



**FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS ALIMENTARIAS Y
ACUICULTURA**

CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DEL HÁBITAT MARINO EN LOS
ALREDEDORES DE LAS ISLAS LIVINGSTON Y DECEPCIÓN EN EL ESTRECHO
DE BRANSFIELD DURANTE EL VERANO DE 2019

**Línea de investigación:
Condiciones oceanográficas y su impacto en los recursos hídricos**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Pesquero

Autora

Pedemonte Reategui, Teresa Olenka

Asesor

Gutiérrez Torero, Mariano Sergio

ORCID: 0000-0001-8500-717X

Jurado

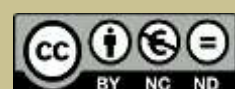
Marín Machuca, Olegario

Gherzi Belaúnde, Jorge Ricardo

Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima - Perú

2025



"CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DEL HÁBITAT MARINO EN LOS ALREDEDORES DE LAS ISLAS LIVINGSTON Y DECEPCIÓN EN EL ESTRECHO DE BRANSFIELD DURANTE EL VERANO DE 2019"

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	creativecommons.org Fuente de Internet	1%
4	ojs.inidep.edu.ar Fuente de Internet	1%
5	ihma.org.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.imarpe.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	aquadocs.org Fuente de Internet	1%
8	www.colibri.udelar.edu.uy Fuente de Internet	1%
9	core.ac.uk Fuente de Internet	1%
10	documents.ats.aq Fuente de Internet	1%
11	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE OCEANOGRAFÍA, PESQUERÍA, CIENCIAS
ALIMENTARIAS Y ACUICULTURA

CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DEL HÁBITAT MARINO EN LOS
ALREDEDORES DE LAS ISLAS LIVINGSTON Y DECEPCIÓN EN EL
ESTRECHO DE BRANSFIELD DURANTE EL VERANO DE 2019

Línea de Investigación:

Condiciones oceanográficas y su impacto en los recursos hídricos
Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Pesquero

Autora

Pedemonte Reategui, Teresa Olenka

Asesor

Gutiérrez Torero, Mariano Sergio
ORCID: 0000-0001-8500-717X

Jurado

Marín Machuca, Olegario
Gheri Belaúnde, Jorge Ricardo
Blas Ramos, Walter Eduardo

Lima – Perú
2025

Dedicatoria

Con todo cariño dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por iluminar mi camino, brindarme fortaleza y darme la perseverancia necesaria para lograrlo.

A mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y constante ánimo han sido pilares fundamentales en mi formación personal y profesional.

A mi querido Perú, nación que me vio nacer y que me inspira a aportar con compromiso y dedicación al desarrollo de la investigación científica.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, a mis padres, a mi tía Rister y Julio, a los docentes de la facultad, en especial a los de la E.P.I.P. Expreso mi sincero agradecimiento al Dr. Mariano Gutiérrez Torero, asesor de esta tesis, por su guía y confianza. Agradezco al Ing. Luis Cerpa Cornejo por su apoyo. Asimismo, agradezco a la Dra. Teresa Medialdea, al Dr. Luis Somoza y al equipo del proyecto EXPLOSEA I del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), en especial a Wai Long, por su colaboración en el marco del convenio IGME–INGEMMET a la cual agradezco. Agradezco a la Sociedad Nacional de Pesquería (SNP) y al Instituto Humboldt de Investigación Marina y Acuícola (IHMA) por su apoyo. De igual manera, expreso mi gratitud a Jose Herrera, Oscar Ancco, Roi de la Cruz, Yordi Gloria, Naomi, Elena, José Bravo, Andrea, Stefani Gálvez, Antoni Quilca y Raúl Olaechea por su apoyo y colaboración. Finalmente, agradezco a la Sra. Liliana Ávila y al personal administrativo.

ÍNDICE

RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema.....	3
1.2. Antecedentes	4
1.3. Objetivos	6
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	6
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
1.4. Justificación	7
1.5. Hipótesis	7
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	8
2.1.1. <i>Geología Marina</i>	8
2.1.2. <i>Hidroacústica</i>	10
2.1.3. <i>Batimetría monohaz</i>	10
2.1.4. <i>Ecosonda monohaz</i>	10
2.1.5. <i>Principios de funcionamiento de los sistemas de clasificación acústica de fondos</i>	13
2.1.6. <i>Clasificación Textural del fondo marino en Mapas</i>	15
2.1.7. <i>Islas Decepción y Livingston en el Estrecho de Bransfield: Características generales</i>	17

2.1.8. Cuantificación y caracterización acústica de agregaciones de organismos vivos	20
2.1.9. Estimación biomasa acústica por interpolación.....	22
2.1.10. Estimación acústica de la abundancia de macrozooplancton (según la publicación de Ballón et al. 2011).....	24
2.1.11. Parámetros oceanográficos superficiales en el Estrecho de Bransfield.....	35
2.1.12. Ecosistema marino antártico.....	37
III. MÉTODO	38
3.1. Tipo de investigación	38
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	38
3.3. Variables.....	40
3.3.1. Variables Independientes	40
3.3.2. Variables Dependientes.....	40
3.4. Población y muestra	40
3.5. Instrumentos	40
3.5.1. Softwares	41
3.5.2. Instrumentos	41
3.6. Procedimiento.....	41
3.6.1. Post-procesamiento de los Datos Obtenidos.....	41
3.7. Análisis de datos.....	42
3.7.1. Metodología para el procesamiento de los datos acústicos.....	42
3.7.2. Metodología para el procesamiento de batimetría monohaz.....	42

3.7.3. Metodología para la clasificación del tipo de fondo marino.....	44
3.7.4. Metodología bi-frecuencia para la clasificación del plancton y peces.....	45
3.7.5. Metodología para el análisis de las variables oceanográficas.....	46
IV. RESULTADOS	48
4.1. Calibración de la ecosonda Simrad EK60.....	48
4.2. Morfología del fondo marino	49
4.3. Eointegración del fondo marino	64
4.4. Abundancia acústica de macrozooplancton y peces	81
4.4.1. Distribución y concentración de macrozooplancton tipo Fluid-like.....	81
4.4.2. Distribución acústica y concentración de peces.....	83
4.5. Oceanografía	85
4.5.1. The Axe	86
4.5.2. Suroeste de Isla Decepción.....	88
4.5.3. Isla Decepción.....	91
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	100
5.1. Caracterización de geformas submarinas en los alrededores de Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe	100
5.2. Eointegración del Fondo Marino a partir de Valores de la Fuerza de Retrodispersión Acústica (Sv)	101
5.3. Distribución Espacial del Macrozooplancton y Peces en Relación Cualitativa con la Batimetría y los Tipos Sustratos:.....	103
5.4. Correlación entre la Profundidad, Temperatura, Salinidad y Oxígeno Disuelto en la Zona de Estudio.....	104

VI. CONCLUSIONES.....	106
VII. RECOMENDACIONES	108
VIII. REFERENCIAS.....	110
IX. ANEXOS.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipos e instrumentos geológicos para estudios del fondo marino y la estructura geológica subyacente.....	9
Figura 2. Funcionamiento del ecosonda monohaz en un buque.....	11
Figura 3. Componentes Básicos de un ecosonda.....	12
Figura 4. Señal temporal registrada mediante una ecosonda monohaz sobre diferentes tipos de fondo	14
Figura 5. Mapa Textural de la Carta Náutica N° 112 Punta Sal a Punta Pariñas (Herrera, 2019).....	16
Figura 6. Mapa batimétrico de la región del Estrecho de Bransfield (modificado de Klepeis y Lawver, 1994).....	18
Figura 7. Mapa de batimétrico del Estrecho de Bransfield con la localización de los centros volcánicos “The Axe”, “Three Sisters” y “Hook Ridge” (Aquilina et al., 2013).....	19
Figura 8. Mapa de distribución y densidad acústica de krill (en m^2/mn^2) en el Estrecho de Bransfield y alrededores de la Isla Elefante, ANTAR XVII.	21
Figura 9. Interpolación por Krigeo.....	23
Figura 10. Diagrama conceptual de la aplicación del algoritmo bi-frecuencia.....	28
Figura 11. Relación entre k_a y la diferencia entre el volumen retrodispersado a 120 y 38 kHz.	30
Figura 12. Algoritmo “FishZpkPeru38&120.evi” creado por M. Ballón et al (2010).....	32
Figura 13. Ecogramas comparados de organismos del macrozooplancton a 120 kHz (izquierda) y 38 kHz (derecha)	34

Figura 14. Mapas de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto registrados durante dos cruceros científicos peruanos en el Estrecho de Bransfield e Isla Elefante. Modificado de (Valdez et al., 2022).....	36
Figura 15. Área de estudio, trayecto recorrido y estaciones de muestreo de sedimento roca y oceanográficas realizadas entre la Isla Livingston, Decepción y en la zona del monte submarino The Axe en el Estrecho de Bransfield.	39
Figura 16. Grid Data Kriging aplicado en Surfer Golden V.13.....	43
Figura 17. Blanqueo del mapa de contornos	44
Figura 18. Visualización del algoritmo para limpiar ruido de los ecogramas 38 y 120 kHz en Echoview versión 14.....	44
Figura 19. Batimetría 2D del transecto de la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1 entre el suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston	50
Figura 20. Batimetría 3D Suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston.	51
Figura 21. Geoformas de la zona suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston.....	53
Figura 22. Geoformas Suroeste de Isla Decepción.....	53
Figura 23. Trazo de perfiles sobre el posible monte submarino al suroeste de Isla Decepción	54
Figura 24. Perfil transversal A-A´ sobre el monte submarino al suroeste de Isla Decepción	55
Figura 25. Perfil longitudinal B-B´ sobre el monte submarino al suroeste de Isla Decepción	56
Figura 26. Batimetría 2D del transecto de la expedición EXPLOSEA 1 en la zona del monte submarino The Axe.....	58
Figura 27. Batimetría 3D de la zona de The Axe	59

Figura 28. Geoformas en los alrededores de la zona del monte submarino The Axe.....	60
Figura 29. Trazo de perfiles sobre el monte submarino The Axe.....	61
Figura 30. Perfil transversal A-A´ sobre el monte submarino de The Axe	62
Figura 31. Perfil longitudinal B-B´ sobre el monte submarino de The Axe.....	63
Figura 32. Perfil transversal C-C´ sobre el monte submarino de The Axe.....	64
Figura 33. Mapa de ubicación de muestras de sedimento y roca asociado a 2 grillas con valores de la Fuerza de retrodispersión acústica (Sv).....	74
Figura 34. Histograma de frecuencias de la grilla 1-6 que contiene los valores de retrodispersión (Sv).	74
Figura 35. Mapa Textural del transecto de la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1 entre el suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston	76
Figura 36. Histograma de frecuencias de la grilla 7-8 que contiene los valores de retrodispersión (Sv)	78
Figura 37. Mapa de reflectividad del transecto de la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1 en la zona de The Axe	80
Figura 38. Densidad acústica de macrozooplancton tipo Fluid-like en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019.	82
Figura 39. Biovolumen acústico de macrozooplancton tipo Fluid-like en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019.	83
Figura 40. Densidad acústica NASC 120 kHz Peces en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019.....	84
Figura 41. Densidad acústica NASC 38 kHz Peces en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019.....	85
Figura 42. Perfiles de temperatura (A), salinidad (B) y oxígeno disuelto (C) de la zona de The Axe entre el 26 y 27 de febrero del 2019	86

Figura 43. Matriz de correlación de Pearson entre temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la zona de The Axe entre el 26 y 27 de febrero del 2019.....	88
Figura 44. Perfiles de temperatura (A), salinidad (B) y oxígeno disuelto (C) de la zona Suroeste de Isla Decepción el 22 de febrero del 2019.....	89
Figura 45. Matriz de correlación de Pearson entre la profundidad, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto de la zona Suroeste de Isla Decepción el 22 de febrero del 2019	91
Figura 46. Perfiles de temperatura (A), salinidad (B) y oxígeno disuelto (C) de la zona dentro de Isla Decepción entre el 1 al 3 de marzo del 2019	92
Figura 47. Matriz de correlación de Pearson entre temperatura, salinidad y oxígeno disuelto de la zona dentro de Isla Decepción entre el 1 al 3 de marzo del 2019...	94
Figura 48. Distribución de temperatura superficial del mar (°C), entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 21 de febrero del 2019	95
Figura 49. Distribución de temperatura superficial del mar (°C) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 24 de febrero del 2019	96
Figura 50. Distribución de temperatura superficial del mar (°C) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 27 de febrero del 2019	96
Figura 51. Distribución de la salinidad superficial del mar (UPS) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 21 de febrero del 2019	98
Figura 52. Distribución de la salinidad superficial del mar (UPS) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 24 de febrero del 2019	98
Figura 53. Distribución de salinidad superficial del mar (°C) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 27 de febrero del 2019	99
Figura A. Secuencia para crear un mapa con la opción Classed Post Map de Surfer ..	128
Figura B. Mapa de classed post map en Surfer.....	129

Figura C. Opción “Digitize” de Surfer para los puntos del polígono de blanqueo.....	130
Figura D. Cuadro de coordenadas del ploteo del polígono de blanqueo en Surfer	130
Figura E. Coordenadas que se obtuvieron de los puntos ploteados.....	131
Figura F. Secuencia de generación del Variograma experimental en Surfer.....	132
Figura G. Cuadro general del Variograma experimental en Surfer	133
Figura H. Variograma experimental con un ángulo de 0.2 grados	133
Figura I. Variograma experimental con un ángulo de 0.15 grados.....	134
Figura J. Cuadro de propiedades del Variograma experimental.....	135
Figura K. Variograma experimental modelado	135
Figura L. Grid Data Krigging aplicado en Surfer	136
Figura M. Grid Data Krigging aplicado en Surfer.....	137
Figura N. Variograma modelo final.....	137
Figura Ñ. Grid Data Kriging aplicado en Surfer.....	138
Figura O. Cuadro de propiedades de Grid Data en Surfer	138
Figura P. Cuadro de opciones avanzadas de Kriging en Surfer.....	139
Figura Q. Secuencia para generar el mapa de contornos en Surfer	140
Figura R. Visualización del mapa obtenido con la interpolación con el ajuste del variograma modelo en Surfer	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros Acústicos de Calibración a 38 kHz y 120 kHz	48
Tabla 2	Compilado de descripción de muestras de sedimento, roca y valores de la Fuerza de la retrodispersión acústica (Sv)	67
Tabla 3	Cuadro de clasificación estadística de la grilla 1-6 que contiene los valores de retrodispersión (Sv).	73
Tabla 4	Clases granulométricas y sus respectivos rangos de reflectividades (Sv)	74
Tabla 5	Cuadro de clasificación estadística de la grilla 7-8 que contiene los valores de retrodispersión (Sv).	77
Tabla 6	Clases de reflectividad y sus respectivos rangos de reflectividades (Sv)	78

RESUMEN

El hábitat marino alrededor de las islas Livingston y Decepción, al oeste del Estrecho de Bransfield en la Antártida, es ecológicamente importante por su actividad volcánica y su rol en la distribución del krill antártico (*Euphausia superba*). A pesar de su relevancia, hay pocos estudios sobre la abundancia de krill en la zona. Este estudio utilizó métodos acústicos de doble frecuencia para analizar la distribución y densidad del macrozooplancton y peces, cartografiar la batimetría, clasificar texturas del fondo marino y correlacionar variables oceanográficas como temperatura, salinidad y oxígeno disuelto con la profundidad. Los resultados revelaron una morfología submarina compleja, con montes y depresiones asociadas a actividad volcánica. Destaca un monte submarino al suroeste de Decepción, con pendientes pronunciadas y base a -900 m. Entre Livingston y Decepción predominan roca volcánica (45.23%), grava (25.80%), arena (22.61%) y arcilla (6.36%), evidenciando una historia volcánica. En la zona de The Axe, se clasificó el fondo según reflectividad acústica (alta, media y baja). La distribución del macrozooplancton y peces se relacionó con la textura del fondo y la complejidad del relieve, concentrándose en zonas de sustratos duros. Las variables oceanográficas mostraron correlaciones significativas, especialmente en The Axe, posiblemente influenciadas por el derretimiento del hielo. Destacó un patrón inusual de aumento del oxígeno disuelto con la profundidad, atribuible a la circulación particular de masas de agua antárticas. El estudio caracterizó acústicamente componentes bióticos y no bióticos, aportando información valiosa para la conservación, aunque se recomienda el uso de tecnología de mayor resolución en futuras investigaciones.

