acústica de misticetos y asociarla a las condiciones oceanográficas del hábitat (Moore et al., 2007; Baumgartner & Fratantoni, 2008; Baumgartner et al., 2013, 2014, 2018, 2020; Hildebrand et al., 2013; Nieu Kirk et al., 2016; Davis et al., 2016; Howatt et al., 2017; Küsel et al., 2017). Sin embargo, existen algunas limitaciones asociadas a estos vehículos, por ejemplo, el glider puede perder el rumbo establecido en caso de haber fuertes corrientes marinas en el área de estudio y, al estudiar sonidos de baja frecuencia, el registro de audio puede verse afectado por la bomba de aire y el movimiento de la batería en el vehículo (Küsel et al., 2017). Pese a esto, los gliders, permiten hacer un registro de audio de alta calidad, con menor ruido que otras plataformas (Davis et al., 2016).

Dados los antecedentes previos, y ya que la EC es un ambiente importante como zona de alimentación para misticetos, comprender de qué manera la hidrografía de la zona influye en su distribución es de suma importancia. Esta información permitiría identificar áreas relevantes y que necesiten de mayor resguardo debido a las actividades antropogénicas que las puedan afectar. Por ello, esta tesis se centra en analizar la relación entre la presencia acústica de misticetos y parámetros oceanográficos en la EC por medio de gliders.



## **2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

La variación de las propiedades oceanográficas entre Isla Guafo, Golfo de Corcovado y Mar interior de Chiloé se debe principalmente a la interacción entre aguas oceánicas y estuarinas. Estas diferencias se observan especialmente en la topografía del fondo, temperatura y salinidad, lo que puede influir en la distribución de cetáceos mayores. En base a lo anterior es esperable que:

H1: La presencia acústica de misticetos se relaciona con factores oceanográficos como temperatura y salinidad, presentando variaciones significativas entre ambientes oceánicos y estuarinos.

### **2.1. Objetivo General**

Determinar la relación entre propiedades hidrográficas y la presencia acústica de misticetos en la zona comprendida entre Isla Guafo, Golfo de Corcovado y el Mar Interior de Chiloé.

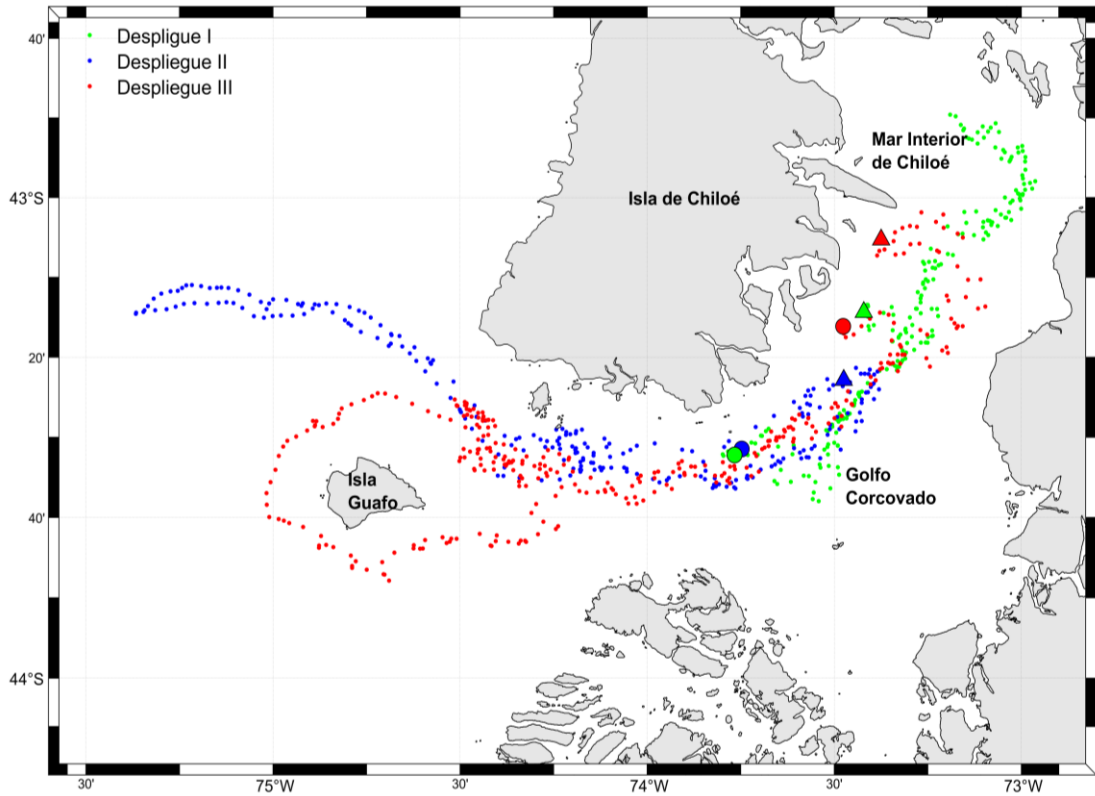
### **2.2. Objetivos Específicos**

1. Describir las propiedades hidrográficas a lo largo de la zona de estudio.
2. Identificar la presencia acústica de ballenas azules (*B. musculus*) y sei (*B. borealis*) dentro del área de estudio.
3. Determinar el rango de detección del hidrófono para el registro de vocalizaciones a lo largo de la trayectoria de los gliders.
4. Evaluar cuantitativamente la relación entre la presencia acústica de misticetos y las propiedades hidrográficas.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Zona de estudio**

El estudio se llevó a cabo en la Patagonia de Chile, dentro de la Ecorregión marina Chilense (EC) (Spalding et al., 2007), específicamente en el área comprendida entre el Mar interior de Chiloé, Golfo de Corcovado e Isla Guafo, entre  $-44.2^{\circ}\text{S}$ ,  $-75.6^{\circ}\text{O}$  y  $-42.6^{\circ}\text{S}$ ,  $-72.8^{\circ}\text{O}$  (Figura 1). A lo largo de esta zona se ha descrito la interacción de diferentes masas de agua como: el agua estuarina (AE) y agua estuarina salina (AES), agua superficial subantártica (ASAA), agua subantártica modificada (ASAAM) y agua ecuatorial subsuperficial (AESS) (Sievers & Silva, 2008). La distinción de estas aguas fue hecha en base a sus valores de salinidad, donde el AE fluctúa entre los 21-31, ASAAM entre los 31-33, ASAA entre 33-33,9 y AEES con valores superiores a 33,9 psu (Guzmán & Silva, 2002; Pérez-Santos et al., 2014; Sievers & Silva, 2008).



**Figura 1.** Área de estudio dentro de la EC. Los puntos de color señalan las rutas realizadas por cada despliegue de un glider. Además, se indica sus puntos de liberación (círculos) y recuperación (triángulos).

### 3.2. Registro de datos con gliders

Para el registro de datos oceanográficos se utilizaron gliders, vehículos autónomos que se desplazan en la columna de agua mediante el cambio de su flotabilidad a través de una vejiga que cambia su volumen, intercambiando aceite con un receptáculo ubicado al interior del glider. La bomba encargada de llenar y vaciar la vejiga puede ser programada para operar al principio y al final de cada inmersión; por lo tanto, el vehículo permanece en silencio durante el descenso y el ascenso, convirtiéndose en un equipo ideal para el monitoreo acústico pasivo (PAM). En forma estándar los gliders están equipados con un receptor de sistema de

posicionamiento global (GPS) para obtener su ubicación cuando está en superficie (Pizarro et al., 2016; Verfuss et al., 2019). Además, en superficie el vehículo se puede conectar a una red de comunicación satelital (Iridium) y enviar información de navegación y científica en tiempo casi-real.

Se realizaron tres despliegues de gliders entre abril y junio del 2019. La información sobre fechas y duración de cada despliegue se encuentra en la Tabla 1. Para ello, se utilizaron dos gliders Slocum (modelo G1) fabricados por Teledyne Webb Research, equipados con sensores de conductividad, temperatura y profundidad (CTD), con una tasa de muestreo de 1 Hz. Para el despliegue I se utilizó un CTD Sea Bird electronics (modelo 41CP) y un CTD Neil Brown Ocean Sensors Inc para los despliegues II y III. Adicionalmente, los gliders fueron equipados con un hidrófono “Digital Acoustic Monitoring” (DMON) para el registro continuo de datos acústicos, a una frecuencia de muestreo de 2 kHz. Los gliders fueron programados para recolectar datos en cada descenso por la columna de agua, manteniendo un resguardo aproximado entre 5 y 10 m de la superficie y el fondo. Adicionalmente, fueron programados para no superar los 220 m de profundidad y volver a superficie cada 2 horas para enviar los datos de registrados y de navegación. Los datos de salinidad del glider WE04 –equipado con el CTD Neil Brown– mostraron un importante offset, estos fueron corregidos usando los datos del CTD montado en el glider Gladys. Este último CTD había sido contrastado in situ con valores de un CTD tradicional (SBE 25). Para la corrección de los datos del CTD Neil Brown se usó una regresión lineal simple basada en los datos obtenidos en 22 perfiles en una región ubicada al sur del Golfo Corcovado (entre 73.8°W y 73.5°W). Allí ambos gliders muestrearon de manera aproximadamente simultánea entre 0 y 130 m de profundidad (la varianza explicada  $r^2$  entre ambos conjuntos de datos fue de 0.98).

**Tabla 1.** Datos de los tres despliegues realizados en 2019 dentro del área de estudio en EC.

<b>Despliegue / glider</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha final</b>	<b>Punto inicio</b>	<b>Punto final</b>	<b>Horas totales</b>	<b>Trayecto (km)</b>
I – Gladys	2019 04 08	2019 04 25	43,537 °S 73,766 °O	43,509 °S 73,718 °O	397,33	533,6
II – WE04	2019 04 08	2019 05 02	43,524 °S 73,747 °O	43,381 °S 73,475 °O	565,63	698,5
III – WE04	2019 05 05	2019 06 06	43,269 °S 73,476 °O	43,088 °S 73,375 °O	765,18	1009,2

Para los análisis de los parámetros oceanográficos (objetivo 1), registros acústicos (objetivos 2 y 3) y su correlación (objetivo 4), que serán descritos a continuación, la variabilidad temporal no fue considerada. Es decir, los registros de los tres despliegues de gliders fueron contemplados como un solo conjunto de datos, considerando solo su variabilidad espacial.

### **3.3. Descripción de las propiedades hidrográficas en la zona de estudio.**

Con el fin de describir las propiedades hidrográficas del área comprendida entre el Mar interior de Chiloé e Isla Guafo se generaron perfiles verticales de temperatura, salinidad y densidad potencial por cada descenso de los gliders con una resolución vertical de 1 m. Además, para cada perfil se estimó la profundidad de la capa de mezcla (PCM) en base a la metodología utilizada por Holte & Talley (2009). Para ello, se calculó el gradiente de densidad de los perfiles y se determinó a qué profundidad se encontraba el primer valor del gradiente que fuera superior a un valor umbral de  $0,03 \text{ kg/m}^4$ . Posteriormente se eliminaron todos los valores de PCM inferiores a 2 m y superiores a 50 m de profundidad.

Por otro lado, en base al valor de PCM, se identificó la capa superficial y profunda de la columna de agua para cada perfil de datos. En aquellos perfiles en donde no se determinó la PCM o fue eliminada, se estableció una PCM de 24,09 m de profundidad, valor que corresponde al promedio de todas las PCM calculadas previamente. Cabe mencionar, que este valor solo fue considerado para la diferenciación entre las capas de la columna de agua. Posteriormente, se calcularon los promedios de temperatura y salinidad por perfil para la capa superficial y profunda.

También, a partir de un análisis visual de los valores promedio de salinidad en la capa profunda de los tres despliegues, el área de estudio fue dividida en cuatro zonas oceanográficas: 1) zona Estuarina; 2) zona de Transición Estuarina; 3) zona de Transición Oceánica; y 4) zona Oceánica (**ver resultados sección 4.1, Figura 6**). De las cuales se evaluaron sus diferencias en temperatura, salinidad (en ambas capas de la columna de agua) y PCM mediante el test no paramétrico Kruskal-Wallis.

Adicionalmente, en base al trabajo de Buchan and Quiñones (2016), se generaron diagramas de temperatura y salinidad por cada despliegue, identificando las masas de agua presentes a lo largo de las trayectorias de los gliders, utilizando como criterio los rangos de salinidad propuestos por Sievers and Silva (2008) y Pérez-Santos et al. (2014) mencionados anteriormente.

### **3.4. Identificación de la presencia acústica de ballenas azules (*B. musculus*) y sei (*B. borealis*) dentro del área de estudio.**

Para identificar la presencia acústica de misticetos se hizo una revisión manual de los registros de audio con el programa Raven Pro-1,6, a través de espectrogramas (Transformada Rápida de Fourier de 2048 muestras, 76% de contraste y usando una ventana de Hanning) con un rango de frecuencias entre 0 - 170 Hz. Durante este proceso, una analista con experiencia (la autora de esta tesis) estuvo encargada de

identificar y anotar la presencia de distintas señales acústicas: los cantos (Sep2) y vocalizaciones (Dcalls) de ballena azul chilena y las vocalizaciones de ballena sei (downsweeps y upsweeps). Estas anotaciones se hacen a través de las “tablas de selección”, herramienta de Raven que permite registrar información relevante de cada canto o vocalización detectada y luego ser exportada a un archivo de texto. De esta manera se pudo registrar: hora (s) de inicio; hora (s) de finalización; frecuencia baja (Hz); frecuencia alta (Hz); frecuencia máxima (Hz); fecha, hora de detección y tipo de canto o vocalización, información con la cual posteriormente se pudo obtener una serie de tiempo de los cantos y vocalizaciones a través de un conjunto de funciones diseñadas para ello en Matlab R2021a.

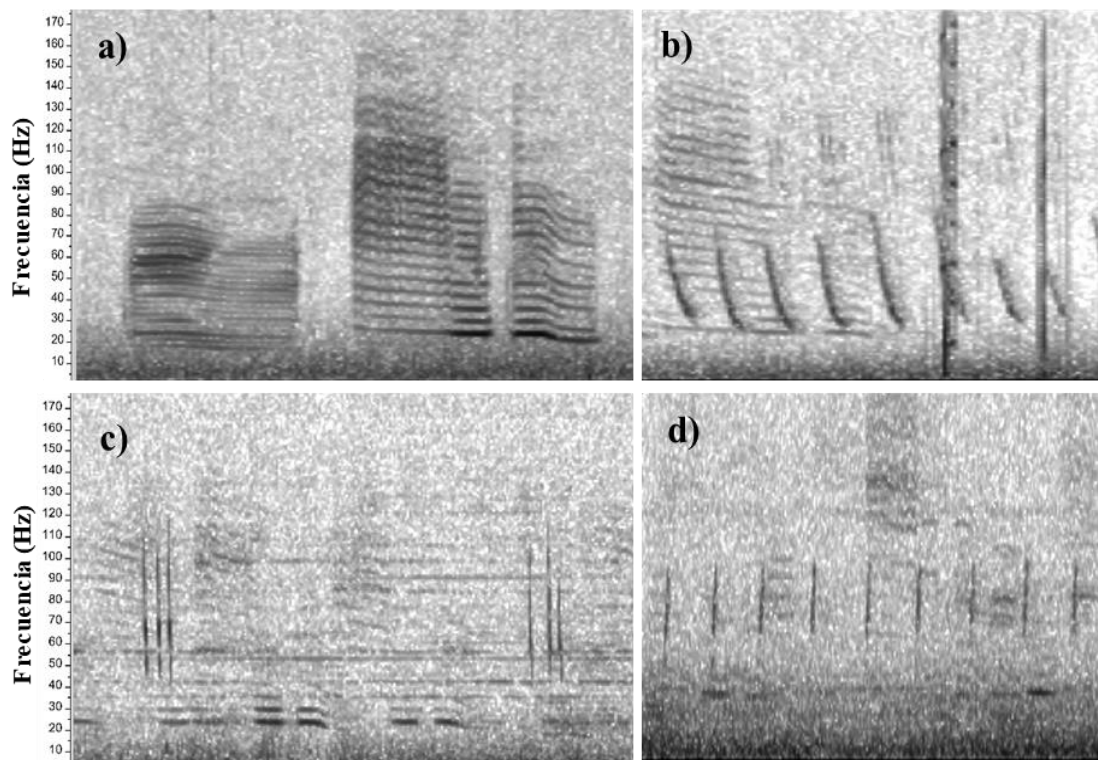
Los Sep2  
(

Figura 2a), son cantos compuestos por cuatro unidades (A-B-C-D), que en conjunto tienen una duración promedio de 60 s (Buchan et al., 2014, 2015). Los Dcalls (Figura 2b), son vocalizaciones del tipo “downsweeps” (sonido que disminuye en frecuencia a medida que transcurre el tiempo), muy variables en frecuencia, pero

usualmente se encuentran entre los 100 y 50 Hz, y pueden tener una duración de aproximadamente 1,3 s (Saddler et al., 2017). Respecto a las ballenas sei, esta especie también produce downsweeps (Figura 2c) y en el hemisferio sur se caracterizan por tener un mínimo de frecuencia promedio de 30 Hz y un máximo de 129,4 Hz, con una duración de 1,6 s. Estos downsweeps pueden encontrarse de a uno, en pares o en tripletes (Español-Jiménez et al., 2019). En cambio, los upsweeps (Figura 2d), sonido que aumenta en frecuencia a medida que transcurre el tiempo, se han caracterizado por tener un mínimo de frecuencia promedio de 36,3 Hz y un máximo promedio de 66,3 Hz, con una duración de 1,2 s (Calderan et al., 2014).

### **Tipos de señales acústicas**





**Figura 2.** Espectrograma de: a) Sep2, canto completo de ballena azul; b) Dcalls de ballena azul; c) downsweps (tripletes) de ballena sei; y d) upsweeps de ballena sei.

### *Acoplamiento de datos acústicos y oceanográficos*

A partir de los despliegues se obtuvo la posición, fecha y hora de cada perfil vertical realizado por los gliders y, por otro lado, se obtuvo la fecha y hora de los cantos y vocalizaciones detectadas por el DMON, generando seis series de tiempo, una por cada despliegue y una por cada señal acústica (Sep2, Dcalls, downsweps). Posteriormente, las series de tiempo de cada despliegue fueron acopladas a las series de tiempo de las señales acústicas, pudiendo identificar en qué posición se encontraba el glider al momento en que el DMON hacía una detección. Para ello, se requirió convertir las tablas de selección a estructuras de datos adecuadas para ser leídas por Matlab, pudiendo determinar para cada punto de posición de los gliders si hubo o no registro de señales acústicas. A partir de la información acoplada, se generaron mapas geográficos con las trayectorias de los gliders y los puntos en donde hubo presencia de estas señales a lo largo del área de estudio. Por otra parte, para

cada zona oceanográfica y despliegue se reporta la ocurrencia acústica de cada señal, lo que corresponde al número de cantos y vocalizaciones junto a su correspondiente tasa de vocalización (vocalización/hora). Es decir, el número de cantos o vocalizaciones detectadas en base a la cantidad de horas que los gliders se mantuvieron dentro de cada zona oceanográfica.

### **3.5. Determinación del rango de detección del hidrófono para el registro de vocalizaciones a lo largo de la trayectoria de los gliders.**

Para determinar la presencia acústica de los mysticetos (presencia o ausencia en un área determinada), se calculó el rango de detección del DMON (RD) mediante: (a) *Range Dependent Acoustic Model* (RAM) (Collins, 1993) y (b) *Passive sonar equation* (Urick, 1975).

a) *Range Dependent Acoustic Model*: Modelo de la pérdida de transmisión (TL) sobre la distancia (km) entre un emisor y un receptor. El modelo entrega la cantidad de dB perdidos (TL) por distancia recorrida, desde que la señal es emitida hasta que llega al receptor. Para este modelo se requiere contar con datos batimétricos, tipo de sedimento, perfiles verticales de velocidad del sonido en el agua de mar y otros parámetros presentados en la Tabla 3 (ver más adelante).

b) *Passive Sonar Equation*: Ecuación para determinar si una señal emitida puede ser detectada por un receptor bajo un determinado nivel de ruido ambiental (Urick, 1975):

$$TL_m = SL - SNR - NL$$

Donde,  $TL_m$  (máximo transmission loss, por sus siglas en inglés) es la máxima pérdida de transmisión de la señal, es decir el máximo de dB que puede

perder una señal antes de dejar de ser detectada; SL (source level, por sus siglas en inglés) es el nivel de la fuente (dB at 1m re:1uPa); SNR (Signal to Noise Ratio, por sus siglas en inglés) corresponde a la relación señal/ruido, es decir el nivel de la señal emitida con respecto al nivel de ruido ambiental (dB); y NL (background noise level, por sus siglas en inglés) es el nivel de ruido ambiental (dB). Los valores de SL y SNR fueron obtenidos por literatura y NL fue calculado a través de los datos acústicos registrados (Tabla 3).

### ***Nivel de ruido ambiental (NL)***

Se determinó NL a través del software de análisis acústico PAMGuide (Merchant et al. 2015), considerando el total de archivos de audio registrados por cada despliegue. Este cálculo se hizo en base a los parámetros presentados en la Tabla 2, para las bandas de frecuencia de 24 Hz, 54 Hz y 66 Hz de las vocalizaciones Sep2, Dcalls y Sei, respectivamente. Estos valores corresponden al promedio de la frecuencia máxima (frecuencia donde ocurre la máxima energía acústica) de cada tipo de vocalización registrada.

**Tabla 2.** Parámetros acústicos considerados para el software PAMGuide.

<b>Parámetro</b>	<b>Especificaciones</b>
Análisis	PSD
Ventana	Hann
Largo de ventana	1 s
Superposición	50%
Calibración	End-to-end
Sensibilidad del sistema	-169,8 dB

### ***Rango de detección y análisis de sensibilidad del modelo***

El rango de detección del DMON corresponde a la distancia (km) a la que  $TL_{<=} TL_m$ , por ende, el rango de detección se obtiene a partir de los valores de salida del modelo RAM (TL) y de la Passive Sonar Equation ( $TL_m$ ). Este valor fue

calculado para cada señal acústica en base a una transecta de norte a sur de ~30 km establecida aleatoriamente dentro de cada zona oceanográfica con el objetivo de obtener un rango de detección bajo condiciones reales. Previo a determinar el rango de detección, se debió suavizar los valores de salida del modelo RAM, el cual se configuró para determinar un valor de TL cada 50 m a lo largo de la transecta y por cada 10 m de profundidad hasta el fondo. Para ello, se realizaron regresiones lineales, cuadráticas y polinomiales de grado 10 sobre los datos de TL, y se seleccionó aquella curva que tuviera el valor de  $R^2$  más cercano a 1, siendo esta la que mejor se ajusta a los datos. Finalmente, a partir de la curva suavizada, se determinó la distancia máxima a la que el valor TL fuera menor que  $TL_m$ .

Cabe mencionar que el rango de detección no fue calculado para upsweeps ya que, a nuestro conocimiento, no se ha reportado un SL para este tipo de señal acústica. Por otro lado, considerando solo una de las señales acústicas (Dcalls), se hizo un análisis de sensibilidad para observar cómo responde el modelo a la variación de distintos parámetros: a) Profundidad del receptor, con valores seleccionados en base a los datos batimétricos disponibles; b) Batimetría, que corresponde a los datos batimétricos de la transecta establecida, estos datos fueron facilitados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP); c) Profundidad de la columna de agua, se establecieron valores fijos de profundidad para la transecta de cada zona oceanográfica, de manera tal que las variaciones de profundidad originales (batimetría) no afectaran este análisis; y d) Perfil de velocidad del sonido, estos fueron generados a partir de los promedios verticales de temperatura y salinidad de cada zona oceanográfica. Por lo tanto, el rango de detección fue calculado bajo los siguientes escenarios:

- a) Condiciones reales: Se calculó el rango de detección en base a los datos disponibles, utilizando la batimetría original de cada zona (ES, ET, OT, OC) y sus respectivos perfiles promedio de velocidad del sonido.
- b) Análisis de sensibilidad de profundidad de la columna de agua: Variación del rango de detección en base a variaciones en la profundidad de la columna de

agua (25 m, 50 m, 75 m y 100 m), considerando 25 m como profundidad del emisor, manteniendo fijos los valores de profundidad del receptor (20 m) y perfil de velocidad del sonido (ES y OC). En este caso no se consideró la batimetría original del área de estudio.

- c) Análisis de sensibilidad del perfil de velocidad del sonido: Variación del rango de detección en base a distintos perfiles de velocidad del sonido (ES, ET, OT, OC), considerando 25 m como profundidad del emisor, manteniendo fijos los valores de profundidad del receptor (20 m) y batimetría (ES). En este caso no se consideró la variable profundidad de la columna de agua.
- d) Análisis de sensibilidad de la profundidad del receptor: Variación del rango de detección en base a variaciones en la profundidad del receptor (10 m, 20 m 40 m y 60 m), considerando 25 m como profundidad del emisor, manteniendo fijos los valores de profundidad de la columna de agua (75 m) y perfil de velocidad del sonido (ES y OC). En este caso no se consideró la batimetría original del área de estudio.

**Tabla 3.** Parámetros acústicos establecidos para determinar el rango de detección del DMON

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Fuente</b>
Nivel de fuente Sep2	174 dB at 1m re:1uPa	Samaran et al., 2010
Nivel de fuente Dcall	156 dB at 1m re:1uPa	Berchok et al., 2006
Nivel de fuente downsweeps	173,5 dB at 1m re:1uPa	Wang et al., 2016
SNR	10 dB	Madsen, 2005
Ruido ambiente Sep2	89,599 dB	Calculado sobre banda de frecuencia de 24 Hz

Ruido ambiente Dcall	82,317 dB	Calculado sobre banda de frecuencia de 54 Hz
Ruido ambiente Sei	82,054 dB	Calculado sobre banda de frecuencia de 66 Hz
Tipo de fondo	Fango	Silva et al., 2011
Profundidad emisor	30 m	Oleson et al., 2007 <sup>b</sup>
Profundidad de receptor (m)	25 – 50 – 75 – 100	Seleccionada en base a datos batimétricos disponibles
Batimetría	ES, ET, OT, OC	Instituto de Fomento Pesquero (IFOP)
Velocidad sonido	ES, ET, OT, OC	Generados desde datos registrados in situ
Profundidad de la columna de agua (m)	25 - 50 - 75 - 100	Seleccionada en base a los datos batimétricos disponibles

### 3.6. Determinación cuantitativa de la relación entre la presencia acústica de misticetos y las propiedades hidrográficas.

Para relacionar la presencia acústica de misticetos con las variables hidrográficas, y así determinar si se cumple o no con la hipótesis establecida (**ver HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**), se utilizó el análisis de Modelos Aditivos Generalizados (GAM por sus siglas en inglés), el cual permite modelar directamente respuestas no lineales mediante el suavizado de las variables predictivas, logrando un mejor ajuste a las variaciones de dichas variables (Hernández et al., 2018), y ha sido utilizado en otros estudios de distribución de misticetos (Fiedler et al., 2018; Murase et al., 2013). De esta forma, si las señales acústicas presentan una correlación significativa (positiva o negativa) con la temperatura y/o salinidad, la hipótesis será aceptada. Por el contrario, de no existir alguna correlación entre estas variables la hipótesis será rechazada. Por otro lado, es importante señalar que, en consideración del rango de detección determinado para cada una de las señales acústicas, este

análisis solo fue realizado para las vocalizaciones Dcalls por su bajo rango de detección ya que los rangos de detección determinados para Sep2 y downsweeps fueron muy elevados, lo que provocaría una reducción relevante de los datos para evaluar (**ver resultados sección 4.3, Tabla 9**).

En vista de lo anterior, para el GAM se usó una distribución binomial de presencia/ausencia (valor 0 o 1), utilizando el paquete “mgcv” (Wood, 2011) de la interfaz R (Ri386 4.1.2; (Team, 2019)) y el método de Máxima Verosimilitud Restringida para optimizar la estimación de los parámetros. Paralelamente, se definió la presencia de Dcalls como variable respuesta y la temperatura superficial promedio (TSP), temperatura profunda promedio (TPP), salinidad superficial promedio (SSP), salinidad profunda promedio (SPP), profundidad de fondo promedio (PFP), gradientes de temperatura promedio (GTP) y también la distancia a centros de concentración de clorofila-a (DACC) como variables explicativas, con las cuales se construyeron diversos modelos. Estos modelos fueron construidos después de descartar de manera secuencial las variables explicativas que no fueran significativas, con un valor  $p > 0,05$ , dejando solo aquellas variables significativas ( $p < 0,05$ ). El rendimiento de estos modelos fue evaluado a través de los siguientes criterios: a) Máxima Verosimilitud Restringida (REML, por sus siglas en inglés), criterio que indica si el modelo se ajusta a los datos, donde puntuaciones más bajas indican un mejor ajuste; b) Desvianza Explicada (ExpDev, por sus siglas en inglés), porcentaje de variación explicado por el modelo, cuanto más alto sea el valor, más se explica la variación de los datos; c) Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés), criterio que permite saber si los datos se ajustan al modelo, entre más bajo el valor mejor es el ajuste; d) Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSE, por sus siglas en inglés), este criterio mide los errores de predicción y cuan preciso es el modelo, su valor se obtiene a través de una Validación Cruzada (k-fold Cross Validation), que en este caso divide los datos en 10 partes, de las cuales 9 se utilizan para entrenar el modelo y 1 para calcular el error de las predicciones, los valores más bajos indican un mejor ajuste; y e) Área bajo la Curva (AUC, por sus siglas en inglés), que evalúa la proporción de predicciones clasificadas correcta e incorrectamente y sus valores van de 0,5 a 1, siendo 1 un modelo perfecto y 0,5 uno

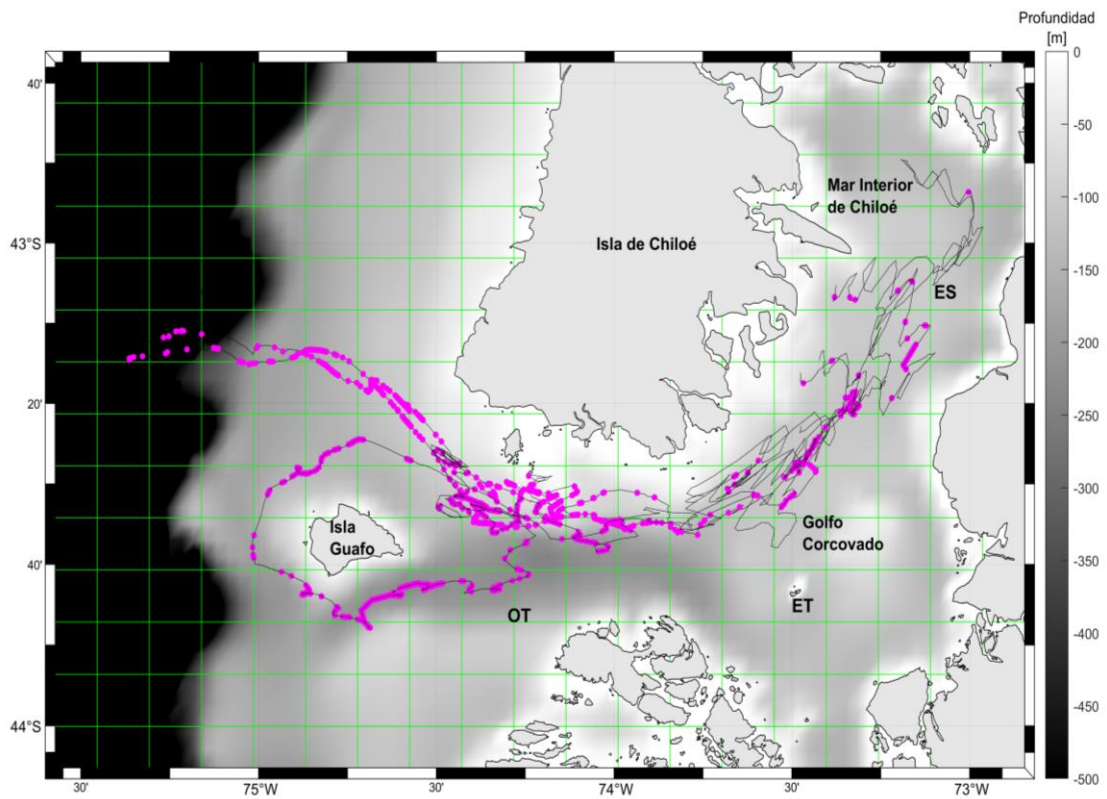
aleatorio. A partir de estos criterios se seleccionaron los tres mejores modelos, que debían cumplir con tener la mayor cantidad de criterios posibles (entre los 5 mencionados) con los mejores valores. Es decir, si un modelo “A” cumplió con tener los mejores valores en los 5 criterios y un modelo “B” en solo 3, entre ellos se habría seleccionado el modelo “A”. En caso de que dos modelos tuvieran la misma cantidad de criterios con los mejores valores, entonces se seleccionará aquel con mejor ExpDev y AIC por ser los criterios más comúnmente utilizados. De esta manera, y considerando esta pauta, se definió el primer mejor modelo, el cual no fue considerado para la selección del segundo y así sucesivamente. Por lo tanto, se buscaron aquellos modelos que cumplieran con tener las menores puntuaciones de REML, las mayores ExpDev, los menores AIC, los menores RMSE y los mayores AUC.

Por otro lado, cabe mencionar que las variables explicativas GTP y DACC fueron incluidas para este objetivo dado que se ha probado su relación con la distribución y movimientos de los misticetos en EC, ya que los puntos de altas concentraciones de clorofila actuarían como indicadores de zonas de agregación de zooplankton y, por lo tanto, de áreas de alimentación (Bedriñana-Romano et al., 2018, 2021; Croll et al., 2005) y se han reportado mayores densidades de ballenas azules en áreas de recurrentes frentes termales (Bedriñana-Romano et al., 2018), pudiendo ser relevantes los gradientes de temperatura para la selección de espacios (Bedriñana-Romano et al., 2021). Por lo tanto, dada la importancia de estas variables para la biología de los misticetos, se consideró que su evaluación sería valiosa para este análisis. La obtención de estas variables se describe más adelante (**ver Datos satelitales de temperatura y clorofila-a**).

Previo a generar los modelos GAM, se creó una grilla regular de 12 km x 12 km en base al rango de detección estimado para las vocalizaciones Dcalls, permitiendo separar los datos acústicos e hidrográficos según los límites de latitud y longitud generados por cada una de las celdas que la componen (Figura 3. **Área de estudio dividida por grilla de 12 x 12 km en base al rango de detección del DMON para vocalizaciones Dcalls. Los círculos magenta indican la presencia de**



estas vocalizaciones en la trayectoria de los gliders. ). Posteriormente, se determinó la presencia o ausencia de Dcalls en cada celda y se calculó el promedio por celda de la temperatura superficial, temperatura profunda, salinidad superficial, salinidad profunda y profundidad. Estos datos corresponden a los registros in situ hechos por los gliders y a la batimetría disponible. Por otro lado, también se obtuvo un promedio por celda de los gradientes de temperatura y se calculó la distancia a los centros de concentración de clorofila. Las variables explicativas de cada modelo fueron estandarizadas en base a la cantidad de horas que estuvo el glider en cada celda y se asumió el centroide de las celdas como el punto espacial del que se extrajo la variable DACC.



**Figura 3.** Área de estudio dividida por grilla de 12 x 12 km en base al rango de detección del DMON para vocalizaciones Dcalls. Los círculos magenta indican la presencia de estas vocalizaciones en la trayectoria de los gliders.