Palabras claves: Hábitat marino, Islas Livingston y Decepción, The Axe, métodos acústicos, distribución de krill, batimetría, texturas del fondo marino, reflectividad acústica, variables oceanográficas

ABSTRACT

The marine habitat around Livingston and Deception Islands, west of the Bransfield Strait in Antarctica, is ecologically important due to its volcanic activity and its role in the distribution of Antarctic krill (*Euphausia superba*). Despite its relevance, there are few studies on krill abundance in the area. This study used dual-frequency acoustic methods to analyze the distribution and density of macrozooplankton and fish, map the bathymetry, classify seafloor textures, and correlate oceanographic variables such as temperature, salinity, and dissolved oxygen with depth. The results revealed a complex underwater morphology, with seamounts and depressions associated with volcanic activity. A notable feature is a seamount southwest of Deception Island, with steep slopes and a base at -900 m. Between Livingston and Deception, volcanic rock (45.23%), gravel (25.80%), sand (22.61%), and clay (6.36%) predominate, indicating a volcanic history. In the area known as "The Axe," the seafloor was classified according to acoustic reflectivity (high, medium, and low). The distribution of macrozooplankton and fish was related to bottom texture and topographic complexity, concentrating in areas with hard substrates. Oceanographic variables showed significant correlations, especially in The Axe area, possibly influenced by ice melt. An unusual pattern of increasing dissolved oxygen with depth was observed, which may be attributed to the unique circulation of Antarctic water masses. The study acoustically characterized both biotic and abiotic components, providing valuable information for conservation, although higher-resolution technology is recommended for future research.

Keywords: Marine habitat, Livingston and Deception Islands, The Axe, acoustic methods, krill distribution, bathymetry, seafloor textures, acoustic reflectivity, oceanographic variables.

I. INTRODUCCIÓN

El ecosistema marino antártico alberga una alta diversidad de fauna marina, desde depredadores superiores hasta pequeños microorganismos (Villarroel, 2016). Es por ello que es importante la identificación y cuantificación de las especies que albergan este ecosistema marino antártico, que es considerada una reserva alimentaria para la humanidad por la alta abundancia de eufáusidos como el krill (Sánchez, 2007).

En la Antártida, el Estrecho de Bransfield se halla en la región FAO 48.1, que es una de las más importantes respecto a la distribución del krill antártico, del cual existen varias especies, siendo la más abundante *Euphausia superba* (Agnew & Marín, 1994). Sin embargo, en el Estrecho de Bransfield, que es considerada como una de las zonas principales para la distribución del krill, la zona ubicada en los alrededores de las Islas Livingston y Decepción ha sido menos estudiada.

Dicha zona es volcánica, por lo que es necesario realizar una caracterización del fondo marino que permita un análisis de la estructura sedimentaria de la zona, así como la identificación de geofomas, la clasificación del tipo de sedimento, los riesgos geológicos y los deslizamientos submarinos (Haniotis, 2010). Estos aspectos caracterizan dicha zona, que asimismo, como se ha señalado, registra una significativa actividad volcánica. (Lawver et al., 1995)

En el ámbito de la biodiversidad, la caracterización de fondo marino y de las características de la columna de agua es de vital importancia, ya que en ella habitan especies que son clave para el océano austral como el Krill Antártico, además de salpas entre otras especies del zooplancton (Quiñones et al., 2016). Asimismo, en la zona se llevan a cabo actividades de pesca de krill (Martínez, 2020), que ha venido cobrando creciente importancia

bajo las regulaciones de la Convención para la Conservación de los Recursos Marinos Vivos Antárticos (CCRVMA) (Chong & Pavez, 2020).

Para la caracterización de ecosistemas acuáticos, los estudios hidroacústicos son pieza fundamental para responder a estas necesidades (Rodríguez, 2015). La hidroacústica nos permite adquirir una variedad de informaciones, que va desde la batimetría y la clasificación del fondo hasta la estimación de la abundancia y distribución de los organismos que habitan en la columna de agua, incluidas las macrófitas, el zooplancton y, los peces (Brandt, 1996).

Asimismo, para la cartografía de las condiciones térmicas, halinas y oxigenas a diversos estratos de profundidad en la zona de estudio se utiliza información oceanográfica con el propósito de evaluar la posible existencia de relaciones respecto a la distribución vertical del krill, debido a que son organismos que realizan migraciones verticales en la columna de agua como parte de un ciclo nictemeral (Rivera & Giraldo, 2019), y factores como las condiciones físico-químicas, las relaciones interespecíficas, las particularidades de los ciclos de vida de las especies y su dispersión, etc., circunscriben las poblaciones a ambientes determinados (Boltovskoy, 1981; Castellví, 1972; Wicstead, 1979).

En este estudio se propone realizar una investigación aplicada para caracterizar, utilizando principalmente métodos acústicos, el hábitat marino ubicado entre las Islas Livingston, Decepción y adicionalmente la zona de The Axe en el Estrecho de Bransfield. La información a ser analizada proviene de la Expedición Científica Española en la Antártida EXPLOSEA-1 como parte del proyecto: “Exploración de Emisiones Submarinas de Fluidos Hidrotermales, Mineralizaciones y Geobio-sistemas asociados”.

1.1. Descripción y formulación del problema

La zona ubicada en los alrededores de la Isla Decepción, ubicada al oeste del Estrecho de Bransfield, es una zona volcánica y asimismo es una zona importante de distribución del krill antártico (*Euphausia superba*), aunque durante las expediciones antárticas peruanas no se ha estudiado al krill en dicha área. Asimismo, para dicha región no existe una investigación que vincule la posible abundancia relativa del krill con las emanaciones del fondo marino. De otro lado, los efectos agregados del cambio climático, más las condiciones volcánicas de la región, justifican el desarrollo de una investigación que permita caracterizar la zona en sus condiciones biogeográficas, a fin de contribuir con los esfuerzos de la comunidad internacional para la conservación de los recursos marinos vivos antárticos.

Asimismo, no se ha cuantificado la abundancia de krill antártico (*Euphausia superba*) y zooplancton en los alrededores de Isla Decepción, Estrecho de Bransfield, Antártida. Asimismo, no existe una clasificación de tipo de fondos con información acústica monohaz en la zona de estudio.

Sin embargo, existen varios estudios bioacústicos que suponen una importante cantidad de Krill antártico en la zona en estudio (Murphy & Willis, 1996; Nowacek et al., 2011) pero no hay cuantificación acústica específica de la biomasa de krill antártico (*Euphausia superba*) en los alrededores de Isla Decepción e Isla Livingston ubicadas al oeste del Estrecho de Bransfield, donde tampoco se ha llevado a cabo una batimetría tridimensional de la zona en estudio asimismo no hay una descripción de los patrones de migración vertical nictameral del krill y otros componentes del zooplancton.

Por las razones indicadas es conveniente desarrollar una línea de base que facilite el monitoreo futuro de la zona en estudio con propósitos de analizar la variabilidad de las características biogeográficas más resaltantes de la zona, lo cual es relevante para la

modelización de escenarios futuros de cambio climático. La pregunta científica que se ha planteado es la siguiente: ¿Es posible hacer una caracterización acústica de las geoformas y características biogeográficas de los alrededores de la Isla Decepción?

1.2. Antecedentes

Una de las primeras aplicaciones submarinas de la acústica fue sondear los fondos (Remiro, 2019) reemplazando los cables-sonda el cual todavía al principio de siglo XX se usaba para medir la profundidad de la columna de agua debajo de un barco (Haniotis, 2010). Los métodos acústicos han ido evolucionando, por ejemplo, desde la tecnología monohaz a la multihaz con coberturas cada vez más amplias (Sánchez, 2012).

Así también, el primer uso de la acústica para la detección de peces se le atribuye a Kimura (Simmonds & Maclennan, 2005). Esto dio paso a la introducción de la técnica de eointegración para el procesamiento de los datos acústicos (Foote, 1982; 1983), que supuso el paso de utilizar métodos de análisis estadísticos y numéricos a la determinación cuantitativa de los recursos pesqueros a través de mediciones de eointegración de la retrodispersión del sonido (Ventero 2016; Castillo et al., 2009).

La cantidad de energía acústica reflejada por los organismos presentes en la columna de agua es proporcional a su abundancia, por lo que si se conoce la cantidad de energía acústica que refleja un organismo puede calcularse la abundancia de dichos organismos (Castillo et al., 2009). La determinación de la cantidad exacta de energía que devuelve como eco un organismo motivó a los científicos e ingenieros a desarrollar nuevas tecnologías para medir la reflectividad acústica de los peces, y así realizar correctamente la conversión entre energía acústica y abundancia (número de individuos) (Medwin & Clay, 1998; Urick, 1983). La reflectividad acústica es, entonces, la cantidad de energía de sonido que un solo individuo aislado puede devolver bajo la forma de eco o retrodispersión (Rodríguez, 2015; Ventero, 2016).

Esta reflectividad acústica se conoce también como ‘Fuerza de blanco’ (o TS, en inglés, por su traducción ‘target strength’) (Ventero, 2016). El desarrollo de factores de corrección para compensar las pérdidas que sufre el sonido con la profundidad, así como la mejora de las técnicas de calibración estándar posibilitó un estudio más exhaustivo de las comunidades pelágicas (Fernandes et al., 2002). A finales de los años ochenta, se propuso el uso simultáneo de múltiples frecuencias. Esto, permitió a los científicos comprobar que la señal acústica reflejada por los distintos organismos presentes en la columna de agua, se ve influenciada por la frecuencia a la que son insonificados (Chu, 2011). Este descubrimiento supuso un gran avance en la interpretación de ecogramas, pues abrió la puerta a la detección y separación de distintos grupos ecológicos (Simmonds & MacLennan, 2005).

En el año 2004, Gutiérrez & Herbozo (2004) realizaron una clasificación del tipo de fondo marino empleando información de retrodispersión acústica obtenida durante un Crucero Paleoceanográfico entre las zonas de Hormigas de Afuera y Península de Paracas en el mar peruano. La investigación comprendió, como método de estudio, la ecointegración del fondo marino para posteriormente clasificar los tipos de fondo en función de su dureza.

De otro lado, Gutiérrez et al. (2016) realizaron una prospección de pequeña escala entre las islas Elefante, Clarence y Gibbs con la finalidad de medir la distribución, abundancia y proximidad de enjambres de krill (*Euphausia superba*) en relación con sus depredadores. El resultado más resaltante fue que la abundancia de krill fue la más baja medida por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) desde 1988; de otro lado, el ascenso del krill hacia la superficie implica una disminución temporal en su capacidad de retrodispersión acústica, lo que confirmaría que este fenómeno se explica por la variación temporal del ángulo de natación del krill durante sus migraciones verticales.

Recientemente, Valdez et al. (2022) realizaron la caracterización de agregaciones de krill (*Euphasia superba*) identificadas en el Estrecho de Bransfield y alrededores de la Isla Elefante, en la cual para la detección de agregaciones de krill se utilizaron dos frecuencias (38 y 120 kHz), hallándose un total de 22,221 agregaciones. Los descriptores acústicos fueron analizados a través de una correlación de Pearson. Para la caracterización de agregaciones de krill se aplicó un análisis de componentes principales (PCA), seguidamente de un agrupamiento jerárquico tomando en cuenta los parámetros físicos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a escala interanual.

Muchos otros antecedentes están disponibles en la literatura científica relacionada con la Antártida, pero se ha citado lo que se considera como más relevante respecto a los objetivos de la investigación propuesta.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Caracterizar el hábitat marino en los alrededores de las islas Livingston y Decepción al oeste del Estrecho de Bransfield, Antártida, empleando principalmente métodos acústicos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Medición de la abundancia y biovolumen de eufáusidos en la zona de estudio, así como de densidad de peces.
- Construir la batimetría de la zona de estudio, así como realizar la identificación de geoformas.
- Caracterización acústica del tipo de fondo marino.

- Determinar las características térmicas, halinas y de saturación de oxígeno de la zona en estudio.

1.4. Justificación

Este estudio se justifica por los posibles efectos agregados del cambio climático, más las condiciones volcánicas de la región de Isla Decepción, sobre los recursos vivos de la zona, principalmente el zooplancton y el krill antártico. La investigación que permita caracterizar la zona en sus condiciones biogeográficas, constituiría una línea de base para estudios futuros que son necesarios para evaluar los impactos del cambio climático y la actividad volcánica en la zona. Esta línea de base contribuirá con los esfuerzos de la comunidad internacional para la conservación de los recursos marinos vivos antárticos en una zona que hasta ahora ha sido poco estudiada.

Asimismo, por las razones indicadas en el párrafo anterior, se debe tener en cuenta la conveniencia de realizar una cuantificación acústica del krill antártico (*Euphasia superba*) y zooplancton en los alrededores de las Islas Livingston y Decepción en el Estrecho de Bransfield. Del mismo modo, no existe una batimetría tridimensional de la zona en estudio empleando información acústica monohaz en la zona de estudio.

1.5. Hipótesis

- Es posible caracterizar acústicamente los componentes bióticos y no bióticos de los alrededores de la Isla Decepción.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Geología Marina*

La geología es la ciencia que estudia la dinámica de los cambios de la Tierra a lo largo del tiempo, apoyándose en el análisis de rocas y observaciones de montañas, llanuras y fondos oceánicos para explicar tanto el origen de los continentes y océanos como la diversidad de las superficies terrestres (Iriando, 2007). Cuando dichos estudios se aplican a la investigación de la corteza terrestre que está cubierta por las aguas oceánicas, se le denomina oceanografía geológica o geología marina (Cifuentes et al., 1997).

La geología marina se ocupa de todos los aspectos geológicos y los cambios que han sufrido desde la formación del planeta tierra de las plataformas, taludes continentales, de las cuencas oceánicas, así como las áreas costeras como playas, estuarios (European Geological Data Infrastructure [EGDI], 2022; United States Geological Survey [USGS], 2020). En consecuencia, para realizar investigaciones en geología marina se han desarrollado metodologías y equipos geológicos para estudios del fondo marino y la estructura geológica subyacente (Cifuentes et al., 1997) (Figura 1).

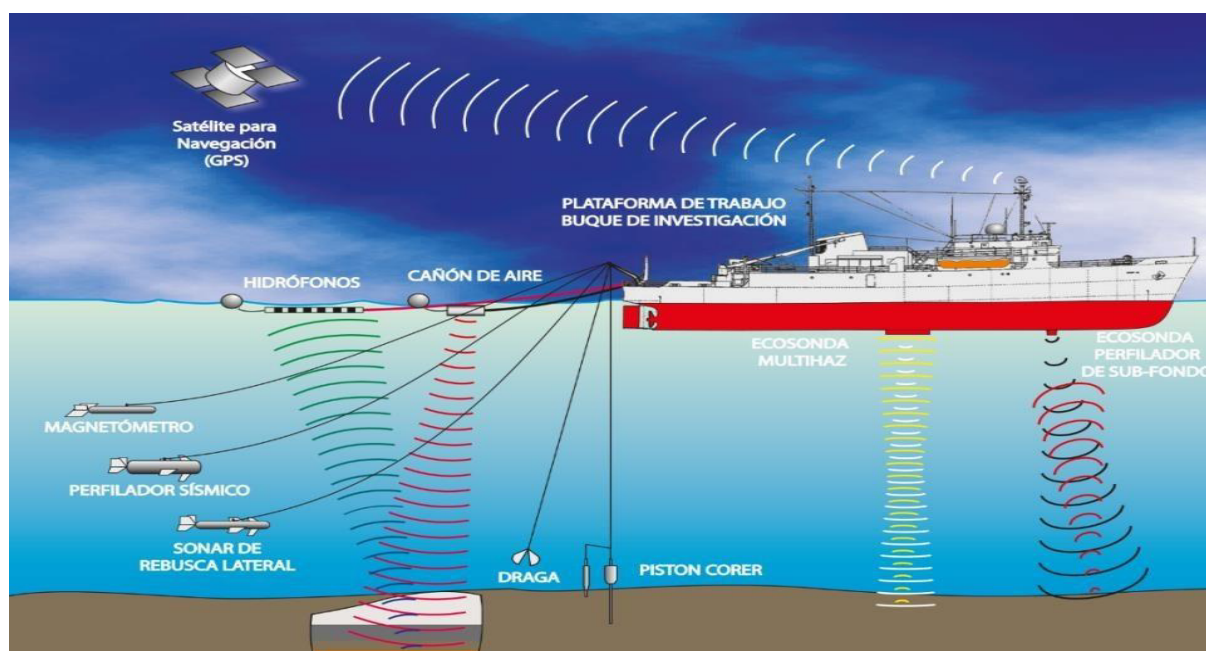
Por años, el enfoque principal de la geología marina ha estado en la sedimentación marina y en la interpretación de las muestras del fondo marino (Cifuentes et al., 1997; Editors of Encyclopaedia Britannica, 2020). Sin embargo, en la década del sesenta, se amplió el alcance del ámbito de la geología marina adentrándose en las investigaciones de las dorsales oceánicas, el magnetismo remanente de las rocas en el fondo marino, los análisis geoquímicos del fondo marino y la deriva continental (Editors of Encyclopaedia Britannica, 2020). Así como, la geomorfología, sistemas deposicionales, la paleoceanografía, la tectónica y evolución

geodinámica de los márgenes continentales y cuencas oceánicas, las emisiones de fluidos y los recursos naturales (Medialdea & Somoza, 2018).

La geología marina, además de apoyar actividades como la pesca, la extracción de hidrocarburos entre otros (Haniotis, 2010); proporciona datos geológicos marinos que son utilizados para conocer los peligros geológicos potenciales como erupciones volcánicas submarinas, tsunamis relacionados con terremotos y deslizamientos de tierra (Huhn et al., 2019). Importan no solo en la zona costera altamente dinámica, donde las actividades humanas en tierra y mar adentro ejercen una enorme presión sobre el medio ambiente, sino también en los océanos profundos (EGDI, 2022).

Figura 1

Equipos e instrumentos geológicos para estudios del fondo marino y la estructura geológica subyacente.



Nota. Observamos un buque científico con los principales instrumentos geológicos acústicos y equipos para la investigación del fondo marino. Tomado de Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2019)

2.1.2. Hidroacústica

La hidroacústica es la única herramienta eficiente que permite estudiar el medio acuático más allá de la capa superficial de una manera remota (Cabreira, 2017). Debido a las propiedades físicas del océano, las ondas de luz solo pueden viajar unos pocos metros en el agua antes de que se absorba su energía (Cifuentes et al., 1997). Las ondas sonoras, por su parte, recorren grandes distancias bajo el agua sin perder fuerza, lo que convierte al sonido en un método muy eficaz para observar fenómenos geológicos y biológicos en el océano (National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA], 2022). Entre las principales utilidades se encuentran la detección y localización de organismos, topografía submarina, localización de objetos, estudio de la densidad, biomasa y comportamiento de los peces (Sánchez, 2012; Cabreira, 2017).

2.1.3. Batimetría monohaz

La batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por agua, a partir de las mediciones de profundidad, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, humedales, lagos, etc. (IDS Topografía, 2020; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2018) para obtener las cartas o mapas batimétricos; también llamada cartografía marina (IDS, 2020). Existen diferentes técnicas para llevar a cabo la batimetría, las cuales ofrecen diferentes resultados en precisión y alcance (Ballester, 2010; IDS Topografía, 2020). En el caso de utilizar una ecosonda monohaz, se obtiene la profundidad de un solo punto; a medida que avanza la embarcación, se obtiene la batimetría de una línea (Delgado, 2015).

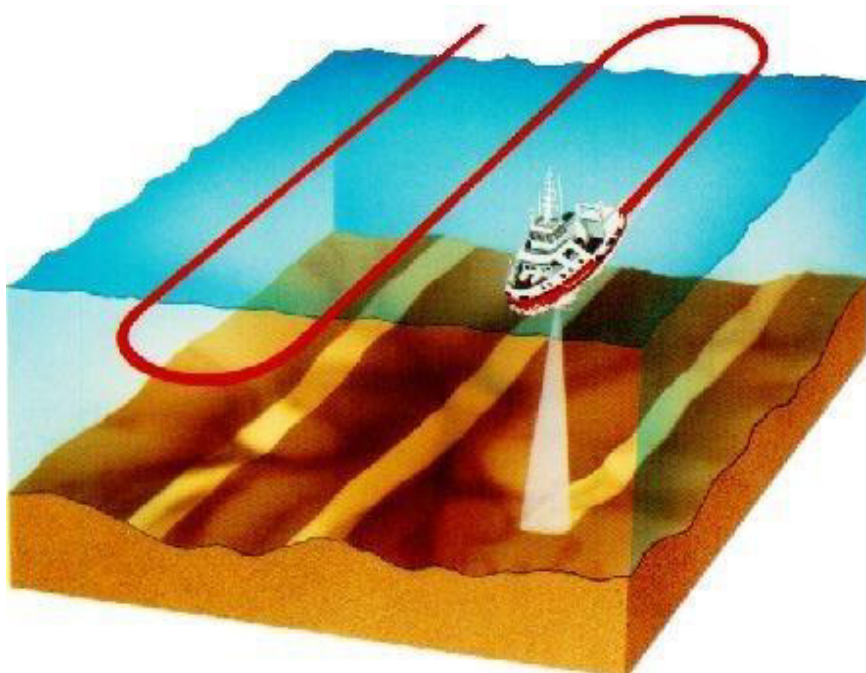
2.1.4. Ecosonda monohaz

Es un equipo acústico de medición que emite un solo haz acústico en sentido usualmente vertical, que permite medir la distancia entre la superficie superior del agua y el

fondo marino (Llorens, 2016; Delgado, 2015). Además, permite detectar fauna subacuática y obtener perfiles puntuales del fondo marino (Moreno, 2012; Delgado, 2015). Su principio de funcionamiento está basado en medir el tiempo que toma una onda acústica en recorrer la distancia entre el punto de partida y el fondo marino; y su retorno al punto de partida (Delgado, 2015) (Figura 2).

Figura 2

Funcionamiento del ecosonda monohaz en un buque



Nota. Adaptado de Muhammad et al. (2019)

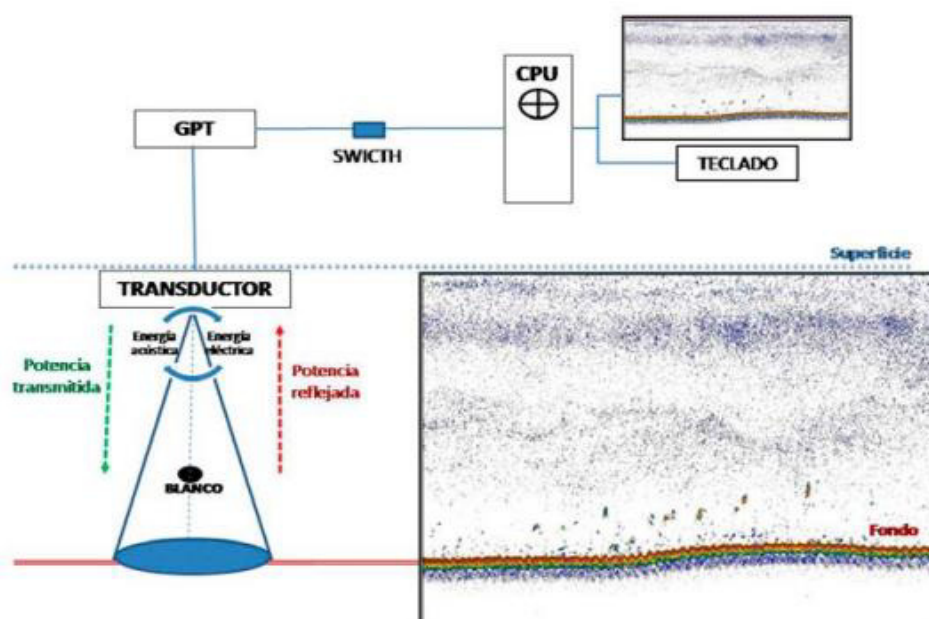
Los principales componentes básicos de la ecosonda científica monohaz son: (1) el transductor, que es el dispositivo encargado de convertir la energía eléctrica en energía acústica y viceversa (Ballester, 2010); (2) la unidad Central de Procesamiento (CPU), el cual controla la tasa de emisión de sonido (“ping rate”) con la que se envían pulsos de sonido a través de la columna de agua (Ventero, 2016); (3) un “General Purpose Transceiver” (GPT) la cual es la unidad que genera los pulsos y procesa los ecos recibidos a través del transductor; y (4) una

pantalla en la que la señal modulada de sonido es presentada en formato gráfico (Castillo et al., 2009) (Figura 3).

El rango óptimo de frecuencias utilizadas en acústica submarina se extiende entre los 15 y 200 kHz, se elige en función al objetivo, naturaleza del fondo y profundidad que se desea explorar (Delgado, 2015). Según la frecuencia, la ecosonda genera diferentes patrones de reflectividad frente a los también diferentes organismos detectados. Es por ello que, a través de un análisis multifrecuencia se puede identificar diferentes especies, y convertir los valores medidos en índices de abundancia (Moreno, 2012).

Figura 3

Componentes Básicos de un ecosonda



Nota. Esquema realizado para explicar el funcionamiento de un ecosonda. Tomado de Ventero (2016).

2.1.5. Principios de funcionamiento de los sistemas de clasificación acústica de fondos

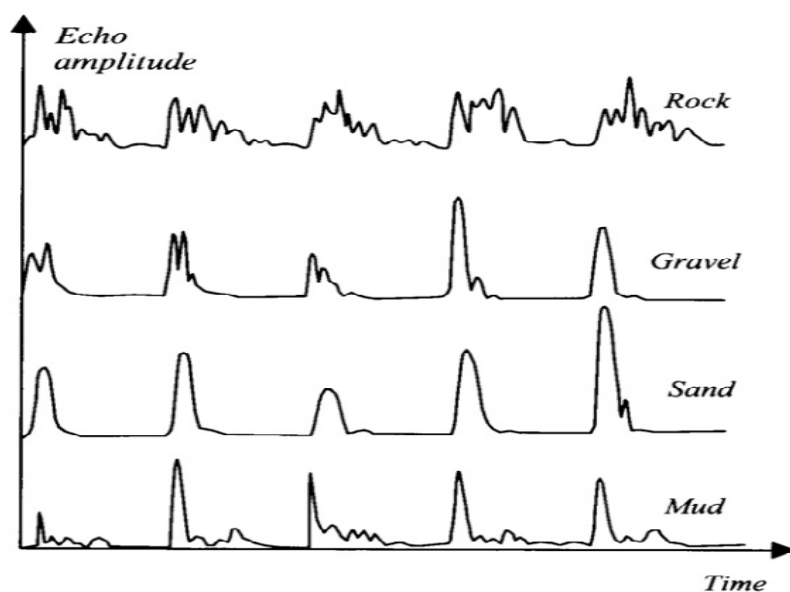
La base empírica general para la clasificación acústica del fondo marino está bien establecida, aunque no existe una base teórica completa para describir la interacción del ping de sonido incidente sobre el fondo (Haniotis, 2010). Los sistemas de clasificación acústica del fondo utilizan ecosondas de haz amplio (ancho del haz típicamente de 12 a 55°) para obtener información sobre la "dureza" acústica (coeficiente de reflexión acústica) y la rugosidad acústica (como coeficiente de retrodispersión) del lecho marino (Pace et al., 1998).

En Pouliquen & Lurton (1992), describen un método fundado sobre el hecho de que los fondos duros producen un eco breve de gran amplitud, mientras que los fondos blandos producen un eco prolongado de amplitud más débil. La integral acumulada de la energía, en cada caso, tiene un aspecto diferente y es utilizada para discriminar los fondos.

En el caso de las ecosondas monohaz el análisis temporal de ecos recibidos permiten extraer información pertinente sobre las características de la interfase agua/sedimento (Figura 4) (Pouliquen & Lurton, 1994). Estas señales llevan, en efecto, la firma del barrido angular (aunque sobre un sector restringido) al reflejarse el pulso en el fondo (Haniotis, 2010).

Figura 4

Señal temporal registrada mediante una ecosonda monohaz sobre diferentes tipos de fondo



Nota. La arena y la grava reproducen aproximadamente la señal transmitida, mientras que la roca produce ecos dispersos fuertemente fluctuantes debido a la rugosidad (Haniotis, 2010). Tomado de Pouliquen & Lurton (1994).