### ***Datos satelitales de temperatura y clorofila-a***

De acuerdo a la metodología utilizada por (Bedriñana-Romano et al., 2021), los datos de temperatura y clorofila-a se extrajeron utilizando el paquete R "rerddapXtracto" (Mendelssohn, 2020), que accede al servidor ERDDAP de la División de Investigación Ambiental de la NOAA/SWFSC. A partir de estos datos se calcularon los promedios de gradientes térmicos utilizando el paquete "grec" con el algoritmo Contextual Median Filter. Estos datos se obtuvieron a partir de promedios diarios de las imágenes satelitales de nivel 4 derivadas de la base de datos de Multi-Scale Ultra-High Resolution (MUR) SST Analysis database (Dataset ID: jplMURSST41). Los PAMas MUR-SST fusionan datos de diferentes satélites, combinados con mediciones in situ, utilizando la interpolación estadística del Análisis Variacional Multiresolución, en una cuadrícula de  $0,01 \times 0,01$  grados ( $\sim 1 \text{ km}^2$ ). Por otro lado, los datos de clorofila-a correspondieron a imágenes de nivel 3 del sensor del espectroradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) a bordo del satélite Aqua (ID del conjunto de datos: erdMH1chlamday), correspondientes a promedios mensuales en una cuadrícula de  $1 \times 1 \text{ km}$ . La distancia a áreas de alta concentración de clorofila-a durante la primavera, corresponde a la distancia a polígonos que encierran áreas con una concentración superior al percentil 95 de la distribución de las concentraciones de primavera del año 2018 dentro del área de estudio (Bedriñana-Romano et al., 2021).

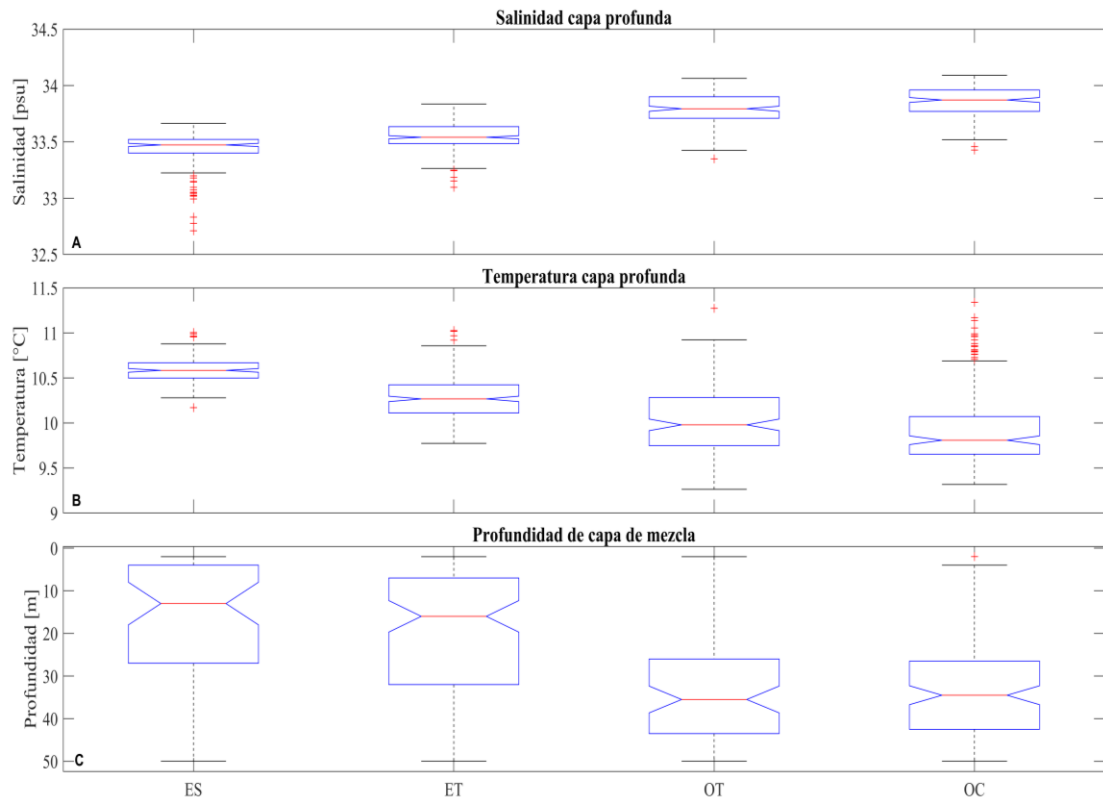
## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Descripción hidrográfica del área de estudio**

A partir del análisis visual de los valores de salinidad de la capa profunda se definieron cuatro zonas oceanográficas: ES= zona Estuarina; ET= zona de Transición Estuarina; OT= zona de Transición Oceánica; y OC=zona Oceánica (Figura 6B). Por otro lado, en la Tabla 4. **Comparación de variables hidrográficas entre las cuatro zonas oceanográficas que dividen el área de estudio mediante el análisis estadístico Kruskal Wallis.** se presentan las diferencias entre estas zonas en base al análisis estadístico de sus variables hidrográficas, donde se encontró que la salinidad profunda difiere significativamente entre las cuatro zonas oceanográficas (Figura 4A). Asimismo, la temperatura profunda fue significativamente diferente entre las cuatro zonas oceanográficas, excepto entre OT y OC, donde no se encontraron diferencias significativas (Figura 4B). En cambio, al comparar las profundidades de la capa de mezcla, se encontró que tanto entre ES y ET, como entre OT y OC no existían diferencias significativas (Figura 4C).

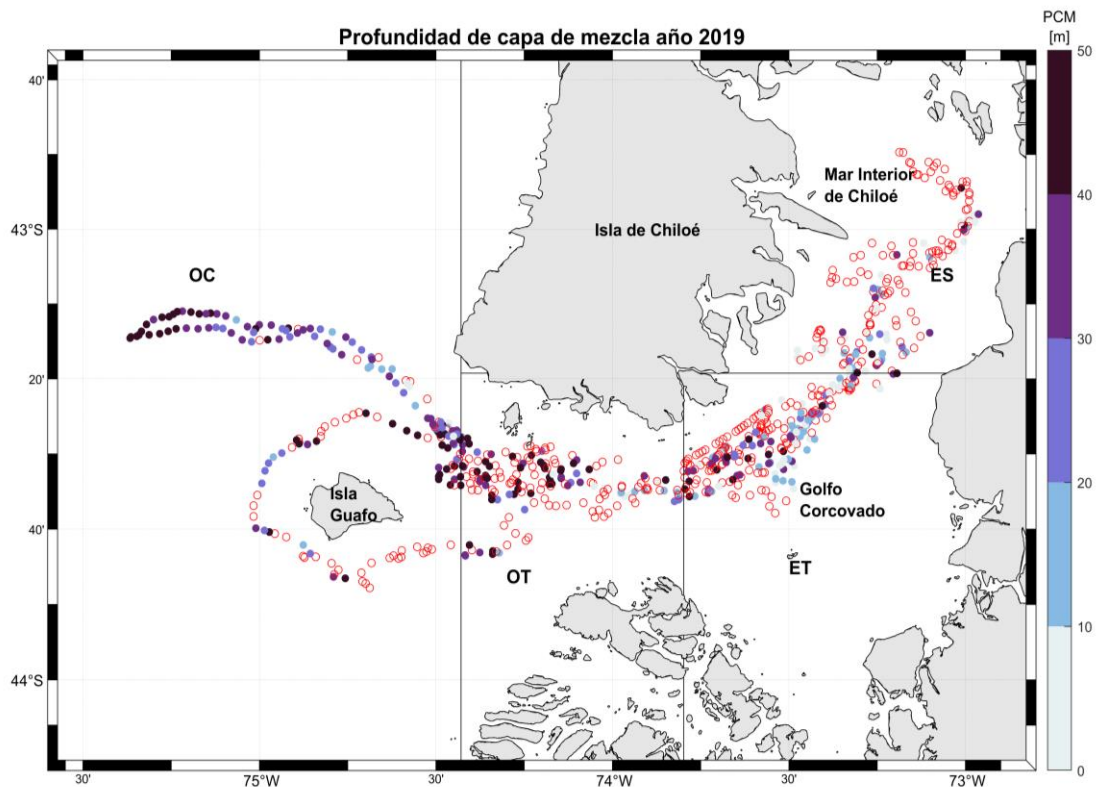
**Tabla 4.** Comparación de variables hidrográficas entre las cuatro zonas oceanográficas que dividen el área de estudio mediante el análisis estadístico Kruskal Wallis. Donde,  $\chi^2$ : Chi cuadrado y P: Probabilidad.

	Salinidad profunda		Temperatura profunda		Profundidad Capa de Mezcla	
	$\chi^2$	P	$\chi^2$	P	$\chi^2$	P
ES-ET	-76,04	<0,01	266,93	<0,01	23,49	0,59
ES-OT	-320,03	0	414,82	0	-71,50	<0,01
ES-OC	-386,45	0	463,62	0	-74,26	<0,01
ET-OT	-192,51	0	199,36	<0,01	-57,72	<0,01
ET-OC	-259,08	0	248,01	<0,01	-61,48	<0,01
OT-OC	-2,77	0,03	112,44	0,16	41,04	0,99



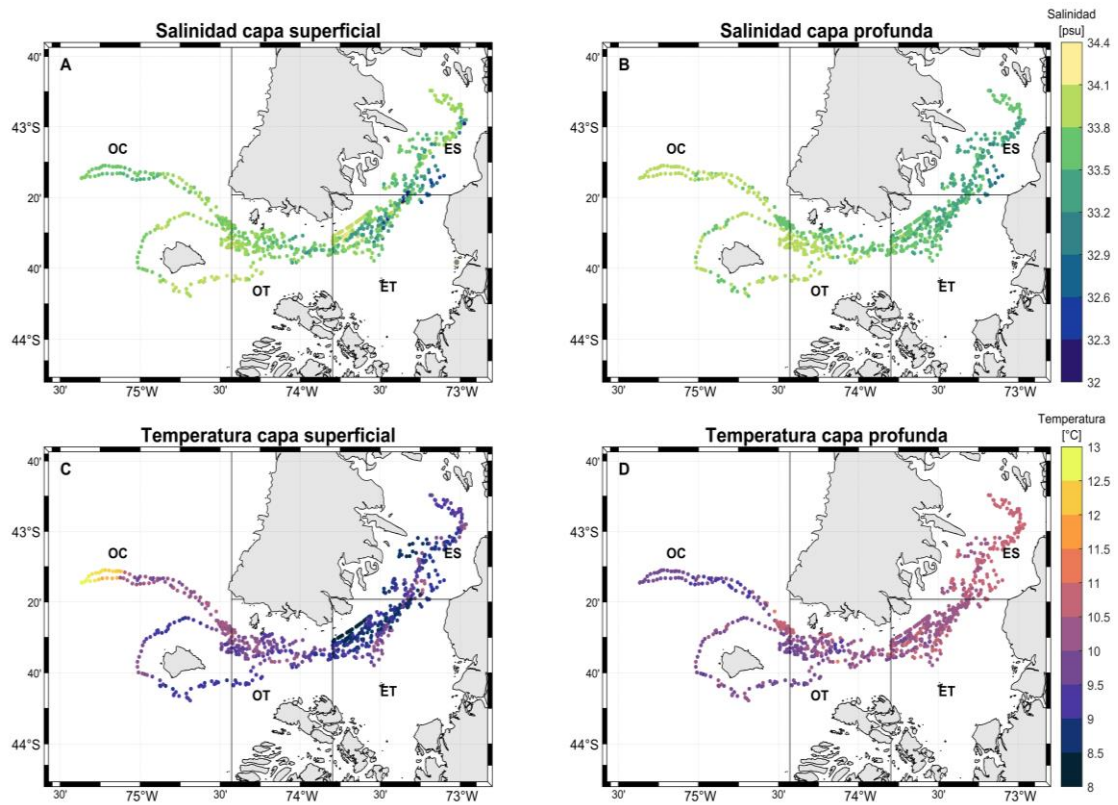
**Figura 4.** Comparación de valores promedio de: A) Salinidad profunda; B) Temperatura profunda; y C) Profundidad de la capa de mezcla entre las cuatro zonas oceanográficas. La línea central roja indica la mediana, los bordes inferior y superior del cuadro indican los percentiles 25 y 75, respectivamente. Los bigotes representan los datos más extremos y los valores atípicos corresponden al símbolo rojo '+'. Donde, ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.

A partir del conjunto de datos de los tres despliegues se observó un rango de salinidad entre 32,11 y 34,29 psu y un rango de temperatura entre 8,41°C y 13,31°C, registrándose un aumento de salinidad desde el Mar interior de Chiloé hacia Isla Guafo y una disminución de temperatura en el mismo sentido. En cuanto a los valores de PCM, en ES y ET se encontraron mayoritariamente valores bajo los 30 m, registrando ES el valor promedio más bajo de las cuatro zonas oceanográficas (Figura 5, Tabla 5). En cambio, OT y OC presentaron mayoritariamente valores superiores a 30 m (Figura 5), y OC presentó el valor promedio más alto (Tabla 5).



**Figura 5.** Valores de PCM dentro del área de estudio. Círculos rojos indican perfiles sin una PCM determinada, ya sea porque no se encontró un valor del gradiente densidad superior a  $0,03 \text{ kg/m}^4$  o por ser valores menores a 2 o mayores a 50 m.

En cuanto a la salinidad superficial y profunda, el aumento de salinidad desde el Mar interior de Chiloé hacia Isla Guafo se observó en ambas capas de la columna de agua (Figura 6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**A-B), registrándose una diferencia de 0,3 psu (capa superficial) y 0,5 psu (capa profunda) entre los promedios de ES y OC (Tabla 5). Asimismo, este gradiente se registró en la temperatura superficial (Figura 6C), donde ES presentó  $0,6^\circ\text{C}$  menos que OC. En cambio, en la capa profunda, la temperatura presentó un aumento desde Isla Guafo hacia el Mar interior de Chiloé, registrando un promedio  $0,7^\circ\text{C}$  más elevado en ES que en OC (Figura 6D, Tabla 5).

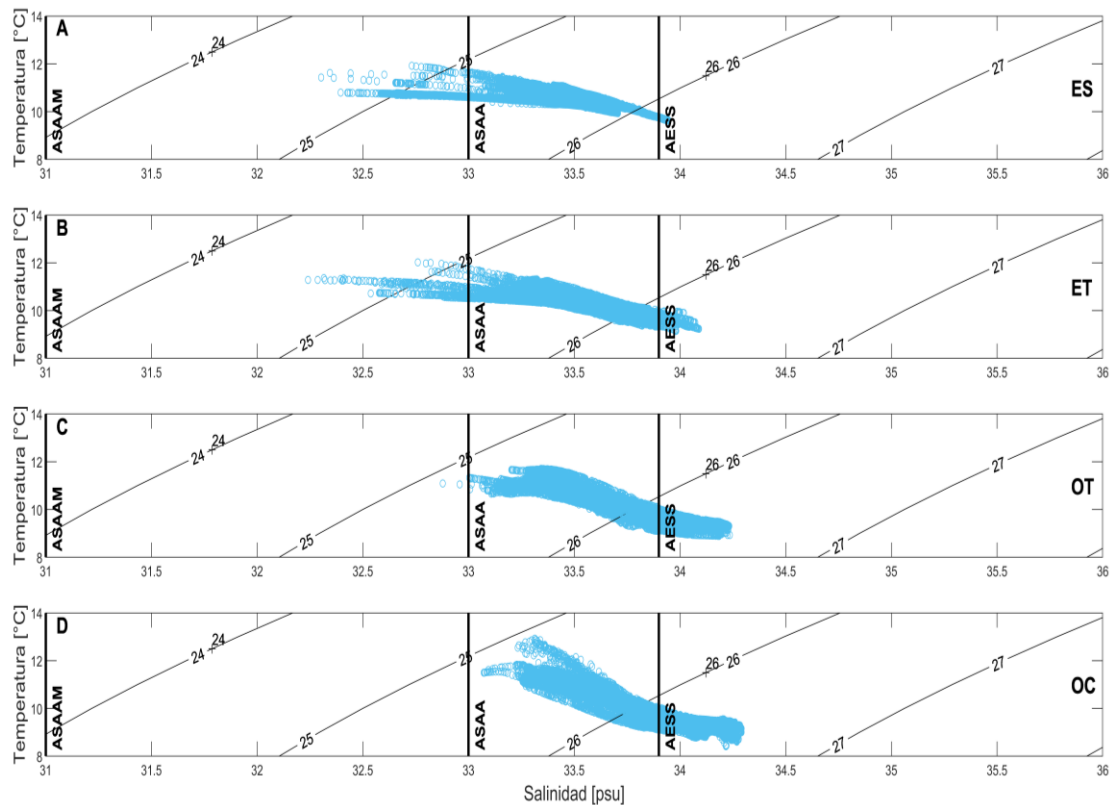


**Figura 6.** Distribución de variables hidrográficas en las cuatro zonas oceanográficas. A) Salinidad en la capa superficial, B) Salinidad en la capa profunda, C) temperatura en la capa superficial y, D) temperatura en la capa profunda. Se indica con líneas negras la división entre las cuatro zonas oceanográficas: ES= zona Estuarina; ET= zona de Transición Estuarina; OT= zona de Transición Oceánica; OC=zona Oceánica.

**Tabla 5.** Promedios y desviaciones estándar de variables hidrográficas por zona oceanográfica y capa de la columna de agua, en paréntesis se indican los valores mínimos y máximos. TS: temperatura superficial; TP: temperatura profunda; SS: salinidad superficial; SP: salinidad profunda; PCM: profundidad de la capa de mezcla.

	<b>SS (psu)</b>	<b>SP (psu)</b>	<b>TS (°C)</b>	<b>TP (°C)</b>	<b>PCM (m)</b>
ES	33,0 ± 0,03 (32,1–33,5)	33,4 ± 0,1 (32,3–33,9)	10,9 ± 0,02 (10,4–12,0)	10,6 ± 0,1 (9,6–11,9)	15,81 ± 15,01
ET	33,2 ± 0,03 (32,1–33,7)	33,6 ± 0,1 (32,2–34,1)	10,8 ± 0,1 (10,0–12,2)	10,3 ± 0,1 (9,1–12,0)	18,95 ± 13,27
OT	33,3 ± 0,02 (32,7–33,7)	33,8 ± 0,1 (32,9–34,2)	11,2 ± 0,04 (10,5–11,8)	10,0 ± 0,2 (8,9 –11,7)	34,19 ± 13,12
OC	33,3 ± 0,02 (32,8–33,7)	33,9 ± 0,1 (33,1–34,3)	11,6 ± 0,1 (10,3–13,3)	9,9±0,1 (8,4–12,9)	34,28 ± 11,67

Los diagramas T-S realizados por cada zona oceanográfica muestran que para el periodo de registro de datos el área de estudio se encontraba mayoritariamente con salinidades por sobre los 33 psu, dando cuenta de la presencia de ASAAM, ASAA y AESS. En la Figura 7, se observa que ES y ET presentan aguas superficiales menos salinas debido a la presencia de ASAAM y una mayoritaria influencia de aguas más salinas provenientes de ASAA en la parte inferior de la columna de agua. En cambio, en OT y OC ASAAM no se encuentra presente, pero se observa principalmente la presencia de ASAA y en menor medida de AESS.



**Figura 7.** Diagramas TS de las cuatro zonas oceanográficas. Las líneas negras verticales delimitan los criterios de salinidad según Sievers & Silva (2008) y Pérez-Santos et al. (2014): ASAAM: agua subantártica modificada (31-33); ASAA: agua subantártica (33-33,9); AESS: agua ecuatorial subsuperficial (>33,9). Además, las líneas negras diagonales corresponden a isolíneas de densidad. Donde, ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.

#### 4.2. Ocurrencia acústica de misticetos

En total, se obtuvieron aproximadamente 1728 horas de grabación sumando los tres periodos de observación (asociados a los tres despliegues de gliders) realizados, la información sobre el registro de audio de cada despliegue se encuentra en la Tabla 6. En cada despliegue se identificó la presencia de señales acústicas de



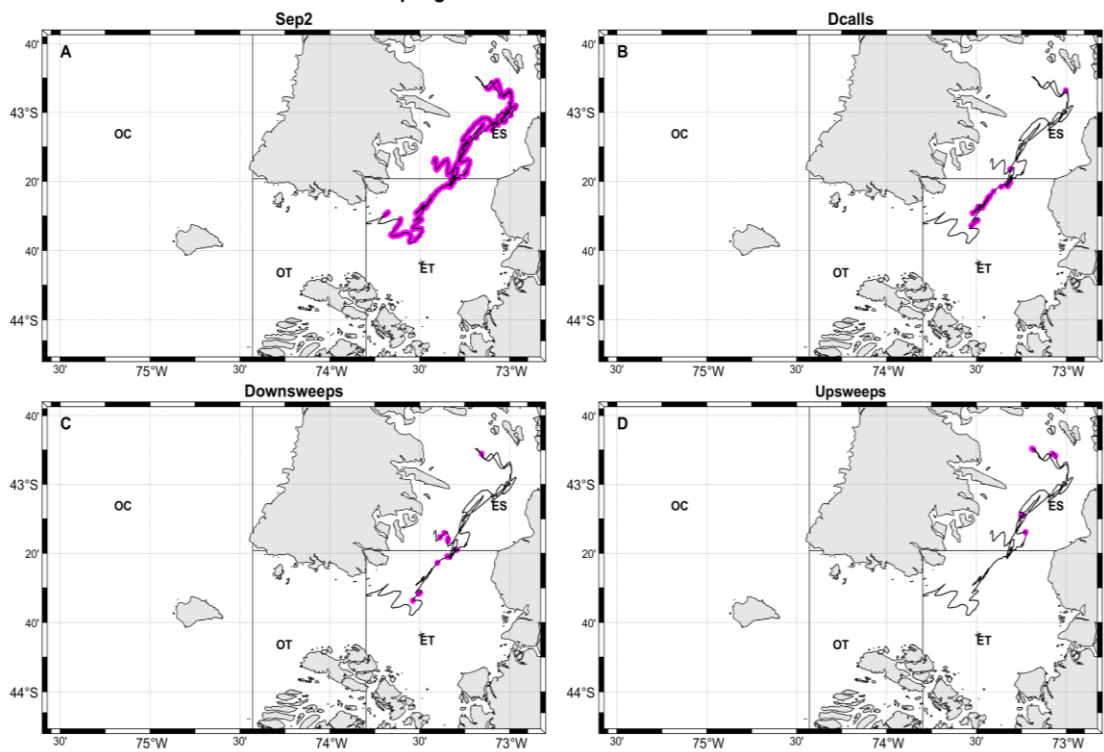
ballena azul, Sep2 (n = 47205) y Dcalls (n = 5634), y señales acústicas de ballena sei, downsweeps (n = 831) y upsweeps (n = 3877).

**Tabla 6.** Información de registro de audio con DMON de los tres despliegues de gliders realizados dentro del área de estudio.

<b>Despliegue</b>	<b>Periodo</b>	<b>Tiempo grabación</b>
I	Abril 2019	397,34 hr
II	Abril/mayo 2019	565,63 hr
III	Mayo/junio 2019	765,18 hr

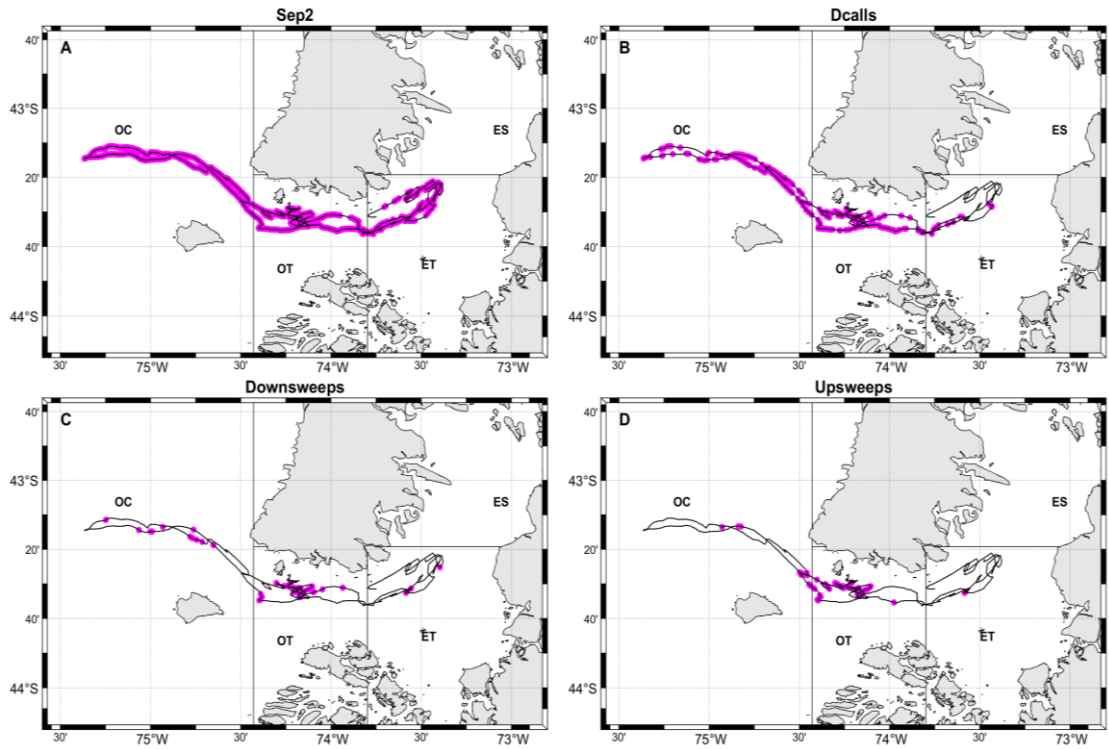
De las tres señales la más predominante fue Sep2, la cual fue registrada en todas las zonas oceanográficas, durante todos los días de medición (Figura 8A Figura 9A Figura 10A). En el caso de los Dcalls, durante el despliegue I las señales fueron registradas prioritariamente en ET, a diferencia los despliegues II y III, donde se encontró principalmente en OT y OC (Figura 8B Figura 9B Figura 10B). Los downsweeps de ballena sei, si bien se encontraron en todas las zonas oceanográficas, fue la señal con menor cantidad de registros (Figura 8C Figura 9C Figura 10C). Mientras que los upsweeps se registraron principalmente en las zonas oceanográficas OT y OC tanto en el despliegue II como el III (Figura 8D, 9D, Figura 10D).

### Despliegue I - Señales acústicas detectadas



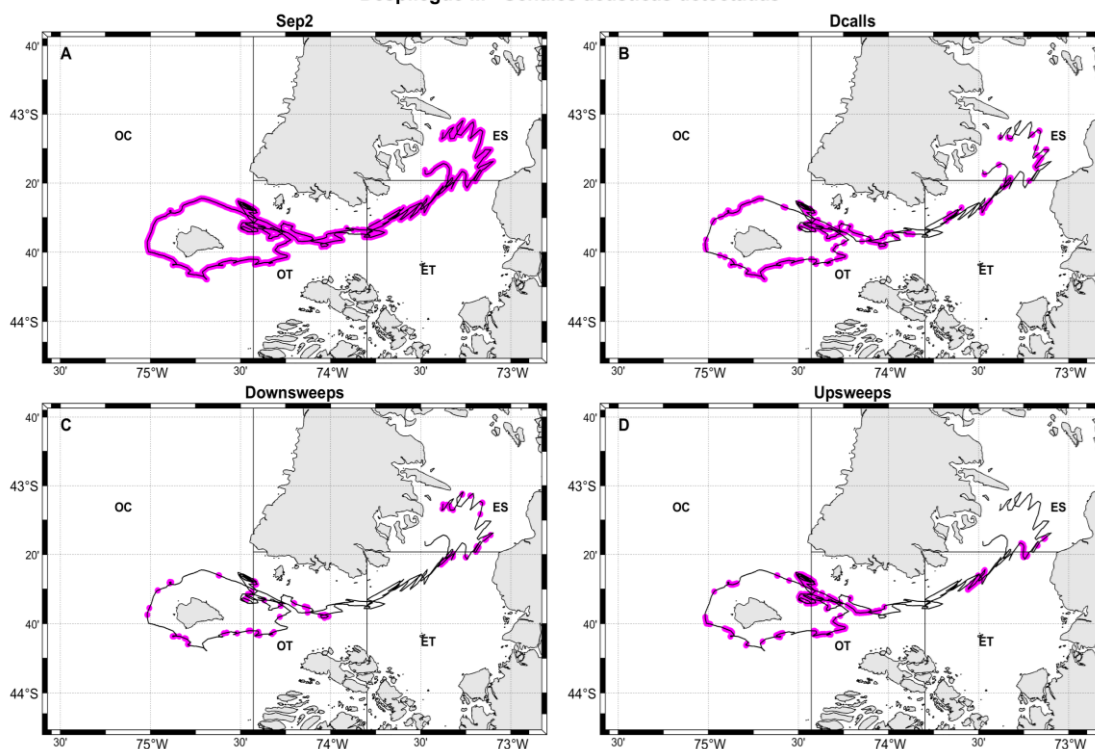
**Figura 8.** Detecciones de las señales Sep2 (ballena azul), Dcalls (ballena azul), downsweeps (ballena sei) y upsweeps (ballena sei) registradas durante el despliegue I (abril del 2019), abarcando las zonas oceanográficas ES y ET. Los círculos magenta representan los puntos geográficos de la transecta de los gliders en donde se detectaron señales acústicas.

### Despliegue II - Señales acústicas detectadas



**Figura 9.** Detecciones de las señales Sep2 (ballena azul), Dcalls (ballena azul), downsweeps (ballena sei) y upsweeps (ballena sei) registradas durante el despliegue II (abril/mayo del 2019), abarcando las zonas oceanográficas ET, OT y OC. Los círculos magenta representan los puntos geográficos de la transecta de los gliders en donde se detectaron señales acústicas.

### Despliegue III - Señales acústicas detectadas



**Figura 10.** Detecciones de las señales Sep2 (ballena azul), Dcalls (ballena azul), downsweeps (ballena sei) y upsweeps (ballena sei) registradas durante el despliegue III (mayo/junio del 2019), abarcando las zonas oceanográficas ES, ET, OT y OC. Los círculos magenta representan los puntos geográficos de la transecta de los gliders en donde se detectaron señales acústicas.

Las tasas de vocalización de Sep2 y Dcalls tuvieron sus valores más bajos en el despliegue I dentro de ES (Tabla 7). Contrario a esto, sus valores más altos se presentaron durante el despliegue III en ES (Sep2) y OC (Dcalls). Particularmente para Sep2, durante los despliegues II y III se observó un aumento en la tasa de vocalización desde ET hacia OC. Asimismo ocurre para los Dcalls durante despliegue III. En cambio, la tasa de vocalización más baja de los downsweeps se encontró en OC despliegue II y la más alta en ES a lo largo del despliegue III, mientras que los upsweeps tuvieron la tasa de vocalización más baja en ET durante el despliegue II y la más alta en OT durante el despliegue III (Tabla 7).

**Tabla 7.** Se indica el tiempo de grabación (horas totales), número total de señales detectadas por cada vocalización y tasa de vocalización (vocalización/hora) por cada zona oceanográfica durante los tres despliegues.

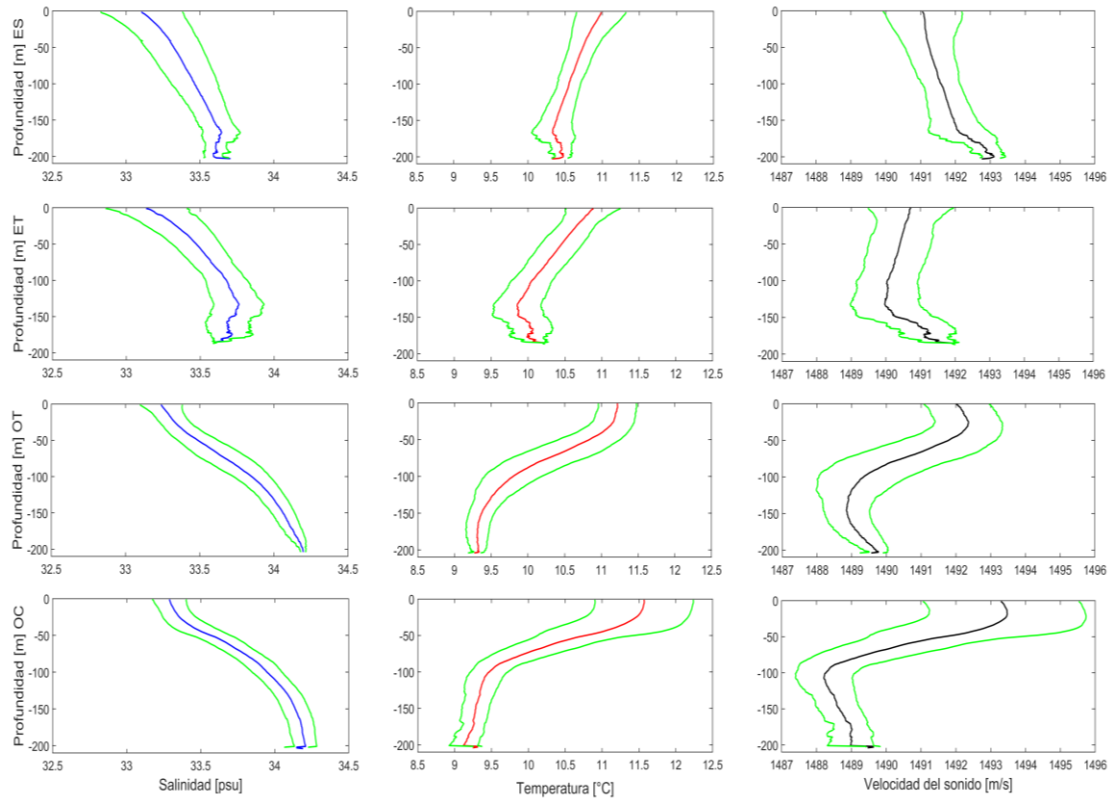
Despliegue	ZO	Horas	Sep2		Dcalls		Downsweeps		Upsweeps	
			N°	Tasa	N°	Tasa	N°	Tasa	N°	Tasa
I	ES	253	2658	10,5	2	0	23	0,09	49	0,19
	ET	145	1611	11,11	126	0,86	29	0,2	0	0
	OT	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	OC	0	-	-	-	-	-	-	-	-
II	ES	0	-	-	-	-	-	-	-	-
	ET	161	2373	14,73	18	0,11	8	0,04	19	0,11
	OT	201	6818	33,92	1220	6,06	167	0,83	541	2,69
	OC	204	7420	36,37	1037	5,08	30	0,14	137	0,67
III	ES	109	5165	47,38	163	1,49	162	1,48	96	0,88
	ET	170	4200	24,7	115	0,67	136	0,8	411	2,41
	OT	247	7782	31,5	1000	4,04	118	0,47	1384	5,6
	OC	239	9178	38,4	1953	8,17	158	0,66	1240	5,18

### 4.3. Estimación del rango de detección del DMON

#### *Velocidad del sonido por zona oceanográfica*

Se observó que en las cuatro zonas oceanográficas los perfiles verticales promedio de velocidad del sonido se presentan de distintas formas dentro de la columna de agua (Figura 11). En ES, la velocidad del sonido va desde los 1491,2 m/s hasta los 1493,1 m/s, y se observa una columna de agua mezclada. En cambio, en la zona ET, el valor más bajo de velocidad del sonido es 1490,5 m/s y el más alto 1492,7 m/s, y también presenta una columna de agua mezclada, en donde la velocidad del sonido comienza a aumentar desde los ~130 m de profundidad. Por otro lado, se observan valores más altos de velocidad del sonido en superficie en las zonas OT y OC (1493 m/s y 1494,1 m/s, respectivamente) en comparación a ES y

ET. Ambas zonas (OT y OC) presentan una columna de agua estratificada, con una notoria disminución de la velocidad del sonido bajo los ~50 m de profundidad.



**Figura 11.** Perfiles verticales promedio de las variables salinidad (línea azul), temperatura (línea roja) y velocidad del sonido (línea negra) por cada zona oceanográfica. En color verde se representan sus desviaciones estándar. Donde, ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.