Según Maclennan & Simmonds (1992), cuando el cambio en la impedancia acústica entre dos medios en el que se propaga una onda es brusco, la onda retrodispersada será más fuerte. La impedancia es menor en cuanto sea mayor la densidad del medio en el que se propaga el sonido. En el caso del fondo arenoso, éste tiene menor impedancia que el agua, y un fondo rocoso ofrecerá una resistencia menor que los anteriores. De ese modo los valores Sv (volumen de retrodispersión) medidos por la ecosonda son proporcionales al tipo de fondo (Gutiérrez & Herbozo, 2004).

La magnitud del valor Sv del fondo marino es usualmente observada en un rango que va desde 0 a -50 dB (E. Josse, comunicación personal). Si el eco de fondo tuviera un valor de 0 dB y se le compara con uno de -50 dB, significa que el segundo es 100,000 veces menor en magnitud, es decir, mucho más “blando” (Gutiérrez & Herbozo, 2004). Esto hace posible una

clasificación basada en la magnitud del eco que proviene del fondo, y a la vez tiene relación con los sedimentos y corteza terrestre (Gutiérrez & Herbozo, 2004).

2.1.6. Clasificación Textural del fondo marino en Mapas

Para generar el mapa textural de fondo marino se complementarán los resultados granulométricos y descripción de muestras de sedimentos superficiales marinos con la grilla de reflectividades acústicas (Herrera, 2019) (Figura 5). Para la clasificación textural se aplicarán dos técnicas de cartografiado de mapas texturales (O'Keeffe, 2011): Clasificación Supervisada y Clasificación No Supervisada.

Clasificación Supervisada: Es aplicable a la zona de muestreo. Consiste en realizar un análisis comparativo entre las características granulométricas de sedimentos y su respuesta acústica. Para ello, se debe tener en cuenta:

- Finalizado el análisis granulométrico de las muestras de sedimentos marinos se agrupan en función la Media que refleja el tamaño de grano de mayor frecuencia en el agregado sedimentario. Estos valores servirán como puntos de control para calibrar la información hidroacústica (Herrera, 2019).
- Georreferenciar los puntos de muestreo en la grilla de reflectividades del área de estudio y asignarle a cada uno el valor de reflectividad (decibeles) correspondiente (Herrera, 2019).
- Teniendo definido los intervalos de reflectividad para cada clase textural (e.g. grava, arena, limo y arcilla) se realiza la clasificación textural para toda la grilla de reflectividades en la zona de muestreo (Herrera, 2019).

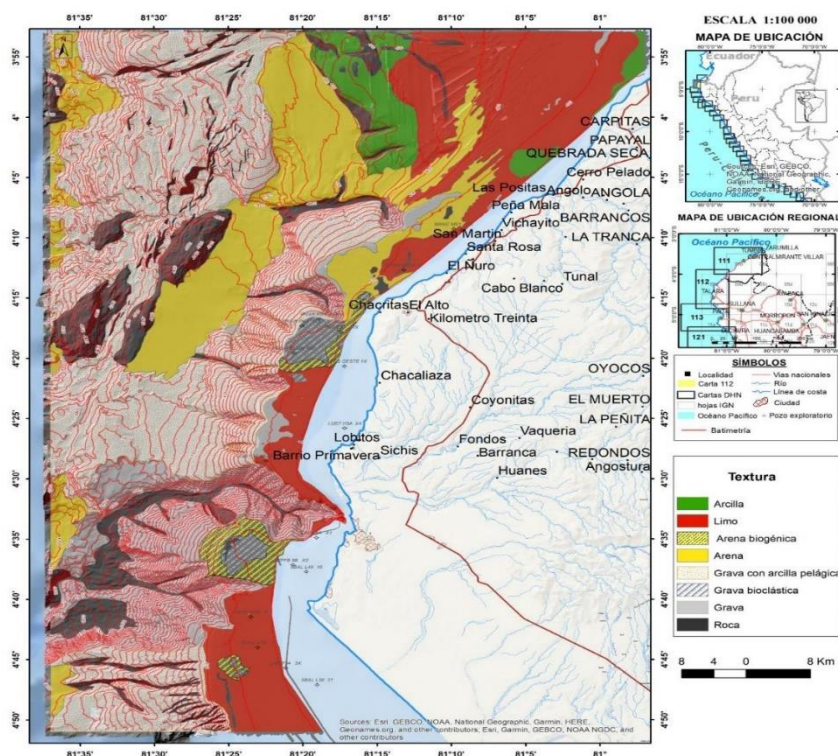
Clasificación No Supervisada: Se aplica cuando no hay información granulométrica de muestras de sedimentos, trabajando solamente con los valores de reflectividad y reconociendo

las geoformas submarinas mediante el Modelo de Elevación Digital (DEM). Para ello se debe tener en cuenta:

- Corregir las zonas de reflectividad marcadas por sobreposición de transectos o movimientos bruscos del buque. Estas zonas tienden a tener valores muy altos o muy bajos de reflectividad.
- Trabajar la grilla de reflectividades en el software Arcgis con la herramienta IsoCluster Unsupervised Classification para agrupar las respuestas acústicas similares para relacionarla al tipo de sustrato (Lozano et al, 2015).
- Finalmente adaptar la capa de reflectividades al mapa del área de estudio.

Figura 5

Mapa Textural de la Carta Náutica N° 112 Punta Sal a Punta Pariñas (Herrera, 2019)



Nota. El mapa textural de la Carta Náutica 112 comprende una superficie de 4591 km² entre 50 y 3500 metros bajo el nivel del mar de los cuales, se delimitaron 8 grupos de sustratos:

arcillas, limos, arenas biogénicas, arenas, gravas con arcillas pelágicas, gravas bioclásticas, gravas y rocas. Tomado de Herrera (2019).

2.1.7. Islas Decepción y Livingston en el Estrecho de Bransfield: Características generales

El Estrecho de Bransfield es una cuenca marginal de trasarco se encuentra entre las Islas Shetland del Sur y la punta de la Península Antártica que está formada por una zona de separación progresiva (rifting) de la corteza continental (Lawver et al., 1995) (Figura 6). Esta separación progresiva permite que se emplacen centros volcánicos activos subaéreos como la Isla Decepción (Cerpa et al., 2022) y volcanes submarinos como The Axe, Three Sisters y Hook Ridge. (Instituto Geológico y Minero de España [IGME], 2019) (Figura 7).

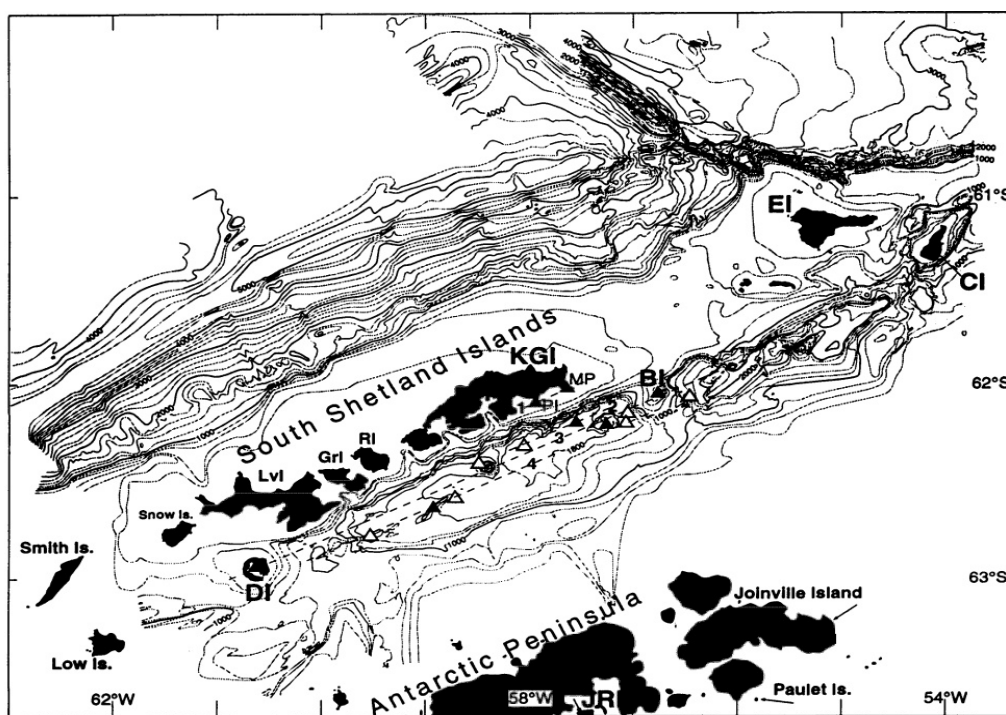
La Isla Decepción está situada al suroeste del archipiélago de las Shetland del Sur, Antártida (Baraldo, 1999). Junto a las islas Penguin, Bridgeman y otros volcanes sumergidos, constituyen el eje del rift que separa las Shetland del Sur de la península Antártica a lo largo del Estrecho de Bransfield (Agusto et al., 2007) (Figura 7). La Isla Decepción es uno de los volcanes más activos de la Antártida con actividades eruptivas en tiempos históricos (Caselli et al., 2007). La zona tiene diversos sitios de actividad geotérmica, algunos con fumarolas (Smellie et al. 2002). Se cree que la actividad volcánica es el componente ambiental clave para controlar las poblaciones de invertebrados epibentónicos e infaunales en Puerto Foster, ubicada interior de la bahía de la isla (Gallardo & Castillo 1970). En las playas de la bahía, al tener las condiciones más cálidas del lecho marino, junto con las características de los sedimentos, hacen que las comunidades bentónicas sean únicas en las islas Shetland del Sur (Reunión Consultiva del Tratado Antártico [RCTA], 2019).

La Isla Livingston es la segunda más grande de las Islas Shetland del Sur, y en ella se han encontrado ocurrencias considerables de diques de composición mayoritariamente

basáltica (Torres et al., 2015) (Figura 6). Su relieve es muy irregular con costas altas e inaccesibles (Malvé et al., 2014). En la parte más occidental de la Isla Livingston se encuentra la península de Byers. Geológicamente esta península se reconoce por las secuencias sedimentarias marinas y no marinas y el vulcanismo Cretácico-Terciario (Parica et al., 2007). Además, es el mayor sector libre de hielo de las islas Shetland del Sur (RCTA, 2016). Esta zona comprende una diversidad de la fauna y la flora, varios invertebrados, una población considerable de elefantes marinos del sur (*Mirounga leonina*), pequeñas colonias de lobos finos antárticos (*Arctocephalus gazella*) y valores sobresalientes asociados a una variedad de plantas y animales (RCTA, 2016;2022).

Figura 6

Mapa batimétrico de la región del Estrecho de Bransfield (modificado de Klepeis y Lawver, 1994).

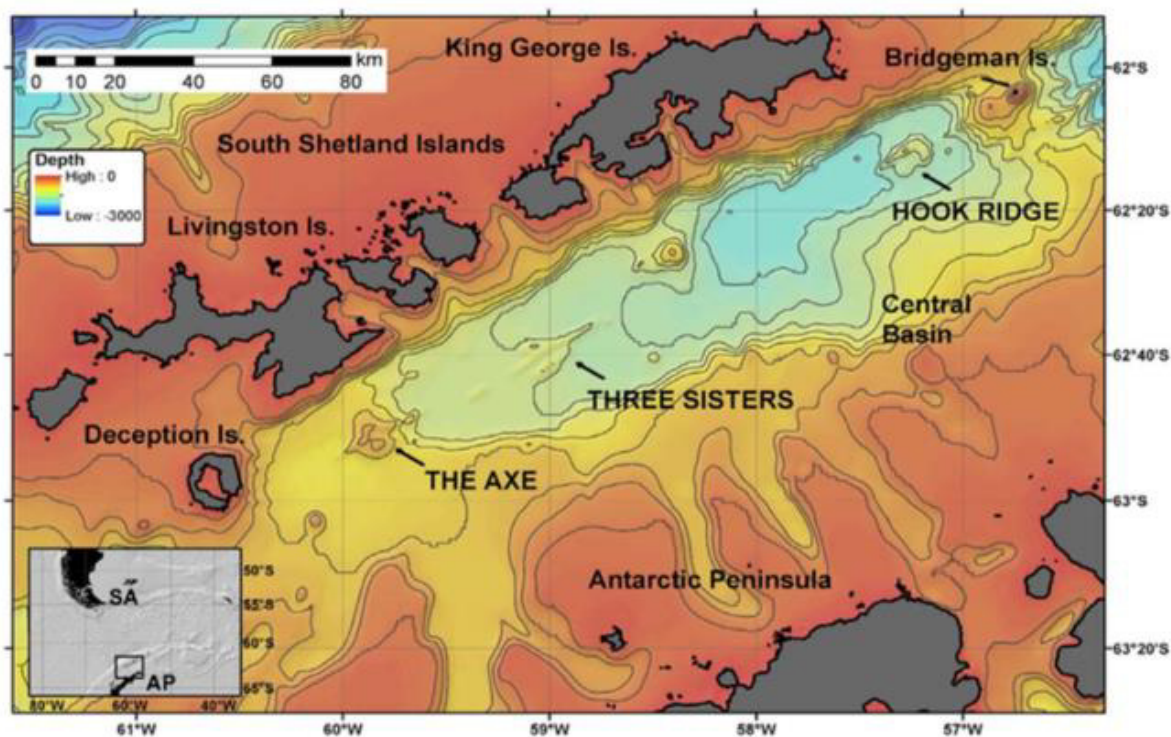


Nota. El intervalo de contorno es de 200 m, las curvas de nivel 1000-m se muestran en negra y algunas están etiquetadas. Los triángulos sólidos son ubicaciones de vulcanismo submarino y subaéreo relacionado con el rift del Cuaternario (Keller et al., 1992). Los triángulos huecos

son ubicaciones submarinas donde se han recuperado basaltos vítreos frescos (Keller et al., 1994). KGI = Isla Rey Jorge, BI = Isla Bridgman, CI = Isla Clarence, DI = Isla Decepción, EI = Isla Elefante, GrI = Isla Greenwich, JRI = Isla James Ross, LvI = Isla Livingston, MP = Pico Melville, PI = Isla Pingüino y RI = Isla Robert. Las líneas discontinuas numeradas del 1 al 4 son alineaciones volcánicas paralelas o subparalelas, que varían en tamaño desde decenas de metros de altura hasta 2 Km, o más para la Isla Decepción y el volcán submarino al sur de KGI. Tomado de Lawver et al. (1995)

Figura 7

Mapa de batimétrico del Estrecho de Bransfield con la localización de los centros volcánicos “The Axe”, “Three Sisters” y “Hook Ridge” (Aquilina et al., 2013)



Nota. Se distribuyen centros volcánicos submarinos a lo largo de la cuenca central del Estrecho de Bransfield como “The Axe” a una profundidad de 1025 m, “Three Sisters” a 1310 m y “Hook Ridge” a 990 m. (IGME, 2019)

2.1.8. *Cuantificación y caracterización acústica de agregaciones de organismos vivos*

Las técnicas hidroacústicas se utilizan ampliamente en todo el mundo para determinar la abundancia y distribución de organismos acuáticos (Simmonds & MacLennan, 2005). La Antártida, incluyendo el Estrecho de Bransfield, tiene un ecosistema casi ideal donde desarrollar este tipo de estudios, debido a que dominan especies abundantes como el krill (*Euphasia superba*) (Figura 8) que es allí la especie dominante en términos de biomasa, en el segundo nivel trófico (Furness & Monaghan, 1987). Estas técnicas presentan la ventaja de realizar un muestreo acústico continuo. El uso de la acústica permite, hasta cierto punto; determinar la identidad de los registros de los organismos que se detecta, a causa de las características físicas de los organismos como densidad y elasticidad (Gaddum, 2015; Cabreira, 2017). Los grupos taxonómicamente distintos pueden proporcionar una respuesta acústica o eco diferente (Cabreira, 2017), lo que facilita la determinación de la identidad u origen de los ecos detectados.

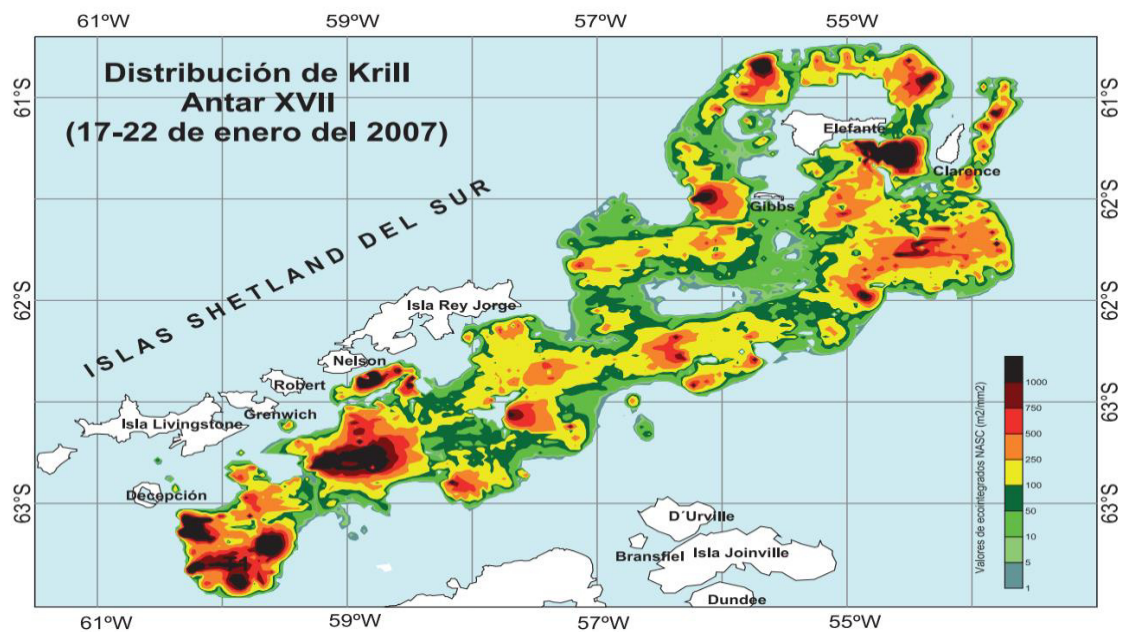
El proceso de asignación de la identidad resulta generalmente sencillo en áreas donde la diversidad de especies de organismos es baja. Sin embargo, este proceso se dificulta en áreas multi-específicas debido a que las especies pueden presentar respuestas acústicas similares (Rodríguez, 2015; Cabreira, 2017) Por esta razón, la metodología requiere de una identificación confiable de los registros acústicos, es decir, la asignación insesgada de una especie o grupo de especies a cada eco-registro (Cabreira, 2017).

Los métodos acústicos para estimar la abundancia de peces se basan en el conocimiento previo de la Reflectividad (*Target Strength*, TS) de los peces según su talla, su morfología y fisiología (Foote, 1987). Cuando no se tiene esta información, los resultados no deben ser expresados en términos de abundancia o biomasa absoluta (por ejemplo, en toneladas), sino en unidades de abundancia relativa (por ejemplo, en valores del Coeficiente de Retrodispersión

Acústica conocido por sus siglas en inglés como Normalized Abundance Scattering Strength (NASC) cuyas unidades son m^2/mn^2) (Castillo et al., 2009) (Figura 8).

Figura 8

Mapa de distribución y densidad acústica de krill (en m^2/mn^2) en el Estrecho de Bransfield y alrededores de la Isla Elefante, ANTAR XVII.



Nota. Se observa en el mapa de distribución una gran amplitud geográfica del recurso, dentro de las principales áreas de concentración se ubican dos áreas densas al sur-oeste en el Estrecho de Bransfield cerca de la Isla Decepción y en los alrededores de la isla Elefante, se realizó este mapa con datos colectados en la Expedición Peruana ANTAR XVII. Tomado de Peraltila et al. (2016).

La base fundamental en los métodos acústicos de cuantificación consiste en que, si se conoce la cantidad de energía sónica que es emitida, se le puede comparar con la que es recibida como eco (o Retrodispersión) (Castillo et al., 2009; Rodríguez, 2015; Ventero, 2016), y atribuir

la diferencia a la cantidad de dispersores presentes en el agua esto requiere un análisis de ecogramas previamente calibradas (Castillo et al., 2009).

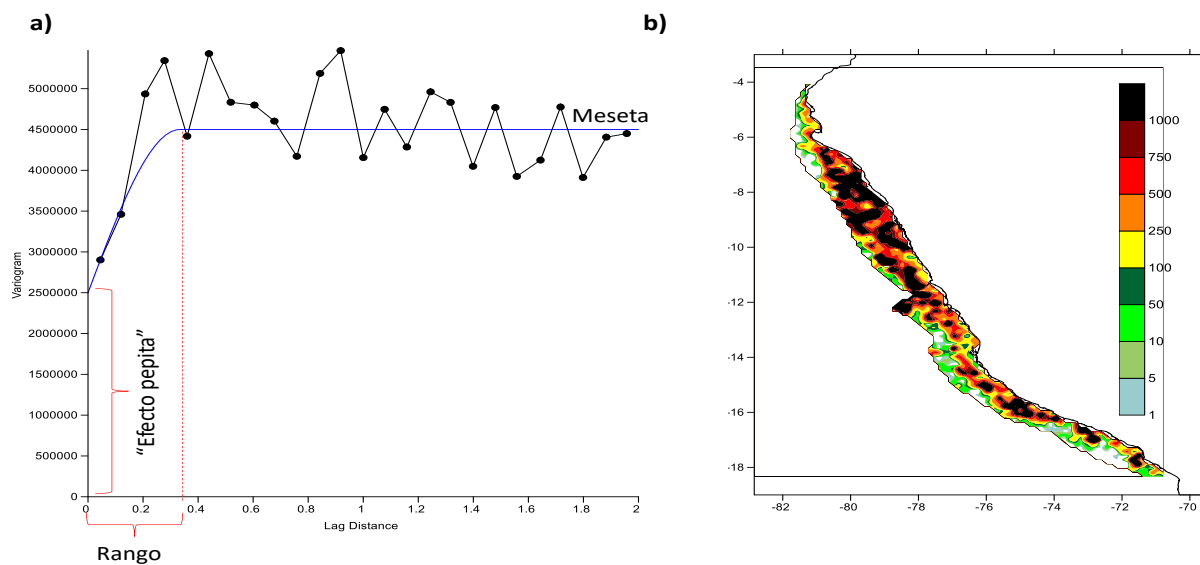
2.1.9. Estimación biomasa acústica por interpolación

La interpolación de valores es una técnica geoestadística para obtener una estimación de valores diversos a partir de un conjunto de muestras tomadas en ubicaciones diferentes (Estrada, 2018). Hay diversos métodos para generar una superficie con datos interpolados con los que podemos calcular la densidad de peces, por ejemplo, el método de interpolación considerado como el más robusto es el de Krigeo (Kriging) (Gutierrez, 1997). El Krigeo idealmente debe estar basado en el conocimiento previo de los parámetros del variograma que representa los datos que se va a utilizar (Gutiérrez, 1997).

2.1.9.1. El variograma. El variograma (o semivariograma) es una técnica de análisis en geoestadística (Moral, 2004), con la que se puede analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área dada a fin de determinar si un conjunto de datos que analizamos presenta o no una estructura espacial (Marchena, 2018). Y en caso presente poder definir cuál es el rango máximo (distancia) dentro de la cual dicha estructura existe. Por ejemplo, en la figura 9, en el panel izquierdo (a), se presenta un variograma con sus elementos: la línea negra representa el valor del variograma a diferentes distancias sobre el eje X; el valor del variograma aparece sobre el eje Y. la línea azul es un modelo trazado sobre el variograma para representarlo por sus valores de rango: 0.38 aproximadamente (que equivale a 20 millas náuticas, aproximadamente), efecto pepita: 2'500,000; y meseta: 4'500,000. Cuando el valor del variograma se hace asintótico, es el valor proyectado hacia el eje X el que determina el rango o tamaño de la estructura que es característica de los datos analizados. La misma figura, en su panel del lado derecho (b), nos muestra la interpolación hecha por krigeo utilizando los parámetros del variograma.

Figura 9

Interpolación por Krigeo a) El Variograma y sus parámetros y b) Mapa de interpolación por krigeo



Nota. El panel a la izquierda muestra el variograma construido con datos acústicos (NASC, m^2/mn^2). Los valores medidos para rango, meseta y efecto pepita son utilizados por softwares como Surfer para generar una superficie de valores como se muestra en el panel a la derecha, el cual luego pueden ser cuantificados como densidad o biomasa de peces. Tomado de Instituto Humboldt de Investigación Marina y Acuícola (IHMA) y Sociedad Nacional de Pesquería (SNP) (2016)

2.1.10. Estimación acústica de la abundancia de macrozooplancton (según la publicación de Ballón et al. 2011)

2.1.10.1. Propiedades acústicas del zooplancton. Los métodos acústicos nos permiten obtener información de tipo cualitativo y cuantitativo sobre varias comunidades de un ecosistema, desde zooplancton a predadores grandes. En el caso de macrozooplancton, este puede ser discriminado o separado de otros organismos tales como peces empleando el conocimiento sobre sus propiedades y dependencia teórica de frecuencia de sonido (Simmonds & MacLennan, 2005).

Lo primordial es que el rango de frecuencias se extienda desde la zona Rayleigh (el eco que se genera es dependiente del volumen del objeto) a la zona geométrica (el eco depende de la superficie del objeto) (Holliday & Pieper, 1995). Según dicho criterio, la disposición de más frecuencias no necesariamente incrementa la precisión (Horne & Jech, 1999). Por tanto, se considera únicamente el uso de dos frecuencias (38 y 120 kHz), de manera de aprovechar el conocimiento ya generado por Ballón et al. (2011) para separar en ecogramas distintos los peces y el macrozooplancton.

La data acústica de la expedición antártica española EXPLOSEA 1 comprende, precisamente, esas dos frecuencias. La diferencia en el volumen medio de la fuerza de retrodispersión (S_v ó Δ MVBS, por *Mean Volume Backscattering Strength*) se aplica generalmente para determinar las características de retrodispersión biológica (Murase et al., 2009). No obstante, el poder de discriminación entre dispersores es limitado al aplicarlo. Una investigación reciente presenta una metodología basada en la suma del volumen medio de la fuerza de retrodispersión (+MVBS) de dos o más frecuencias aumenta el contraste de respuesta acústica entre peces y zooplancton, por lo tanto, se puede obtener una mejor discriminación.

Por ende, es propicio combinarlos, el Δ MVBS y el +MVBS, para discriminar y cuantificar la abundancia de crustáceos (krill) del macrozooplancton. Acústicamente se

muestrea la columna de agua hasta 250 m con la frecuencia de 120 kHz y 500 m con 38 kHz considerando períodos de día y noche en los casos en que se busque detectar diferencias entre ambos períodos, siendo que el krill antártico realiza migraciones verticales, durante las 22:00 a 4:00 hrs se encuentra en la superficie y se profundiza desde las 5:00 a las 21:00 hrs (Cárdenas et al., 2016)

2.1.10.2. Algoritmo bi-frecuencia (38 y 120 kHz). En el software Echoview (Echoview Pty., Tasmania, Australis) están disponibles diversos operadores o variables virtuales de análisis matricial. En primer lugar, se debe inspeccionar cada ecograma, creando "malas regiones" donde se considere que hay ecos que estorbarán la medición del zooplancton. A continuación, para comparar los ecogramas de 38 y 120 kHz, se debe sincronizar el número de ping y la posición (latitud/longitud) entre ecogramas utilizando el operador "ping match". Se debe crear una línea de fondo (a 250 m) y otra de superficie (a 2.5 m) para excluir toda información fuera de esos límites. Para eliminar el ruido asociado a la absorción acústica se emplea el operador "*Background Noise Removal*".

Idealmente, el largo de pulso empleado para las dos frecuencias debe ser fijado en 0.256 milisegundos, lo que genera una resolución o tamaño vertical de la muestra de aproximadamente 0.2 m en ambas frecuencias. Finalmente, para asegurar que exista un número exacto de filas y columnas en las dos frecuencias se emplea el operador "*Resample by number of pings*", de este modo se logran dos matrices limpias y armonizadas, con similar número de filas y columnas.

Dichas nuevas matrices de 38 y 120 kHz deben ser sumadas (+MVBS₁₂₀₊₃₈) usando el operador "*Plus*". Los valores de celda de este nuevo ecograma que sean mayores a -135 dB se considerará como proveniente de peces. Con el operador "*Boolean*" se crea un valor de 1 para las muestras donde +MVBS es mayor a -135 dB, y 0 para todas las demás. A continuación, se utiliza del operador "*Mask*" que permite crear 2 matrices "*fish*" y "*no fish*" para cada

frecuencia. La expresión “*no fish*” es esquemática, ya que en realidad puede contener larvas o peces juveniles. Asimismo, para este procedimiento se asume que todas las especies de peces tienen vejiga (las que no la tienen, que son pocas en el caso del Pacífico Sudeste, quedarían ocultas en la categoría “*no fish*”). Asimismo, en general, los peces con vejiga presentan una dispersión ligeramente mayor en 38 kHz en comparación con 120 kHz, pero puede darse el caso contrario (hasta 2 dB según Kloser et al., 2002).

Por ello, para refinar la detección de peces, las dos matrices “*fish*” deben ser restadas (120-38) usando el operador “*Minus*”. Se crea luego una nueva variable “*Bool*” donde las muestras o celdas donde el valor de ($\Delta MVBS_{120-38}$) sea mayor a 2 dB tendrán un valor de 1, y cero todas las demás. El uso del operador “*Mask*” permitirá la creación de dos nuevas matrices “*new fish*”.

Los organismos del zooplancton, cuyas propiedades acústicas son similares a las del medio, reciben la denominación de “*Fluid-like*” (Stanton et al., 1996). El grupo “*Fluid-like*” incluye a los eufáusidos, copépodos, salpas, sifonóforos (sin vejiga de gas) y otros crustáceos más grandes del macrozooplancton (e.g. larvas de esquila, galateidos y otras larvas de decápodos).