### *Pérdida de transmisión máxima por cada señal acústica*

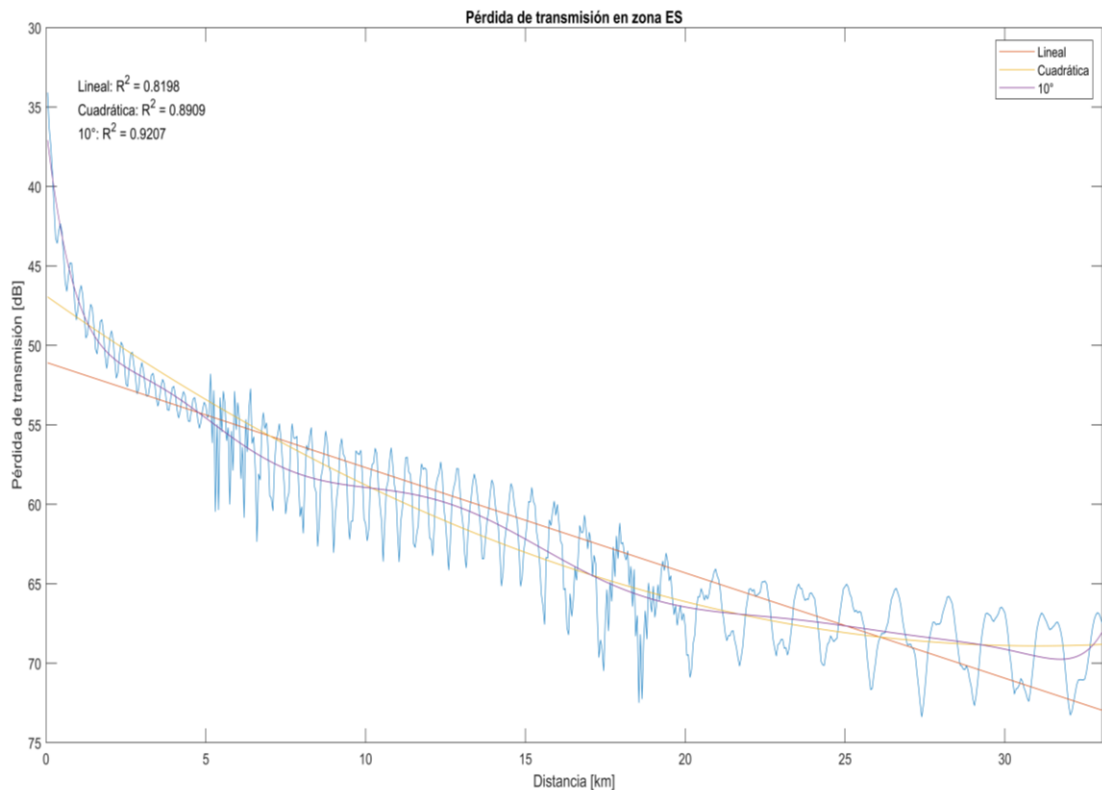
Entre las tres señales acústicas, el valor más elevado de  $TL_m$  correspondió a los downsweeps de ballena Sei, seguido por los cantos Sep2 y luego por los Dcalls de ballena azul. Por otro lado, se registró el valor de SNR más elevado para Sep2. Los valores utilizados para calcular  $TL_m$  a partir de la Passive Sonar Equation se encuentran en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Parámetros utilizados para el cálculo de la Passive Sonar Equation por cada señal acústica. Donde, SL: nivel de la fuente (dB): SNR: relación señal/ruido; NL: nivel de ruido ambiental; y TL<sub>m</sub>: máxima pérdida de transmisión.

<b>Señal acústica</b>	<b>SL</b>	<b>SNR</b>	<b>NL</b>	<b>TL<sub>m</sub></b>
Sep2	174,0	10	89,59	74,40
Dcalls	156,0	10	82,31	63,68
Downsweeps	173,5	10	82,05	81,45

#### *Ajuste de datos de pérdida de propagación*

En base al valor de  $R^2$ , se determinó que la regresión polinomial de grado 10 fue la que mejor se ajustaba a la curva de TL (Figura 12), por presentar el valor más cercano a 1. Este ajuste fue el que mejor se adaptó para todas las matrices de TL generadas por el modelo RAM bajo los distintos escenarios que se analizan a continuación.



**Figura 12.** Pérdida de propagación en ES considerando al receptor a 50 m de profundidad (línea azul). Además, se muestran las curvas ajustadas mediante una regresión lineal, cuadrática y polinomial de grado 10.

***Rango de detección bajo distintos escenarios:***

- a) Condiciones reales: Se encontró que el rango de detección para Sep2 fue mayor a 30 km en todas las zonas oceanográficas excepto OC, donde fue de 14,7 km. Por otro lado, para downsweeps se obtuvo un resultado similar, con rangos de detecciones mayores a 30 km en las cuatro zonas oceanográficas, siendo OT la zona con el registro más bajo. En cambio, los Dcalls registraron los rangos de detecciones más bajos entre las tres señales acústicas, con su máximo en ES y el mínimo en OT (Tabla 9).

**Tabla 9.** Estimación del rango de detección de las zonas oceanográficas mediante el modelo RAM bajo condiciones reales. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA:



Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de detección; ES: zona Estuarina; ET: zona de Transición Estuarina; OT: zona de Transición Oceánica; y OC: zona Oceánica.

PR (m)	Batimetría	PCA	Perfil VS	RD (km) Sep2	RD (km) Dcalls	RD (km) Sei
50	ES	No aplica	ES	min 33	19,1	min 33
50	ET	No aplica	ET	30,80	17,3	min 33
50	OT	No aplica	OT	30,7	7,1	31,2
50	OC	No aplica	OC	14,7	7,8	min 33

b) Análisis de sensibilidad de la profundidad de la columna de agua: Al variar la profundidad de la columna de agua se observó que los valores del rango de detección se reducen y aumentan en alrededor de 15 km. Encontrando los valores más altos cuando la profundidad de la columna de agua es 50 m y 100 m, y los más bajos para 20 m y 30 m, independientemente del perfil de velocidad del sonido que se utilice (Tabla 10. **Análisis de sensibilidad, rango de detección en base a variaciones en la profundidad de la columna de agua.**).

**Tabla 10.** Análisis de sensibilidad, rango de detección en base a variaciones en la profundidad de la columna de agua. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA: Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de detección.

PR (m)	Batimetría	PCA	Perfil VS	RD (km)
20	No aplica	25	ES	12
20	No aplica	50	ES	min 33
20	No aplica	75	ES	16,35
20	No aplica	100	ES	30,4
20	No aplica	25	OC	10,7
20	No aplica	50	OC	min 33
20	No aplica	75	OC	16,2
20	No aplica	100	OC	32,45

c) Análisis de sensibilidad del perfil de velocidad del sonido: Al variar los perfiles de velocidad del sonido el rango de detección tuvo leves variaciones, entre 50 m y 200 m. Así, el valor más bajo se encontró en el rango de detección generado por el perfil de OT y el más alto por el perfil de ES (Tabla 11).

**Tabla 11.** Análisis de sensibilidad, rango de detección en base al uso de diferentes perfiles de velocidad del sonido, correspondientes a cada zona oceanográfica. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA: Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de detección.

PR (m)	Batimetría	PCA (m)	Perfil VS	RD (km)
20	No aplica	75	ES	16,35
20	No aplica	75	ET	16,25
20	No aplica	75	OT	16,15
20	No aplica	75	OC	16,2

d) Análisis de sensibilidad de la profundidad del receptor: Al variar los valores de la profundidad del receptor se encontró que el rango de detección varía en entre ~1 y ~7 km. Encontrándose los valores más bajos con una profundidad de receptor de 10 m y los más altos con una profundidad de 40 m, independiente del perfil de velocidad del sonido utilizado (Tabla 12).

**Tabla 12.** Análisis de sensibilidad, rango de detección en base a variaciones en la profundidad del receptor. Donde, PR: Profundidad del receptor; PCA: Profundidad de la columna de agua; VS: Velocidad del sonido; RD: Rango de detección.

PR (m)	Batimetría	PCA (m)	Perfil VS	RD (km)
10	No aplica	75	ES	11,25
20	No aplica	75	ES	16,35
40	No aplica	75	ES	18,35
60	No aplica	75	ES	16,1
10	No aplica	75	OC	11,4
20	No aplica	75	OC	16,2
40	No aplica	75	OC	17,15
60	No aplica	75	OC	16,5

#### 4.4. Relación de presencia acústica con propiedades hidrográficas

Se generaron 8 modelos GAM (Tabla 13) para ver la relación entre la presencia de Dcalls de ballenas azules (presencia acústica) y las variables oceanográficas. Para ello, se consideraron 88 celdas de la grilla de 12 km x 12 km (Figura 3. **Área de estudio dividida por grilla de 12 x 12 km en base al rango de detección del DMON para vocalizaciones Dcalls. Los círculos magenta indican la presencia de estas vocalizaciones en la trayectoria de los gliders.** ) con sus respectivos promedios de las variables explicativas mencionadas anteriormente (**ver metodología Determinación cuantitativa** de la relación entre la presencia acústica de misticetos y las propiedades hidrográficas.), de las cuales SSP no influyó significativamente en la presencia de Dcalls al ser evaluada individualmente ( $p = 0,95$ ), mismo caso que la variable TGP que no presentó una correlación significativa de forma individual ( $p = 0,70$ ) o acoplada con alguna otra variable, por lo que no fue considerada en ninguno de los modelos definidos.

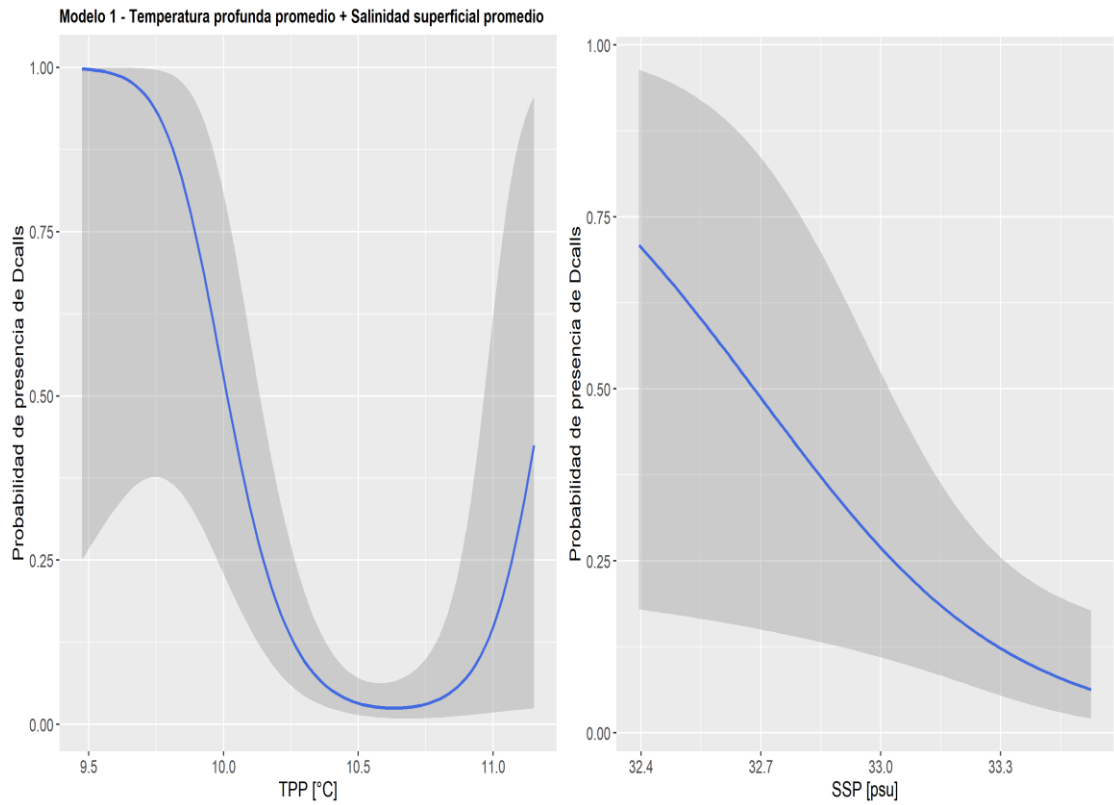
Entre los 8 modelos se seleccionaron los tres con mejor rendimiento: 1) El primero consideró las variables TPP + SSP (nº1, Tabla 13), mostrando la principal influencia de TPP ( $p < 0,001$ ), que indica que hay mayor probabilidad de detección de Dcalls frente a aguas con temperaturas menores a  $\sim 10,3^{\circ}\text{C}$  en la capa profunda, bajas probabilidades frente a temperaturas entre  $\sim 10,3^{\circ}\text{C}$  y  $\sim 10,9^{\circ}\text{C}$  y, de forma secundaria, se observa un aumento en las probabilidades frente a temperaturas sobre los  $\sim 10,9^{\circ}\text{C}$  (Figura 13. **Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera las variables TPP + SSP (modelo 1, Tabla 13) y que mejor explica la relación entre la presencia de Dcalls y las variables hidrográficas.** Este último aumento de probabilidad de detección se ve reflejado en la correlación negativa con la SSP (Figura 13. **Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera las variables TPP + SSP (modelo 1, Tabla 13) y que mejor explica la relación entre la presencia de Dcalls y las variables hidrográficas.**, variable que

tiene menor influencia dentro del modelo ( $p = 0,01$ ), y que muestra que en salinidades menores a 33 psu hay mayor probabilidad de encontrar la presencia de Dcalls. Este primer modelo presentó los mejores valores en todos los criterios considerados para evaluar su rendimiento, siendo el modelo más apropiado para explicar la relación entre la presencia de Dcalls y variables oceanográficas (Tabla 13); 2) El segundo mejor modelo (n°2, Tabla 13) considera la variable TPP de forma individual (Figura 14), donde se confirma la mayor probabilidad de detección frente a TPP más bajas. Este modelo fue seleccionado por tener las mejores puntuaciones (sin considerar el modelo 1) de REML, ExpDev, AIC, RMSE y AUC (Tabla 13); y 3) El tercer mejor modelo (n°3, Tabla 13) considera solo la variable SPP, que muestra una correlación positiva a partir de los 33,5 psu (Figura 13. **Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera las variables TPP + SSP (modelo 1, Tabla 13) y que mejor explica la relación entre la presencia de Dcalls y las variables hidrográficas.**, habiendo mayor probabilidad de encontrar presencia de Dcalls sobre este valor. Este último modelo fue seleccionado por presentar los mejores valores en REML, ExpDev, AIC, RMSE y AUC (sin considerar los modelos 1 y 2) (Tabla 13). Tanto el modelo 2 como el 3 indican que la probabilidad de detección de Dcalls no se ve influenciada en gran medida por la TPP y la SPP frente a temperaturas profundas más elevadas y menores salinidades profundas. Si bien los 8 modelos son significativos, aquellos que consideraron las variables DACC, PFP y TSP, tuvieron un rol secundario para las predicciones de presencia acústica de Dcalls.

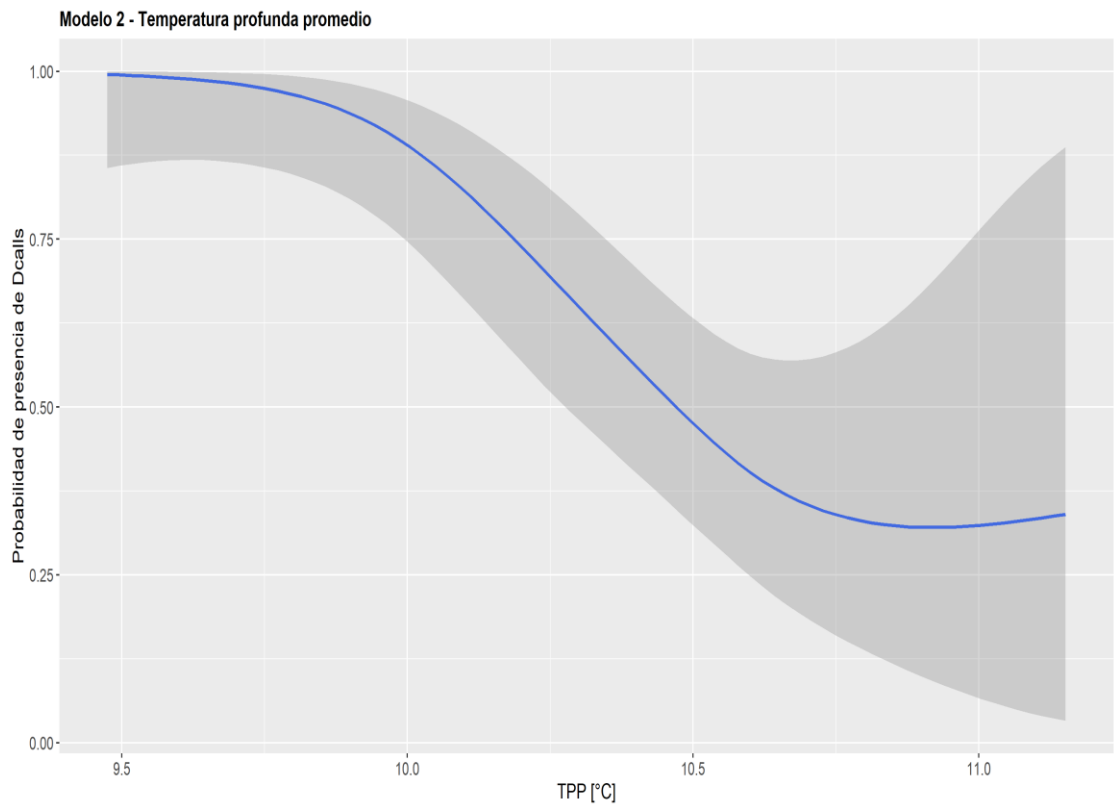
**Tabla 13.** Parámetros utilizados para la selección del modelo: Máxima Verosimilitud Restringida (REML), Desviación Explicada (ExpDev), Criterio de Información de Akaike (AIC), Raíz de la Desviación Cuadrática Media (RMSE) y Área bajo la Curva (AUC). Donde, DACC: Distancia a puntos de alta concentración de clorofila; TSP: Temperatura superficial promedio; TPP: Temperatura profunda promedio; SSP: Salinidad superficial promedio; SPP: Salinidad profunda promedio; y PFP: Profundidad de fondo promedio. En negrita se indican los mejores modelos seleccionados.

<b>Modelo</b>	<b>Predictor</b>	<b>REML</b>	<b>ExpDev</b>	<b>AIC</b>	<b>RMSE</b>	<b>AUC</b>
<b>Dcalls, grilla 12 km</b>						
<b>1</b>	<b>TPP+SSP</b>	37,4526	40,3823	67,8675	0,5142	0,8473
<b>2</b>	<b>TPP</b>	39,0946	32,0076	73,6230	0,5340	0,8442
<b>3</b>	<b>SPP</b>	41,7709	31,5358	75,8092	0,5406	0,7968
4	TSP	48,6262	5,0920	97,6600	0,6692	0,6287
5	PFP	46,3769	10,6152	92,5344	0,6497	0,6637
6	DACC	50,3226	8,9787	96,2165	0,6721	0,6367
7	DACC+PFP	46,3770	19,8275	87,24967	0,6231	0,7465
8	DACC+ TSP	48,9482	13,5413	93,08091	0,6464	0,7332

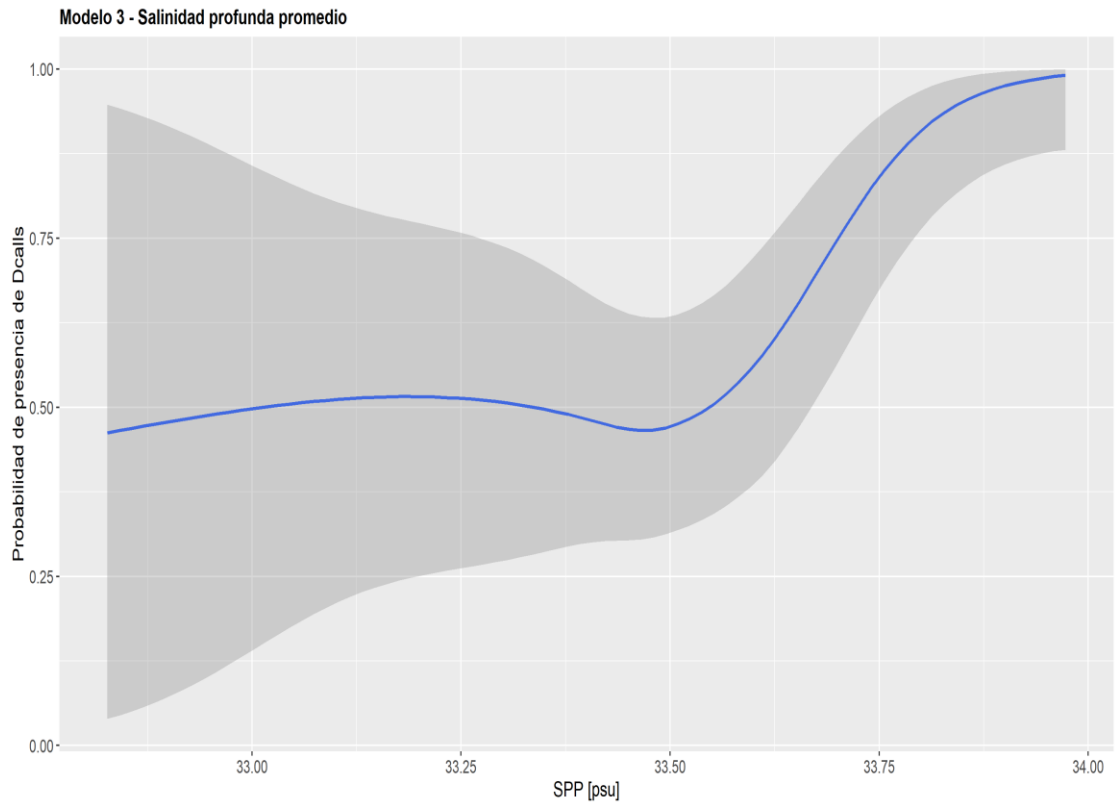
En conjunto, los tres mejores modelos seleccionados mostraron que la probabilidad de presencia de Dcalls es mayor frente a bajas temperaturas profundas y altas salinidades profundas, características que corresponden principalmente a los sectores más oceánicos del área de estudio, OT y OC (Figura 6). Por lo que se puede inferir que durante nuestro periodo de estudio las ballenas azules se encontraron mayoritariamente en estas zonas. Por otro lado, nuestros resultados igualmente indican que, en menor medida, es probable encontrar la presencia de Dcalls frente a altas temperaturas profundas y bajas salinidades superficiales y profundas, lo que corresponde a las zonas más estuarinas de nuestra área de estudio (ES y ET). De esta manera, los GAM revelaron que existe una relación entre la presencia de señales acústicas, en este caso los Dcalls, y las variables hidrográficas, en especial con TPP, SSP y SPP, lo que permite aprobar la hipótesis propuesta en este estudio.



**Figura 13.** Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera las variables TPP + SSP (modelo 1, Tabla 13) y que mejor explica la relación entre la presencia de Dcalls y las variables hidrográficas.



**Figura 14.** Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera la variable TPP (Modelo 2, Tabla 13).



**Figura 15.** Curva de respuesta (línea azul) e intervalos de confianza del 95% (área sombreada) para el modelo aditivo generalizado (GAM), que considera la variable SPP (Modelo 3, Tabla 13).



## 5. DISCUSIÓN

A nuestro conocimiento, en Chile este es el primer estudio de PAM que considera datos oceanográficos recolectados *in situ* mediante gliders. Durante este estudio, los gliders desplegados en 2019 recolectaron de forma adecuada los datos oceanográficos y acústicos dentro de la EC, permitiendo investigar la relación de la distribución de señales acústicas de misticetos con los parámetros oceanográficos. Esto ratifica que esta es una herramienta efectiva para estudiar las preferencias de hábitat de mamíferos marinos como los misticetos, lo cual ya ha sido reportado por otros estudios (Aniceto et al., 2020; Baumgartner et al., 2014; Baumgartner & Fratantoni, 2008).

### 5.1. Hidrografía del área de estudio

Las observaciones de las características hidrográficas del área de estudio concuerdan con los gradientes reportados entre el Mar interior de Chiloé e Isla Guafo (Sievers & Silva, 2006, 2008). Consecuentemente, la salinidad superficial presentó el promedio más bajo en ES (33 psu) y el más alto en OC (33,3 psu), valores similares a los presentados por Silva et al. (2011). En tanto, en la capa profunda se observó que los valores más bajos de temperatura y lo más altos de salinidad se encontraron en OT y OC, lo que coincide con lo reportado por González et al. (2010) para Boca del Guafo. Asimismo, las temperaturas superficiales registradas para OT y OC (11,2°C y 11,6°C) se asemejan a las reportadas por Silva & Guzmán (2006) para esas zonas (entre 11°C y 11,5°C). Sin embargo, el promedio de temperatura en la capa profunda (9,9°C) fue más elevado que el reportado por González et al. (2010) y Silva & Guzmán (2006) para primavera (9,5°C y 8,5°C, respectivamente) en OC. En cambio, el promedio de salinidad en la capa profunda (33,9 psu) fue similar a los reportados (34 psu y 34,2, respectivamente). Nuestros valores pueden deberse a que durante el

periodo de estudio se encontró principalmente la presencia de ASAA y en segundo lugar AESS, una masa de agua profunda que ingresa por Boca del Guafo hacia el Golfo de Corcovado y que contribuye con bajas temperaturas y altas salinidades ( $> 33,9$  psu) (Saldías et al., 2019). Sumado a esto, podría deberse a la ausencia de AE, la cual se mezcla tanto horizontal como verticalmente con ASAA, disminuyendo los valores de salinidad en la columna de agua (Sievers & Silva, 2006).

En el análisis de los diagramas T-S no se observó la presencia de las masas de agua AE y AIAA en ninguna de las zonas oceanográficas. No obstante, en ES y ET se encontró la presencia de ASAAM, generada por la mezcla de aguas provenientes desde ríos, glaciares, ventisqueros y lluvias (Sievers & Silva, 2006), con aguas superficiales oceánicas que ingresan hacia los fiordos, correspondientes a ASAA (Silva & Vargas, 2014). Esta última, también estuvo presente en ES y ET junto a AESS, aguas profundas que también ingresan a los fiordos desde la zona oceánica (Saldías et al., 2019). La presencia de estas masas de agua coinciden con los reportado por Silva & Guzmán (2006) desde Boca del Guafo hacia el Canal Moraleda (al sur del Golfo de Corcovado), y con las observaciones de Sievers & Silva (2006) desde Isla Guafo hacia el Mar interior de Chiloé. A su vez, en OT y OC solo se encontró la influencia de ASAA y AESS, resultado diferente al reportado por Silva & Guzmán (2006), que en Boca del Guafo (OT) encontraron ASAAM tanto en primavera como en invierno. Sin embargo, estos registros estarían condicionados a la presencia de aguas oceánicas (salinas y frías) que se encuentran en otoño e invierno, mientras que el desarrollo de AE se produce principalmente en el invierno tardío y primavera (Pérez-Santos et al., 2021), lo cual explica la ausencia de AE y por ende de ASAAM en sectores como OT que se encuentran más alejados de los sectores por donde llega el agua dulce. Adicionalmente, no es inusual la ausencia de AE en las cuatro zonas oceanográficas y la baja presencia de ASAAM en ES y ET, considerando que se ha visto una disminución en los caudales de ríos en la EC especialmente en otoño (Iriarte et al., 2017), y a que particularmente en otoño del 2019 se registró un déficit de precipitaciones, incluso llegando a registrarse la primavera más seca de las últimas décadas (Pérez-Santos et al., 2021).

## **5.2. Distribución espacio-temporal de presencia acústica de misticetos y su relación con la oceanografía**

### ***Relación entre avistamientos y presencia acústica de misticetos***

Es importante considerar que para efectos de esta discusión se asume que la presencia acústica de Dcalls es equivalente a la presencia de ballenas azules. Esta consideración se basa en el cálculo del rango de detección, lo que permitió definir una escala espacial de 12 km x 12 km, sobre la cual las variables oceanográficas efectivamente pueden estar influyendo sobre la presencia de ballenas azules (definida por las señales acústicas). Es decir, si se detectaron Dcalls dentro de una celda de la grilla, su presencia sería directamente comparable con las variables oceanográficas que se definieron para la misma celda (Shabangu et al., 2019). Sin embargo, en el caso del análisis de los GAM que consideró la presencia/ausencia de los Dcalls, no se puede asegurar que la ausencia de estas señales signifique que los animales efectivamente estén ausentes o si no están vocalizando (Širović & Hildebrand, 2011).

Por otro lado, para el análisis de ocurrencia acústica, en base al número de detecciones y tasas de vocalización de las señales de ballena azul (Sep2 y Dcalls) y vocalizaciones de ballena sei (downsweeps y upsweeps), también es necesario tener en cuenta que para su interpretación no se puede establecer si las señales acústicas vienen de uno o más animales (Širović & Hildebrand, 2011).

### ***Presencia de ballenas sei en la zona de estudio***

Este es el primer estudio en que se considera a las ballenas sei en el análisis de PAM con registro de audio continuo en la EC. Los datos registrados muestran que las señales acústicas de esta especie (downsweeps y upsweeps) fueron registradas en

las cuatro zonas oceanográficas, durante abril, mayo y junio, entre los tres despliegues realizados. En este periodo se observó que los mayores números de downsweeps fueron registrados en OT y ES (despliegues II y III, respectivamente) y los menores en ET y ES (despliegue II y I, respectivamente), así como, los mayores números de upsweeps en OT y OC y los menores en ET. En cuanto a sus tasas de vocalización, la tasa más alta de downsweeps coincide con el segundo número más alto de detecciones registradas (en ES, despliegue III), y las menores tasas también coinciden con los números más bajos registrados, así también, las mayores tasas de upsweeps se encontraron en OT y OC y las menores en ET (Tabla 7). Estas diferencias de la tasa de vocalización entre zonas oceanográficas puede deberse a un mayor número de individuos en el área o corresponder a uno o más individuos que aumenta el número de vocalizaciones por algún comportamiento en particular (Lewis et al., 2018). Sin el contexto conductual, es difícil determinar cuál de estos motivos es la verdadera causa, especialmente cuando se desconoce a que tipo de comportamiento corresponden estas señales acústicas. En el caso de los downsweeps, se ha mencionado que son una señal común entre ballenas del género *Balaenoptera* y típicamente son detectados en grupos grandes (Rankin & Barlow, 2007). En el hemisferio Norte se registró su presencia principalmente en mayo del 2007 y se ha propuesto que tienen una relación inversa con los eventos de alimentación (disminución de las vocalizaciones mientras se alimentan), pudiendo tener un propósito más bien social y/o reproductivo (Baumgartner & Fratantoni, 2008). Por otro lado, los upsweeps han sido registrados en el hemisferio sur en zonas de alimentación durante el verano (Calderan et al., 2014), pero tampoco se sabe si es reproducido bajo circunstancias específicas. Dada la falta de información respecto del contexto conductual de estas vocalizaciones, y a que se desconoce que función cumplen o a que conducta corresponden particularmente para la ballena sei, no es posible determinar si las variaciones en las tasas de vocalización estarían indicando comportamientos sociales debido a un aumento de individuos en el área y/o al seguimiento de zonas con alta disponibilidad de alimento.

Por otra parte, se ha identificado que del zooplancton presente en EC, la presa objetivo de las ballenas sei es *M. gregaria* (Buchan et al., 2021<sup>b</sup>). Esta especie,

en su fase bentónica, prefiere aguas menos salinas y más templadas (Castro et al., 2019), y se presenta en canales asociados a la acumulación de detrito (León et al., 2008), como los fiordos y ríos presentes en el Mar Interior de Chiloé, y se ha observado que habita áreas cercanas a los cultivos de salmones (observaciones de Buchan et al., 2021<sup>b</sup>). En consecuencia, es posible que *M. gregaria* pueda estar presente durante todo el año, alimentándose de la materia orgánica particulada generada por las salmoneras (Silva & Astorga, 2010), pero principalmente por la gran cantidad de materia orgánica particulada proveniente desde ríos que desembocan en el Mar Interior de Chiloé, parte del AE (González et al., 2019; Silva & Astorga, 2010). En base a esto, hubiera sido esperable encontrar un mayor número de detecciones y tasas de vocalización más elevadas en ES, lo cual concuerda con nuestros registros de downsweeps en el tercer despliegue y no con los de upsweeps que fueron registrados principalmente en OT y OC. No obstante, la fase pelágica de *M. gregaria* prefiere aguas más salinas y frías (Castro et al., 2019) como las que podemos encontrar en OT y OC, por lo que también es factible pensar que la presencia de upsweeps en estas zonas pueda estar relacionada con la disponibilidad de alimento. Esta discrepancia en nuestros datos resalta la importancia de comprender el comportamiento acústico de esta especie, ya que sin esta información es difícil definir la relación entre la ocurrencia de estas señales acústicas y las zonas oceanográficas en base a salinidad y temperatura, variables que se utilizan como proxys para entender otros procesos ambientales relevantes que puedan estar sucediendo, como procesos de mezcla, floración de fitoplancton o agregaciones de zooplancton (Barlow et al., 2020). Por otro lado, también hay que considerar que la alta presencia de vocalizaciones upsweeps en OT y OC podría estar relacionada a otro tipo de comportamiento (por ejemplo: desplazamiento o búsqueda de alimento) o a un aumento de vocalizaciones de parte de uno o un grupo de individuos. En ese sentido, cabe mencionar que los upsweeps son continuos, con pausas de pocos segundos entre grandes paquetes de vocalizaciones y por estas características el número de detecciones es bastante elevado (observaciones personales de LG). Por otro lado, es importante tener en cuenta que se desconoce el rango de detección de los upsweeps, y el de downsweeps resultó ser bastante alto (min 30 km), por lo que

no se descarta la posibilidad de que ambas vocalizaciones provengan desde otras zonas oceanográficas.

La ballena sei es una de las especies de mysticetos menos conocida, incluso las investigaciones sobre esta especie se han estancado durante los últimos años, siendo la menos estudiada en comparación a ballenas azules, fin, minke y jorobadas (Prieto et al., 2012). Particularmente, dentro de la Patagonia Chilena existen pocos registros acústicos y visuales disponibles, por ejemplo, Español-Jiménez et al. (2019) reportó su presencia entre el Golfo de Penas y el Golfo Tres Montes durante mayo del 2016 y 2017, con tres días de registro acústico (downsweeps) entre ambas campañas y por lo menos ocho individuos avistados. Adicionalmente existen registros de cuatro avistamiento entre la costa de Valparaíso e Isla de Pascua (Aguayo-Lobo et al., 1998) y dos avistamientos, con tres individuos en total, en el canal Darwin (Aguayo-Lobo et al., 2006). Además, en el estrecho de Magallanes se reportó un registro de 224 individuos avistados entre el 2005 y 2015, presentando conductas de desplazamiento, forrajeo y alimentación (Acevedo et al., 2017). Lamentablemente, la mayoría de estos registros no corresponden a estudios sistemáticos enfocados en la ballena sei, y hasta el momento no se han publicado estudios anuales sobre su abundancia y distribución para las costas de Chile (Acevedo et al., 2017). Por lo tanto, los registros acústicos reportados por este estudio son un aporte relevante para el estado de conocimiento de esta especie en Chile. Sin embargo, en el Atlántico Norte ya se han realizado estudios de PAM enfocados en esta especie, encontrando la presencia de downsweeps desde finales de primavera hasta inicios de otoño y haciendo esfuerzos por establecer una relación entre estas vocalizaciones y la temperatura del agua (Nieukirk et al., 2020)

### ***Presencia de ballenas azules en la zona de estudio***

En el caso de las ballenas azules, sus señales acústicas (Sep2 y Dcalls) también fueron detectadas en las cuatro zonas oceanográficas y en los tres meses de despliegues de gliders. Por un lado, Sep2 presentó detecciones diarias, con un alto

número de cantos en todas las zonas oceanográficas por los tres despliegues. Sin embargo, la mayoría de las detecciones se registraron en OT y OC y las tasas más elevadas en ES y OC (despliegue III). En cambio, las menores cantidades de detecciones y tasas de vocalización se encontraron en ES y ET (despliegue I). Las variaciones encontradas entre las zonas oceanográficas para Sep2, podrían tener relación con el número de ballenas que están siendo escuchadas por el DMON, ya que en ES se registró el mayor rango de detección para este canto (min 33 km), lo que podría significar que se estén escuchando varios individuos que pueden estar o no dentro de esta zona oceanográfica. En conjunto, hay que considerar que los cantos de ballenas azules, como Sep2, han sido caracterizados por ser producidos exclusivamente por machos y por ello se ha señalado que tienen fines reproductivos (Oleson et al., 2007<sup>a</sup>). Sin embargo, su conducta reproductiva no ha sido asociada a ninguna época del año o área en particular y sus cantos han sido registrados constantemente en periodos de un año en distintas áreas (Buchan et al., 2015; Samaran et al., 2010; Širović et al., 2004). Particularmente al sur de Chile, los cantos Sep2 han sido registrados durante gran parte del año en EC (Buchan et al., 2015, 2021<sup>a</sup>) y durante todo el año en Juan Fernández (Buchan et al., 2020).

Por otra parte, las detecciones de Sep2 fueron aproximadamente 8 veces más que las registradas para Dcalls. Una diferencia similar fue reportada en Golfo de Corcovado, 6 veces más detecciones de Sep2 sobre Dcalls, sin embargo esta diferencia se habría relacionado con el uso de detectores automáticos con una tasa de 41,74% de falsos negativos (Buchan et al., 2021<sup>a</sup>), mientras que en este estudio se hizo una revisión manual de todas las horas de grabación. Esta diferencia entre las detecciones de Sep2 y Dcalls podría relacionarse con los comportamientos asociados a estas señales acústicas, es decir, cantos reproductivos de larga propagación (Lewis et al., 2018) versus vocalizaciones en contextos de agregación de ballenas (Schall et al., 2020), esto explicaría la baja cantidad de detecciones de esta vocalización en comparación a Sep2 que parece ser que está siendo continuamente producido por los machos de ballenas azules.

Los Dcalls presentaron las detecciones y tasas más elevadas en OT y OC y las menores en ES y ET. Esta vocalización ha sido relacionada con eventos de alimentación de ballenas azules (Oleson et al., 2007<sup>a</sup>), pero también parecen ser producidos en situaciones muy particulares, incluso se les ha descrito como indicadores de un comportamiento social y de competencia reproductiva (Schall et al., 2020). En base a esto, y considerando que su rango de detección promedio fue de ~18 km en ES y ET y de ~7 km en OT y OC, es razonable pensar que su alta tasa de vocalización en las zonas oceánicas tenga relación con eventos de alimentación que se ven favorecidos por floraciones de fitoplancton que provocan la llegada de grandes concentraciones de zooplancton (Iriarte et al., 2007) como *E. Vallentini*. No obstante, también se debe tener en cuenta otros comportamientos posibles, ya que se ha observado una alta tasa de vocalización de Dcalls cuando existen posibles eventos de competencia reproductiva (Schall et al., 2020).

En cuanto a los resultados del GAM para Dcalls de ballenas azules, la SPP (modelo 3) reflejó mayores probabilidades de detectar presencia de Dcalls frente a salinidades sobre los 33,5 psu (Figura 15), esto es apoyado por la TPP (modelo 2), ya que existe mayor probabilidad de encontrar esta vocalización en temperaturas bajo los 10,5°C (Figura 14). Junto a esto, el modelo 1, TPP + SSP (Figura 13), sustenta los resultados anteriores ya que la TPP sigue mostrando la misma tendencia, lo que permite establecer que existe una mayor probabilidad de encontrar presencia de Dcalls en las zonas oceánicas de nuestra área de estudio (OT y OC). En consideración a los modelos 1 y 2, estos indican la importancia de la TPP como proxy para comprender la distribución de ballenas azules, siendo más probable encontrar estos animales en OT y OC, zonas que registraron los menores valores promedio de temperatura profunda (Tabla 5). Este resultado coincide con el estudio de Buchan & Quiñones (2016) donde también encontraron una relación negativa entre la temperatura y la posibilidad de observar ballenas azules en alimentación. Asimismo, esta relación negativa se encontró con la densidad de Dcalls (ballenas azules) en Nueva Zelanda (Barlow et al., 2021). Por otro lado, en Antártica se evaluó la temperatura en base a promedios de perfiles verticales entre 0 y 200 m, encontrando que la distribución de ballena minke antártica disminuye a temperaturas



muy bajas y muy altas (en un rango entre  $-1,7$  y  $0^{\circ}\text{C}$ ) (Murase et al., 2013). Este último estudio sugiere que esta relación más bien es un indicador de la presencia de krill, generada por la entrada de aguas circumpolares ricas en nutrientes. En congruencia con este planteamiento, nuestros resultados podrían explicarse por la mayor presencia de ASAA y AESS en las tres zonas oceanográficas, masas de agua que traen consigo bajas temperaturas y alta cantidad de nutrientes que favorecen las floraciones de fitoplancton (Iriarte et al., 2005) y por ende la formación de grandes agregaciones de krill a estas zonas. Secundariamente, el modelo 1 también muestra que la SSP toma relevancia al interactuar con la TPP, resaltando que igualmente se puede encontrar la presencia de ballenas azules en las zonas de baja salinidad superficial ( $<33$  psu) y altas temperaturas en la capa profunda ( $>10,8^{\circ}\text{C}$ ), lo que corresponde a las zonas más estuarinas de nuestra área de estudio, ES y ET, resultado que también es respaldado por los otros dos modelos (Figura 14 Figura 15). Esto concuerda con el estudio de Bedriñana-Romano et al., (2021), donde se ha reportado que el Golfo de Ancud (dentro del Mar Interior de Chiloé, al norte de ES) y el Canal Moraleda (al sur de ET) son zonas donde existe una alta probabilidad de encontrar esta especie, lo que podría tener relación con altas concentraciones de clorofila-a (Bedriñana-Romano et al., 2021) y/o a los aportes de ácido silícico desde aguas continentales (Silva & Guzmán, 2006), que favorecen la floración de diatomeas y por ende la concentración de eufáusidos (González et al., 2010), los cuales podrían quedar atrapados en estas zonas por su compleja batimetría y bajas profundidades (Buchan & Quiñones, 2016).

Por otro lado, el modelo 3 muestra que hay mayor probabilidad de detectar presencia de Dcalls frente a altas salinidades profundas. En el caso de la ballena de Groenlandia, a partir de sus vocalizaciones se identificó una distribución hacia aguas superficiales más salinas provenientes del Mar de Bering, en el Pacífico Norte (Baumgartner et al., 2014). De forma similar, se encontró una fuerte relación entre la salinidad y la distribución de ballenas jorobadas en las costas de Columbia Británica, donde estos animales se movilizaron desde zonas menos salinas hacia aquellas con mayores salinidades (Gregg & Trites, 2001). La salinidad también funciona como proxy de distribución de misticetos, hay que tener en cuenta que el aumento de

salinidad favorece la presencia de *E. vallentini*, presa objetivo de las ballenas azules (Buchan et al., 2021<sup>b</sup>), que se caracteriza por preferir aguas con altas salinidades (Palma & Silva, 2004). Junto a esto, se ha descrito que los mayores valores de biomasa de zooplancton de la Patagonia Chilena se encuentran en EC, debido a que podría existir un efecto en la producción de fitoplancton dado que de norte a sur las condiciones se vuelven más extremas (bajas temperaturas y salinidades) (Palma & Silva, 2004). De esta manera, estos resultados indican que la salinidad de la capa profunda también actúa como un proxy relevante para entender la distribución de las ballenas azules, lo cual difiere de los datos de Buchan & Quiñones (2016) para el verano del 2013 en los alrededores del Golfo de Corcovado, pues no encontraron una relación significativa entre la posibilidad de observar ballenas azules alimentándose y la salinidad de la columna de agua. Sin embargo, sus observaciones sí coinciden con nuestros resultados al evaluar de forma individual la SSP, pues esta variable por sí sola no influyó significativamente en la presencia de Dcalls ( $p = 0,95$ ). Esta discordancia en nuestros datos (entre SSP y SPP) podría deberse a la pequeña escala espacial utilizada en este estudio o a la metodología de análisis que consideró solo los promedios por celdas. Por otro lado, las diferencias entre los resultados de Buchan & Quiñones (2016) respecto a nuestros datos de SPP podrían tener que ver con el área de estudio y la forma de registro de datos, ya que en el caso de Buchan & Quiñones (2016) los datos fueron registrados *in situ* mediante perfiles verticales de CTD-O en puntos donde se observaron eventos de alimentación al sur y al este del Golfo de Corcovado, áreas que no fueron consideradas para nuestro estudio.

Tanto la temperatura como la salinidad cumplen un rol importante como proxy para llegar a entender la distribución de las ballenas, ya que su variabilidad afecta directamente la distribución, abundancia y riqueza del fitoplancton y zooplancton (Iriarte et al., 2005; Palma & Silva, 2004; Vásquez et al., 2021). Esto resalta la importancia de analizar con mayor detenimiento en próximos estudios la influencia e importancia que puedan tener la temperatura y la salinidad de la capa profunda y la salinidad de la capa superficial, ya que los criterios utilizados para analizar nuestros modelos GAM indicaron que estas variables en nuestros modelos tenían los mejores rendimientos y revelan los resultados más consistentes. Cabe

mencionar que la evaluación del rendimiento de los modelos es limitada ya que los criterios de evaluación se ajustan de distintas formas a los datos (Aguirre-Gutiérrez et al., 2013; Austin, 2007), por lo que utilizar en conjunto los criterios REML, ExpDev, AIC, RMSE y AUC permite determinar con mayor confianza si el modelo realmente tiene un buen desempeño y si se ajusta bien a los datos.

Por otro lado, la variable GTP no presentó una correlación significativa con la presencia de Dcalls, por lo que no fue utilizada en ninguno de los modelos presentados. Este resultado llama la atención debido a que los frentes termales han sido descritos como un proxy relevante para la disponibilidad de alimentos en EC (Bedriñana-Romano et al., 2018), donde se ha encontrado que las ballenas azules reducen su velocidad cerca de áreas con altos gradientes termales (Bedriñana-Romano et al., 2021). Esto también se ha descrito en el hemisferio norte, donde especies como ballena azul, fin y jorobada se han mantenido cerca de fuertes gradientes termales que se relacionan con procesos de surgencia, lo que genera un ambiente atractivo para los misticetos (Doniol-Valcroze et al., 2007). En el caso de este estudio, dado que los resultados muestran una correlación significativa entre la presencia de ballenas azules y los modelos TPP + SSP, TPP y SPP que han sido explicados en base a la posibilidad de gran disponibilidad de alimento en la zona, encontrar una relación significativa entre GTP y la presencia de ballenas hubiera sido importante para apoyar estos planteamientos. Sin embargo, era poco probable encontrar una relación significativa debido a la escala espacial utilizada durante nuestro estudio, donde se utilizaron promedios de estos gradientes para celdas de 12 x 12 km, lo que pudo causar una subestimación de la importancia de esta variable. Sumado a esto, nuestra área de estudio se reduce a solo una parte de la EC, mientras que los estudios de Bedriñana-Romano et al. (2018, 2021) consideran toda la zona.

Dentro de la EC también se ha descrito la importancia de centros de concentración de clorofila-a en primavera para la agregación de ballenas azules en verano y otoño, y se ha observado una disminución de la velocidad de estos animales en áreas cercanas a donde se han identificado estos puntos de alta concentración de clorofila, siendo la variable más importante para su distribución (Bedriñana-Romano

et al., 2021). Sin embargo, pese a que los resultados arrojaron una relación significativa entre la presencia de Dcalls y DACC, como variable individual, y también con DACC + TFP y DACC + TSP, todos estos modelos tuvieron un bajo ajuste y rendimiento según los criterios utilizados para su evaluación, indicando que particularmente para nuestros datos esta variable no sería relevante. Pese a esto, es importante mencionar que en nuestra área de estudio se encontró durante la primavera del 2018 la mayor concentración de clorofila-a al oeste de Isla Guafo y de la Isla de Chiloé, y también al sur del Golfo de Corcovado (Figura 17). En base a esto, se puede suponer que los puntos de concentración de clorofila pueden haberse desplazado debido a fuertes vientos, generando su concentración (y la del krill) en otras áreas (Ashjian et al., 2010), y por ende provocando que sea menos probable encontrar presencia de ballenas azules en las zonas definidas en primavera.

Los registros de datos acústicos de ballenas azules, realizados en este estudio, se condicen con los registros acústicos y visuales de Buchan et al. (2010), que para el verano del 2008 registró la presencia de ballenas azules vocalizando, así como Buchan et al. (2014), registró la presencia de Sep2 entre febrero y abril del 2008, febrero a marzo del 2009 y marzo del 2011, además de avistamientos de grupos de ballenas azules entre 1 y 3 individuos. También, Buchan et al. (2015) detectaron la presencia de Sep2 desde diciembre hasta agosto dentro de la EC, con un marcado aumento de detecciones entre marzo y mayo. Asimismo, Buchan et al. (2021<sup>a</sup>) reportaron la presencia de Sep2 desde enero a julio del 2016 con un aumento de cantos entre marzo y junio. Además, en este estudio reportaron registros de Dcalls entre enero y mayo del mismo año, con un aumento de vocalizaciones entre finales de marzo y principios de abril y otro aumento en mayo. Por otro lado, existen diversos registros visuales de ballenas azules dentro de la EC, incluyendo zonas como Isla Guafo, Golfo de Corcovado, al oeste de la Isla de Chiloé y dentro del Mar interior de Chiloé (Bocconcelli et al., 2015; Buchan & Quiñones, 2016; Galletti Vernazzani et al., 2012, 2017; Hucke-Gaete et al., 2004; Seguel & Pavés, 2018). Como ya se mencionó anteriormente, EC es un área de alimentación para las ballenas azules (Buchan & Quiñones, 2016; Hucke-Gaete et al., 2004) y su llegada a esta zona se relaciona con grandes concentraciones de zooplancton, particularmente

eufáusidos, debido a que es un área de gran producción primaria especialmente en primavera y verano (Iriarte et al., 2007).

La presencia de ballenas en otoño tendrían relación con floraciones de fitoplancton producidas en primavera/verano, ya que se ha observado que existe un desfase de 2 a 4 meses desde que se registran altas concentraciones de clorofila hasta la llegada de ballenas a zonas de alimentación en EC (Bedriñana-Romano et al., 2018). Un desfase de 3 meses también ha sido observado por Buchan et al. (2021<sup>a</sup>) entre la máxima estacional de zooplancton (octubre) y de la presencia acústica de Dcalls de ballenas azules (enero) en la zona. Otro ejemplo es descrito por Croll et al. (2005), quienes también registraron estos desfases para ballenas azules en la Bahía de Monterrey, explicando esto como procesos biológicos ascendentes en donde, debido a procesos físicos y demográficos, hay un retraso entre el punto máximo de producción primaria, la concentración de eufáusidos adultos y la agregación de ballenas (Croll et al., 2005).

Además, es relevante considerar posibles procesos intraestacionales que puedan estar ocurriendo y que podrían explicar la variación del número Dcalls registrados entre marzo, abril y mayo. Por ejemplo en invierno, donde las condiciones hidrográficas no favorecen la productividad primaria, en el Fiordo de Puyuhuapi se ha registrado que debido a diversos eventos de bajas presiones atmosféricas (asociadas a fuertes lluvias y escorrentías) los vientos provenientes del norte se intensifican y provocan la mezcla de la columna de agua, permitiendo que nitratos y fosfatos de aguas profundas lleguen a la capa superficial, creando un ambiente óptimo para la floración de dinoflagelados y logrando un nivel de producción primaria similar a las de primavera y verano (Montero et al., 2017). Es interesante considerar estos aumentos de producción primaria dentro de una misma estación, ya que puede ser una forma más directa de analizar los patrones de distribución de ballenas debido a que durante estos eventos las agregaciones de zooplancton se desarrollarían más rápido (Barlow et al., 2021). Así se observó en Nueva Zelanda, donde se registró una correlación entre eventos de mayor intensidad de viento y la densidad de Dcalls con un desfase de tres semanas, lo que indicaría

que seguir los eventos de floración podría incidir en las oportunidades de alimentación para las ballenas azules (Barlow et al., 2021).

### **5.3. Dificultades y desafíos metodológicos para acoplar datos acústicos y oceanográficos**

#### ***Incertezas en la estimación del rango de detección***

Si bien el PAM es una herramienta efectiva de monitoreo acústico (Küsel et al., 2011), una de sus mayores dificultades es saber si efectivamente las señales acústicas grabadas pertenecen a animales que están dentro del área de interés o no, ya que estas pueden viajar decenas y cientos de km (Stafford et al., 2007). Por ello, para algunas investigaciones, como aquellas que buscan evaluar la distribución de mysticetos respecto a procesos oceanográficos y que no cuentan con la ubicación de las ballenas, es imperativo calcular el rango de detección del hidrófono respecto a la señal acústica de la especie objetivo para dirigir la investigación a escalas apropiadas (Širović & Hildebrand, 2011). En el caso de este estudio, para Sep2 se calculó un máximo rango de detección de al menos 33 km y el mínimo de 14,7 km, mientras que para Dcalls el máximo fue de 19,1 km y el mínimo de 7,8 km. Sin embargo, no se esperaba que el rango de detección de Sep2 fuera tan elevado. Buchan et al. (2021<sup>a</sup>) reportaron un rango de detección entre 2,75 km y 15,3 km para Sep2 y entre 1,4 km y 6 km para Dcalls, considerando un hidrófono fijo en el Golfo de Corcovado (zona OT) y utilizando el mismo modelo RAM para calcular la pérdida de propagación y posteriormente el rango de detección. Esta discrepancia en los valores podría ser causa de los parámetros seleccionados para el modelo, como la profundidad de donde se origina el sonido (20 m v/s 30 m) o la profundidad del receptor del sonido (140 m v/s 50 m) (Mellinger, 2002), así como también por la variación estacional de la velocidad del sonido (Samaran et al., 2010), lo que deja en evidencia los múltiples factores que pueden modificar los valores de la TL y por

ende del rango de detección (Reeder & Chiu, 2010; Širović et al., 2015). Por otro lado, para los downsweeps de ballena sei se calculó un rango de detección mayor a 30 km, y si bien, en este estudio no se planteó una hipótesis respecto a la capacidad de transmisión de estas señales, tampoco se esperaba que el rango de detección de esta vocalización fuera tan elevado ya que las vocalizaciones de ballena azul (Dcalls) y sei (downsweeps) son muy similares, tanto por su rango de frecuencias, el patrón del sonido que comienza desde altas frecuencias a bajas frecuencias y por ser de corta duración (**ver metodología Identificación de la presencia acústica de ballenas azules (*B. musculus*) y sei (*B. borealis*) dentro del área de estudio.**). Sin embargo, no se consideró el alto nivel de intensidad de esta señal (173,5 dB at 1m re:1uPa), mayor que de los Dcalls (156 dB at 1m re:1uPa) y muy similar al de Sep2 (174 dB at 1m re:1uPa), la cual amplía su capacidad de propagación y posiblemente de comunicación con otros individuos (Širović et al., 2007). Además, hay que considerar que el nivel de ruido ambiental que afectó la banda de frecuencia de los downsweeps (82,054 dB) fue menor que el nivel de ruido para Sep2 (89,599 dB), por lo que su pérdida de transmisión fue aún menor. Por ello, considerar los cantos Sep2 o las vocalizaciones downsweeps para los análisis del objetivo 4 no hubiera sido apropiado, ya que se desconoce si estas señales fueron registradas cerca del DMON o fuera del área de estudio. Estas variaciones en el rango de detección de las señales acústicas reflejan los posibles errores e incertezas que existen en su cálculo:

- a) Estimación del nivel de la fuente, se utilizó la información para ballenas azules del hemisferio norte ya que no está disponible para Chile. Además, el cálculo del SL es en efecto solo una estimación ya que no es posible medirlo en un laboratorio con estos animales.
- b) Los perfiles de velocidad del sonido utilizados en este estudio son un promedio de cada zona oceanográfica, por lo que no dan cuenta adecuadamente de la variabilidad real de la velocidad del sonido.
- c) Se desconoce el o los sedimentos que componen el fondo del área de estudio (ver más adelante).

- d) Se utilizó solo un azimut de ~30 km en cada zona oceanográfica, por lo que no hubo una representación real de la batimetría que afecta a la transmisión del sonido en cada zona.
- e) El glider se desplaza verticalmente en la columna de agua, lo que provoca variaciones en el rango de detección de cada señal acústica según la profundidad a la que se encuentre el glider.
- f) Hay escasa información sobre la profundidad a la que están vocalizando las ballenas, lo cual también puede generar variaciones en su rango de detección.

El modelo RAM requiere específicos parámetros del emisor, receptor y el ambiente (Tabla 3) para calcular la TL (Mellinger, 2002). Sin embargo, es difícil contar con toda la información necesaria, ya sea de los parámetros ambientales o del emisor. En cuanto a la información del emisor (ballenas azules en nuestro caso), no se ha reportado un SL para los cantos de las ballenas azules chilenas, por lo que se utilizó el SL reportado para otra subespecie, la ballena azul pigmea (Samaran et al., 2010). En el caso de las vocalizaciones Dcalls y downsweeps, los datos de SL corresponden a ballenas azules y sei del Atlántico norte (Berchok et al., 2006; Wang et al., 2016), y a nuestro conocimiento en ninguna parte se ha reportado un SL para los upsweeps de ballena sei.

Por otra parte, la capacidad de los gliders para registrar datos horizontal y verticalmente permite obtener datos a fina escala (Baumgartner et al., 2014), lo que facilita la obtención de perfiles de velocidad del sonido ajustados a cada punto en que el glider realice un perfil de la columna de agua. Esta particularidad no fue del todo aprovechada por nuestra metodología, ya que a partir de los perfiles verticales se calculó un promedio por zona oceanográfica, lo que limita la precisión al analizar estos datos ya que no es posible ver cómo cambia la velocidad del sonido de un punto a otro.

Además, también es difícil contar con todos los parámetros ambientales para utilizar el RAM, el tipo de sedimento que compone el fondo (capa por capa) es uno de los parámetros que solicita el modelo, pues al interactuar el



sonido con las distintas capas de sedimento este puede reflejarse o refractarse dependiendo de las características de estas capas, lo cual va a influir en cómo será la TL (Jensen et al., 2011; Urick, 1979) y por tanto es muy importante para establecer el rango de detección con mayor precisión. Sin embargo, a nuestro conocimiento, esta información no ha sido reportada para EC, por lo que se usó un estimado en base a sedimentos en suspensión (Silva et al., 2011).

En cuanto a la batimetría, al utilizar solo un azimut por zona oceanográfica también se limitó la posibilidad de visualizar la variabilidad con que se transmite el sonido, por lo que no se contó con una representación real de cada zona dentro del área de estudio. Por lo que sería importante hacer una revisión de la TL y cálculos del rango de detección considerando un mayor número de azimuts por zona.

Finalmente, tanto la profundidad del emisor como la del receptor van a influir sustancialmente en cómo será la TL, dado que el sonido puede viajar por conductos acústicos (que permiten una mayor propagación del sonido), los cuales se pueden formar cerca de la superficie debido a una capa isotérmica en aguas bien mezcladas (Urick, 1979) o también, interactuar principalmente con el fondo, que como se mencionó anteriormente, también influye en la TL. La profundidad del receptor fue designada arbitrariamente para el modelo porque, a diferencia de hidrófonos fijos, el glider se va desplazando por la columna de agua, lo que aumenta la complejidad para establecer un rango de detección adecuado.

Particularmente, respecto a los puntos b, c y d de nuestro análisis de sensibilidad (Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12, respectivamente), se encontró que al cambiar la profundidad de la columna de agua, es decir nuestra batimetría (punto b), se obtuvieron rangos de detección con diferencias de entre ~4 y ~20 km, resaltando nuevamente la importancia de la batimetría para la TL (Urick, 1979). Respecto a este análisis, llama la atención no haber encontrado un patrón lineal en la variación del rango de detección, sino valores altos y bajos de forma intercalada (Tabla 10). Este resultado, como se mencionó anteriormente, podría tener relación con conductos acústicos o con la interacción del sonido con la superficie o el fondo marino, que pueden favorecer o dificultar la propagación del sonido (Jensen et al., 2011; Urick,

1979). Por otro lado, los rangos de detección, calculados en base a variaciones en el perfil de velocidad del sonido, tuvieron valores muy similares entre ellos (Tabla 11), lo que puede deberse al bajo rango de velocidad del sonido de nuestros perfiles (máximo de ~5 m/s en OC), lo que implicaría que no hubo grandes diferencias entre las cuatro zonas oceanográficas en consideración de nuestros datos, sin embargo, esto no fue testado. De forma similar, el análisis que consideró variaciones en la profundidad del receptor también mostró leves diferencias en los rangos de detección, encontrando el valor más bajo cuando el receptor se estableció a 10 m de profundidad y el más alto a 40 m de profundidad. A raíz de estos análisis, se puede inferir que para nuestros datos la velocidad del sonido y la profundidad del receptor no son variables tan relevantes como la batimetría para el cálculo de TL, dando relevancia al área geográfica (debido a su batimetría) en donde se esté evaluando la TL o el rango de detección, ya que el sonido interactúa de diversas formas con el ambiente en donde es producido, pudiendo transmitirse por varios cientos de km o perderse rápidamente, no solamente por la batimetría, sino también por la composición del fondo, si existen rocas, pendientes o si es más bien liza, ya que esto también puede disminuir la velocidad e intensidad del sonido. Si bien, no se centró en entender cómo y por qué se producen estas variaciones, y el análisis de sensibilidad no indicó un patrón evidente, estos resultados son una primera mirada para identificar cuáles son las variables que pueden tener mayor influencia en nuestro modelo a la hora de determinar el rango de detección de una señal acústica, particularmente dentro de la EC.

### ***Diferencias en escala espacial entre rango de detección de vocalizaciones y mediciones oceanográficas***

Dado que la escala de los datos oceanográficos de este estudio es más pequeña que la de datos acústicos, y no se consideraron datos visuales, es difícil interpretar con seguridad las razones por la que los misticetos puedan concentrarse en un área determinada. Sin embargo, según literatura, la distribución de misticetos no está directamente relacionada con las variables hidrográficas como temperatura y

salinidad, sino más bien con la disponibilidad de alimento, particularmente de grandes parches de krill para las ballenas azules (Barlow et al., 2020). Por lo tanto, su distribución tiene relación con escalas espaciales más grandes que las que se podría evaluar a través de equipos fijos o gliders, razón por la cual estas variables son utilizadas como proxies de otros procesos. Por ello, para este tipo de investigaciones es necesario considerar en la metodología de estudio el tipo de señal acústica que se utilizará como variable respuesta, siendo muy importante tener amplia comprensión respecto a los comportamientos a las que se asocia, ya que para este tipo de interpretaciones es necesario poder diferenciar si la especie objetivo se encuentra en alimentación, desplazamiento u otra actividad (Stafford et al., 2009). Junto a ello, tal como se observó con las señales acústicas detectadas, es necesario considerar cantos o vocalizaciones que tengan un rango de detección acorde a la escala espacial que se quiera estudiar (Delory et al., 2021), siendo los Dcalls una señal acústica más adecuada que los Sep2, debido a que es producida en menor medida y en situaciones particulares, además de tener un menor rango de detección.

### ***Limitada cobertura espacio-temporal***

En cuanto al registro de datos oceanográficos, el análisis no consideró la variabilidad temporal de la toma de datos, utilizando todos los perfiles hechos por los gliders como un solo conjunto de datos estáticos. Sin embargo, debido a esta determinación, se podría estar obviando diferencias relevantes en los parámetros hidrográficos que afectan tanto en nuestro cálculo de rango de detección, como en el posterior análisis para entender la distribución de las ballenas azules en la EC en base a la presencia de Dcalls. Esto derivado de las variaciones intraestacionales, mencionadas anteriormente, que pueden provocarse debido al estrés del viento, variación de los caudales y precipitaciones y radiación solar, afectando directa o indirectamente a las concentraciones de fitoplancton, zooplancton y distribución de misticetos (Barlow et al., 2020; Dávila et al., 2002). Especialmente en consideración de que la EC es un sistema complejo, con fuertes variaciones debido a la mezcla de aguas oceánicas y estuarinas (Iriarte et al., 2017; Sievers & Silva, 2008).

Por otro lado, debido a los altos costos que involucra el uso de gliders para la toma de datos, nuestro estudio tan solo pudo abarcar dos meses de registro de datos. Las baterías de los gliders tienen precios muy elevados (miles de dólares) y cada una tiene una duración de 2 a 4 semanas, la cual también se ve reducida al considerar el registro de datos acústicos y oceanográficos simultáneamente. Sin embargo, sería ideal poder contar con este tipo de equipos para hacer despliegues de por lo menos 4 o 6 meses durante varios años seguidos para ver la variabilidad anual, estacional e intraestacional.

### ***Dificultades en el procesamiento y análisis de los datos acústicos y oceanográficos***

- Los datos acústicos de los tres despliegues fueron analizados de forma manual ya que aún no se dispone de detectores automáticos que tengan un rendimiento óptimo, es decir que no comentan tantos errores ni omitan tantas señales acústicas para las ballenas sei. Por lo tanto, un analista revisó aproximadamente 1728 horas de grabación, detectando cuatro tipos de señales acústicas, lo cual es un proceso lento que dificultó y ralentizó el análisis de datos.
- En cuanto a los datos oceanográficos, se contó con dos CTD de marcas diferentes, lo que produjo la necesidad de corregir los datos de salinidad registrados. Es importante para próximos estudios, considerar una intercalibración entre sensores para mejorar la calidad del conjunto de observaciones.
- Para este estudio no se contaba con rutinas computacionales que permitieran acoplar los datos acústicos con los oceanográficos, por lo que se requirió de un trabajo lento y complejo de programación para crear las rutinas que permitieran trabajar con los datos ya corregidos. Esto con el fin de generar una sola base de datos que considerara los registros acústicos y oceanográficos, para así realizar el análisis estadístico correspondiente. En este caso, los datos finalmente fueron acoplados en base a una grilla de 12 km

x 12 km. Sin embargo, las rutinas creadas permiten realizar el mismo procesamiento para acoplar los datos en base a grillas de menor o mayor tamaño, dependiendo del rango de detección que se quiera evaluar. Este trabajo fue una contribución importante al desarrollo de rutinas que podrán ser ocupadas en futuros trabajos que consideren este tipo de datos.

### *Desafíos para trabajos futuros*

- Dada la falta de información que existe actualmente para generar modelos de propagación del sonido en base a las características particulares de los misticetos que llegan a la zona, uno de los desafíos más importantes a futuro sería generar investigaciones de PAM enfocadas en la obtención de SL para las señales acústicas de ballenas azules y sei. Además, sería ideal poder determinar las profundidades a las que principalmente se encuentran vocalizando estas especies, para así poder mejorar y precisar el cálculo del rango de detección.
- Respecto al rango de detección, es necesario hacer uso de toda la capacidad de los gliders e investigar las variaciones en la velocidad del sonido a partir de los perfiles verticales que este instrumento genera, pudiendo observar la variabilidad de estos perfiles en detalle, lo que daría una idea más real sobre el comportamiento del sonido en el área de estudio. En este sentido, también es importante considerar una mayor cantidad de transectas para analizar en el modelo RAM, para tener una mejor perspectiva sobre la batimetría que está afectando a la transmisión del sonido.
- Además, es necesario obtener más información respecto a las características ambientales que están influyendo en la zona, particularmente, uno de los desafíos más grandes, sería poder estudiar el fondo que compone a la EC, sus capas y los sedimentos que las conforman.

- El uso de gliders genera un gran desafío debido a que cambia de profundidad de manera constante. Por lo tanto, es importante considerar en próximos estudios la variación del rango de detección en base a la posición del glider en la columna de agua. Además, dado que se puede saber a qué profundidad se encuentran los gliders, sería interesante ver como varían los registros de señales acústicas según la profundidad a la que fueron detectados por el DMON
- Por otra parte, en consideración a las limitaciones del PAM y del uso exclusivo para entender la distribución de los misticetos, sería importante incluir en trabajos futuros el uso de Perfiladores Acústicos de Corrientes Doppler (ADCP) o Perfiladores Acústicos de Zooplancton y Peces (AZFP), equipos que permiten detectar agregaciones de zooplancton o peces en la columna de agua. Permitiendo establecer la presencia de alimento en las zonas en donde se detecte la presencia acústica de los misticetos.
- Por último, para futuros estudios que busquen analizar las variaciones a distintas escalas, tanto temporal como espacial, es de gran relevancia poder aumentar la cobertura espacio-temporal del registro de datos. Particularmente, en base a nuestro estudio, sería ideal poder evaluar la EC por completo, así como también tener un registro de varios meses y esto repetirlo anualmente.

## 6. CONCLUSIONES

Los principales resultados de este trabajo muestran que:

1. Durante el periodo en que los gliders fueron desplegados para el registro de datos oceanográficos, en el área de estudio se encontraban principalmente las masas de agua ASAA y AESS en las cuatro zonas oceanográficas establecidas. . La primera masa de agua se observó modificada por aguas estuarinas y la segunda se encuentra altamente diluida por mezcla con aguas de origen subantártico. En general, se observó una columna de agua más salinas y fría que en estudios previos en la zona
2. De las señales acústicas evaluadas, las detecciones de Sep2 fueron las más elevadas y con mayor distribución a lo largo del área de estudio. Este resultado puede significar que estos cantos no sean una señal adecuada para estudiar la distribución de ballenas azules a escalas tan pequeñas, ya que tiene un elevado rango de detección (min 33 km) y es un canto muy recurrente, lo que dificulta hacer una interpretación adecuada respecto de los datos oceanográficos. Como contraparte, las vocalizaciones Dcalls, que tuvieron el menor rango de detección, parecen ser una señal apropiada para el acople de datos acústicos con oceanográficos, ya que pueden ser evaluadas a una escala más pequeña y además se caracteriza por representar eventos de alimentación y/o por ser producida cuando se forman agrupaciones de ballenas azules. Por otro lado, hay que tener en cuenta que
3. Los downsweeps de ballena sei fueron la señal acústica menos detectada, registrando valores similares entre las cuatro zonas oceanográficas durante el despliegue III, con su tasa de vocalización más alta en ES. En cambio, los upsweeps fueron detectados mayoritariamente en las zonas OT y OC, donde también presentó las tasas de vocalización más elevadas. Estas diferencias resaltan la necesidad de identificar a que comportamientos se asocian estas

señales acústicas, ya que debido a la falta de información sobre esta especie difícilmente se pueden inferir las razones por las cuales hay mayor presencia acústica de esta especie. Paralelamente, es importante tener precaución con estos resultados ya que no es claro si estas señales acústicas fueron producidas dentro de la misma zona oceanográfica donde se encontraban los gliders o en áreas más alejadas debido a su alto rango de detección (min 30 km), así como también ocurre con los cantos Sep2.

4. Se encontró una relación significativa entre la presencia de Dcalls y TPP + SSP, así como también con TPP y SPP de forma individual. Estos resultados permiten validar la hipótesis de estudio, ya que se pudo corroborar que las señales acústicas (Dcalls) sí tienen relación con factores oceanográficos como la temperatura profunda, la salinidad superficial y la salinidad profunda.
5. Del análisis de GAM, el modelo mejor evaluado fue TPP + SSP, el cual indicaría que la presencia de ballenas azules (considerando los Dcalls como equivalente) tuvo una mayor ocurrencia en las zonas oceánicas del área de estudio (OT y OC). Una posible interpretación de este resultado es que, debido a la mayor disponibilidad de nutrientes provenientes de ASAA y AESS, se hubiese producido una floración de fitoplancton que promoviera la agregación de eufáusidos en estas zonas, por lo que provocaría la disponibilidad de alimentos y por ende la llegada de ballenas azules.
6. A lo largo de este estudio se han identificado diversas problemáticas para acoplar los datos acústicos con los oceanográficos que se resumen en: 1) La falta de información necesaria para el modelo RAM, sobre las características de las señales acústicas de los misticetos y las características ambientales del área de estudio. 2) El rango de detección de las señales acústicas, cómo varía espacialmente (horizontal y verticalmente) y según los parámetros utilizados para su cálculo; y 3) La escala espacial de los datos acústicos y oceanográficos, que deben ser posibles de acoplar y apropiadas para el tipo de estudio.