Para este grupo “*Fluid-like*” se emplea las matrices “*no fish*”, para esta vez restarlas empleado el operador “*Minus*” ($\Delta MVBS_{120-38}$). Un nuevo operador “*Bool*” asigna a cada muestra un 1 si el valor resultante de la resta en la celda es mayor a cero, y asigna un cero en todos los demás. A continuación, un operador “*Mask*” crea en el primer caso una matriz “*Fluid-like*”, y otra “*Blue noise*” para todo el zooplancton con distintas características reflectivas (larvas de peces, organismos gelatinosos y sifonóforos con vejiga de gas). La expresión “*blue*” se debe a que usando la paleta de colores usual (EK500) este es el color dominante en el rango menor de la escala una vez removido el ruido (alrededor de -90 dB), de decir que de los

organismos acústicamente detectables a 38 y 120 kHz este es el grupo con la menor reflectividad.

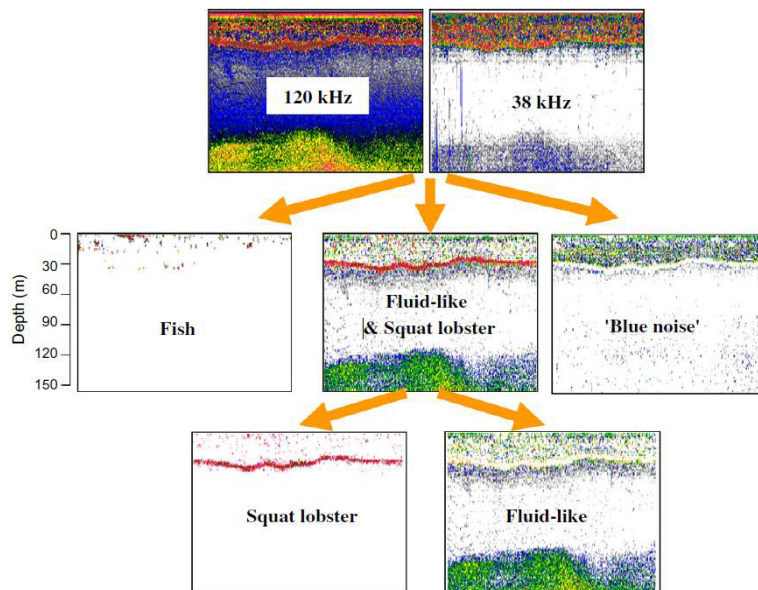
Es usual que al inspeccionar el ecograma “*Fluid-like*” se observe que en lugares donde se había detectado peces aún se aprecien registros que delatan que aún permanecen ecos de peces en la matriz. El proceso siguiente permite remover esos ecos:

El operador “*Copy*” permite crear una copia de una de las dos matrices “*new fish*”. Con el operador “*3x3 convolution*” se expande dicha copia, es decir que el valor de cada celda es reemplazado por el de sus 8 vecinos promediados. Un operador “*Data range bitmap*” permite asignar un 0 a las celdas dentro de un determinado rango dentro del cual se espera la presencia de peces, y un 1 a todas las otras celdas. Un operador “*Mask*” permite multiplicar esa matriz *Booleana* por cada matriz “*Fluid-like*” para crear nuevas matrices “*new fluid like*”. Para evitar que alguna fuente de ruido pudiera permanecer en las matrices se puede aplicar un límite superior al umbral Sv de las matrices: -21 dB para “*new fish*”, -56 dB para “*Blue noise*” y -53 dB para “*new fluid like*”.

Otras operaciones podrían ser necesarias para remover ecos no deseados, como los que usualmente son observados en la costa sur de Perú respecto a la presencia de múnida (Gutiérrez et al., 2008) por lo cual en la sección correspondiente a Métodos se presentará un algoritmo ya creado en Echoview que puede ser empleado como plantilla para las mediciones que se realizarán en el marco de la aplicación del presente protocolo. La Figura 10 presenta esquemáticamente el procedimiento descrito.

Figura 10

Diagrama conceptual de la aplicación del algoritmo bi-frecuencia



Nota. Ejemplo de aplicación de algoritmo bi-frecuencia para discriminar entre ecos de peces, múnida, y organismos “*fluid like*” y “*Blue noise*”. Tomado de Ballón et al. (2011).

2.1.10.3. Estimación de la abundancia de organismos del macrozooplancton.

Considerando que el grupo dominante en el macrozooplancton (al menos en Perú y Chile, pero también en la Antártida) son los eufáusidos y copépodos (Ayón et al., 2008b), se realizó la estimación de la abundancia según las propiedades acústicas del grupo “fluid like”. Pese a que la forma de los eufáusidos es más cilíndrica que esférica se toma el modelo de esfera basado en dos frecuencias es apropiado cuando se estima biovolúmenes de zooplancton (Holliday & Pieper, 1995).

En acústica submarina se asume que todo lo que se detecta son esferas (McLennan & Simmonds, 1992). Para calcular el tamaño medio del radio de la esfera, el número de organismos insonificados y el biovolumen del macrozooplancton presente en cada celda analizada, se usa el método de la “diferencia Sv” entre frecuencias (Greenlaw, 1979). Para determinar el radio “a” de la esfera se emplea el modelo “*fluid sphere high-pass model*” (Johnson, 1977) (Ec. 2.1):

$$(ka)^4 = (2/3) \cdot \left[\frac{r^4 - R}{r^2(R-1)} \right]$$

Donde el número de ondas $k=2\pi fm/c$, a es el radio de la esfera (m), c es la velocidad del sonido (m/s), $fm=(f_{120} \cdot f_{38})^{0.5}$ (Hz), $r = f_{120}/f_{38}$ y $R=10^{[Sv(120)-Sv(38)]/10}$. Se asume que la velocidad del sonido es 1,509 m/s, lo que corresponde a una temperatura media de 15.5°C y una salinidad de 35 psu. La sección transversal de retrodispersión σ_{bs} de la esfera se estima de acuerdo con lo propuesto por Greenlaw (1979) (Ec. 2.2):

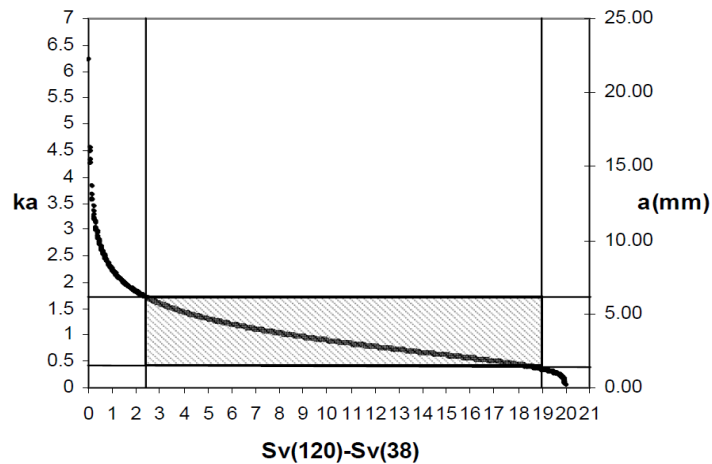
$$\sigma_{bs} = \left[\frac{(1 - gh^2)}{(3gh^2)} + \frac{(1 - g)}{(1 + 2g)} \right]^2 \cdot a^2 \cdot \left[\frac{2(ka)^4}{(2 + 3(ka)^4)} \right]$$

No existen estimaciones de g y h para *Euphausia superba*, la especie dominante de eupáusidos en la región Antártica. Por lo tanto, se utilizaron los parámetros estimados para una especie similar, *Euphausia pacifica*, del Sistema de la Corriente de California. Para ello, se tomó como referencia lo descrito en Ballón et al. (2011), quienes utilizaron el promedio de los resultados obtenidos por Greenlaw y Johnson (1982) con ejemplares recién capturados de *Euphausia pacifica*, cuyos valores estimados fueron ($g = 1.037$ y $h = 1.0097$).

Según Mitson et al. (1996), la relación entre las frecuencias de 120 y 38 kHz permite obtener estimaciones confiables de tamaño dentro de un rango ka de 0.4 a 1.6, lo que equivale a una diferencia de Sv entre 18.5 y 3 dB, respectivamente. Cuando esta diferencia es demasiado baja (<2 dB) o excesivamente alta (>19 dB), el radio de la esfera tiende a ser sobreestimado o subestimado, respectivamente. Por esta razón, solo los valores comprendidos entre 2 y 19 dB son adecuados para la estimación del biovolumen. Si bien esto podría resultar en una subestimación, en la práctica, la mayoría de las diferencias de Sv observadas en organismos con características "Fluid-like" se encuentran dentro de este intervalo (Figura 11).

Figura 11

Relación entre ka y la diferencia entre el volumen retrodispersado a 120 y 38 kHz.



Nota. La zona sombreada indica la región en la que el modelo "high-pass" (Mitson et al., 1996) provee un estimado seguro del radio de la esfera. Tomado de Ballón (2010).

Es decir que en Echoview se podría agregar una operación más restando las matrices de 120 y 38, para luego seleccionar con el operador "Data range bitmap" el rango de 2 a 19 dB, y crear nuevas matrices para "fluid like" empleando el operador "Mask", pero en la práctica se ha comprobado que gran parte de las muestras ya están en ese rango, por lo que esta operación no es realmente necesaria, al menos para el caso de la Antártida.

En Echoview es conveniente crear UBM de 1 mni de extensión, con celdas verticales de 10 m para exportar a formato CSV cada uno de los 6 ecogramas finales ("new fish", "new fluid like" y "Blue noise" para las dos frecuencias). Echoview creará valores de coeficiente náutico de dispersión acústica (NASC, en m^2/m^3). Para ello, en Echoview se debe activar todas las opciones de exportación antes de realizar la operación. Se recomienda que la data sea procesada por lotes (por días o transectos), dado el alto volumen de información a ser procesado.

La información exportada puede luego ser procesada en hojas de cálculo, o en software especializado como Matlab o Surfer para generar los resultados finales (abundancia, densidad, cambios en la serie de tiempo).

Para estimar la abundancia del macrozooplancton se realiza un proceso diferente. El número de individuos por unidad de volumen (N_f , individuos/m³) se estima de la siguiente manera (Ec.2.3):

$$N_f = 10^{(Sv(f)-TS)/10}$$

donde TS se calcula como (Ec.2.4):

$$TS = 10 \cdot \log_{10}(\sigma_{bs})$$

El biovolumen (centímetros cúbicos/metro cúbico) se obtiene con la siguiente expresión (Ec.2.5):

$$Bv_f = N_f \cdot (4/3) \cdot \pi \cdot a^3$$

Los valores de Sv de peces, ruido azul y langostino squat se convirtieron en el coeficiente acústico de dispersión del área náutica (NASC), un índice de abundancia, según MacLennan et al. (2002) con la ecuación (Ec. 2.6):

$$NASC(m^2 \text{ nmi}^{-2}) = 4\pi(1852)^2 svT$$

El contenido de carbono (gramos/metro cúbico) se calcula del modo siguiente (según Wiebe et al., 1975 y Wiebe, 1988) (Ec.2.7):

$$C = 10^{(\log(Bv_f) - 0.139)/1.003}$$

Nótese en las ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5, en las que f significa que esta operación puede ser realizada tanto para 38 como para 120 kHz. Los valores Sv para cada frecuencia se exportan desde Echoview. Dado que cada celda tendrá un UBM de 1 mni de extensión (que corresponde

aproximadamente al rango en que se producen 3 pings navegando a 10 nudos de velocidad) y 10 m de profundidad, el volumen v será constante en 171.49 m³. Multiplicando C y v se obtendrá la biomasa de macrozooplancton en cada celda.

La estimación de la abundancia total de macrozooplancton puede hacerse multiplicando la suma de la biomasa de las celdas verticales en cada UBM (C_i) con la extensión del UBM y la distancia de separación entre transectos (dT , en millas náuticas) (Ec.2.8):

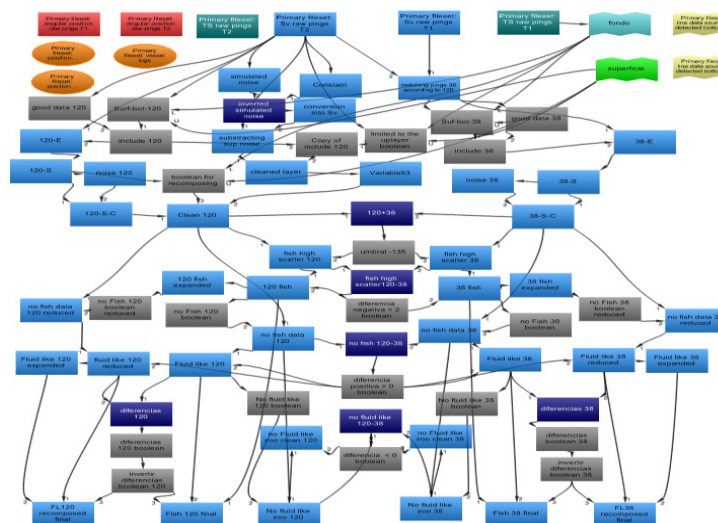
$$AT = 171.49 \cdot \sum C_i \cdot 0.01dT$$

Donde el área representada por cada UBM es $0.01dT$, lo que debe ser tomado en cuenta cuando se produzcan estimaciones de densidad en términos de abundancia por metro cuadrado.

2.1.10.4. Medición de la abundancia de peces y macrozooplancton. Para realizar dicho punto se ha diseñado un algoritmo virtual en Echoview. El fichero fue creado por Ballón et al. (2011), y es de acceso libre y se denomina “*FishZpkPeru38&120.evi*”. Este fichero puede ser utilizado como una plantilla (Figura 12).

Figura 12

Algoritmo “FishZpkPeru38&120.evi” creado por M. Ballón et al (2011)



Nota. El Algoritmo fue creado para reclasificar ecogramas colectados a 38 y 120 kHz en 6 productos finales, 3 para 38 kHz y 3 para 120 kHz (los 6 ecogramas de la fila más baja en la

figura). El algoritmo fue creado en Echoview, y funciona para versiones 4.0 y superiores. Tomado de Ballón et al. (2011).

La figura anterior muestra el diagrama de flujo del algoritmo. Cada recuadro corresponde con un operador matemático. Los colores de cada recuadro indican el tipo de operador. Los de color celeste son operadores matemáticos, incluyendo las matrices originales: *Primary Filesets Sv raw pings T1* (que corresponde a 38 kHz) y *Primary Filesets Sv raw pings T2* (que corresponde a 120 kHz) en la parte superior de la figura. Los recuadros de color azul indican operaciones de suma o resta. Los de color plomo son variables *Booleanas* (es decir, contienen solo ceros o unos). La variable de color verde, y la de color esmeralda representan los límites superior e inferior empleados por el algoritmo (de 3.5 a 250 m). Los recuadros de otros colores que no aparecen conectados son variables que existen pero que no han sido empleadas.