7. A partir de estas problemáticas se destacan los siguientes desafíos para mejorar la metodología utilizada en este estudio: 1) Promover nuevos estudios acústicos y oceanográficos enfocados en determinar los SL para los misticetos que llegan a la zona y para determinar los sedimentos que componen el fondo marino de la EC; 2) Definir de qué manera los cambios de posición horizontal y vertical del glider puede influir en su capacidad de detectar la señales acústicas debido a las variaciones en el rango de detección; y 3) Incluir en próximos trabajos equipos que permitan establecer la presencia de zooplancton, con el fin de corroborar si la distribución acústica de los misticetos se debe o no a la disponibilidad de alimento. Además, en consideración de la importancia de las propiedades hidrográficas como proxys de distribución de ballenas, se requiere considerar registros de datos que abarquen una mayor área espacial y también por tiempos más prologados, tanto a nivel anual, estacional e intraestacional.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abramson, J. Z., & Gibbons, J. (2010). New records of blue whales *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758) in winter season in the inlet waters of Chiloé continental-Chile. *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 38(2), 107–109. <https://doi.org/10.4067/S0718-686X2010000200010>
- Acevedo, J., Aguayo-Lobo, A., González, A., Haro, D., Olave, C., Quezada, F., Martínez, F., Garthe, S., & Cáceres, B. (2017). Occurrence of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in the Magellan Strait from 2004–2015, Chile. *Aquatic Mammals*, 43(1), 63–72. <https://doi.org/10.1578/AM.43.1.2017.63>
- Aguayo-Lobo, A., Acevedo, J., & Vargas, R. (2006). Diversidad de mamíferos marinos en las aguas del archipiélago de Los Chonos (43° 39' S - 45° 50' S), XI región de Chile. *Ciencia y Tecnología Del Mar*, 29(2), 129–145. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62429208>
- Aguayo-Lobo, A., Bernal, R., Olavarría, C., Vallejos, V., & Hucke-Gaete, R. (1998). Observaciones de cetáceos realizadas entre Valparaíso e isla de Pascua, Chile, durante los inviernos de 1993, 1994 y 1995. In *revista de Biología Marina y Oceanografía* (Vol. 33, Issue 1, pp. 101–123).
- Aguirre-Gutiérrez, J., Carvalheiro, L. G., Polce, C., van Loon, E. E., Raes, N., Reemer, M., & Biesmeijer, J. C. (2013). Fit-for-Purpose: Species Distribution Model Performance Depends on Evaluation Criteria – Dutch Hoverflies as a Case Study. *PLoS ONE*, 8(5), e63708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063708>
- Aniceto, A. S., Pedersen, G., Primicerio, R., Biuw, M., Lindstrøm, U., & Camus, L. (2020). Arctic Marine Data Collection Using Oceanic Gliders: Providing Ecological Context to Cetacean Vocalizations. *Frontiers in Marine Science*, 7:585754. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.585754>
- Ashjian, C. J., Braund, S. R., Campbell, R. G., George, J. C., Kruse, J., Maslowski, W., Moore, S. E., Nicolson, C. R., Okkonen, S. R., Sherr, B. F., Sherr, E. B., & Spitz, Y. H. (2010). Climate variability, oceanography, bowhead whale distribution, and Iñupiat subsistence whaling near Barrow, Alaska. *Arctic*, 63(2), 179–194. <https://doi.org/10.14430/arctic973>
- Au, W. W., & Hastings, M. C. (2008). *Principles of Marine Bioacoustics* (Springer, Vol. 510). <https://doi.org/10.3397/1.3486045>
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1–

2), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.07.005>

- Barlow, D. R., Bernard, K., Escobar-Flores, P., Palacios, D., & Torres, L. (2020). Links in the trophic chain: Modeling functional relationships between in situ oceanography, krill, and blue whale distribution under different oceanographic regimes. *Marine Ecology Progress Series*, *642*, 207–225. <https://doi.org/10.3354/meps13339>
- Barlow, D. R., Klinck, H., Ponirakis, D., Garvey, C., & Torres, L. G. (2021). Temporal and spatial lags between wind, coastal upwelling, and blue whale occurrence. *Scientific Reports*, *11*:6915. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86403-y>
- Baumgartner, M. F., Bonnell, J., Corkeron, P. J., Van Parijs, S. M., Hotchkin, C., Hodges, B. A., Bort Thornton, J., Mensi, B. L., & Bruner, S. M. (2020). Slocum Gliders Provide Accurate Near Real-Time Estimates of Baleen Whale Presence From Human-Reviewed Passive Acoustic Detection Information. *Frontiers in Marine Science*, *7*:100. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00100>
- Baumgartner, M. F., & Fratantoni, D. M. (2008). Diel periodicity in both sei whale vocalization rates and the vertical migration of their copepod prey observed from ocean gliders. *Limnology and Oceanography*, *53*(5, part 2), 2197–2209. [https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.5\\_part\\_2.2197](https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.5_part_2.2197)
- Baumgartner, M. F., Fratantoni, D. M., Hurst, T. P., Brown, M. W., Cole, T. V. N., Van Parijs, S. M., & Johnson, M. (2013). Real-time reporting of baleen whale passive acoustic detections from ocean gliders. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *134*(3), 1814–1823. <https://doi.org/10.1121/1.4816406>
- Baumgartner, M. F., & Mussoline, S. E. (2011). A generalized baleen whale call detection and classification system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *129*(5), 2889–2902. <https://doi.org/10.1121/1.3562166>
- Baumgartner, M. F., Stafford, K. M., & Latha, G. (2018). Near Real-Time Underwater Passive Acoustic Monitoring of Natural and Anthropogenic Sounds. In R. Venkatesan, A. Tandon, E. D’Asaro, & M. A. Atmanand (Eds.), *Observing the Oceans in Real Time* (Springer O, pp. 203–226). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66493-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66493-4_10)
- Baumgartner, M. F., Stafford, K. M., Winsor, P., Statscewich, H., & Fratantoni, D. M. (2014). Glider-Based Passive Acoustic Monitoring in the Arctic. *Marine Technology Society Journal*, *48*(5), 40–51. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.48.5.2>
- Baumgartner, M. F., Van Parijs, S. M., Wenzel, F. W., Tremblay, C. J., Carter Esch, H., & Warde, A. M. (2008). Low frequency vocalizations attributed to sei whales ( *Balaenoptera borealis* ). *The Journal of the Acoustical Society of America*, *124*(2), 1339–1349. <https://doi.org/10.1121/1.2945155>

- Bedriñana-Romano, L., Hucke-Gaete, R., Viddi, F. A., Johnson, D., Zerbini, A. N., Morales, J., Mate, B., & Palacios, D. M. (2021). Defining priority areas for blue whale conservation and investigating overlap with vessel traffic in Chilean Patagonia, using a fast-fitting movement model. *Scientific Reports*, *11*:2709. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82220-5>
- Bedriñana-Romano, L., Hucke-Gaete, R., Viddi, F. A., Morales, J., Williams, R., Ashe, E., Garcés-Vargas, J., Torres-Florez, J. P., & Ruiz, J. (2018). Integrating multiple data sources for assessing blue whale abundance and distribution in Chilean Northern Patagonia. *Diversity and Distributions*, *00*, 1–14. <https://doi.org/10.1111/ddi.12739>
- Berchok, C. L., Bradley, D. L., & Gabrielson, T. B. (2006). St. Lawrence blue whale vocalizations revisited: Characterization of calls detected from 1998 to 2001. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *120*(4), 2340–2354. <https://doi.org/10.1121/1.2335676>
- Betti, F., Castro, L. ., Bavestrello, G., Enrichetti, F., & Daneri, G. (2020). *Distribution , abundance and ecological requirements of the benthic phase of Munida gregaria ( Anomura ; Munididae ) in the Puyuhuapi Fjord ( Chilean Patagonia )*. *40*.
- Bocconcelli, A., Hickmott, L., Briones, R. L., Howes, G., & Sayigh, L. (2015). Blue whales (*Balenoptera musculus*) in the Canal Moraleda and Golfo Corcovado, Chile. In IEEE (Ed.), *OCEANS 2015 - Genova* (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271519>
- Browning, E., Gibb, R., Glover-Kapfer, P., Jones, K. E., Billington, G., Burivalova, Z., Clink, D., De Ridder, J., Halls, J., Hastings, T., Jacoby, D., Kalan, A., Kershenbaum, A., Linke, S., Lucas, S., Machado, R., Owens, P., Sutter, C., Trethowan, P., ... Wrege, P. (2017). Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. *WWF Conservation Technology Series*, *1*(2), 1–75.
- Buchan, S., Balcazar-Cabrera, N., & Stafford, K. M. (2020). Seasonal acoustic presence of blue, fin, and minke whales off the Juan Fernández Archipelago, Chile (2007–2016). *Marine Biodiversity*, *50*(5). <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01087-3>
- Buchan, S., Hucke-Gaete, R., Rendell, L., & Stafford, K. M. (2014). A new song recorded from blue whales in the Corcovado Gulf, Southern Chile, and an acoustic link to the Eastern Tropical Pacific. *Endangered Species Research*, *23*(3), 241–252. <https://doi.org/10.3354/esr00566>
- Buchan, S., Hucke-Gaete, R., Stafford, K. M., & Clark, C. (2018). Occasional acoustic presence of Antarctic blue whales on a feeding ground in southern Chile. *Marine Mammal Science*, *34*(1), 220–228. <https://doi.org/10.1111/mms.12441>

- Buchan, S., Pérez-Santos, I., Narváez, D., Castro, L., Stafford, K. M., Baumgartner, M. F., Valle-Levinson, A., Montero, P., Gutiérrez, L., Rojas, C., Daneri, G., & Neira, S. (2021). Intraseasonal variation in southeast Pacific blue whale acoustic presence, zooplankton backscatter, and oceanographic variables on a feeding ground in Northern Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography*, *199*, 102709. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102709>
- Buchan, S., & Quiñones, R. (2016). First insights into the oceanographic characteristics of a blue whale feeding ground in northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, *554*, 183–199. <https://doi.org/10.3354/meps11762>
- Buchan, S., Rendell, L., & Hucke-Gaete, R. (2010). Preliminary recordings of blue whale (*Balaenoptera musculus*) vocalizations in the Gulf of Corcovado, northern Patagonia, Chile. *Marine Mammal Science*, *26*(2), 451–459. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2009.00338.x>
- Buchan, S., Stafford, K. M., & Hucke-Gaete, R. (2015). Seasonal occurrence of southeast Pacific blue whale songs in southern Chile and the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science*, *31*(2), 440–458. <https://doi.org/10.1111/mms.12173>
- Buchan, S., Vásquez, P., Olavarría, C., & Castro, L. (2021). Prey items of baleen whale species off the coast of Chile from fecal plume analysis. *Marine Mammal Science*, *37*(3), 1116–1127. <https://doi.org/10.1111/mms.12782>
- Burkhardt-Holm, P., & N'Guyen, A. (2019). Ingestion of microplastics by fish and other prey organisms of cetaceans, exemplified for two large baleen whale species. *Marine Pollution Bulletin*, *144*, 224–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.068>
- Burtenshaw, J. C., Oleson, E. M., Hildebrand, J. A., McDonald, M. A., Andrew, R. K., Howe, B. M., & Mercer, J. A. (2004). Acoustic and satellite remote sensing of blue whale seasonality and habitat in the Northeast Pacific. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, *51*(10–11), 967–986. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.06.020>
- Cabrera, E., Carlson, C. A., & Galletti Vernazzani, B. (2005). Presence of blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the northwestern coast of Chiloé Island, southern Chile. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, *4*(1), 73–74. <https://doi.org/10.5597/lajam00073>
- Calderan, S., Miller, B., Collins, K., Ensor, P., Double, M., Leaper, R., & Barlow, J. (2014a). Low-frequency vocalizations of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in the Southern Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *136*(6), EL418–EL423. <https://doi.org/10.1121/1.4902422>
- Calderan, S., Miller, B., Collins, K., Ensor, P., Double, M., Leaper, R., & Barlow, J.

- (2014b). Low-frequency vocalizations of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in the Southern Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 136(6), EL418–EL423. <https://doi.org/10.1121/1.4902422>
- Castro, L. ., Soto-Mendoza, S., & González-Saldías, F. (2019). Ontogenetic and short-term fluctuations in the residence depth of young pelagic stages of *Munida gregaria* in different zones of northern Patagonia. *Progress in Oceanography*, 174, 173–184. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.09.018>
- Castro, L., Cáceres, M. A., Silva, N., Muñoz, M. I., León, R., Landaeta, M. F., & Soto-Mendoza, S. (2011). Short-term variations in mesozooplankton, ichthyoplankton, and nutrients associated with semi-diurnal tides in a patagonian Gulf. *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.005>
- Collins, M. D. (1993). A split-step Padé solution for the parabolic equation method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 93(4), 1736–1742. <https://doi.org/10.1121/1.406739>
- Colpaert, W., Briones, R. L., Chiang, G., & Sayigh, L. S. (2016). Blue whales of the Chiloé-Corcovado region, Chile: Potential for anthropogenic noise impacts. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 27(1), 040009. <https://doi.org/10.1121/2.0000304>
- Cotté, C., D’Ovidio, F., Chaigneau, A., Lèvy, M., Taupier-Letage, I., Mate, B., & Guinet, C. (2011). Scale-dependent interactions of Mediterranean whales with marine dynamics. *Limnology and Oceanography*, 56(1), 219–232. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.1.0219>
- Croll, D. A., Marinovic, B., Benson, S., Chavez, F., Black, N., Ternullo, R., & Tershy, B. (2005). From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. *Marine Ecology Progress Series*, 289, 117–130. <https://doi.org/10.3354/meps289117>
- Dávila, P. M., Figueroa, D., & Müller, E. (2002). Freshwater input into the coastal ocean and its relation with the salinity distribution off austral Chile (35–55°s). *Continental Shelf Research*, 22(3), 521–534. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00072-3](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00072-3)
- Davis, G., Baumgartner, M. F., Bonnell, J., Bell, J., Berchok, C. L., Bort Thornton, J., Brault, S., Buchanan, G., Charif, R. A., Cholewiak, D., Clark, C. W., Corkeron, P., Delarue, J., Dudzinski, K., Hatch, L., Hildebrand, J., Hodge, L., Klinck, H., Kraus, S., ... Van Parijs, S. M. (2017). Long-term passive acoustic recordings track the changing distribution of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) from 2004 to 2014. *Scientific Reports*, 7(1), 13460. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13359-3>
- Davis, R., Baumgartner, M. F., Comeau, A., Cunningham, D., Davies, K., Furlong,

- A., Johnson, H., L'Orsa, S., Ross, T., Taggart, C., & Whoriskey, F. (2016). Tracking whales on the Scotian Shelf using passive acoustic monitoring on ocean gliders. *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2016.7761461>
- De Vos, A., Pattiaratchi, C., & Harcourt, R. (2014). Inter-Annual Variability in Blue Whale Distribution off Southern Sri Lanka between 2011 and 2012. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2(3), 534–550. <https://doi.org/10.3390/jmse2030534>
- Delory, E., Quintana, E., Mccauley, R., Jolliffe, C., Warren, V. E., Širović, A., Mcpherson, C., Goetz, K. T., Radford, C. A., & Constantine, R. (2021). *Passive Acoustic Monitoring Reveals Spatio-Temporal Distributions of Antarctic and Pygmy Blue Whales Around Central New Zealand*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.575257>
- Doniol-Valcroze, T., Berteaux, D., Larouche, P., & Sears, R. (2007). Influence of thermal fronts on habitat selection by four rorqual whale species in the Gulf of St. Lawrence. *Marine Ecology Progress Series*, 335, 207–216. <https://doi.org/10.3354/meps335207>
- DOSITS. (2021). *Discovery of Sound in the Sea, University of Rhode Island Graduate School of Oceanography*. <https://dosits.org/glossary/passive-acoustic-monitoring-pam/>
- Español-Jiménez, S., Bahamonde, P. A., Chiang, G., & Häussermann, V. (2019). Discovering sounds in Patagonia: characterizing sei whale (*Balaenoptera borealis*) downsweeps in the south-eastern Pacific Ocean. *Ocean Science*, 15(1), 75–82. <https://doi.org/10.5194/os-15-75-2019>
- Fiedler, P. C., Redfern, J., Forney, K. A., Palacios, D. M., Sheredy, C., Rasmussen, K., García-Godos, I., Santillán, L., Tetley, M. J., Félix, F., & Ballance, L. T. (2018). Prediction of large whale distributions: A comparison of presence-absence and presence-only modeling techniques. *Frontiers in Marine Science*, 5(NOV). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00419>
- Galletti Vernazzani, B., Carlson, C. A., Cabrera, E., & Brownell, R. L. (2012). Chilean blue whales off Isla Grande de Chiloe, 2004-2010: Distribution, site-fidelity and behaviour. *Journal of Cetacean Research and Management*, 12(3), 353–360.
- Galletti Vernazzani, B., Jackson, J. A., Cabrera, E., Carlson, C. A., & Brownell, R. L. (2017). Estimates of abundance and trend of Chilean blue whales off Isla de Chiloe, Chile. *PLoS ONE*, 12(1), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168646>
- García, L. G., Pierce, G. J., Autret, E., & Torres-Palenzuela, J. M. (2018). Multi-scale habitat preference analyses for Azorean blue whales. *PLoS ONE*, 13(9),

e0201786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201786>

- González, H., Calderón, M. J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L. A. LA, Daneri, G., Iriarte, J. L., Lizárraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C. A., & Molinet, C. (2010). Primary production and plankton dynamics in the Reloncaví Fjord and the Interior Sea of Chiloé, northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, *402*, 13–30. <https://doi.org/10.3354/meps08360>
- González, H., Castro, L., Daneri, G., Iriarte, J. L., Silva, N., Tapia, F., Teca, E., & Vargas, C. A. (2013). Land-ocean gradient in haline stratification and its effects on plankton dynamics and trophic carbon fluxes in Chilean Patagonian fjords (47–50°S). *Progress in Oceanography*, *119*, 32–47. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.06.003>
- González, H., Castro, L., Daneri, G., Iriarte, J. L., Silva, N., Vargas, C. A., Giesecke, R., & Sánchez, N. (2011). Seasonal plankton variability in Chilean Patagonia fjords: Carbon flow through the pelagic food web of Aysen Fjord and plankton dynamics in the Moraleda Channel basin. *Continental Shelf Research*, *31*(3–4), 225–243. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.08.010>
- González, H., Nimptsch, J., Giesecke, R., & Silva, N. (2019). Organic matter distribution, composition and its possible fate in the Chilean North-Patagonian estuarine system. *Science of The Total Environment*, *657*, 1419–1431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.445>
- Gregg, E. J., & Trites, A. W. (2001). Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *58*(7), 1265–1285. <https://doi.org/10.1139/f01-078>
- Guzmán, D., & Silva, N. (2002). Caracterización Física Y Química Y Masas De Agua En Los Canales Australes De Chile Entre Boca Del Guafo Y Golfo Elefantes. *Ciencia y Tecnología Del Mar CONA*, *25*(2), 45–76.
- Hamamé, M., & Antezana, T. (2010). Vertical diel migration and feeding of *Euphausia vallentini* within southern Chilean fjords. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, *57*(7–8), 642–651. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.10.013>
- Hamilton, E. L. (1979). Sound velocity gradients in marine sediments. *Journal of the Acoustical Society of America*, *65*(4), 909–922. <https://doi.org/10.1121/1.382594>
- Hazen, E. L., Friedlaender, A. S., Thompson, M. A., Ware, C. R., Weinrich, M. T., Halpin, P. N., & Wiley, D. N. (2009). Fine-scale prey aggregations and foraging ecology of humpback whales *Megaptera novaeangliae*. *Marine Ecology Progress Series*, *395*, 75–89. <https://doi.org/10.3354/meps08108>



- Heide-Jørgensen, M. P., Simon, M. J., & Laidre, K. L. (2007). Estimates of large whale abundance in Greenlandic waters from a ship-based survey in 2005. *Journal of Cetacean Research and Management*, 9(2), 95–104.
- Hernández, O. G., Artigas, R. C., González, J. M. S., & García, L. V. (2018). Predictive modeling in Biogeography: Applying ecological niche modelling in Physical Geography. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2018(78), 88–126. <https://doi.org/10.21138/bage.2395>
- Hildebrand, J. A., Gentes, Z. E., Johnson, S. C., Frasier, K. E., Merckens, K., Thayre, B. J., & Wiggins, S. M. (2013). *Acoustic Monitoring of Cetaceans in the Northern Gulf of Mexico using Wave Gliders equipped with High-Frequency Acoustic Recording Packages* (Issue March).
- Holte, J., & Talley, L. (2009). A new algorithm for finding mixed layer depths with applications to argo data and subantarctic mode water formation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(9), 1920–1939. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHO543.1>
- Howatt, T., Ross, T., & Waterman, S. (2017). Ocean Gliders to Study Baleen Whale Habitat in Roseway Basin. *CMOS Bulletin SCMO*, 45(1), 19–21.
- Hucke-Gaete, R., Bedriñana-Romano, L., Viddi, F. A., Ruiz, J. E., Torres-Florez, J. P., & Zerbini, A. N. (2018). From Chilean Patagonia to Galapagos, Ecuador: Novel insights on blue whale migratory pathways along the Eastern South Pacific. *PeerJ*, 2018(4), 1–22. <https://doi.org/10.7717/peerj.4695>
- Hucke-Gaete, R., Haro, D., Torres-Florez, J. P., Montecinos, Y., Viddi, F. A., Bedriñana-Romano, L., Nery, M. F., & Ruiz, J. (2013). A historical feeding ground for humpback whales in the eastern South Pacific revisited: the case of northern Patagonia, Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(6), 858–867. <https://doi.org/10.1002/aqc.2343>
- Hucke-Gaete, R., Osman, L. P., Moreno, C., Findlay, K. P., & Ljungblad, D. K. (2004). Discovery of a blue whale feeding and nursing ground in southern Chile. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271(suppl\_4), S170–S173. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2003.0132>
- Iriarte, J. L., Gonzalez, H. E., & Nahuelhual, L. (2010). Patagonian fjord ecosystems in Southern Chile as a highly vulnerable region: Problems and needs. *Ambio*, 39(7), 463–466. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0049-9>
- Iriarte, J. L., González, H., Liu, K. K., Rivas, C., & Valenzuela, C. (2007). Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile (41.5–43° S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74(3), 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.05.015>
- Iriarte, J. L., León-Muñoz, J., Marcé, R., Clément, A., & Lara, C. (2017). Influence

of seasonal freshwater streamflow regimes on phytoplankton blooms in a Patagonian fjord. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 51(2), 304–315. <https://doi.org/10.1080/00288330.2016.1220955>

Iriarte, J. L., Quiñones, R., & González, R. R. (2005). Relationship between biomass and enzymatic activity of a bloom-forming dinoflagellate (Dinophyceae) in southern Chile (41° S): A field approach. *Journal of Plankton Research*, 27(2), 159–166. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbh167>

IUCN. (2020). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1*. <https://www.iucnredlist.org>

Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B., & Schmidt, H. (2011). *Computational Ocean Acoustics* (Springer S).

Kapel, F. O. (1985). On the occurrence of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in West Greenland waters. *Report - International Whaling Commission*, 35, 349–352.

Kawamura, A. (1974). Food and feeding ecology in the southern sei whale\*. *Sci. Rep. Whales Res. Inst*, 26, 25–144.

Küsel, E. T., Mellinger, D., Thomas, L., Marques, T. A., Moretti, D., & Ward, J. A. (2011). Cetacean population density estimation from single fixed sensors using passive acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6), 3610–3622. <https://doi.org/10.1121/1.3583504>

Küsel, E. T., Munoz, T., Siderius, M., Mellinger, D., & Heimlich, S. (2017). Marine mammal tracks from two-hydrophone acoustic recordings made with a glider. *Ocean Science*, 13(2), 273–288. <https://doi.org/10.5194/os-13-273-2017>

Leaper, R., Bannister, J. L., Branch, T. A., Clapham, P. J., Donovan, G. P., Matsuoka, K., Reilly, S., & Zerbini, A. N. (2008). A review of abundance, trends and foraging parameters of baleen whales in the Southern Hemisphere. Paper SC/60.EM3 presented to the IWC Scientific Committee June. In *Paper SC/60.EM3 presented to the IWC Scientific Committee June*. <https://www.researchgate.net/publication/268335361>

León, R., Castro, L., & Cáceres, M. (2008). Dispersal of *Munida gregaria* (Decapoda: Galatheidae) larvae in Patagonian channels of southern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 65(7), 1131–1143. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn093>

Lewis, L. A., Calambokidis, J., Stimpert, A. K., Fahlbusch, J., Friedlaender, A. S., McKenna, M. F., Mesnick, S. L., Oleson, E. M., Southall, B. L., & Szesciorka, A. R. (2018). Context-dependent variability in blue whale acoustic behaviour. *Royal Society Open Science*, 5(8). <https://doi.org/10.1098/rsos.180241>

Mackintosh, N. A. (1946). THE NATURAL HISTORY OF WHALEBONE WHALES. *Biological Reviews*, 21(2), 60–74. <https://doi.org/10.1111/j.1469->

185X.1946.tb00453.x

- Madsen, P. T. (2005). Marine mammals and noise: Problems with root mean square sound pressure levels for transients. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(6), 3952–3957. <https://doi.org/10.1121/1.1921508>
- Mannocci, L., Boustany, A. M., Roberts, J. J., Palacios, D., Dunn, D. C., Halpin, P. N., Viehman, S., Moxley, J., Cleary, J., Bailey, H., Bograd, S. J., Becker, E. A., Gardner, B., Hartog, J. R., Hazen, E. L., Ferguson, M. C., Forney, K. A., Kinlan, B. P., Oliver, M. J., ... Winship, A. J. (2017). Temporal resolutions in species distribution models of highly mobile marine animals: Recommendations for ecologists and managers. *Diversity and Distributions*, 23(10), 1098–1109. <https://doi.org/10.1111/ddi.12609>
- Marques, T. A., Thomas, L., Ward, J. A., DiMarzio, N., & Tyack, P. L. (2009). Estimating cetacean population density using fixed passive acoustic sensors: An example with Blainville's beaked whales. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(4), 1982–1994. <https://doi.org/10.1121/1.3089590>
- Matthews, L. H. (1932). Lobster-krill. Anomuran Crustacea that are the food of whales. *Discovery Reports*, 5, 467–484, 1 fig., 1 pl.
- Meerhoff, E., Castro, L., & Tapia, F. J. (2013). Influence of freshwater discharges and tides on the abundance and distribution of larval and juvenile *munida gregaria* in the baker river estuary, chilean patagonia. *Continental Shelf Research*, 61–62, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.025>
- Meerhoff, E., Tapia, F. J., & Castro, L. (2014). Spatial structure of the meroplankton community along a Patagonian fjord - The role of changing freshwater inputs. *Progress in Oceanography*, 129, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.05.015>
- Meerhoff, E., Tapia, F. J., Sobarzo, M., & Castro, L. (2014). Influence of estuarine and secondary circulation on crustacean larval fluxes: A case study from a Patagonian fjord. *Journal of Plankton Research*, 37(1), 168–182. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbu106>
- Mellinger, D. (2002). Passive acoustic monitoring of sperm whales in the Gulf of Mexico, with a model of acoustic detection distance. In *Proceedings: Twenty-first annual Gulf of Mexico information transfer meeting* (pp. 493–501). <ftp://heceta.pmel.noaa.gov/newport/mellinger/papers/MellingerEtAl03-SpermMonitoring+DetDistance.pdf>
- Mellinger, D., Stafford, K. M., Moore, S., Dziak, R., & Matsumoto, H. (2007). An Overview of Fixed Passive Acoustic Observation Methods for Cetaceans. *Oceanography*, 20(4), 36–45. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2007.03>
- Mendelssohn, R. (2020). *rerddapXtracto: Extracts Environmental Data from*

'ERDDAP' Web Services.

- Meyer, D. (2016). Glider Technology for Ocean Observations: A Review. *Ocean Science Discussions*, 1–26. <https://doi.org/10.5194/os-2016-40>
- Montero, P., Daneri, G., González, H., Iriarte, J. L., Tapia, F. J., Lizárraga, L., Sanchez, N., & Pizarro, O. (2011). Seasonal variability of primary production in a fjord ecosystem of the Chilean Patagonia: Implications for the transfer of carbon within pelagic food webs. *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.003>
- Montero, P., Pérez-Santos, I., Daneri, G., Gutiérrez, M. H., Igor, G., Seguel, R., Purdie, D., & Crawford, D. W. (2017). A winter dinoflagellate bloom drives high rates of primary production in a Patagonian fjord ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 105–116. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.027>
- Moore, S. E., Howe, B. M., Stafford, K. M., & Boyd, M. L. (2007). Including Whale Call Detection in Standard Ocean Measurements: Application of Acoustic Seagliders. *Marine Technology Society Journal*, 41(4), 53–57. <https://doi.org/10.4031/002533207787442033>
- Murase, H., Kitakado, T., Hakamada, T., Matsuoka, K., Nishiwaki, S., & Naganobu, M. (2013). Spatial distribution of Antarctic minke whales (*Balaenoptera bonaerensis*) in relation to spatial distributions of krill in the Ross Sea, Antarctica. *Fisheries Oceanography*, 22(3), 154–173. <https://doi.org/10.1111/fog.12011>
- Nieukirk, S. L., Freitas, T. R. O., Mellinger, D., & Klinck, H. (2016). A complex baleen whale call recorded in the Mariana Trench Marine National Monument. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(3), EL274–EL279. <https://doi.org/10.1121/1.4962377>
- Nieukirk, S. L., Mellinger, D. K., Dziak, R. P., Matsumoto, H., & Klinck, H. (2020). Multi-year occurrence of sei whale calls in North Atlantic polar waters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(3), 1842–1850. <https://doi.org/10.1121/10.0000931>
- Oestreich, W. K., Fahlbusch, J. A., Cade, D. E., Calambokidis, J., Margolina, T., Joseph, J., Friedlaender, A. S., McKenna, M. F., Stimpert, A. K., Southall, B. L., Goldbogen, J. A., & Ryan, J. P. (2020). Animal-Borne Metrics Enable Acoustic Detection of Blue Whale Migration. *Current Biology*, 30(23), 4773–4779.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.08.105>
- Oleson, E. M., Calambokidis, J., Burgess, W. C., McDonald, M. A., LeDuc, C. A., & Hildebrand, J. A. (2007a). Behavioral context of call production by eastern North Pacific blue whales. *Marine Ecology Progress Series*, 330, 269–284. <https://doi.org/10.3354/meps330269>

- Oleson, E. M., Calambokidis, J., Burgess, W., McDonald, M., LeDuc, C., & Hildebrand, J. (2007b). Behavioral context of call production by eastern North Pacific blue whales. *Marine Ecology Progress Series*, 330, 269–284. <https://doi.org/10.3354/meps330269>
- Palacios, D. D. M., Baumgartner, M. F., Laidre, K. L. K., & Gregr, E. J. E. (2013). Beyond correlation: integrating environmentally and behaviourally mediated processes in models of marine mammal distributions. *Endangered Species Research*, 22(3), 191–203. <https://doi.org/10.3354/esr00558>
- Palma, S., & Silva, N. (2004). Distribution of siphonophores, chaetognaths, euphausiids and oceanographic conditions in the fjords and channels of southern Chile. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6–9), 513–535. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.001>
- Panigada, S., Zanardelli, M., MacKenzie, M., Donovan, C., Mélin, F., & Hammond, P. S. (2008). Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*, 112(8), 3400–3412. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.11.017>
- Parks, S., Searby, A., Célérier, A., Johnson, M., Nowacek, D., & Tyack, P. L. (2011). Sound production behavior of individual North Atlantic right whales: implications for passive acoustic monitoring. *Endangered Species Research*, 15(1), 63–76. <https://doi.org/10.3354/esr00368>
- Pavés, H. J., González, H., Castro, L., & Iriarte, J. L. (2015). Carbon Flows Through the Pelagic Sub-food Web in Two Basins of the Chilean Patagonian Coastal Ecosystem: the Significance of Coastal–Ocean Connection on Ecosystem Parameters. *Estuaries and Coasts*, 38(1), 179–191. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9780-y>
- Pérez-Santos, I., Díaz, P. A., Silva, N., Garreaud, R., Montero, P., Henríquez-Castillo, C., Barrera, F., Linford, P., Amaya, C., Contreras, S., Aracena, C., Pinilla, E., Altamirano, R., Vallejos, L., Pavez, J., & Maulen, J. (2021). Oceanography time series reveals annual asynchrony input between oceanic and estuarine waters in Patagonian fjords. *Science of the Total Environment*, 798(July), 149241. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149241>
- Pérez-Santos, I., Garcés-Vargas, J., Schneider, W., Ross, L., Parra, S., & Vallelevinson, A. (2014). Double-diffusive layering and mixing in Patagonian fjords. *Progress in Oceanography*, 129, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.03.012>
- Perrin, W. F., Würsig, B., & Thewissen, J. G. M. (2009). Encyclopedia of Marine Mammals. In W. F. Perrin, B. Würsig, & J. G. M. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373553-9.X0001-6>

- Pizarro, O., Ramirez, N., Castillo, M. I., Cifuentes, U., Rojas, W., & Pizarro-Koch, M. (2016). Underwater glider observations in the oxygen minimum zone off central Chile. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *97*(10), 1783–1789. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00040.1>
- Prieto, R., Janiger, D., Silva, M. A., Waring, G. T., & Gonçalves, J. M. (2012). The forgotten whale: A bibliometric analysis and literature review of the North Atlantic sei whale *Balaenoptera borealis*. *Mammal Review*, *42*(3), 235–272. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2011.00195.x>
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. In *R Foundation for Statistical Computing*.
- Rankin, S., & Barlow, J. (2007). Vocalizations of the sei whale *balaenoptera borealis* off the hawaiian islands. *Bioacoustics*, *16*(2), 137–145. <https://doi.org/10.1080/09524622.2007.9753572>
- Reeder, D. B., & Chiu, C.-S. (2010). Ocean acidification and its impact on ocean noise: Phenomenology and analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *128*(3), EL137. <https://doi.org/10.1121/1.3431091>
- Risch, D., Clark, C., Dugan, P. J., Popescu, M., Siebert, U., & Van Parijs, S. M. (2013). Minke whale acoustic behavior and multi-year seasonal and diel vocalization patterns in Massachusetts Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series*, *489*, 279–295. <https://doi.org/10.3354/meps10426>
- Rogers, T. L., Ciaglia, M. B., Klinck, H., & Southwell, C. (2013). Density Can Be Misleading for Low-Density Species: Benefits of Passive Acoustic Monitoring. *PLoS ONE*, *8*(1), e52542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052542>
- Romagosa, M., Baumgartner, M. F., Cascão, I., Lammers, M. O., Marques, T. A., Santos, R. S., & Silva, M. A. (2020). Baleen whale acoustic presence and behaviour at a Mid-Atlantic migratory habitat, the Azores Archipelago. *Scientific Reports*, *10*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61849-8>
- Saddler, M. R., Bocconcelli, A., Hickmott, L. S., Chiang, G., Landea-Briones, R., Bahamonde, P. A., Howes, G., Segre, P. S., & Sayigh, L. S. (2017). Characterizing Chilean blue whale vocalizations with DTAGs: a test of using tag accelerometers for caller identification. *The Journal of Experimental Biology*, *220*(22), 4119–4129. <https://doi.org/10.1242/jeb.151498>
- Saldías, G. S., Sobarzo, M., & Quiñones, R. (2019). Freshwater structure and its seasonal variability off western Patagonia. *Progress in Oceanography*, *174*(October), 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.10.014>
- Samaran, F., Adam, O., & Guinet, C. (2010). Detection range modeling of blue whale calls in Southwestern Indian Ocean. *Applied Acoustics*, *71*(11), 1099–1106. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.05.014>

- Samaran, F., Guinet, C., Adam, O., Motsch, J.-F., & Cansi, Y. (2010). Source level estimation of two blue whale subspecies in southwestern Indian Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *127*(6), 3800–3808. <https://doi.org/10.1121/1.3409479>
- Schall, E., Di Iorio, L., Berchok, C. L., Filún, D., Bedriñana-Romano, L., Buchan, S., Van Opzeeland, I., Sears, R., & Huckle-Gaete, R. (2020). Visual and passive acoustic observations of blue whale trios from two distinct populations. *Marine Mammal Science*, *36*(1), 365–374. <https://doi.org/10.1111/mms.12643>
- Seguel, M., & Pavés, H. J. (2018). Sighting patterns and habitat use of marine mammals at Guafo Island, Northern Chilean Patagonia during eleven austral summers. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, *53*(2), 237–250. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2018.53.2.1296>
- Shabangu, F. W., Findlay, K. P., Yemane, D., Stafford, K. M., van den Berg, M., Blows, B., & Andrew, R. K. (2019). Seasonal occurrence and diel calling behaviour of Antarctic blue whales and fin whales in relation to environmental conditions off the west coast of South Africa. *Journal of Marine Systems*, *190*, 25–39. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.11.002>
- Sievers, H., & Silva, N. (2006). Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. *Cona*, 53–58.
- Sievers, H., & Silva, N. (2008). Water masses and circulation in austral Chilean channels and fjords. *Progress in the Oceanographic Knowledge of Chilean Interior Waters, from Puerto Montt to Cape Horn*, 53–58.
- Silva, N. (2008). Dissolved oxygen, pH, and nutrients in the austral Chilean channels and fjords. *Progress in the Oceanographic Knowledge of Chilean Interior Waters, from Puerto Montt to Cape Horn.*, 37–43.
- Silva, N., & Astorga, M. I. (2010). Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos superficiales de la zona Puerto Montt a Boca del Guafo (Norpatagonia Chilena). *Latin American Journal of Aquatic Research*, *38*(1), 1–14. <https://doi.org/10.3856/vol38-issue1-fulltext-1>
- Silva, N., & Guzmán, D. (2006). Condiciones oceanográficas físicas y químicas, entre Boca del Guafo y Fiordo Aysén (crucero CIMAR 7 fiordos) Comité Oceanográfico Nacional. *Ciencia y Tecnología Del Mar*, *29*(1), 25–44. <https://doi.org/ISSN: 0716-2006>
- Silva, N., Reinoso, P., & Arancibia, G. (2011). Distribucion vertical de temperatura, salinidad, oxigeno disuelto y nutrientes , en la sección estero Reloncaví a boca del Guafo. (CONA C17F 11-08). *Resultados Preliminares Crucero CIMAR 17 Fiordos*, 25–34.
- Silva, N., & Vargas, C. A. (2014). Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. *Progress*

in *Oceanography*, 129, 62–74. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.05.016>

- Silva, N., Vargas, C. A., & Prego, R. (2011). Land-ocean distribution of allochthonous organic matter in surface sediments of the Chiloé and Aysén interior seas (Chilean Northern Patagonia). *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.009>
- Širović, A., & Hildebrand, J. A. (2011). Using passive acoustics to model blue whale habitat off the Western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(13–16), 1719–1728. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2010.08.019>
- Širović, A., Hildebrand, J. A., & Wiggins, S. M. (2007). Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(2), 1208–1215. <https://doi.org/10.1121/1.2749452>
- Širović, A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., McDonald, M. A., Moore, S. E., & Thiele, D. (2004). Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(17–19), 2327–2344. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.08.005>
- Širović, A., Rice, A., Chou, E., Hildebrand, J., Wiggins, S. M., & Roch, M. (2015). Seven years of blue and fin whale call abundance in the Southern California Bight. *Endangered Species Research*, 28(1), 61–76. <https://doi.org/10.3354/esr00676>
- Spalding, M. D., Fox, H. E., Allen, G. R., Davidson, N., Ferdaña, Z. A., Finlayson, M., Halpern, B. S., Jorge, M. A., Lombana, A., Lourie, S. A., Martin, K. D., McManus, E., Molnar, J., Recchia, C. A., & Robertson, J. (2007). Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, 57(7), 573–583. <https://doi.org/10.1641/b570707>
- Stafford, K. M., Chapp, E., Bohnenstiel, D. R., & Tolstoy, M. (2011). Seasonal detection of three types of “pygmy” blue whale calls in the Indian Ocean. *Marine Mammal Science*, 27(4), 828–840. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2010.00437.x>
- Stafford, K. M., Citta, J. J., Moore, S. E., Daher, M. A., & George, J. E. (2009). Environmental correlates of blue and fin whale call detections in the North Pacific Ocean from 1997 to 2002. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 37–53. <https://doi.org/10.3354/meps08362>
- Stafford, K. M., Mellinger, D., Moore, S. E., & Fox, C. G. (2007). Seasonal variability and detection range modeling of baleen whale calls in the Gulf of Alaska, 1999–2002. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(6), 3378–3390. <https://doi.org/10.1121/1.2799905>



- Stafford, K. M., Nieukirk, S. L., & Fox, C. G. (1999). Low-frequency whale sounds recorded on hydrophones moored in the eastern tropical Pacific. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *106*(6), 3687–3698.  
<https://doi.org/10.1121/1.428220>
- SUBPESCA. (n.d.). *Visualizador de mapas SUBPESCA*.  
<http://mapas.subpesca.cl/ideviewer/>
- Surma, S., Pakhomov, E. A., & Pitcher, T. J. (2014). Effects of Whaling on the Structure of the Southern Ocean Food Web: Insights on the “Krill Surplus” from Ecosystem Modelling. *PLoS ONE*, *9*(12), e114978.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114978>
- Szesciorka, A. R., Ballance, L. T., Širović, A., Rice, A., Ohman, M. D., Hildebrand, J. A., & Franks, P. J. S. (2020). Timing is everything: Drivers of interannual variability in blue whale migration. *Scientific Reports*, *10*(1), 7710.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-64855-y>
- Team, R. C. (2019). An Introduction to dplr. In *Industrial and Commercial Training*.
- Tetley, M. J., Mitchelson-Jacob, E. G., & Robinson, K. P. (2008). The summer distribution of coastal minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in the southern outer Moray Firth, NE Scotland, in relation to co-occurring mesoscale oceanographic features. *Remote Sensing of Environment*, *112*(8), 3449–3454.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.10.015>
- The Math Works Inc. (2020). *MATLAB 2020b*.
- Thomisch, K., Boebel, O., Clark, C., Hagen, W., Spiesecke, S., Zitterbart, D., & Van Opzeeland, I. (2016). Spatio-temporal patterns in acoustic presence and distribution of Antarctic blue whales *Balaenoptera musculus intermedia* in the Weddell Sea. *Endangered Species Research*, *30*(1), 239–253.  
<https://doi.org/10.3354/esr00739>
- Thompson, Paul O., Findlay, Lloyd T., Cummings, W. C. (1996). Underwater sounds of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Gulf of California. *Marine Mammal Science*, *12*(2), 288–293.
- Todd, R. E., Rudnick, D. L., Mazloff, M. R., Davis, R. E., & Cornuelle, B. D. (2011). Poleward flows in the southern California Current System: Glider observations and numerical simulation. *Journal of Geophysical Research*, *116*(C2), C02026. <https://doi.org/10.1029/2010JC006536>
- Torres, R., Silva, N., Reid, B., & Frangópulos, M. (2014). Silicic acid enrichment of subantarctic surface water from continental inputs along the Patagonian archipelago interior sea (41-56°S). *Progress in Oceanography*, *129*(PA), 50–61.  
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.09.008>

- Urick, R. (1975). *Principles of underwater sound-2*.
- Urick, R. (1979). *Sound propagation in the sea* (DARPA).
- Vásquez, S. I., de la Torre, M. B., Saldías, G. S., & Montecinos, A. (2021). Meridional changes in satellite chlorophyll and fluorescence in optically-complex coastal waters of northern patagonia. *Remote Sensing*, *13*(5), 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs13051026>
- Verfuss, U. K., Aniceto, A. S., Harris, D. V., Gillespie, D., Fielding, S., Jiménez, G., Johnston, P., Sinclair, R. R., Sivertsen, A., Solbø, S. A., Storbvold, R., Biuw, M., & Wyatt, R. (2019). A review of unmanned vehicles for the detection and monitoring of marine fauna. *Marine Pollution Bulletin*, *140*, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.009>
- Viddi, F. A., Hucke-Gaete, R., Torres-Florez, J. P., & Ribeiro, S. (2010). Spatial and seasonal variability in cetacean distribution in the fjords of northern Patagonia, Chile. *ICES Journal of Marine Science*, *67*(5), 959–970. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp288>
- Vila, A. R., Falabella, V., Gálvez, M., Farías, A., Droguett, D., & Saavedra, B. (2016). Identifying high-value areas to strengthen marine conservation in the channels and fjords of the southern Chile ecoregion. *Oryx*, *50*(2), 308–316. <https://doi.org/10.1017/S0030605314000908>
- Virgili, A., Hedon, L., Authier, M., Calmettes, B., Claridge, D., Cole, T., Corkeron, P., Dorémus, G., Dunn, C., Dunn, T. E., Laran, S., Lehodey, P., Lewis, M., Louzao, M., Mannocci, L., Martínez-Cedeira, J., Monestiez, P., Palka, D., Pettex, E., ... Ridoux, V. (2021). Towards a better characterisation of deep-diving whales' distributions by using prey distribution model outputs? *PLOS ONE*, *16*(8), e0255667. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255667>
- Wang, D., Huang, W., Garcia, H., & Ratilal, P. (2016). Vocalization source level distributions and pulse compression gains of diverse baleen whale species in the Gulf of Maine. *Remote Sensing*, *8*(11), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs8110881>
- Webb, D. C., Simonetti, P. J., & Jones, C. P. (2001). SLOCUM: an underwater glider propelled by environmental energy. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, *26*(4), 447–452. <https://doi.org/10.1109/48.972077>
- Wood, S. N. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B: Statistical Methodology*, *73*(1), 3–36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x>
- Wright, A. J., Akamatsu, T., Mouritsen, K. N., Sveegaard, S., Dietz, R., & Teilmann, J. (2017). Silent porpoise: potential sleeping behaviour identified in wild harbour porpoises. *Animal Behaviour*, *133*, 211–222.

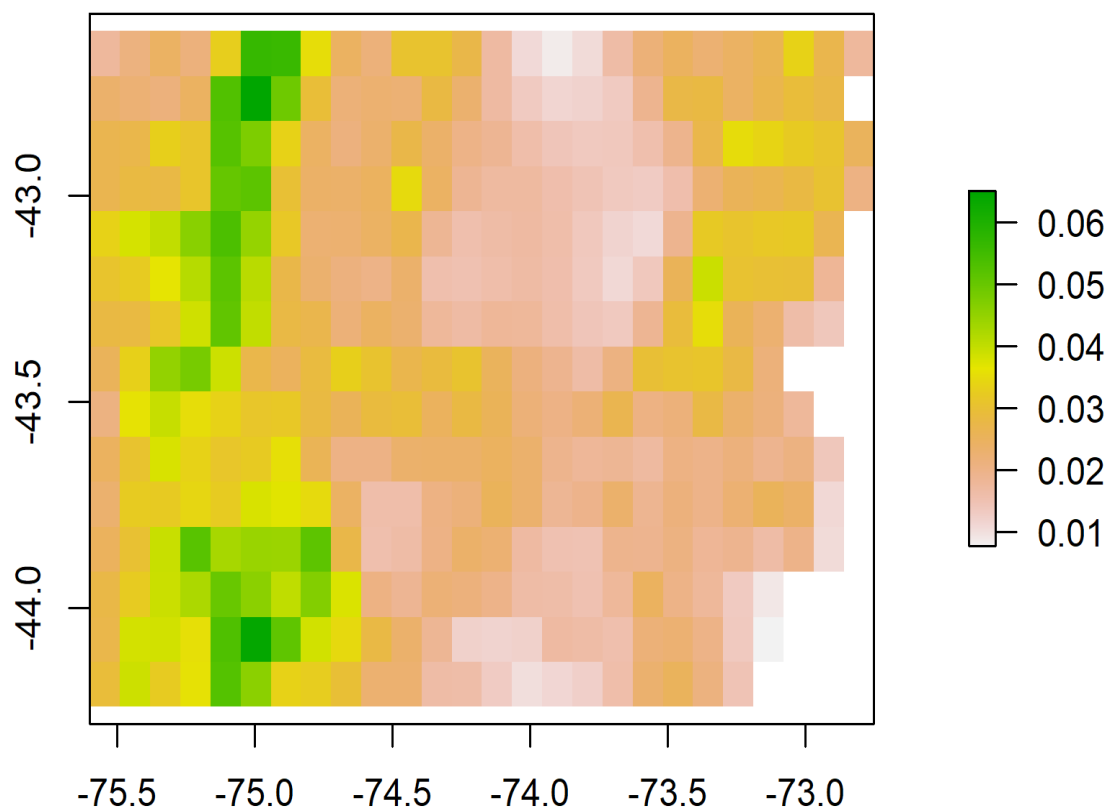
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.09.015>

Zimmer, W. M. X. (2011). *Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans*. Cambridge University Press.

## **ANEXO 1**

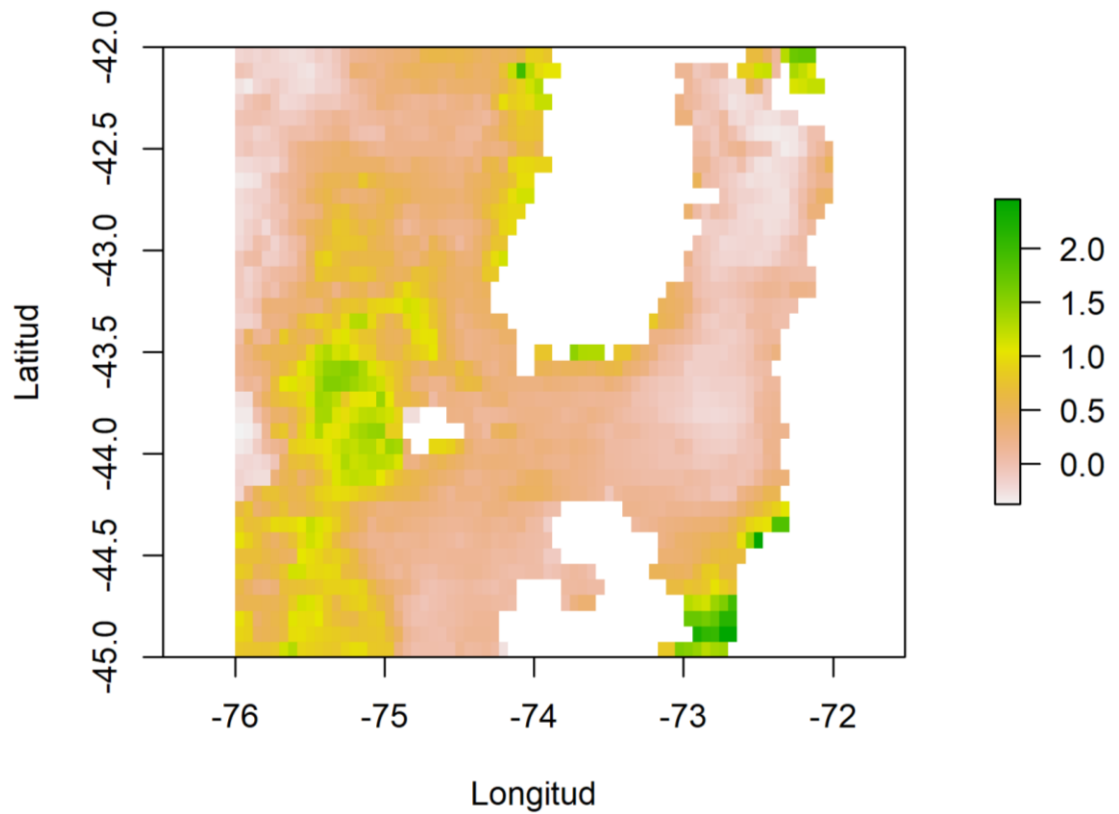
### ***Gradiente de temperatura y distancia a puntos de alta clorofila-a***

En base a las imágenes satelitales de temperatura superficial del mar, se determinaron GT entre 0,01°C y 0,06°C. Observándose que los gradientes más fuertes se encontraron en el lado oceánico del área de estudio, al oeste de la isla de Chiloé y de la isla Guafo, mientras gradientes más intermedios (0,03 °C – 0,04 °C) se concentran principalmente dentro del mar interior de Chiloé (Figura 16).



**Figura 16.** Gradientes de temperatura (°C) determinados en base a celdas de 12 km x 12 km para el área de estudio. Los datos se generaron en base al promedio de datos de temperatura superficial entre abril y mayo del 2019.

Respecto a los puntos de alta concentración de clorofila-a, se encontró que las mayores concentraciones se presentaron al oeste de isla Guafo y al sur del Golfo de Corcovado. En cambio, los valores más bajos se encontraron dentro del Mar interior de Chiloé y en el Golfo de Corcovado (Figura 17).



**Figura 17.** Puntos de alta concentración de clorofila-a dentro del área de estudio. Los datos corresponden al promedio de datos de la primavera del 2018 (septiembre a noviembre) y fueron transformados a logaritmo en base 10.

## ANEXO 2

El manuscrito “*Distribution of blue and sei whale vocalizations, and temperature-salinity characteristics from glider surveys in the Northern Chilean Patagonia mega-*

*estuarine system*”, autores: Susannah J Buchan, **Laura Gutiérrez Cabello**, Mark Baumgartner, Kathleen Mary Stafford, Nadin Ramirez, Oscar Pizarro and Jose Cifuentes, fue enviado a la revista *Frontiers in Marine Science*.

# **Distribution of blue and sei whale vocalizations, and temperature-salinity characteristics from glider surveys in the Northern Chilean Patagonia mega-estuarine system**

**Susannah J. Buchan<sup>1,2,3,4\*</sup>, Laura Gutierrez<sup>5</sup>, Mark F. Baumgartner<sup>4</sup>, Kathleen M. Stafford<sup>6</sup>, Nadin Ramirez<sup>7</sup>, Oscar Pizarro<sup>7,2</sup>, Jose Cifuentes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Center for Oceanographic Research COPAS Sur-Austral and COPAS COASTAL, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, 4070043, Concepción, Región del Bio, Chile.

<sup>2</sup>Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, 4070043, Concepción, Región del Bio, Chile.

<sup>3</sup>Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Raul Bitran 1305, La Serena, Chile.

<sup>4</sup>Woods Hole Oceanographic Institution, Biology Department, 266 Woods Hole Road, Woods Hole, Massachusetts, 02543, USA.

<sup>5</sup>Graduate Program in Oceanography, Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, 4070043, Concepción, Región del Bio, Chile.

<sup>6</sup>Current affiliation: Marine Mammal Institute, Oregon State University, Newport, OR, USA

<sup>7</sup>Instituto Milenio de Oceanografía, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, 4070043, Concepción, Región del Bio, Chile.

## **\* Correspondence:**

Corresponding Author  
sbuchan@udec.cl

**Keywords:** pelagic ecology, biological oceanography, baleen whales, passive acoustic monitoring, Slocum glider

## **Abstract**

Northern Chilean Patagonia is a mega-estuarine system where oceanic waters mix with freshwater inputs in the coastal fjords, channels and gulfs. The aim of this study was to examine the distribution of blue and sei whales with respect to oceanographic conditions from the estuarine pole to the oceanic pole of the study area using ocean gliders mounted with a hydrophone to determine acoustic presence of whales (blue whale song and D-calls; sei whale downsweeps and upsweeps), and a temperature and salinity instrument. Four glider deployments were carried out in April 2018 and

April-June 2019 navigating a total of 2816.94 kilometers during 2110 hours. To examine interannual variation, the average daily probability of detection of calls was compared between years using the adjusted p-values for one-way ANOVA and descriptive statistics. To examine spatial variation between the hourly acoustic presence of blue whales and sei whales and temperature and salinity conditions, Generalized Linear Models (GLMs) were used. Salinities were higher in 2019 compared to 2018. Blue whales produced song calls throughout the study area in both years, across estuarine and oceanic areas, but probability of detection was higher in 2019 vs 2018. Probability of detection of D-calls was similar between years, but higher in oceanic areas during both study periods, possibly indicating greater aggregation of animals and/or foraging behavior in oceanic areas. This may have been driven by higher euphausiid prey density in these areas. In contrast, the spatial pattern of sei whale acoustic presence was ambiguous and interannual variability was high, suggesting that sei whales preferred estuarine areas in 2018 and oceanic areas in 2019. This may be associated to variability in the distribution of their prey (lobster krill) or changes in prey type (dietary plasticity).

## **Introduction**

Understanding the distribution of baleen whales on their coastal feeding grounds and the oceanographic processes that drive distribution is central to developing effective conservation measures for the recovery of populations and for a better understanding of pelagic ecology. Off the coast of southern Chile baleen whales, predominantly blue (*Balaenoptera musculus*) and sei (*B. borealis*) whales, forage on a seasonal feeding ground in Northern Chilean Patagonia (NCP) (e.g. Hucke-Gaete et al., 2004, 2018; Galletti-Vernazzani et al., 2017; Buchan and Quiñones, 2016; Bedriñana-Romano et al., 2018; 2021; Buchan et al., 2021). In this area, blue whales are known to forage on the euphausiid *Euphausia vallentini* (Buchan and Quiñones, 2016), while sei whales forage on lobster krill *Munida gregaria* (Buchan et al., 2021).

The NCP is a mega-estuarine system where oceanic water masses from the Pacific Ocean enter through open gulfs and restricted channels and mix with freshwater inputs from high levels of rainfall running off the mainland into coastal fjords and channels, which contain nutrients necessary for the high observed levels of primary and secondary production (e.g. Sievers and Silva, 2008; Iriarte et al., 2010; Buchan and Quiñones, 2016). High primary production has been particularly associated with the Modified Subantarctic Water Mass (MSAAW) (Silva and Guzman, 2006; Torres et al., 2014). Based on a study in the inner Corcovado Gulf over two summer seasons (Fig. 1), Buchan and Quiñones, (2016) found higher blue whale sightings in the summer where MSAAW was predominant over higher salinity Subantarctic Water (SAAW). However, this study was restricted to a very small area near the mainland and whales are known to forage further out in oceanic areas as well, including the northwest coast of Chiloe Island (Vernazzani et al., 2012; Bedriñana-Romano et al., 2018, 2021).



Blue whales produce loud song (sounds in repetitive patterned phrases) and non-song calls throughout their migratory range; therefore, acoustic detections can be used as an indicator of their presence (e.g. Stafford et al., 1999; Stafford et al., 2009; Buchan et al., 2014; Romagosa et al., 2020). Silent animals are not detected by this method. The Southeast Pacific (SEP) blue whales present in NCP can be monitored acoustically using their highly stereotyped regional song dialect, known as “Southeast Pacific 2” or “SEP2” (Buchan et al., 2014, 2015) (Fig. 2). In addition to regional song calls, blue whales also produce non-regionally distinct highly variable downswept calls or “D-calls” (Thompson et al., 1996) (Fig. 2). In blue whales, long-range songs are produced by males and are thought to serve some reproductive function, while D-calls are produced by both males and females and are thought to be short-range social calls between animals that are in close proximity (Lewis et al., 2018). D-calls have been reported during a range of behaviors including feeding (Oleson et al., 2007; Lewis et al., 2018) and potential reproductive behaviors (Schall et al., 2020).

Less is known of sei whale acoustic behavior. Sei whales can produce both downsweep (Baumgartner et al., 2008) and upsweep calls (Calderan et al., 2014a) (Fig. 2). The downswept calls are distinct from blue whale D-calls as they are less variable in bandwidth and are more stereotyped (Fig 2). The function and behavioral context of sei whale calls is unknown. As with blue whales, detections of these calls in passive acoustic datasets collected by hydrophones indicate the acoustic presence of each of these species.

Ocean gliders are autonomous vehicles now widely used to increase the spatial and temporal coverage of ocean observation (e.g. Webb et al., 2001; Testor et al. 2019) and can be equipped with oceanographic sensors, such as conductivity-temperature-depth (CTD) sensors, but also hydrophones to collect passive acoustic data for the duration of their deployment (Baumgartner et al., 2014, 2020). In this study, we examine the distribution of blue and sei whales with respect to oceanographic conditions from the estuarine pole (inner sea of Chiloe) to the oceanic pole of the study area (Guafo Island) of the NCP mega-estuarine system (Fig. 1) via ocean gliders mounted with a hydrophone to determine whale acoustic presence, and a CTD instrument to determine temperature and salinity along the glider route.

## **Materials and Methods**

### **Data collection**

Two gliders, one owned by the University of Concepción (gladis) and one owned by Woods Hole Oceanographic Institution (we04), surveyed between the inner sea of Chiloe and Guafo Island through the Corcovado Gulf to cover the range of estuarine to oceanic oceanographic conditions. All gliders were deployed with a digital acoustic monitoring (DMON) instrument, a hydrophone and recording device (Johnson and Hurst 2007; Baumgartner et al. 2013) that recorded audio continuously at 2 kHz (for an effective bandwidth of 5-1000 Hz), as well as a CTD instrument sampling at 1 Hz (a Neil Brown Ocean Sensors, Inc. CTD for the we04 glider and a

Sea Bird Electronics model 41CP for the gladis glider).

### **Data analysis**

Passive acoustic data were analyzed via manual annotation in Raven Pro 1.6 ([ravensoundsoftware.com](http://ravensoundsoftware.com)) for the following target signals: unit C of the four-unit “SEP2” song calls of Chilean blue whales (as per Buchan et al., 2021), “Z” song calls of Antarctic blue whales (as per Buchan et al., 2018), blue whale D-calls (Fig. 2), and upsweep and downsweep calls of sei whales (Fig. 2). The date and time of each manual annotation of a call was compiled as a time series, and from the time stamp of each annotation a latitude and longitude was allocated to each signal using the glider track information in MATLAB 2020b (The Math Works Inc., 2020).

Temperature and salinity data from the CTD instrument were processed in MATLAB (The Math Works Inc., 2020) using custom routines and compiled as time series and each data point was allocated a latitude and longitude using the glider track information. Temperature and salinity data were examined for surface and deep layers given the stratified nature of estuarine environments. From density profiles, the mixed layer depth (MLD) was determined for each profile by determining the first depth (starting from the surface) at which a gradient of  $0.03 \text{ kg/ m}^4$  is found (Holte & Talley, 2009). All MLD values less than 2 m and greater than 50 m were eliminated as unrealistic. Based on the MLD values, surface (above MLD) and deep layer (below MLD) average temperature and salinity were calculated for each profile to describe the spatial variation of these variables; where no MLD was found (either because the water column was well-mixed or because the method used did not detect MLD), the average of MLD over the entire dataset was applied, i.e. 24.09 m for the purposes of obtaining surface and deep layer temperature and salinity values.

For a comparison of temperature and salinity conditions between years, data from April 2018 and only April 2019 were compared. All temperature and salinity data (April 2018 and April-June 2019) were used in the statistical analyses described below.

### **Statistical analyses**

To examine spatial variation in the presence of whale calls and temperature and salinity conditions, the study area was divided into 4 large areas, which we refer to as oceanographic zones, based on visual inspection of the deep layer salinity values for the 2019 data (Fig. 1b), which was the larger dataset with greater spatial coverage compared to 2018. This resulted in the following oceanographic zones which range from generally low to high salinity conditions (Fig. 1b): Estuarine zone (ES); Estuarine Transition zone (ET); Oceanic Transition zone (OT); and Oceanic zone (OC).

Based on the whale call data, hourly presence / absence and daily probability of detection were calculated. Hourly presence / absence of a call was determined where any hour with 1 or more calls was assigned a score of 1; and hours with no calls were

assigned a score of 0. Daily probability of detection of a call type was determined by the number of hours with 1+ calls / number of hours of recording per day. Daily presence or probability of detection of blue whale song calls (SEP2 and Antarctic), and D-calls were examined separately; for sei whales, upsweep and downsweep calls were pooled together.

To examine interannual variation, the average daily probability of detection of calls was compared between years using the adjusted p-values for one-way ANOVA with post-hoc Tukey Honest Significant Differences test (Table 2). Boxplots of temperature and salinity values and probability of call detection were used to examine temporal and spatial variation between years (2018 vs 2019), study periods (April 2018, deployment 1; April 2019, deployments 2 and 3; and May 2019, deployment 4), and oceanographic zones (ES, ET, OT, OC).

To examine the relationship between the hourly acoustic presence of blue whales and sei whales and oceanographic conditions, Generalized Linear Models (GLMs) with a binomial link function were fitted in R (R Core Team, 2019) with presence /absence (0 or 1) as the response variable and temperature or salinity of the surface or deep layers as an explanatory variable. For blue whales, only D-calls were used, based on the findings by Buchan et al., (2021) and references therein, that suggest that the production of D-calls is related to environmental changes and/or may indicate whale aggregation, whereas SEP2 song calls follow seasonal cycles likely linked to reproductive behavior rather than environmental drivers. Statistical significance was corrected with the Bonferroni adjustment.

## **Results**

Four glider deployments were completed between 12 - 28 April 2018, and 8 April - 7 June 2019. Deployment tracks are shown in Figure 1 and deployment details are summarized in Table 1. A total of 2,110 hours of passive acoustic monitoring (PAM) data were collected: 381 h in 2018 and 1,729 h in 2019 (Table 1). A total of 43,566 SEP2 song calls (unit C), 1,239 Antarctic blue whale Z calls, 5,656 blue whale D-calls, and 8,238 sei whale calls (6,500 upsweep calls, and 1,738 downsweep calls) were annotated. A total of 993 CTD vertical profiles were collected.

### **Interannual variability**

Between the 2018 and 2019 deployments, there was no significant difference in the probability of detection of blue whales D-calls, but there was a significant difference between higher SEP2 song calls in 2019 vs 2018. Probability of detection of Antarctic blue whales was also significantly higher in 2019. Probability of detection of sei whales was significantly higher ( $p < 0.001$ ) in 2018 compared with 2019 (Table 2).

Salinity conditions displayed differences between years, with 2018 being a lower salinity year compared with 2019 (Fig. 3). Based on the water mass definitions by for this area, there was greater influence of Modified Subantarctic Water (MSAAW) during 2018 compared with 2019 in surface layers (Fig. 3a,b), and greater influence

of Equatorial Subantarctic Water (ESSW), especially in the oceanic (OT and OC) zones, in 2019 compared with 2018 (Fig. 3e,f). No outstanding difference between temperature conditions were apparent between 2018 and 2019 (Fig. 3c,d,g,h).

### **Spatial variability**

The probability of detection of blue whale SEP2 song calls was high over all study periods and zones, except for the ES in 2018 (Fig. 4, first row). Antarctic blue whale songs were only present in 2019, with higher probability of detection in estuarine zones (ES and ET) especially in May 2019 (Fig. 4, second row). For blue whale D-calls, the probability of detection was progressively higher from the estuarine zone (ES) to the oceanic zone (OC) in during all study periods (Fig. 4, third row). For sei whales the probability of detection was higher in estuarine zone (ES) in April 2018. In contrast, in April 2019 probability of detection was very low throughout the study area, with slightly higher values in the estuarine zone (OT). In May 2019, probabilities of detection were variable although slightly higher in the oceanic zone (OC) (Fig. 4, fourth row).

Progressively, from the ES to the OC zones, salinities increased, both in the surface and the deep layers, and salinities were higher in the deep layer compared to the surface layer in all sectors (Fig. 3a,b,e,f). Overall, surface and deep layer temperatures were not coupled: surface temperatures increased between the ES and the OC, and deep layer temperatures decreased between the ES and the OC (Fig. 3c,d,g,h). Spatial differences between the estuarine pole (ES and ET) and the oceanic pole (OT and OC) were more marked in 2018 compared with 2019 in both the surface and deep layers.

### **Generalized Linear Models**

Generalized Linear Models for blue whales D-calls performed better compared with sei whale calls, with higher percentages of deviance explained (maximum 26.1%), lower AIC values and statistically significant adjusted p-values. All GLMs for sei whale probability of detection had percentages of deviance explained below 10% (Supplementary Material Table 1).

For blue whales, GLMs indicated that D-call probability of detection was highly significantly associated with higher salinities in both the surface and deep layers (Fig. 5), with better performance for deep layer salinity GLMs (1 and 3, Table 3). During these periods, the probability of detection increased significantly with decreasing temperature in the deep layer, but results were more ambiguous for surface temperature with the only significant relationship between probability of detection and increasing surface temperature found during April 2018, but not April or May 2019. GLMs for deep layer conditions performed generally better than surface layer conditions.

GLMs performed poorly for sei whales (Table 3) and statistically significant relationships only occurred for three GLMs (Table 3; Fig. 6) during the May 2019 study period, revealing increased probability of detection with increasing surface and

deep layer salinity, and increasing surface temperature. These conditions are characteristic of oceanic areas. This is interesting given that during the low-salinity year 2018, probability of detection of sei whales was overall higher in the study area compared with 2019, but none of the GLMs for the 2018 study period showed statistically significant relationships.

## **Discussion**

Blue whales were detected throughout the study area, with a preference for oceanic areas and little interannual variation, based on D-calls detections. Sei whale detection were highly variable from one-year to another, with an ambiguous spatial pattern. Below we discuss possible causes of interannual and spatial variability for both species.

### **Interannual variation**

No interannual variation was detected for blue whales D-calls, but the probability of detection of Antarctic and SEP blue whale song calls was higher in 2019. This suggests that the interannual variation in the presence of Antarctic blue whales is high, and in effect this species has only been previously found to occasionally visit the NCP feeding ground (Buchan et al. 2018). For Chilean blue whales, the explanation for this is less evident. Possibly, during the study periods, blue whales exploited the area for feeding with similar intensity (assuming D-calls are indicative of whale aggregation around feeding patches), but song might have varied due to interannual changes in monthly song production as reported by (Oestreich et al., 2020). This may also be due to a much shorter study period in 2018 that introduced bias in probability of detection of song but not of D-calls for unknown reasons.

Probability of detection of sei whale calls showed interannual variation. Low salinities in 2018 in the study area may explain significantly higher sei whale acoustic presence in 2018 compared to 2019. From sei whale fecal plume sampling conducted at the same time as the glider surveys in this study, sei whales were found to feed on *Munida gregaria* (Buchan et al., 2021), also known as squat lobster or lobster krill. This crustacean has been linked to freshwater inputs in this study area (Meerhoff et al., 2013) and has only been studied in the estuarine areas, i.e. in the NCP inner sea and fjords (Castro et al., 2011; Meerhoff et al., 2013; 2014a; 2014b; Betti et al., 2020). A low-salinity year may favor increased abundance and spatial distribution of lobster krill in the study area and therefore attract foraging sei whales. This is not the case for the known prey item of blue whales in this area, *E. vallentini* (Buchan and Quiñones, 2016), which is the dominant species of meso-zooplankton throughout the study area (González et al., 2011) which may explain why no interannual variation was found in blue whale probability of detection.

### **Spatial variation**

#### **SEP2 and Antarctic blue whale song calls**

Probability of detection was high for blue whale SEP2 song calls throughout all study periods and oceanographic zones (except for ES during April 2018). D-calls were more strongly associated more often with oceanic areas. The prevalence of SEPS2 song calls may be due to the large detection range (which has not been assessed in this study) of SEP2 song calls. Buchan et al., (2021) found that the detection range of SEP2 song calls (up to 15.3 km) from a bottom-mounted hydrophone in this area was over twice the detection range of D-calls. However the estuarine pole and the oceanic pole in this study are around 150 km apart (with Chiloe Island largely intervening; Fig. 1), which is considerably greater than the possible detection range of a glider-mounted hydrophone, even it were double the detection range of the bottom-mounted hydrophone reported in Buchan et al., (2021). Therefore, it is more likely that blue whales were producing song calls throughout the study area. In effect, Bedriñana-Romano et al. (2018) found areas preferred by blue whales in the inner sea and in oceanic areas based on systematic sighting data.

In contrast, the probability of detection of Antarctic blue whale songs was low throughout the study area and periods. This is not surprising given that NCP is not their primary feeding ground and Antarctic blue whales have only been heard occasionally in this area (Buchan et al. 2018). Interestingly however, Antarctic blue whales were detected in both oceanic and estuarine areas. Although the detection range of Antarctic blue whale song calls in this area was not assessed, these findings suggest that Antarctic blue whales that visit NCP, possibly to forage, do not exclusively remain in oceanic area but do enter the Patagonian inner sea.

### **Blue whale D-calls**

D-calls are thought to be short-range social calls produced by males and females when individuals are in close proximity (Lewis et al., 2018) and have been reported during a range of behaviors including feeding (Oleson et al., 2007; Lewis et al., 2018) and possible reproductive behaviors (Schall et al., 2020). D-calls appear to respond to short-term (days to weeks) environmental changes much more than song calls (Szesciorka et al., 2020; Buchan et al., 2021). Based on the results of this study, although blue whales were producing song calls throughout the study area, D-calls were abundant in oceanic areas.