En la figura 12, se aprecian como ejemplo 6 productos finales en la última fila del algoritmo, 3 ecogramas para 38 kHz y 3 para 120 kHz. De este modo se logran dos ecogramas para peces (*Fish 38 final* y *Fish 120 final*), dos para macrozooplancton (*FL 38 recomposed final* y *FL 120 recomposed final*) y dos para los restantes organismos del zooplancton de tipo gelatinoso (*No fluid like zoo 38* y *No fluid like zoo 120*).

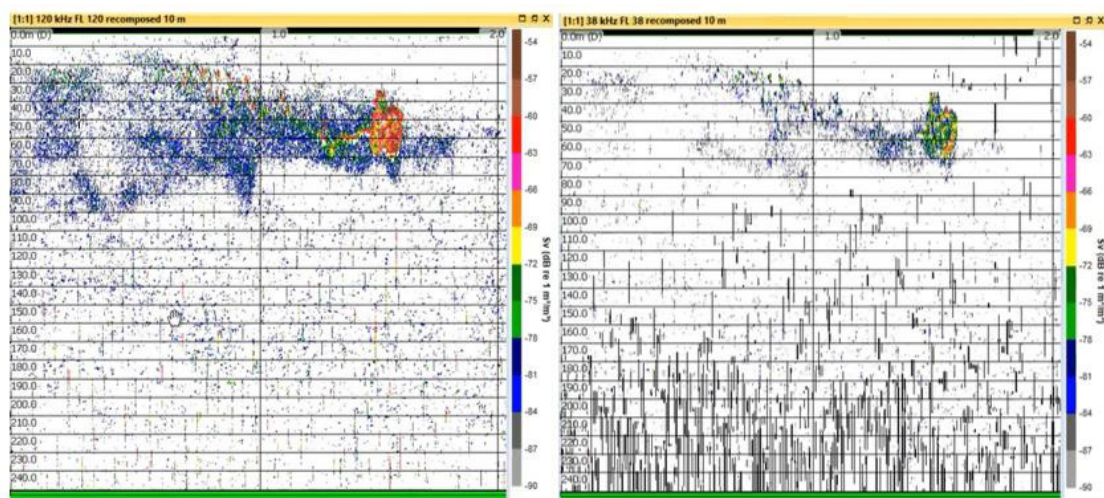
La figura 13 presenta un ejemplo comparado de un ecograma “*fluid like*” de macrozooplancton para 120 kHz (arriba) y 38 kHz (debajo).

Se debe precisar que la exportación de los 6 ficheros debe hacerse por separado para cada lote o transecto. El análisis de estas matrices según lo indicado debe conducir a un archivo final en formato de hoja de cálculo (Excel, R o Matlab) para el caso de peces, y otro para macrozooplacton; complementariamente se puede generar un archivo final para el caso de los organismos “*Blue noise*” del zooplancton. Se tendrá así tres ficheros finales para cada lote o transecto.

Integrando los correspondientes ficheros de peces, macrozooplancton y otros organismos (*fish*, *Fluid-like* y *Blue noise*) para todos los transectos permitirá contar con 3 ficheros principales con los cuales realizar varios tipos de análisis integrado o comparado según día-noche o migración vertical de peces y otros en la zona de estudio. Se debe precisar que no se cuenta con información sobre la relación TS-Tamaño para gran parte de las especies de peces que habitan en la zona antártica que se ha explorado. Por tanto, la estimación de abundancia de peces deberá basarse en los valores relativos Sv y NASC. La estimación del biovolumen (g/m^2) sí será posible según se indica en las secciones correspondientes del presente estudio. Los ficheros finales de organismos de macrozooplancton (*Fluid-like*) a 38 y 120 khz son empleados según las fórmulas de la sección 2.1.10.2 para generar un estimado de la abundancia en cada celda y UBM. Para ello, en los ficheros exportados con formato CSV hay dos columnas que contienen la información fundamental para esta parte del proceso (columnas NASC y Sv_mean).

Figura 13

Ecogramas comparados de organismos del macrozooplancton a 120 kHz (izquierda) y 38 kHz (derecha)



Nota. Ambos ecogramas presentados con un umbral de -90 dB. Nótese las divisiones verticales cada 1 nmi y horizontales cada 10 m. Cada celda contendrá un valor Sv y/o NASC promedio.

Este conjunto de celdas georeferenciadas en 2D serán exportadas desde Echoview en formato CSV para su análisis respecto a la determinación de la abundancia de peces y macrozooplancton.

2.1.11. Parámetros oceanográficos superficiales en el Estrecho de Bransfield

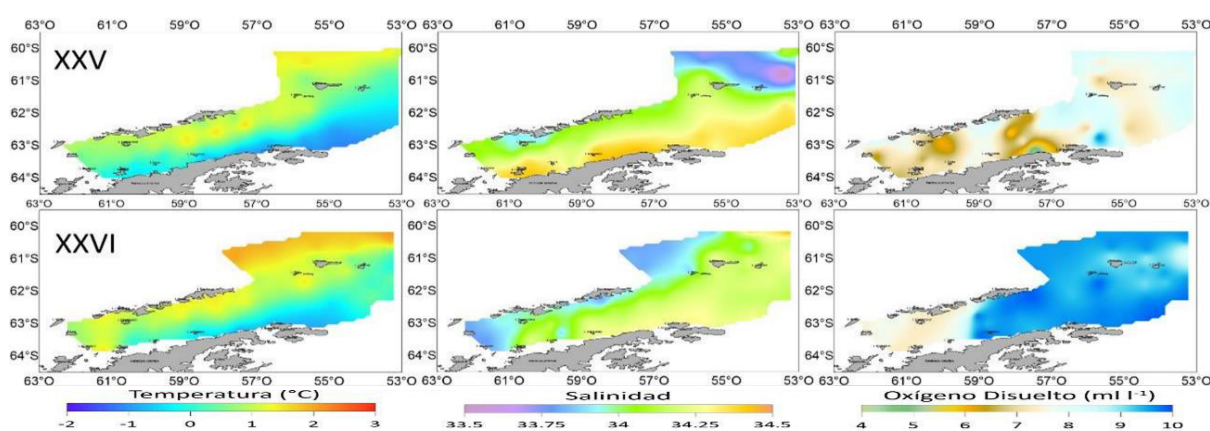
Las condiciones físico-oceanográficas registradas son parte fundamental de un crucero de investigación para evaluar los cambios hidrográficos y biológicos en el Estrecho de Bransfield y sus causas (Vásquez & Tenorio, 2016). Los transectos oceanográficos históricos se realizan en los veranos australes como por ejemplo en la Expedición Científica Española EXPLOSEA- 1, ejecutados desde la zona occidental y central del Estrecho de Bransfield. Esta área mantiene características oceanográficas, donde interactúan tres tipos de aguas, las mismas que provienen de los mares de Weddell, Bellingshausen y del estrecho de Gerlache (Tenorio, 2016). También se distingue por la presencia del Frente Bransfield (FB), que separa aguas cálidas y poco salinas fluyen hacia el noreste en la mitad septentrional, de las aguas frías y salinas que ocupan la mitad meridional en el Estrecho de Bransfield (Tenorio, 2016).

El Estrecho Bransfield es una de las zonas antárticas más importantes en cuanto a la interrelación de organismos como el krill y las condiciones oceanográficas de la región (Zambrano & Cardin, 1989). En diferentes investigaciones se ha podido observar que el krill forma diferentes tipos de agregaciones (Kalinowski & Witek, 1985), dicho tipo de comportamiento agregativo está influenciado por factores físicos (Brierley, 2014) como la temperatura y la salinidad y químicos como el oxígeno disuelto (Flores et al, 2008). La concentración de biomasa del área depende de la abundancia de organismos como el fitoplancton (Gascón & Werner, 2005), por consiguiente, la variación que ella sufra, precisamente ocasionada por las variaciones de las condiciones oceanográficas, repercutirá en su distribución temporal y espacial (Zambrano & Cardin, 1989).

La temperatura superficial del mar durante la Expedición Científica Peruana ANTAR XXV en el año 2018 se encontró en un rango de $-1,0$ a $1,5$ °C, siendo el sur de Islas Shetland las más cálidas (Valdez et al., 2022). En la expedición ANTAR XXVI en el año 2019, se observó un ligero calentamiento al suroeste de la Isla Decepción y los alrededores de las Islas Shetland del sur observándose temperaturas de hasta 2 °C (Figura 14). La salinidad durante la expedición ANTAR XXV registró un rango de $33,5$ a $34,5$, siendo la zona más salina al sur del Estrecho de Bransfield (Valdez et al., 2022). En expedición ANTAR XXVI, la salinidad se encontró en valores alrededor de $34,0$ en el Estrecho de Bransfield (Figura 14). Respecto al oxígeno disuelto en la expedición Antar XXV se observaron núcleos de 6 mL/L dentro del Estrecho de Bransfield (Valdez et al., 2022). Durante la expedición ANTAR XXVI, los valores de oxígeno fueron altos (~ 10 mL/L) desde los alrededores de la Isla Elefante llegando al sur de la Isla Nelson, para luego disminuir hasta 7 mL/L (Valdez et al., 2022) en los alrededores de Isla Livingston e Isla Decepción (Figura 14).

Figura 14

Mapas de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto registrados durante dos cruceros científicos peruanos en el Estrecho de Bransfield e Isla Elefante. Modificado de (Valdez et al., 2022)



Nota. Se observa en la columna de la izquierda mapas de distribución de temperatura superficial del mar, en la columna del centro se observa mapas de distribución de salinidad

superficial del mar y en la columna de la derecha mapas de distribución de oxígeno disuelto superficial del mar, dichos datos corresponden a dos expediciones científicas peruanas el Antar XXV realizadas en el año 2018 y el Antar XXVI en el año 2019. Fuente: (Valdez et al., 2022)

2.1.12. Ecosistema marino antártico

La Antártida es un continente de extremos climáticos, con bajas temperaturas y extremos en iluminación, desde permanente oscuridad en los meses de invierno a 24 horas de luz en el verano (Vernet & Cape, 2019). Los organismos marinos se han adaptado a esta variabilidad en las condiciones ambientales y las características de adaptación comparten cierta similitud con organismos de agua dulce en zonas de alta latitud y altitud (Russell, 2000).

El océano Antártico tiene un desarrollado sistema de corrientes con afloramientos asociados a aguas ricas en nutrientes (Villemur, 2004). Además, los largos períodos de luz solar durante los meses de verano producen el aumento de fosfatos y nitratos (Valencia, 1989; Villemur, 2004) junto a las características de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno del agua producen las condiciones ideales para la proliferación del fitoplancton, que constituye el primer eslabón de las cadenas alimentarias (Villemur, 2004). El zooplancton, formado por animales herbívoros que se alimentan preferentemente de fitoplancton, está constituido por pequeños crustáceos, entre ellos los copépodos y los eufásidos (Cifuentes, et al., 1986).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizó para esta tesis fue de tipo descriptiva y aplicada, ya que se realizó un procesamiento, interpretación y una demostración de la composición de sedimento, así como la identificación y cuantificación de especies vivas marinas, incluyendo peces, macrozooplancton y zooplancton en general.

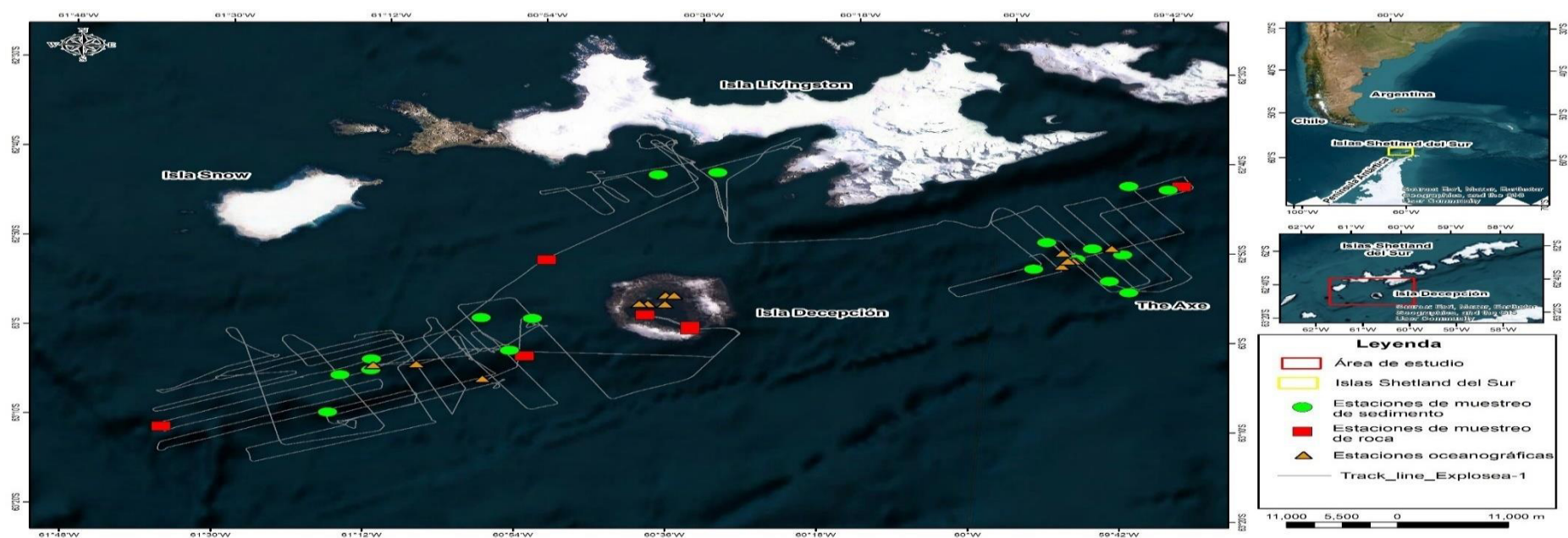
3.2. Ámbito temporal y espacial

La Expedición Científica Española en la Antártida EXPLOSEA-1 se realizó durante el verano austral de 2019, en los meses de febrero a marzo, como parte del proyecto Exploración de Emisiones Submarinas de Fluidos Hidrotermales, Mineralizaciones y Geobio-sistemas Asociados, zarpando desde Punta Arenas (Chile) y realizando un total de 21 días de navegación.

La realización de este trabajo de investigación se fundamentó en el análisis de los datos acústicos que fueron colectados durante 8 días a bordo del Buque de Investigación Oceanográfica Español Hespérides, utilizando una ecosonda monohaz Simrad EK60 de dos frecuencias (38 y 120 kHz) para el perfilamiento del fondo en el área comprendida entre la Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe en el Estrecho de Bransfield. Se prospectaron un total de 702 millas náuticas, en las cuales también se tomaron muestras de sedimentos en 19 estaciones y muestras de roca en 6 estaciones; asimismo, se contó con 15 estaciones oceanográficas (Figura 15).

Figura 15

Área de estudio, trayecto recorrido y estaciones de muestreo de sedimento roca y oceanográficas realizadas entre la Isla Livingston, Decepción y en la zona del monte submarino The Axe en el Estrecho de Bransfield.