Probability of detection of blue whale D-calls was consistently higher in oceanic areas across all study periods, with statistically significant relationships found with increasing surface and deep layer salinity, and decreased deep layer temperature. The apparent preference of blue whales for higher salinity, lower deep layer temperature oceanic areas may be because their only prey, *Euphausia vallentini* (Buchan and Quiñones, 2016), is a subantarctic oceanic species that has colonized the NCP inner sea system (Hamamé & Antezana, 2010). This preference does not mean that blue whales do not enter the inner sea, as SEP2 song calls were detected in estuarine areas, but it may mean that if D-calls are associated with foraging activity, oceanic areas may be preferred foraging areas. This spatial pattern is no doubt overlaid by temporal variation at submonthly scales possibly linked to patch depletion and/or aggregation effects, driven by tidal amplitude or wind stress, as suggested by

findings by Buchan et al., (2021). Conclusions regarding spatial distribution and preference for oceanic areas should be drawn with caution given the short time periods in this study; more extensive temporal and spatial coverage is certainly needed to confirm this pattern.

### **Sei whale calls**

For sei whales, the overall NCP spatial pattern is harder to understand. If we assume that lobster krill prefers low-salinity areas and sei whales were feeding exclusively on lobster krill during the entire study period, we would have expected sei whales to prefer estuarine areas. However, sei whales did not only prefer estuarine areas. In April 2018, when the probability of sei whale detection was highest, sei whales preferred estuarine zones (Fig. 4), however the GLM analysis revealed no statistically significant relationship between sei whale probability of detection and temperature or salinity variables (Fig. 6). Sei whale acoustic presence was very low overall during April 2019, but in May 2019 sei whales appeared to prefer oceanic areas with higher deep and surface layer salinities and higher surface temperatures, similar to blue whales during the same time period.

The spatial pattern in sei whale acoustic presence may be confounded because sei whales are known to feed on a range of prey types, including copepods, euphausiids, lobster krill and small schooling fish (Kawamura, 1974; Matthews, 1932; Burkhardt-Holm and N’Guyen, 2019; Buchan et al., 2021). Although sei whales were definitely feeding on lobster krill in the inner sea area (ES and ET zones) at the time of the 2018 glider survey (Buchan et al., 2021), no fecal samples were collected from the other study periods or oceanographic regions, so it is possible that sei whales were feeding on other prey type(s), e.g. euphausiids, similar to the blue whales foraging in oceanic areas during May 2019. It is also possible that lobster krill aggregations may have extended out to the OT and OC zones in May 2019. Lobster krill has only been studied in inner sea estuarine areas so little is known about its distribution in oceanic areas and its tolerance for higher salinity conditions.

In polar latitudes ( $>60^\circ$ ) sei whales have been associated with warmer waters (Kapel 1985; Heide-Jørgensen, Simon, and Laidre 2007), but a more recent study in the Fram Strait found no relationship between sei whale acoustic presence and water temperature time series (Nieukirk et al., 2020). Given that the site in this study is in mid-latitudes, the association with warmer water may not necessarily apply here and/or this association may apply over a broader spatial scale.

Sei whales have been called the “forgotten whale” and there is little information about their diet and distribution, the latter of which appears to be highly variable from year to year. There have been documented “sei whale invasions” or “sei whale years” and other years where sei whales are largely absent (Prieto et al., 2012 and references therein). Clearly, more information is needed on the dietary plasticity of sei whales and the distribution of lobster krill in NCP to better understand the drivers of sei whale distribution in this area.

## Conclusion

Oceanographic conditions were different between 2018 and 2019 in the NCP area making broad conclusions about the physical drivers of baleen whales in the area difficult to encapsulate. Salinity conditions were highly variable year to year in the NCP estuarine system, with 2018 being a lower-salinity year and 2019 being a higher-salinity year.

Blue whales were producing song calls throughout the study area in both years, across estuarine and oceanic areas, and overall probability of detection was higher in 2019 compared with 2018. Probability of detection of D-calls was similar between years, but higher in oceanic areas during both study periods, possibly indicating aggregation of animals and/or foraging behavior in oceanic areas. Higher D-call presence during all study periods in higher-salinity oceanic areas may have been driven by higher prey density in these areas, given that *E. vallentini* is an oceanic species. In contrast, the spatial pattern of sei whale acoustic presence was ambiguous and interannual variability was high, suggesting that sei whales preferred estuarine areas in 2018 and oceanic areas in 2019. In 2018, sei whales were certainly feeding on lobster krill, *M. gregaria*, which is known to be associated with freshwater input in NCP, explaining the high acoustic presence in estuarine areas. In 2019, we have no dietary information for sei whales, so we do not know if they were feeding on lobster krill aggregations that may have extended further offshore or if they switched prey type to feed on euphausiids in oceanic areas. Future studies in this area should focus on (1) acquiring glider-based zooplankton backscatter data during glider-based acoustic surveys, (2) increasing the spatial and temporal coverage of glider surveys, (3) understanding lobster krill and *E. vallentini* distributions, and other zooplankton distribution between the estuarine and oceanic poles of NCP, and (4) improving knowledge of sei whale diet plasticity.

## References

- Abramson, J. Z., & Gibbons, J. (2010). New records of blue whales *Balaenoptera musculus* (Linnaeus, 1758) in winter season in the inlet waters of Chiloé continental-Chile. *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 38(2), 107–109. <https://doi.org/10.4067/S0718-686X2010000200010>
- Acevedo, J., Aguayo-Lobo, A., González, A., Haro, D., Olave, C., Quezada, F., Martínez, F., Garthe, S., & Cáceres, B. (2017). Occurrence of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in the Magellan Strait from 2004–2015, Chile. *Aquatic Mammals*, 43(1), 63–72. <https://doi.org/10.1578/AM.43.1.2017.63>
- Aguayo-Lobo, A., Acevedo, J., & Vargas, R. (2006). Diversidad de mamíferos marinos en las aguas del archipiélago de Los Chonos (43° 39' S - 45° 50' S), XI región de Chile. *Ciencia y Tecnología Del Mar*, 29(2), 129–145. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62429208>
- Aguayo-Lobo, A., Bernal, R., Olavarría, C., Vallejos, V., & Hucke-Gaete, R. (1998). Observaciones de cetáceos realizadas entre Valparaíso e isla de Pascua, Chile, durante los inviernos de 1993, 1994 y 1995. In *revista de Biología Marina y Oceanografía* (Vol. 33, Issue 1, pp. 101–123).
- Aguirre-Gutiérrez, J., Carvalheiro, L. G., Polce, C., van Loon, E. E., Raes, N.,



- Reemer, M., & Biesmeijer, J. C. (2013). Fit-for-Purpose: Species Distribution Model Performance Depends on Evaluation Criteria – Dutch Hoverflies as a Case Study. *PLoS ONE*, 8(5), e63708. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063708>
- Aniceto, A. S., Pedersen, G., Primicerio, R., Biuw, M., Lindstrøm, U., & Camus, L. (2020). Arctic Marine Data Collection Using Oceanic Gliders: Providing Ecological Context to Cetacean Vocalizations. *Frontiers in Marine Science*, 7:585754. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.585754>
- Ashjian, C. J., Braund, S. R., Campbell, R. G., George, J. C., Kruse, J., Maslowski, W., Moore, S. E., Nicolson, C. R., Okkonen, S. R., Sherr, B. F., Sherr, E. B., & Spitz, Y. H. (2010). Climate variability, oceanography, bowhead whale distribution, and Iñupiat subsistence whaling near Barrow, Alaska. *Arctic*, 63(2), 179–194. <https://doi.org/10.14430/arctic973>
- Au, W. W., & Hastings, M. C. (2008). *Principles of Marine Bioacoustics* (Springer, Vol. 510). <https://doi.org/10.3397/1.3486045>
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling*, 200(1–2), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.07.005>
- Barlow, D. R., Bernard, K., Escobar-Flores, P., Palacios, D., & Torres, L. (2020). Links in the trophic chain: Modeling functional relationships between in situ oceanography, krill, and blue whale distribution under different oceanographic regimes. *Marine Ecology Progress Series*, 642, 207–225. <https://doi.org/10.3354/meps13339>
- Barlow, D. R., Klinck, H., Ponirakis, D., Garvey, C., & Torres, L. G. (2021). Temporal and spatial lags between wind, coastal upwelling, and blue whale occurrence. *Scientific Reports*, 11:6915. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86403-y>
- Baumgartner, M. F., Bonnell, J., Corkeron, P. J., Van Parijs, S. M., Hotchkiss, C., Hodges, B. A., Bort Thornton, J., Mensi, B. L., & Bruner, S. M. (2020). Slocum Gliders Provide Accurate Near Real-Time Estimates of Baleen Whale Presence From Human-Reviewed Passive Acoustic Detection Information. *Frontiers in Marine Science*, 7:100. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00100>
- Baumgartner, M. F., & Fratantoni, D. M. (2008). Diel periodicity in both sei whale vocalization rates and the vertical migration of their copepod prey observed from ocean gliders. *Limnology and Oceanography*, 53(5, part 2), 2197–2209. [https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.5\\_part\\_2.2197](https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.5_part_2.2197)
- Baumgartner, M. F., Fratantoni, D. M., Hurst, T. P., Brown, M. W., Cole, T. V. N., Van Parijs, S. M., & Johnson, M. (2013). Real-time reporting of baleen whale passive acoustic detections from ocean gliders. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 134(3), 1814–1823. <https://doi.org/10.1121/1.4816406>
- Baumgartner, M. F., & Mussoline, S. E. (2011). A generalized baleen whale call detection and classification system. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(5), 2889–2902. <https://doi.org/10.1121/1.3562166>
- Baumgartner, M. F., Stafford, K. M., & Latha, G. (2018). Near Real-Time Underwater Passive Acoustic Monitoring of Natural and Anthropogenic Sounds. In R. Venkatesan, A. Tandon, E. D'Asaro, & M. A. Atmanand (Eds.), *Observing the Oceans in Real Time* (Springer O, pp. 203–226).

[https://doi.org/10.1007/978-3-319-66493-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66493-4_10)

- Baumgartner, M. F., Stafford, K. M., Winsor, P., Statscewich, H., & Fratantoni, D. M. (2014). Glider-Based Passive Acoustic Monitoring in the Arctic. *Marine Technology Society Journal*, 48(5), 40–51. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.48.5.2>
- Baumgartner, M. F., Van Parijs, S. M., Wenzel, F. W., Tremblay, C. J., Carter Esch, H., & Warde, A. M. (2008). Low frequency vocalizations attributed to sei whales ( *Balaenoptera borealis* ). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(2), 1339–1349. <https://doi.org/10.1121/1.2945155>
- Bedriñana-Romano, L., Hucke-Gaete, R., Viddi, F. A., Johnson, D., Zerbini, A. N., Morales, J., Mate, B., & Palacios, D. M. (2021). Defining priority areas for blue whale conservation and investigating overlap with vessel traffic in Chilean Patagonia, using a fast-fitting movement model. *Scientific Reports*, 11:2709. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82220-5>
- Bedriñana-Romano, L., Hucke-Gaete, R., Viddi, F. A., Morales, J., Williams, R., Ashe, E., Garcés-Vargas, J., Torres-Florez, J. P., & Ruiz, J. (2018). Integrating multiple data sources for assessing blue whale abundance and distribution in Chilean Northern Patagonia. *Diversity and Distributions*, 00, 1–14. <https://doi.org/10.1111/ddi.12739>
- Berchok, C. L., Bradley, D. L., & Gabrielson, T. B. (2006). St. Lawrence blue whale vocalizations revisited: Characterization of calls detected from 1998 to 2001. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(4), 2340–2354. <https://doi.org/10.1121/1.2335676>
- Betti, F., Castro, L. ., Bavestrello, G., Enrichetti, F., & Daneri, G. (2020). *Distribution , abundance and ecological requirements of the benthic phase of Munida gregaria ( Anomura ; Munididae ) in the Puyuhuapi Fjord ( Chilean Patagonia )* . 40.
- Bocconcelli, A., Hickmott, L., Briones, R. L., Howes, G., & Sayigh, L. (2015). Blue whales (*Balenoptera musculus*) in the Canal Moreleda and Golfo Corcovado, Chile. In IEEE (Ed.), *OCEANS 2015 - Genova* (pp. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271519>
- Browning, E., Gibb, R., Glover-Kapfer, P., Jones, K. E., Billington, G., Burivalova, Z., Clink, D., De Ridder, J., Halls, J., Hastings, T., Jacoby, D., Kalan, A., Kershenbaum, A., Linke, S., Lucas, S., Machado, R., Owens, P., Sutter, C., Trethowan, P., ... Wrege, P. (2017). Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. *WWF Conservation Technology Series*, 1(2), 1–75.
- Buchan, S., Balcazar-Cabrera, N., & Stafford, K. M. (2020). Seasonal acoustic presence of blue, fin, and minke whales off the Juan Fernández Archipelago, Chile (2007–2016). *Marine Biodiversity*, 50(5). <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01087-3>
- Buchan, S., Hucke-Gaete, R., Rendell, L., & Stafford, K. M. (2014). A new song recorded from blue whales in the Corcovado Gulf, Southern Chile, and an acoustic link to the Eastern Tropical Pacific. *Endangered Species Research*, 23(3), 241–252. <https://doi.org/10.3354/esr00566>
- Buchan, S., Hucke-Gaete, R., Stafford, K. M., & Clark, C. (2018). Occasional acoustic presence of Antarctic blue whales on a feeding ground in southern Chile. *Marine Mammal Science*, 34(1), 220–228. <https://doi.org/10.1111/mms.12441>

- Buchan, S., Pérez-Santos, I., Narváez, D., Castro, L., Stafford, K. M., Baumgartner, M. F., Valle-Levinson, A., Montero, P., Gutiérrez, L., Rojas, C., Daneri, G., & Neira, S. (2021). Intraseasonal variation in southeast Pacific blue whale acoustic presence, zooplankton backscatter, and oceanographic variables on a feeding ground in Northern Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography*, *199*, 102709. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102709>
- Buchan, S., & Quiñones, R. (2016). First insights into the oceanographic characteristics of a blue whale feeding ground in northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, *554*, 183–199. <https://doi.org/10.3354/meps11762>
- Buchan, S., Rendell, L., & Hucke-Gaete, R. (2010). Preliminary recordings of blue whale (*Balaenoptera musculus*) vocalizations in the Gulf of Corcovado, northern Patagonia, Chile. *Marine Mammal Science*, *26*(2), 451–459. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2009.00338.x>
- Buchan, S., Stafford, K. M., & Hucke-Gaete, R. (2015). Seasonal occurrence of southeast Pacific blue whale songs in southern Chile and the eastern tropical Pacific. *Marine Mammal Science*, *31*(2), 440–458. <https://doi.org/10.1111/mms.12173>
- Buchan, S., Vásquez, P., Olavarría, C., & Castro, L. (2021). Prey items of baleen whale species off the coast of Chile from fecal plume analysis. *Marine Mammal Science*, *37*(3), 1116–1127. <https://doi.org/10.1111/mms.12782>
- Burkhardt-Holm, P., & N'Guyen, A. (2019). Ingestion of microplastics by fish and other prey organisms of cetaceans, exemplified for two large baleen whale species. *Marine Pollution Bulletin*, *144*, 224–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.068>
- Burtenshaw, J. C., Oleson, E. M., Hildebrand, J. A., McDonald, M. A., Andrew, R. K., Howe, B. M., & Mercer, J. A. (2004). Acoustic and satellite remote sensing of blue whale seasonality and habitat in the Northeast Pacific. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, *51*(10–11), 967–986. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.06.020>
- Cabrera, E., Carlson, C. A., & Galletti Vernazzani, B. (2005). Presence of blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the northwestern coast of Chiloé Island, southern Chile. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, *4*(1), 73–74. <https://doi.org/10.5597/lajam00073>
- Calderan, S., Miller, B., Collins, K., Ensor, P., Double, M., Leaper, R., & Barlow, J. (2014a). Low-frequency vocalizations of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in the Southern Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *136*(6), EL418–EL423. <https://doi.org/10.1121/1.4902422>
- Calderan, S., Miller, B., Collins, K., Ensor, P., Double, M., Leaper, R., & Barlow, J. (2014b). Low-frequency vocalizations of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in the Southern Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *136*(6), EL418–EL423. <https://doi.org/10.1121/1.4902422>
- Castro, L. ., Soto-Mendoza, S., & González-Saldías, F. (2019). Ontogenetic and short-term fluctuations in the residence depth of young pelagic stages of *Munida gregaria* in different zones of northern Patagonia. *Progress in Oceanography*, *174*, 173–184. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.09.018>
- Castro, L., Cáceres, M. A., Silva, N., Muñoz, M. I., León, R., Landaeta, M. F., &

- Soto-Mendoza, S. (2011). Short-term variations in mesozooplankton, ichthyoplankton, and nutrients associated with semi-diurnal tides in a patagonian Gulf. *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.005>
- Collins, M. D. (1993). A split-step Padé solution for the parabolic equation method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 93(4), 1736–1742. <https://doi.org/10.1121/1.406739>
- Colpaert, W., Briones, R. L., Chiang, G., & Sayigh, L. S. (2016). Blue whales of the Chiloé-Corcovado region, Chile: Potential for anthropogenic noise impacts. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 27(1), 040009. <https://doi.org/10.1121/2.0000304>
- Cotté, C., D’Ovidio, F., Chaigneau, A., Lèvy, M., Taupier-Letage, I., Mate, B., & Guinet, C. (2011). Scale-dependent interactions of Mediterranean whales with marine dynamics. *Limnology and Oceanography*, 56(1), 219–232. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.1.0219>
- Croll, D. A., Marinovic, B., Benson, S., Chavez, F., Black, N., Ternullo, R., & Tershy, B. (2005). From wind to whales: trophic links in a coastal upwelling system. *Marine Ecology Progress Series*, 289, 117–130. <https://doi.org/10.3354/meps289117>
- Dávila, P. M., Figueroa, D., & Müller, E. (2002). Freshwater input into the coastal ocean and its relation with the salinity distribution off austral Chile (35–55°S). *Continental Shelf Research*, 22(3), 521–534. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00072-3](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00072-3)
- Davis, G., Baumgartner, M. F., Bonnell, J., Bell, J., Berchok, C. L., Bort Thornton, J., Brault, S., Buchanan, G., Charif, R. A., Cholewiak, D., Clark, C. W., Corkeron, P., Delarue, J., Dudzinski, K., Hatch, L., Hildebrand, J., Hodge, L., Klinck, H., Kraus, S., ... Van Parijs, S. M. (2017). Long-term passive acoustic recordings track the changing distribution of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) from 2004 to 2014. *Scientific Reports*, 7(1), 13460. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13359-3>
- Davis, R., Baumgartner, M. F., Comeau, A., Cunningham, D., Davies, K., Furlong, A., Johnson, H., L’Orsa, S., Ross, T., Taggart, C., & Whoriskey, F. (2016). Tracking whales on the Scotian Shelf using passive acoustic monitoring on ocean gliders. *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/OCEANS.2016.7761461>
- De Vos, A., Pattiaratchi, C., & Harcourt, R. (2014). Inter-Annual Variability in Blue Whale Distribution off Southern Sri Lanka between 2011 and 2012. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2(3), 534–550. <https://doi.org/10.3390/jmse2030534>
- Delory, E., Quintana, E., Mccauley, R., Jolliffe, C., Warren, V. E., Širović, A., Mcpherson, C., Goetz, K. T., Radford, C. A., & Constantine, R. (2021). *Passive Acoustic Monitoring Reveals Spatio-Temporal Distributions of Antarctic and Pygmy Blue Whales Around Central New Zealand*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.575257>
- Doniol-Valcroze, T., Berteaux, D., Larouche, P., & Sears, R. (2007). Influence of thermal fronts on habitat selection by four rorqual whale species in the Gulf of St. Lawrence. *Marine Ecology Progress Series*, 335, 207–216.

- <https://doi.org/10.3354/meps335207>
- DOSITS. (2021). *Discovery of Sound in the Sea*, University of Rhode Island Graduate School of Oceanography. <https://dosits.org/glossary/passive-acoustic-monitoring-pam/>
- Español-Jiménez, S., Bahamonde, P. A., Chiang, G., & Häussermann, V. (2019). Discovering sounds in Patagonia: characterizing sei whale (*Balaenoptera borealis*) downsweeps in the south-eastern Pacific Ocean. *Ocean Science*, *15*(1), 75–82. <https://doi.org/10.5194/os-15-75-2019>
- Fiedler, P. C., Redfern, J., Forney, K. A., Palacios, D. M., Sheredy, C., Rasmussen, K., García-Godos, I., Santillán, L., Tetley, M. J., Félix, F., & Ballance, L. T. (2018). Prediction of large whale distributions: A comparison of presence-absence and presence-only modeling techniques. *Frontiers in Marine Science*, *5*(NOV). <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00419>
- Galletti Vernazzani, B., Carlson, C. A., Cabrera, E., & Brownell, R. L. (2012). Chilean blue whales off Isla Grande de Chiloe, 2004-2010: Distribution, site-fidelity and behaviour. *Journal of Cetacean Research and Management*, *12*(3), 353–360.
- Galletti Vernazzani, B., Jackson, J. A., Cabrera, E., Carlson, C. A., & Brownell, R. L. (2017). Estimates of abundance and trend of Chilean blue whales off Isla de Chiloe, Chile. *PLoS ONE*, *12*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168646>
- García, L. G., Pierce, G. J., Autret, E., & Torres-Palenzuela, J. M. (2018). Multi-scale habitat preference analyses for Azorean blue whales. *PLoS ONE*, *13*(9), e0201786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201786>
- González, H., Calderón, M. J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L. A. LA, Daneri, G., Iriarte, J. L., Lizárraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C. A., & Molinet, C. (2010). Primary production and plankton dynamics in the Reloncaví Fjord and the Interior Sea of Chiloé, northern Patagonia, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, *402*, 13–30. <https://doi.org/10.3354/meps08360>
- González, H., Castro, L., Daneri, G., Iriarte, J. L., Silva, N., Tapia, F., Teca, E., & Vargas, C. A. (2013). Land-ocean gradient in haline stratification and its effects on plankton dynamics and trophic carbon fluxes in Chilean Patagonian fjords (47-50°S). *Progress in Oceanography*, *119*, 32–47. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.06.003>
- González, H., Castro, L., Daneri, G., Iriarte, J. L., Silva, N., Vargas, C. A., Giesecke, R., & Sánchez, N. (2011). Seasonal plankton variability in Chilean Patagonia fjords: Carbon flow through the pelagic food web of Aysen Fjord and plankton dynamics in the Moraleda Channel basin. *Continental Shelf Research*, *31*(3–4), 225–243. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.08.010>
- González, H., Nimptsch, J., Giesecke, R., & Silva, N. (2019). Organic matter distribution, composition and its possible fate in the Chilean North-Patagonian estuarine system. *Science of The Total Environment*, *657*, 1419–1431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.445>
- Gregg, E. J., & Trites, A. W. (2001). Predictions of critical habitat for five whale species in the waters of coastal British Columbia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *58*(7), 1265–1285. <https://doi.org/10.1139/f01->

- Guzmán, D., & Silva, N. (2002). Caracterización Física Y Química Y Masas De Agua En Los Canales Australes De Chile Entre Boca Del Guafo Y Golfo Elefantes. *Ciencia y Tecnología Del Mar CONA*, 25(2), 45–76.
- Hamamé, M., & Antezana, T. (2010). Vertical diel migration and feeding of *Euphausia vallentini* within southern Chilean fjords. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57(7–8), 642–651. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.10.013>
- Hamilton, E. L. (1979). Sound velocity gradients in marine sediments. *Journal of the Acoustical Society of America*, 65(4), 909–922. <https://doi.org/10.1121/1.382594>
- Hazen, E. L., Friedlaender, A. S., Thompson, M. A., Ware, C. R., Weinrich, M. T., Halpin, P. N., & Wiley, D. N. (2009). Fine-scale prey aggregations and foraging ecology of humpback whales *Megaptera novaeangliae*. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 75–89. <https://doi.org/10.3354/meps08108>
- Heide-Jørgensen, M. P., Simon, M. J., & Laidre, K. L. (2007). Estimates of large whale abundance in Greenlandic waters from a ship-based survey in 2005. *Journal of Cetacean Research and Management*, 9(2), 95–104.
- Hernández, O. G., Artigas, R. C., González, J. M. S., & García, L. V. (2018). Predictive modeling in Biogeography: Applying ecological niche modelling in Physical Geography. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 2018(78), 88–126. <https://doi.org/10.21138/bage.2395>
- Hildebrand, J. A., Gentes, Z. E., Johnson, S. C., Frasier, K. E., Merkens, K., Thayre, B. J., & Wiggins, S. M. (2013). *Acoustic Monitoring of Cetaceans in the Northern Gulf of Mexico using Wave Gliders equipped with High-Frequency Acoustic Recording Packages* (Issue March).
- Holte, J., & Talley, L. (2009). A new algorithm for finding mixed layer depths with applications to argo data and subantarctic mode water formation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(9), 1920–1939. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHO543.1>
- Howatt, T., Ross, T., & Waterman, S. (2017). Ocean Gliders to Study Baleen Whale Habitat in Roseway Basin. *CMOS Bulletin SCMO*, 45(1), 19–21.
- Hucke-Gaete, R., Bedriñana-Romano, L., Viddi, F. A., Ruiz, J. E., Torres-Florez, J. P., & Zerbini, A. N. (2018). From Chilean Patagonia to Galapagos, Ecuador: Novel insights on blue whale migratory pathways along the Eastern South Pacific. *PeerJ*, 2018(4), 1–22. <https://doi.org/10.7717/peerj.4695>
- Hucke-Gaete, R., Haro, D., Torres-Florez, J. P., Montecinos, Y., Viddi, F. A., Bedriñana-Romano, L., Nery, M. F., & Ruiz, J. (2013). A historical feeding ground for humpback whales in the eastern South Pacific revisited: the case of northern Patagonia, Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 23(6), 858–867. <https://doi.org/10.1002/aqc.2343>
- Hucke-Gaete, R., Osman, L. P., Moreno, C., Findlay, K. P., & Ljungblad, D. K. (2004). Discovery of a blue whale feeding and nursing ground in southern Chile. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 271(suppl\_4), S170–S173. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2003.0132>
- Iriarte, J. L., Gonzalez, H. E., & Nahuelhual, L. (2010). Patagonian fjord ecosystems in Southern Chile as a highly vulnerable region: Problems and needs. *Ambio*,

- 39(7), 463–466. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0049-9>
- Iriarte, J. L., González, H., Liu, K. K., Rivas, C., & Valenzuela, C. (2007). Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile (41.5–43° S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74(3), 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.05.015>
- Iriarte, J. L., León-Muñoz, J., Marcé, R., Clément, A., & Lara, C. (2017). Influence of seasonal freshwater streamflow regimes on phytoplankton blooms in a Patagonian fjord. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 51(2), 304–315. <https://doi.org/10.1080/00288330.2016.1220955>
- Iriarte, J. L., Quiñones, R., & González, R. R. (2005). Relationship between biomass and enzymatic activity of a bloom-forming dinoflagellate (Dinophyceae) in southern Chile (41° S): A field approach. *Journal of Plankton Research*, 27(2), 159–166. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbh167>
- IUCN. (2020). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1*. <https://www.iucnredlist.org>
- Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B., & Schmidt, H. (2011). *Computational Ocean Acoustics* (Springer S).
- Kapel, F. O. (1985). On the occurrence of sei whales (*Balaenoptera borealis*) in West Greenland waters. *Report - International Whaling Commission*, 35, 349–352.
- Kawamura, A. (1974). Food and feeding ecology in the southern sei whale\*. *Sci. Rep. Whales Res. Inst*, 26, 25–144.
- Küsel, E. T., Mellinger, D., Thomas, L., Marques, T. A., Moretti, D., & Ward, J. A. (2011). Cetacean population density estimation from single fixed sensors using passive acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(6), 3610–3622. <https://doi.org/10.1121/1.3583504>
- Küsel, E. T., Munoz, T., Siderius, M., Mellinger, D., & Heimlich, S. (2017). Marine mammal tracks from two-hydrophone acoustic recordings made with a glider. *Ocean Science*, 13(2), 273–288. <https://doi.org/10.5194/os-13-273-2017>
- Leaper, R., Bannister, J. L., Branch, T. A., Clapham, P. J., Donovan, G. P., Matsuoka, K., Reilly, S., & Zerbini, A. N. (2008). A review of abundance, trends and foraging parameters of baleen whales in the Southern Hemisphere. Paper SC/60.EM3 presented to the IWC Scientific Committee June. In *Paper SC/60.EM3 presented to the IWC Scientific Committee June*. <https://www.researchgate.net/publication/268335361>
- León, R., Castro, L., & Cáceres, M. (2008). Dispersal of *Munida gregaria* (Decapoda: Galatheidae) larvae in Patagonian channels of southern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 65(7), 1131–1143. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn093>
- Lewis, L. A., Calambokidis, J., Stimpert, A. K., Fahlbusch, J., Friedlaender, A. S., McKenna, M. F., Mesnick, S. L., Oleson, E. M., Southall, B. L., & Szesciorka, A. R. (2018). Context-dependent variability in blue whale acoustic behaviour. *Royal Society Open Science*, 5(8). <https://doi.org/10.1098/rsos.180241>
- Mackintosh, N. A. (1946). THE NATURAL HISTORY OF WHALEBONE WHALES. *Biological Reviews*, 21(2), 60–74. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1946.tb00453.x>
- Madsen, P. T. (2005). Marine mammals and noise: Problems with root mean square sound pressure levels for transients. *The Journal of the Acoustical Society of*

- America*, 117(6), 3952–3957. <https://doi.org/10.1121/1.1921508>
- Mannocci, L., Boustany, A. M., Roberts, J. J., Palacios, D., Dunn, D. C., Halpin, P. N., Viehman, S., Moxley, J., Cleary, J., Bailey, H., Bograd, S. J., Becker, E. A., Gardner, B., Hartog, J. R., Hazen, E. L., Ferguson, M. C., Forney, K. A., Kinlan, B. P., Oliver, M. J., ... Winship, A. J. (2017). Temporal resolutions in species distribution models of highly mobile marine animals: Recommendations for ecologists and managers. *Diversity and Distributions*, 23(10), 1098–1109. <https://doi.org/10.1111/ddi.12609>
- Marques, T. A., Thomas, L., Ward, J. A., DiMarzio, N., & Tyack, P. L. (2009). Estimating cetacean population density using fixed passive acoustic sensors: An example with Blainville's beaked whales. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(4), 1982–1994. <https://doi.org/10.1121/1.3089590>
- Matthews, L. H. (1932). Lobster-krill. Anomuran Crustacea that are the food of whales. *Discovery Reports*, 5, 467–484, 1 fig., 1 pl.
- Meerhoff, E., Castro, L., & Tapia, F. J. (2013). Influence of freshwater discharges and tides on the abundance and distribution of larval and juvenile *munida gregaria* in the baker river estuary, chilean patagonia. *Continental Shelf Research*, 61–62, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2013.04.025>
- Meerhoff, E., Tapia, F. J., & Castro, L. (2014). Spatial structure of the meroplankton community along a Patagonian fjord - The role of changing freshwater inputs. *Progress in Oceanography*, 129, 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.05.015>
- Meerhoff, E., Tapia, F. J., Sobarzo, M., & Castro, L. (2014). Influence of estuarine and secondary circulation on crustacean larval fluxes: A case study from a Patagonian fjord. *Journal of Plankton Research*, 37(1), 168–182. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbu106>
- Mellinger, D. (2002). Passive acoustic monitoring of sperm whales in the Gulf of Mexico, with a model of acoustic detection distance. In *Proceedings: Twenty-first annual Gulf of Mexico information transfer meeting* (pp. 493–501). <ftp://heceta.pmel.noaa.gov/newport/mellinger/papers/MellingerEtAl03-SpermMonitoring+DetDistance.pdf>
- Mellinger, D., Stafford, K. M., Moore, S., Dziak, R., & Matsumoto, H. (2007). An Overview of Fixed Passive Acoustic Observation Methods for Cetaceans. *Oceanography*, 20(4), 36–45. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2007.03>
- Mendelssohn, R. (2020). *rerddapXtracto: Extracts Environmental Data from 'ERDDAP' Web Services*.
- Meyer, D. (2016). Glider Technology for Ocean Observations: A Review. *Ocean Science Discussions*, 1–26. <https://doi.org/10.5194/os-2016-40>
- Montero, P., Daneri, G., González, H., Iriarte, J. L., Tapia, F. J., Lizárraga, L., Sanchez, N., & Pizarro, O. (2011). Seasonal variability of primary production in a fjord ecosystem of the Chilean Patagonia: Implications for the transfer of carbon within pelagic food webs. *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.003>
- Montero, P., Pérez-Santos, I., Daneri, G., Gutiérrez, M. H., Igor, G., Seguel, R., Purdie, D., & Crawford, D. W. (2017). A winter dinoflagellate bloom drives high rates of primary production in a Patagonian fjord ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 105–116.



- <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.09.027>
- Moore, S. E., Howe, B. M., Stafford, K. M., & Boyd, M. L. (2007). Including Whale Call Detection in Standard Ocean Measurements: Application of Acoustic Seagliders. *Marine Technology Society Journal*, 41(4), 53–57.  
<https://doi.org/10.4031/002533207787442033>
- Murase, H., Kitakado, T., Hakamada, T., Matsuoka, K., Nishiwaki, S., & Naganobu, M. (2013). Spatial distribution of Antarctic minke whales (*Balaenoptera bonaerensis*) in relation to spatial distributions of krill in the Ross Sea, Antarctica. *Fisheries Oceanography*, 22(3), 154–173.  
<https://doi.org/10.1111/fog.12011>
- Nieukirk, S. L., Freitas, T. R. O., Mellinger, D., & Klinck, H. (2016). A complex baleen whale call recorded in the Mariana Trench Marine National Monument. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(3), EL274–EL279.  
<https://doi.org/10.1121/1.4962377>
- Nieukirk, S. L., Mellinger, D. K., Dziak, R. P., Matsumoto, H., & Klinck, H. (2020). Multi-year occurrence of sei whale calls in North Atlantic polar waters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(3), 1842–1850.  
<https://doi.org/10.1121/10.0000931>
- Oestreich, W. K., Fahlbusch, J. A., Cade, D. E., Calambokidis, J., Margolina, T., Joseph, J., Friedlaender, A. S., McKenna, M. F., Stimpert, A. K., Southall, B. L., Goldbogen, J. A., & Ryan, J. P. (2020). Animal-Borne Metrics Enable Acoustic Detection of Blue Whale Migration. *Current Biology*, 30(23), 4773–4779.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.08.105>
- Oleson, E. M., Calambokidis, J., Burgess, W. C., McDonald, M. A., LeDuc, C. A., & Hildebrand, J. A. (2007a). Behavioral context of call production by eastern North Pacific blue whales. *Marine Ecology Progress Series*, 330, 269–284.  
<https://doi.org/10.3354/meps330269>
- Oleson, E. M., Calambokidis, J., Burgess, W., McDonald, M., LeDuc, C., & Hildebrand, J. (2007b). Behavioral context of call production by eastern North Pacific blue whales. *Marine Ecology Progress Series*, 330, 269–284.  
<https://doi.org/10.3354/meps330269>
- Palacios, D. D. M., Baumgartner, M. F., Laidre, K. L. K., & Gregr, E. J. E. (2013). Beyond correlation: integrating environmentally and behaviourally mediated processes in models of marine mammal distributions. *Endangered Species Research*, 22(3), 191–203. <https://doi.org/10.3354/esr00558>
- Palma, S., & Silva, N. (2004). Distribution of siphonophores, chaetognaths, euphausiids and oceanographic conditions in the fjords and channels of southern Chile. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6–9), 513–535. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.05.001>
- Panigada, S., Zanardelli, M., MacKenzie, M., Donovan, C., Mélin, F., & Hammond, P. S. (2008). Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*, 112(8), 3400–3412.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.11.017>
- Parks, S., Searby, A., Célérier, A., Johnson, M., Nowacek, D., & Tyack, P. L. (2011). Sound production behavior of individual North Atlantic right whales: implications for passive acoustic monitoring. *Endangered Species Research*,

- 15(1), 63–76. <https://doi.org/10.3354/esr00368>
- Pavés, H. J., González, H., Castro, L., & Iriarte, J. L. (2015). Carbon Flows Through the Pelagic Sub-food Web in Two Basins of the Chilean Patagonian Coastal Ecosystem: the Significance of Coastal–Ocean Connection on Ecosystem Parameters. *Estuaries and Coasts*, 38(1), 179–191. <https://doi.org/10.1007/s12237-014-9780-y>
- Pérez-Santos, I., Díaz, P. A., Silva, N., Garreaud, R., Montero, P., Henríquez-Castillo, C., Barrera, F., Linford, P., Amaya, C., Contreras, S., Aracena, C., Pinilla, E., Altamirano, R., Vallejos, L., Pavez, J., & Maulen, J. (2021). Oceanography time series reveals annual asynchrony input between oceanic and estuarine waters in Patagonian fjords. *Science of the Total Environment*, 798(July), 149241. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149241>
- Pérez-Santos, I., Garcés-Vargas, J., Schneider, W., Ross, L., Parra, S., & Vallelevinson, A. (2014). Double-diffusive layering and mixing in Patagonian fjords. *Progress in Oceanography*, 129, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.03.012>
- Perrin, W. F., Würsig, B., & Thewissen, J. G. M. (2009). Encyclopedia of Marine Mammals. In W. F. Perrin, B. Würsig, & J. G. M. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373553-9.X0001-6>
- Pizarro, O., Ramirez, N., Castillo, M. I., Cifuentes, U., Rojas, W., & Pizarro-Koch, M. (2016). Underwater glider observations in the oxygen minimum zone off central Chile. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(10), 1783–1789. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00040.1>
- Prieto, R., Janiger, D., Silva, M. A., Waring, G. T., & Gonçalves, J. M. (2012). The forgotten whale: A bibliometric analysis and literature review of the North Atlantic sei whale *Balaenoptera borealis*. *Mammal Review*, 42(3), 235–272. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2011.00195.x>
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. In *R Foundation for Statistical Computing*.
- Rankin, S., & Barlow, J. (2007). Vocalizations of the sei whale *balaenoptera borealis* off the hawaiian islands. *Bioacoustics*, 16(2), 137–145. <https://doi.org/10.1080/09524622.2007.9753572>
- Reeder, D. B., & Chiu, C.-S. (2010). Ocean acidification and its impact on ocean noise: Phenomenology and analysis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(3), EL137. <https://doi.org/10.1121/1.3431091>
- Risch, D., Clark, C., Dugan, P. J., Popescu, M., Siebert, U., & Van Parijs, S. M. (2013). Minke whale acoustic behavior and multi-year seasonal and diel vocalization patterns in Massachusetts Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 489, 279–295. <https://doi.org/10.3354/meps10426>
- Rogers, T. L., Ciaglia, M. B., Klinck, H., & Southwell, C. (2013). Density Can Be Misleading for Low-Density Species: Benefits of Passive Acoustic Monitoring. *PLoS ONE*, 8(1), e52542. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052542>
- Romagosa, M., Baumgartner, M. F., Cascão, I., Lammers, M. O., Marques, T. A., Santos, R. S., & Silva, M. A. (2020). Baleen whale acoustic presence and behaviour at a Mid-Atlantic migratory habitat, the Azores Archipelago. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61849-8>

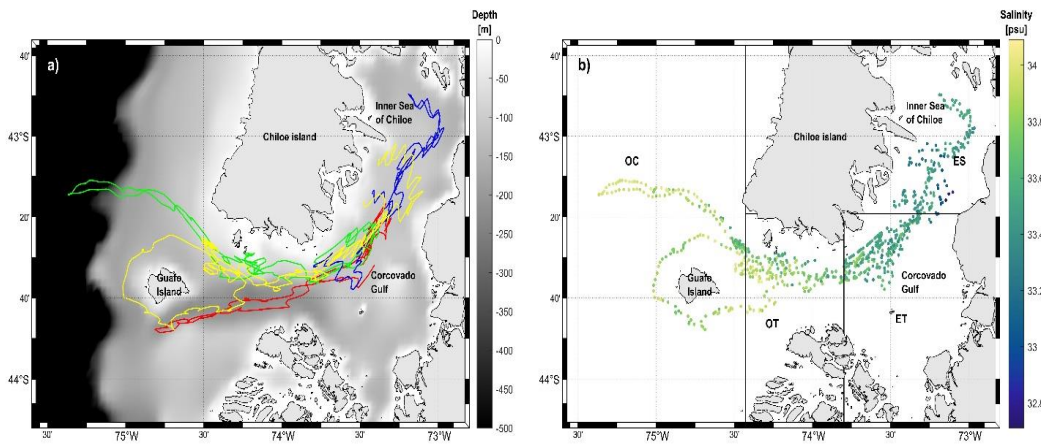
- Saddler, M. R., Bocconcelli, A., Hickmott, L. S., Chiang, G., Landea-Briones, R., Bahamonde, P. A., Howes, G., Segre, P. S., & Sayigh, L. S. (2017). Characterizing Chilean blue whale vocalizations with DTAGs: a test of using tag accelerometers for caller identification. *The Journal of Experimental Biology*, 220(22), 4119–4129. <https://doi.org/10.1242/jeb.151498>
- Saldías, G. S., Sobarzo, M., & Quiñones, R. (2019). Freshwater structure and its seasonal variability off western Patagonia. *Progress in Oceanography*, 174(October), 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.10.014>
- Samaran, F., Adam, O., & Guinet, C. (2010). Detection range modeling of blue whale calls in Southwestern Indian Ocean. *Applied Acoustics*, 71(11), 1099–1106. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.05.014>
- Samaran, F., Guinet, C., Adam, O., Motsch, J.-F., & Cansi, Y. (2010). Source level estimation of two blue whale subspecies in southwestern Indian Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(6), 3800–3808. <https://doi.org/10.1121/1.3409479>
- Schall, E., Di Iorio, L., Berchok, C. L., Filún, D., Bedriñana-Romano, L., Buchan, S., Van Opzeeland, I., Sears, R., & Hucke-Gaete, R. (2020). Visual and passive acoustic observations of blue whale trios from two distinct populations. *Marine Mammal Science*, 36(1), 365–374. <https://doi.org/10.1111/mms.12643>
- Seguel, M., & Pavés, H. J. (2018). Sighting patterns and habitat use of marine mammals at Guafo Island, Northern Chilean Patagonia during eleven austral summers. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 53(2), 237–250. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2018.53.2.1296>
- Shabangu, F. W., Findlay, K. P., Yemane, D., Stafford, K. M., van den Berg, M., Blows, B., & Andrew, R. K. (2019). Seasonal occurrence and diel calling behaviour of Antarctic blue whales and fin whales in relation to environmental conditions off the west coast of South Africa. *Journal of Marine Systems*, 190, 25–39. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.11.002>
- Sievers, H., & Silva, N. (2006). Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. *Cona*, 53–58.
- Sievers, H., & Silva, N. (2008). Water masses and circulation in austral Chilean channels and fjords. *Progress in the Oceanographic Knowledge of Chilean Interior Waters, from Puerto Montt to Cape Horn*, 53–58.
- Silva, N. (2008). Dissolved oxygen, pH, and nutrients in the austral Chilean channels and fjords. *Progress in the Oceanographic Knowledge of Chilean Interior Waters, from Puerto Montt to Cape Horn.*, 37–43.
- Silva, N., & Astorga, M. I. (2010). Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos superficiales de la zona Puerto Montt a Boca del Guafo (Norpatagonia Chilena). *Latin American Journal of Aquatic Research*, 38(1), 1–14. <https://doi.org/10.3856/vol38-issue1-fulltext-1>
- Silva, N., & Guzmán, D. (2006a). Condiciones oceanográficas físicas y químicas, entre boca del guafo y fiordo aysen CIMAR 7. *Ciencia y Tecnología Del Mar*, 29(1), 25–44.
- Silva, N., & Guzmán, D. (2006b). Condiciones oceanográficas físicas y químicas , entre boca del guafo y fiordo aysén ( crucero cimar 7 fiordos ) Comité Oceanográfico Nacional. *Ciencia y Tecnología Del Mar*, 29(1), 25–44. <https://doi.org/ISSN: 0716-2006>

- Silva, N., Reinoso, P., & Arancibia, G. (2011). Distribucion vertical de temperatura, salinidad, oxigeno disuelto y nutrientes , en la sección estero Reloncaví a boca del Guafo. (CONA C17F 11-08). *Resultados Preliminares Crucero CIMAR 17 Fiordos*, 25–34.
- Silva, N., & Vargas, C. A. (2014). Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. *Progress in Oceanography*, 129, 62–74. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.05.016>
- Silva, N., Vargas, C. A., & Prego, R. (2011). Land-ocean distribution of allochthonous organic matter in surface sediments of the Chiloé and Aysén interior seas (Chilean Northern Patagonia). *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.009>
- Širović, A., & Hildebrand, J. A. (2011). Using passive acoustics to model blue whale habitat off the Western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(13–16), 1719–1728. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2010.08.019>
- Širović, A., Hildebrand, J. A., & Wiggins, S. M. (2007). Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(2), 1208–1215. <https://doi.org/10.1121/1.2749452>
- Širović, A., Hildebrand, J. A., Wiggins, S. M., McDonald, M. A., Moore, S. E., & Thiele, D. (2004). Seasonality of blue and fin whale calls and the influence of sea ice in the Western Antarctic Peninsula. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(17–19), 2327–2344. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2004.08.005>
- Širović, A., Rice, A., Chou, E., Hildebrand, J., Wiggins, S. M., & Roch, M. (2015). Seven years of blue and fin whale call abundance in the Southern California Bight. *Endangered Species Research*, 28(1), 61–76. <https://doi.org/10.3354/esr00676>
- Spalding, M. D., Fox, H. E., Allen, G. R., Davidson, N., Ferdaña, Z. A., Finlayson, M., Halpern, B. S., Jorge, M. A., Lombana, A., Lourie, S. A., Martin, K. D., McManus, E., Molnar, J., Recchia, C. A., & Robertson, J. (2007). Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas. *BioScience*, 57(7), 573–583. <https://doi.org/10.1641/b570707>
- Stafford, K. M., Chapp, E., Bohnenstiel, D. R., & Tolstoy, M. (2011). Seasonal detection of three types of “pygmy” blue whale calls in the Indian Ocean. *Marine Mammal Science*, 27(4), 828–840. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2010.00437.x>
- Stafford, K. M., Citta, J. J., Moore, S. E., Daher, M. A., & George, J. E. (2009). Environmental correlates of blue and fin whale call detections in the North Pacific Ocean from 1997 to 2002. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 37–53. <https://doi.org/10.3354/meps08362>
- Stafford, K. M., Mellinger, D., Moore, S. E., & Fox, C. G. (2007). Seasonal variability and detection range modeling of baleen whale calls in the Gulf of Alaska, 1999–2002. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122(6), 3378–3390. <https://doi.org/10.1121/1.2799905>
- Stafford, K. M., Nieukirk, S. L., & Fox, C. G. (1999). Low-frequency whale sounds recorded on hydrophones moored in the eastern tropical Pacific. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(6), 3687–3698.

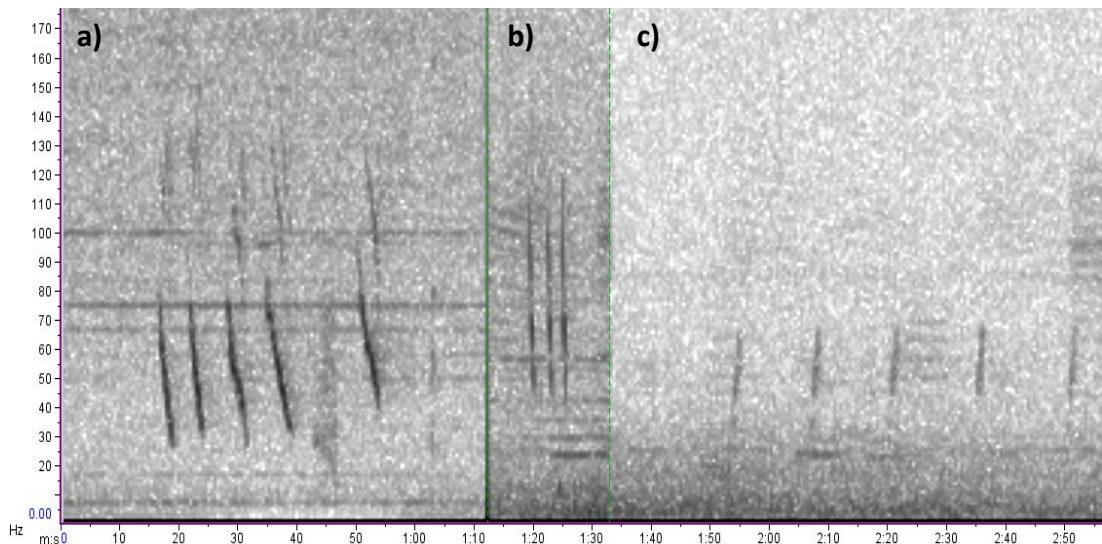
- <https://doi.org/10.1121/1.428220>
- SUBPESCA. (n.d.). *Visualizador de mapas SUBPESCA*.  
<http://mapas.subpesca.cl/ideviewer/>
- Surma, S., Pakhomov, E. A., & Pitcher, T. J. (2014). Effects of Whaling on the Structure of the Southern Ocean Food Web: Insights on the “Krill Surplus” from Ecosystem Modelling. *PLoS ONE*, 9(12), e114978.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114978>
- Szesciorka, A. R., Ballance, L. T., Širović, A., Rice, A., Ohman, M. D., Hildebrand, J. A., & Franks, P. J. S. (2020). Timing is everything: Drivers of interannual variability in blue whale migration. *Scientific Reports*, 10(1), 7710.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-64855-y>
- Team, R. C. (2019). An Introduction to dplR. In *Industrial and Commercial Training*.
- Tetley, M. J., Mitchelson-Jacob, E. G., & Robinson, K. P. (2008). The summer distribution of coastal minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in the southern outer Moray Firth, NE Scotland, in relation to co-occurring mesoscale oceanographic features. *Remote Sensing of Environment*, 112(8), 3449–3454.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.10.015>
- The Math Works Inc. (2020). *MATLAB 2020b*.
- Thomisch, K., Boebel, O., Clark, C., Hagen, W., Spiesecke, S., Zitterbart, D., & Van Opzeeland, I. (2016). Spatio-temporal patterns in acoustic presence and distribution of Antarctic blue whales *Balaenoptera musculus intermedia* in the Weddell Sea. *Endangered Species Research*, 30(1), 239–253.  
<https://doi.org/10.3354/esr00739>
- Thompson, Paul O., Findlay, Lloyd T., Cummings, W. C. (1996). Underwater sounds of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Gulf of California. *Marine Mammal Science*, 12(2), 288–293.
- Todd, R. E., Rudnick, D. L., Mazloff, M. R., Davis, R. E., & Cornuelle, B. D. (2011). Poleward flows in the southern California Current System: Glider observations and numerical simulation. *Journal of Geophysical Research*, 116(C2), C02026. <https://doi.org/10.1029/2010JC006536>
- Torres, R., Silva, N., Reid, B., & Frangópulos, M. (2014). Silicic acid enrichment of subantarctic surface water from continental inputs along the Patagonian archipelago interior sea (41–56°S). *Progress in Oceanography*, 129(PA), 50–61.  
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.09.008>
- Urick, R. (1975). *Principles of underwater sound-2*.
- Urick, R. (1979). *Sound propagation in the sea* (DARPA).
- Vásquez, S. I., de la Torre, M. B., Saldías, G. S., & Montecinos, A. (2021). Meridional changes in satellite chlorophyll and fluorescence in optically-complex coastal waters of northern patagonia. *Remote Sensing*, 13(5), 1–16.  
<https://doi.org/10.3390/rs13051026>
- Verfuss, U. K., Aniceto, A. S., Harris, D. V., Gillespie, D., Fielding, S., Jiménez, G., Johnston, P., Sinclair, R. R., Sivertsen, A., Solbø, S. A., Storvold, R., Biuw, M., & Wyatt, R. (2019). A review of unmanned vehicles for the detection and monitoring of marine fauna. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 17–29.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.009>
- Viddi, F. A., Hucke-Gaete, R., Torres-Florez, J. P., & Ribeiro, S. (2010). Spatial and

- seasonal variability in cetacean distribution in the fjords of northern Patagonia, Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 67(5), 959–970.  
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp288>
- Vila, A. R., Falabella, V., Gálvez, M., Farías, A., Droguett, D., & Saavedra, B. (2016). Identifying high-value areas to strengthen marine conservation in the channels and fjords of the southern Chile ecoregion. *Oryx*, 50(2), 308–316.  
<https://doi.org/10.1017/S0030605314000908>
- Virgili, A., Hedon, L., Authier, M., Calmettes, B., Claridge, D., Cole, T., Corkeron, P., Dorémus, G., Dunn, C., Dunn, T. E., Laran, S., Lehodey, P., Lewis, M., Louzao, M., Mannocci, L., Martínez-Cedeira, J., Monestiez, P., Palka, D., Pettex, E., ... Ridoux, V. (2021). Towards a better characterisation of deep-diving whales' distributions by using prey distribution model outputs? *PLOS ONE*, 16(8), e0255667. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255667>
- Wang, D., Huang, W., Garcia, H., & Ratilal, P. (2016). Vocalization source level distributions and pulse compression gains of diverse baleen whale species in the Gulf of Maine. *Remote Sensing*, 8(11), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs8110881>
- Webb, D. C., Simonetti, P. J., & Jones, C. P. (2001). SLOCUM: an underwater glider propelled by environmental energy. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 26(4), 447–452. <https://doi.org/10.1109/48.972077>
- Wood, S. N. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B: Statistical Methodology*, 73(1), 3–36.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x>
- Wright, A. J., Akamatsu, T., Mouritsen, K. N., Sveegaard, S., Dietz, R., & Teilmann, J. (2017). Silent porpoise: potential sleeping behaviour identified in wild harbour porpoises. *Animal Behaviour*, 133, 211–222.  
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2017.09.015>
- Zimmer, W. M. X. (2011). *Passive Acoustic Monitoring of Cetaceans*. Cambridge University Press.

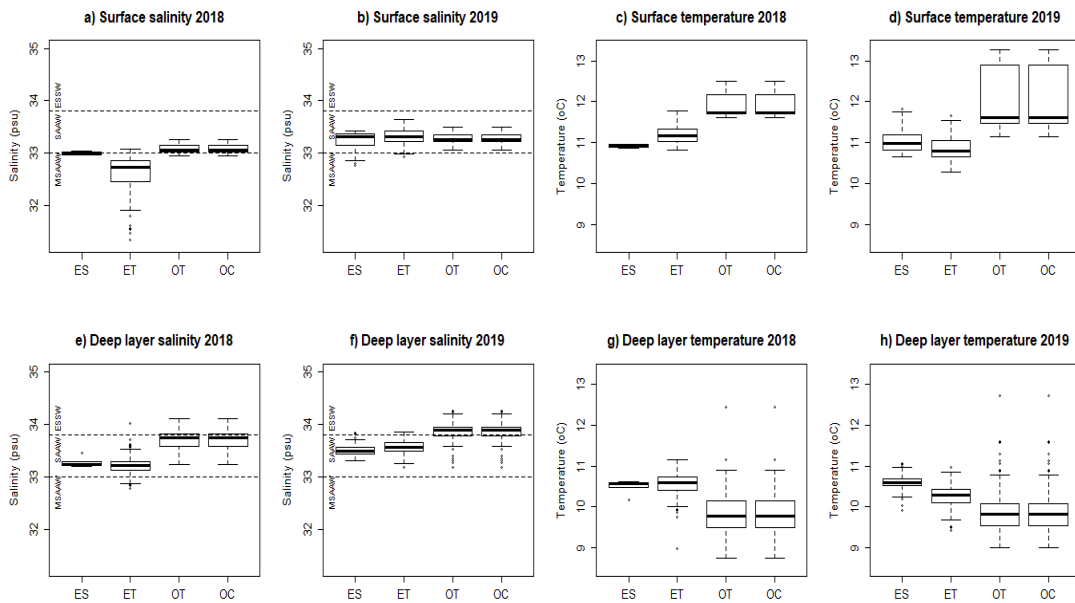
## Figures



**Figure 1.** a) Glider deployment tracks in 2018 and 2019 between the inner sea of Chile and Guafo Island. Red track: deployment 1, April 2018; green track: deployment 2, April 2019; blue track: deployment 3, April 2019; yellow track: deployment 4, May 2019. Grey scale: bathymetry from Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Chile. b) Map of deep layer salinity for 2019 deployments (d2, d3 and d4) throughout the study area. ES=Estuarine zone; ET= Estuarine Transition zone; OT=Oceanic Transition zone; OC=Oceanic zone.

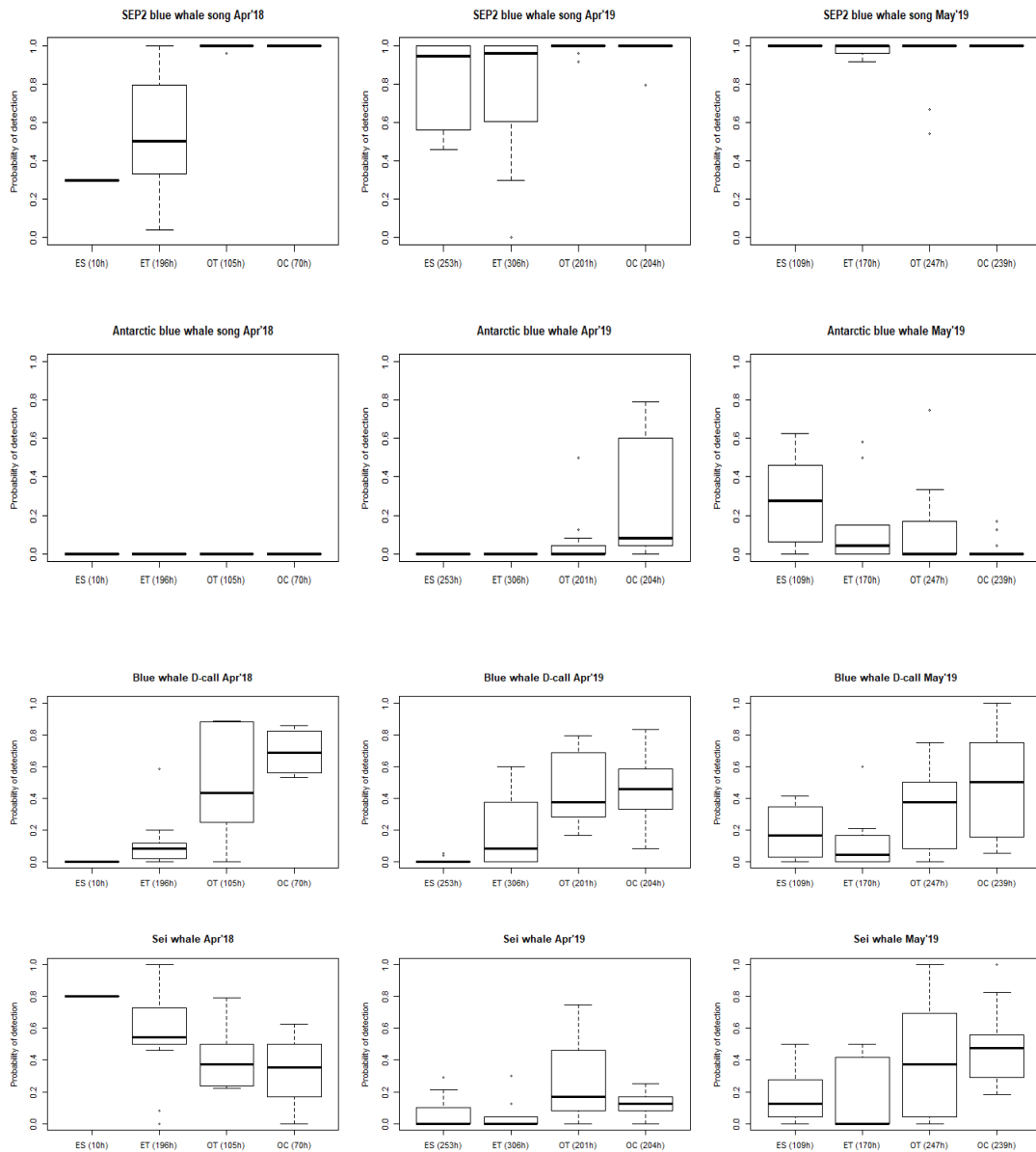


**Figure 2.** Spectrograms of (a) blue whale D-calls; b) sei whale downsweep calls; c) sei whale upsweep calls. Spectrogram parameters: FFT: 512 samples, 50% overlap, Hann Window.

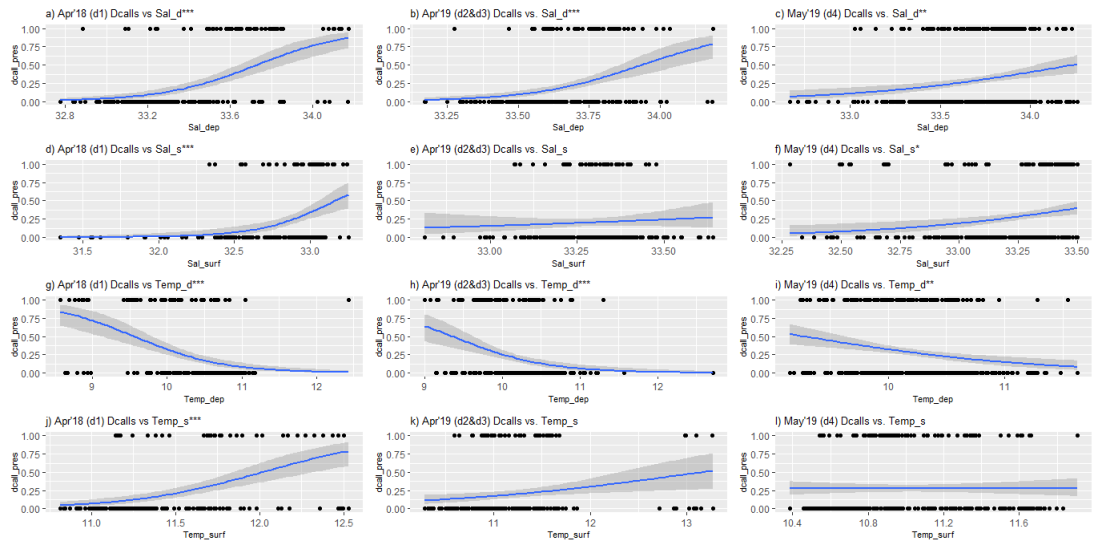


**Figure 3.** Boxplots of surface salinity (a and b), surface temperature (c and d), deep layer salinity (e and f), and deep layer temperature (g and h) for April 2018 and April 2019, and per oceanographic zone. ES=Estuarine zone; ET= Estuarine Transition zone; OT=Oceanic Transition zone; OC=Oceanic zone. Dashed lines show salinity-based water mass definitions according to Pérez-Santos et al., (2014) for this area. ESSW = Equatorial Subsurface Water; SAAW = Subantarctic Water; MSAW = Modified Subantarctic Water.

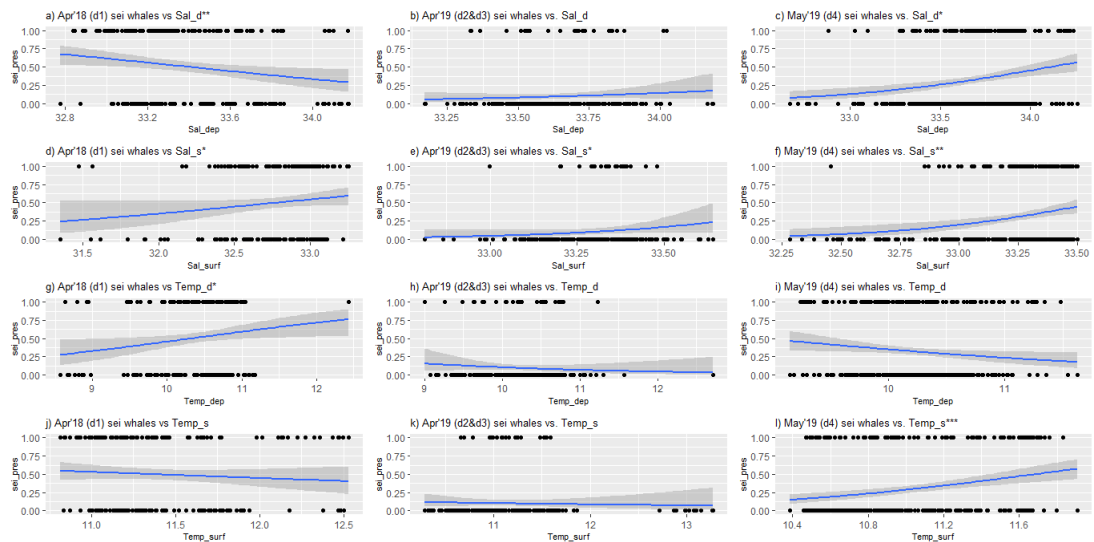




**Figure 4.** Boxplots of probability of detection of SEP2 and Antarctic blue whale songs, blue whales D-calls and sei whale calls, per study period and per oceanographic zone. First column: April 2018 (deployment 1); Second column: April 2019 (deployment 2 and 3); Third column: May 2019 (deployment 4). ES=Estuarine zone; ET= Estuarine Transition zone; OT=Oceanic Transition zone; OC=Oceanic zone. For each zone, the number of hours that the glider was in the zone is indicated in the x-axis labels.



**Figure 5.** Generalized Linear Model response curves for blue whale D-call presence and deep layer salinity (Sal\_dep), surface layer salinity (Sal\_surf), deep layer temperature (Temp\_dep) and surface layer temperature (Temp\_surf). Study periods: April 2019 (deployment 1), April 2019 (deployments 2 and 3), May 2019 (deployment 4). Bonferroni adjusted significance codes: \* $0.00416 > p > 0.00083$ ; \*\* $0.00083 > p > 0.000083$ ; \*\*\*  $p < 0.000083$ .



**Figure 6.** Generalized Linear Model response curves for probability of sei whale detection (downsweeps and upsweeps) and deep layer salinity (Sal\_dep), surface layer salinity (Sal\_surf), deep layer temperature (Temp\_dep) and surface layer temperature (Temp\_surf). Study periods: April 2019 (deployment 1), April 2019 (deployments 2 and 3), May 2019 (deployment 4). Bonferroni adjusted significance codes: \* $0.00416 > p > 0.00083$ ; \*\* $0.00083 > p > 0.000083$ ; \*\*\*  $p < 0.000083$ .

## Tables

**Table 1.** Glider deployment metadata. Deployment date, time, location, total km and hours of survey effort.

Name of glider	Deployment number	Deployment date and time	Recovery date and time	Deployment location	Recovery location	Total nautical kilometers	Total hours
Gladis	1	2018 04 12 15:13	2018 04 28 13:43	43.530 °S 73.408 °W	43.318 °S 73.370 °W	575.59	381
we04	2	2019 04 08 19:08	2019 05 02 11:23	43.524 °S 73.747 °W	43.381 °S 73.475 °W	698.50	566
Gladis	3	2019 04 08 19:16	2019 04 25 7:01	43.537 °S 73.766 °W	43.509 °S 73.718 °W	533.61	398
we04	4	2019 05 05 16:13	2019 06 06 14:13	43.269 °S 73.476 °W	43.088 °S 73.375 °W	1009.24	765
Total						2816.94	2110

**Table 2.** Summary statistics for daily probability of detection (Pd) (+/- s.d.) for blue whale song and D-calls, and sei whale calls (downsweeps and upsweeps) per year. Probability of detection based on hours with presence/total hours of recording that day. Results of comparisons between years are shown based on the adjusted p-values (p-adj) for one-way ANOVA with post-hoc Tukey Honest Significant Differences test. Significance codes: \*0.05 > p > 0.01; \*\* 0.01 > p > 0.001; \*\*\* p < 0.001.

	ys sampled	blue whale SEP2 song calls	blue whale Antarctic song calls	blue whale D-calls	sei whale calls
18 probability of detection	17	2 +/- 0.34	0 +/- 0.00	8 +/- 0.29	9 +/- 0.25
19 probability of detection	58	2 +/- 0.18	1 +/- 0.18	9 +/- 0.25	2 +/- 0.23
adj probability of detection 2018 vs 2019		024**	144*	472	9.88e-05***

**Table 3.** Generalized Linear Models for probability of detection of blue whale D-calls or sei whale calls (downsweeps and upsweeps) with temperature and salinity as explanatory variables, sorted by species and ranked by highest to lowest percentage deviance explained. SalD = deep layer salinity, SalS = surface layer salinity, TempD = deep layer temperature, TempS = surface layer temperature. Study periods: April 2019 (deployment 1), April 2019 (deployments 2 and 3), May 2019 (deployment 4). DevExp = percentage deviance explained; AIC = Aikake's Information Criteria. Bonferroni adjusted (BF p-adj) significance codes: \*0.00416 > p > 0.00083; \*\*0.00083 > p > 0.000083; \*\*\* p < 0.000083.

GLM	Study Period	Deployment	GLM Responsez variable	GLM Explanatory Variable	% DevExp	AIC	p-value	BF-adj significance codes
1	April 2018	1	Dcalls	SalD	24.7	186.09	7.20E-11	***
2	April 2019	2&3	Dcalls	SalD	13.1	248.25	6.64E-08	***
3	May 2019	4	Dcalls	SalD	3.7	434.55	9.81E-05	**
4	April 2018	1	Dcalls	SalS	12.5	180.6	6.34E-05	***
5	April 2019	2&3	Dcalls	SalS	12.5	233.83	0.374	
6	May 2019	4	Dcalls	SalS	3.2	375.86	1.48E-03	*
7	April 2018	1	Dcalls	TempD	15.3	208.9	4.70E-08	***
8	April 2019	2&3	Dcalls	TempD	8.2	259.58	5.51E-06	***
9	May 2019	4	Dcalls	TempD	3.4	436.05	1.61E-04	**
10	April 2018	1	Dcalls	TempS	17.7	169.95	7.28E-08	***
11	April 2019	2&3	Dcalls	TempS	3.2	227.31	0.006	
12	May 2019	4	Dcalls	TempS	0	388.16	0.967	
13	April 2018	1	Sei	SalD	2.2	299.4	0.0108	
14	April 2019	2&3	Sei	SalD	1.7	175.04	0.256	
15	May 2019	4	Sei	SalD	3.9	457.94	4.22E-05	**
16	April 2018	1	Sei	SalS	1.3	266.71	0.0712	
17	April 2019	2&3	Sei	SalS	1.7	150.82	0.0935	
18	May 2019	4	Sei	SalS	4.2	385.96	2.64E-04	**
19	April 2018	1	Sei	TempD	1.8	300.79	0.0238	
20	April 2019	2&3	Sei	TempD	0.6	175.29	0.313	
21	May 2019	4	Sei	TempD	1.1	471.09	0.0225	
22	April 2018	1	Sei	TempS	0.3	269.22	0.338	
23	April 2019	2&3	Sei	TempS	0.2	153.52	0.643	
24	May 2019	4	Sei	TempS	4.5	384.6	3.18E-05	***

## **Conflict of Interest**

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## **Author Contributions**

SJB contributed to study conception, design, data collection and analysis, manuscript preparation, including writing the first draft of this manuscript, and securing funding. LG contributed to data collection and analysis, and manuscript preparation. MFB and KMS contributed to study conception, design, data collection and analysis, manuscript preparation, and securing funding. NR contributed to data collection and analysis, and manuscript preparation. OP contributed to study design, data collection, and securing funding. JC contributed to data analysis. All authors commented on all previous versions of the manuscript and read and approved the final manuscript.

## **Funding**

Financial support was provided by the Office of Naval Research grant N00014-17-1-2606. Partial funding was provided by Centro COPAS Sur-Austral PFB31 and ANID APOYO CCTE AFB170006, and Centro COPAS Coastal 210021, funded by the Chilean Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) (<https://www.anid.cl/>). A MATLAB 2020b Academic License to the University of Concepción was used in this research. A free student license of Raven Pro 1.6 was kindly provided to LG by the K. Lisa Yang Center for Conservation Bioacoustics.

## **Acknowledgments**

Our sincere thanks to the captain and crew of the Don Felipe, and Matias Pizarro for their valuable support during the fieldwork. Our thanks to the Instituto de Fomento Pesquero for bathymetric data shown in Figure 1.