Nota. Los puntos verdes en la imagen indican el lugar donde se realizaron muestreos de sedimentos con la Draga Van Veen y los cuadrados rojos son las estaciones de muestreo de rocas con la Draga de roca esta información fue descargada del portal GeoAntartida del INGEMMET y del portal de índice de muestras geológicas marinas y lacustres de la NOAA, los triángulos naranjas indican las estaciones oceanográficas tomadas con el CTD y la línea ploma indica el transecto realizado por el buque Hespérides en la expedición EXPLOSEA-1 en el año 2019.

3.3. Variables

3.3.1. Variables Independientes

- Datos sobre retrodispersión acústica: Mediciones de la retrodispersión del sonido en la columna de agua a lo largo del recorrido efectuado en la zona.
- Datos ambientales: Características físicas y químicas (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) de la zona en estudio a diversos estratos de profundidad.

3.3.2. Variables Dependientes

- Batimetría
- Clasificación de los tipos de fondo
- Estimación de la Biomasa observada de krill y zooplancton.

3.4. Población y muestra

Se considera como población de esta investigación al conjunto de características del ambiente marino en el Estrecho de Bransfield, Isla Decepción e Isla Livingston, incluyendo la diversidad biológica, la distribución de sedimentos del fondo marino y las propiedades físico-químicas del agua de mar.

La muestra está conformada por los datos acústicos obtenidos para analizar la distribución y cuantificación de peces y macrozooplancton, los sedimentos recolectados en estaciones de muestreo para determinar su tipo, así como los datos oceanográficos que incluyen mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y profundidad.

3.5. Instrumentos

En esta tesis se realizó un post-procesamiento de los datos colectados con equipos acústicos y otros instrumentos oceanográficos.

3.5.1. Softwares

- ECHOVIEW 14, ARCGIS (ArcMap 10.5), QGIS, R-Geostat, Caris View, Surfer 13.

3.5.2. Instrumentos

- Ecosonda monohaz EK-60 Kongsberg de haz dividido de 38 y 120 kHz. Se utiliza para estudios biológicos, principalmente para la estimación de biomasa y la detección individual de blancos, también puede hacer un seguimiento automático del fondo. La frecuencia de 38 kHz tiene un alcance máximo de 3000 m y el 120 kHz un alcance máximo de 900 m.
- CTD Idronaut (Conductivity, Temperature, Depth) en español significa conductividad, temperatura y profundidad es instrumento oceanográfico utilizado para determinar las propiedades físicas del agua de mar.
- Draga Van Veen utilizada para muestrear tipos de fondos que van desde fangosos a arenosos o con rocas sueltas.

3.6. Procedimiento

3.6.1. Post-procesamiento de los Datos Obtenidos

El procesamiento de los datos acústicos generados por la ecosonda monohaz Simrad EK-60 ocupó un total de 15.4 gigabytes (GB). Estos datos comprendieron un total de 324 ficheros acústicos en formato RAW, los cuales fueron convertidos a formato EVD al eliminarse el ruido e interferencias utilizando el software ECHOVIEW 14. Asimismo, se utilizó el mismo software, ECHOVIEW 14, para el diseño y uso de algoritmos que permitieron separar acústicamente los grupos de organismos vivos.

Como resultado, se obtuvieron ecogramas sin ruido por grupos de especies (peces, macrozooplancton, zooplancton gelatinoso). Así mismo, se obtuvieron los valores Sv y NASC

necesarios para clasificar acústicamente las especies por grupos. Para la clasificación del tipo de sedimento, se utilizó la eointegración con el fin de obtener las respuestas acústicas del fondo.

3.7. Análisis de datos

3.7.1. Metodología para el procesamiento de los datos acústicos

Los datos acústicos de la ecosonda monohaz Simrad EK-60 fueron solicitados al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) para su procesamiento. Para la clasificación del tipo de fondo marino, se utilizaron los datos de valores de Fuerza Media del Volumen de Retrodispersión Acústica (Sv) hasta los 500 m de profundidad, durante el recorrido efectuado por el Buque Hespérides a una velocidad media de 8.5 nudos. La información de 38 kHz fue destinada a la determinación de la profundidad para cada emisión de sonido y a los estudios posteriores del tipo de fondo. Las lecturas batimétricas fueron corregidas de acuerdo con los cambios termohalinos en la columna de agua, según lo descrito en Gutiérrez (1988), dentro de las zonas de corrección establecidas conforme a la ubicación de las estaciones oceanográficas efectuadas. Dado que la ecosonda fue calibrada previamente antes de la toma de datos, se construyó la hoja de calibración con los datos obtenidos.

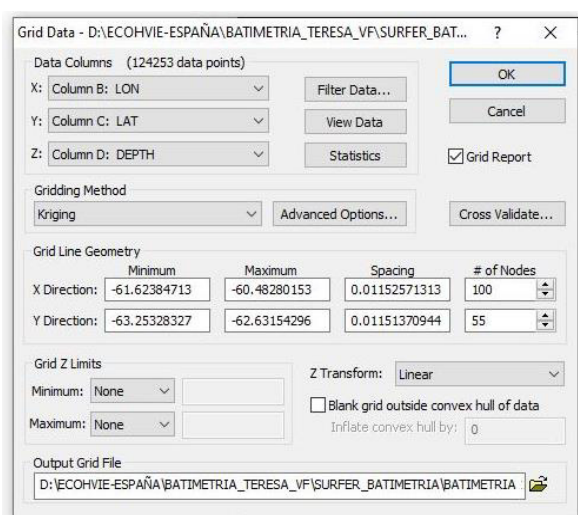
3.7.2. Metodología para el procesamiento de batimetría monohaz

Para el procesamiento de la batimetría monohaz, primero se descargaron los datos de profundidad obtenidos durante los 8 días de levantamiento acústico en formato .csv mediante el software Echoview versión 14. Debido a una discontinuidad en los valores de profundidad, los datos se dividieron en dos archivos .xlsx: “1-6_Batimetria” y “7-8_Batimetria”. Posteriormente, se generaron dos grillas batimétricas en formato .grd utilizando el método de interpolación Kriging en el software Surfer 13 (Figura 16). Sin embargo, la interpolación excedía los límites de la zona de estudio, por lo que se aplicó un proceso de blanqueo al mapa

de contornos (Figura 17), digitalizando un polígono alrededor del transecto realizado durante la expedición EXPLOSEA-1. Los archivos .grd se importaron a QGIS para crear curvas de nivel cada 100 m y convertirlos a formato .GeoTIFF. Finalmente, la batimetría se visualizó en 3D en el software Caris View, permitiendo ajustes de ángulo y resolución para una interpretación detallada.

Figura 16

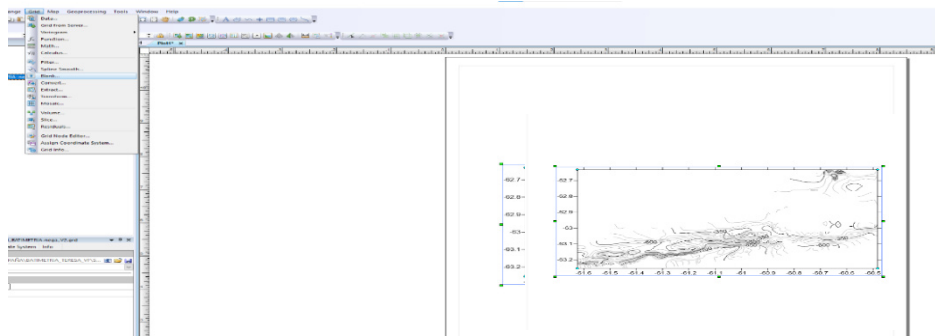
Grid Data Kriging aplicado en Surfer Golden V.13



Nota. Se llenan las ventanillas (nombre de las variables para los ejes X: Longitud, Y: Latitud, Z: Profundidad; Gridding method = kriging).

Figura 17

Blanqueo del mapa de contornos



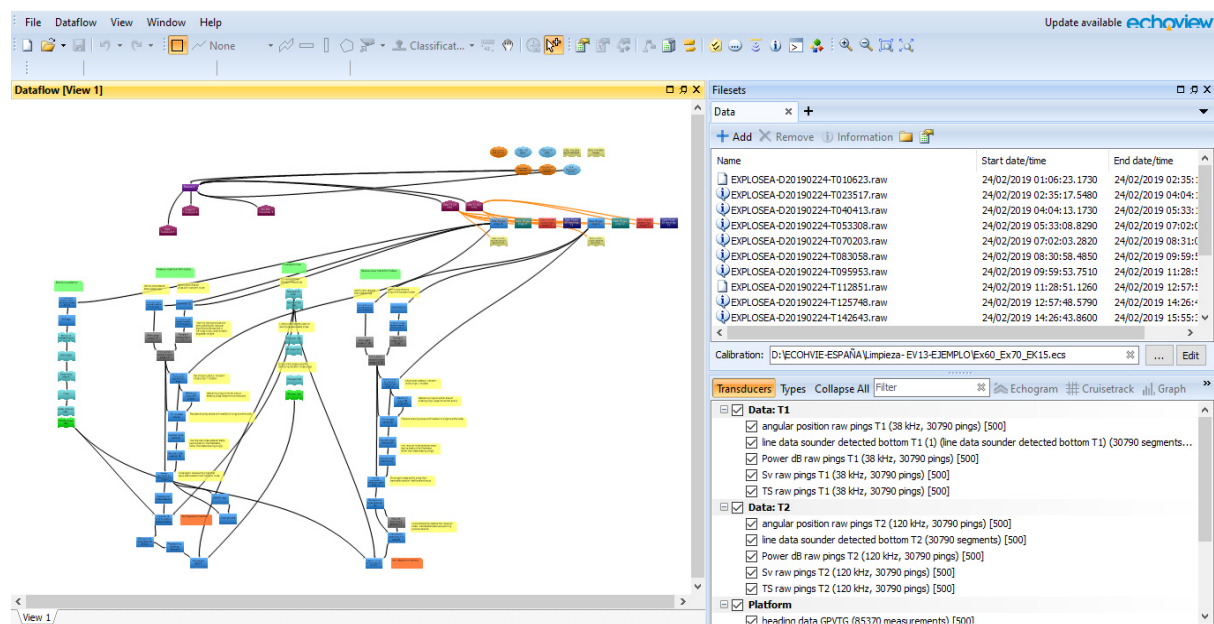
Nota. Se observa el mapa blanqueado es decir con la forma del área en estudio.

3.7.3. Metodología para la clasificación del tipo de fondo marino

La clasificación del fondo marino se realizó con el software Echoview versión 14, utilizando datos acústicos colectados en formato .raw durante 8 días. Inicialmente, se detectó interferencia en los ecogramas, por lo que se aplicó un algoritmo de limpieza de ruido (Figura 18). Aunque se utilizaron dos frecuencias (38 kHz y 120 kHz), se optó por trabajar principalmente con la frecuencia de 38 kHz debido a su mejor resolución para la caracterización del fondo marino (Simmonds & MacLennan, 2005).

Figura 18

Visualización del algoritmo para limpiar ruido de los ecogramas 38 y 120 kHz en Echoview versión 14



Nota. En la ventana derecha en la parte superior observamos los datos .raw cargados del día 1 de la Expedición Científica EXPLOSEA-1 2019, en la parte inferior se observa los datos acústicos y posición GPS tomados por la ecosonda monohaz. En la ventana izquierda observamos el algoritmo utilizado para la limpieza del ruido/ interferencia observada en los ecogramas.

Posteriormente, se definieron dos líneas de referencia en el ecograma: una en el fondo marino y otra a 30 m por debajo, y se configuraron parámetros de exclusión para descartar datos fuera del rango de interés (0.1 m.n. a 500 m de profundidad). Mediante operadores como “Line bitmap” y “Mask”, se generó la variable “Depth_38 kHz”, que se exportó en formato .csv para su posterior análisis. Los datos de retrodispersión acústica (Sv) obtenidos se consolidaron en dos archivos .xlsx (días 1-6 y días 7-8), y se realizó una interpolación mediante el método Kriging en Surfer 13. Los archivos .grd resultantes se convirtieron a formato GeoTIFF en QGIS y se analizaron en ArcMap 10.5, donde se asoció la reflectividad con muestras de roca y sedimento. Para los días 1-6, se aplicó una clasificación supervisada, mientras que para los días 7-8 se utilizó una clasificación no supervisada (método de Jenks).

3.7.4. Metodología bi-frecuencia para la clasificación del plancton y peces

En primer lugar, se definieron límites como la superficie y el fondo, y se remuestrearon los ecogramas de 38 y 120 kHz para que presentaran matrices de dimensiones similares. Posteriormente, se procedió al cálculo del biovolumen utilizando el método de dos frecuencias de Greenlaw (1979), Ballón et al. (2011) y el modelo de esfera “high-pass” de Johnson (1977). En este modelo, el volumen de fluido en la esfera se asumió igual al volumen desplazado por un organismo del zooplancton.

Para este proceso, se contó con un consolidado de datos en formato Excel, denominado “Bitácora de muestra_EXPLOSEA.xlsx”, que incluyó los datos descargados de Fluid Like 38 y Fluid Like 120 correspondientes a los 8 días de muestreo. Este fichero contuvo 16,547 filas (UBM) que se utilizaron para calcular la abundancia y el biovolumen del macrozooplancton. Para ello, se empleó una plantilla con las fórmulas previamente mencionadas por Greenlaw (1979), Johnson (1977) y Ballón et al. (2011). En el caso de los peces, se utilizaron los valores NASC (Fish 38 y Fish 120) descargados del fichero de Ballón et al. (2011). De manera similar, para el macrozooplancton, se emplearon los valores NASC (No fluid like zoo 38 y No fluid

like zoo 120). Cabe destacar que, para cada interpolación de valores, se generó un variograma modelo con el fin de ajustar los datos y generar mapas.

3.7.5. Metodología para el análisis de las variables oceanográficas

Se efectuaron 15 estaciones oceanográficas utilizando el CTD Idronaut, el cual permitió la cuantificación de los parámetros físicos. Se obtuvieron registros continuos de alta frecuencia (cada metro) de la presión (profundidad), conductividad (salinidad), temperatura y oxígeno disuelto de la columna de agua. Dichos registros se realizaron principalmente en tres zonas: el monte submarino The Axe hasta los -400 m, al suroeste de Isla Decepción hasta los -400 m y dentro de Isla Decepción hasta los -100 m. La información registrada fue procesada mediante hojas de cálculo (Excel) y graficada usando el software Ocean Data View para la obtención de perfiles verticales.

Además, la Sociedad Nacional de Pesquería del Perú proporcionó información satelital de las variables oceanográficas de temperatura y salinidad superficial del mar, las cuales fueron procesadas y graficadas usando el software Surfer 13, que permitió visualizar la variabilidad espacial de dichas variables, facilitando la identificación de patrones clave en los procesos físicos de la zona de estudio.

3.7.5.1. Análisis de correlación. Para el análisis de los datos acústicos, se utilizaron histogramas de frecuencia para examinar la distribución de los valores de fuerza de retrodispersión acústica (S_v), lo que facilitó la identificación de patrones en la reflectividad del fondo marino y la clasificación de diferentes texturas. Estos histogramas, combinados con técnicas de clasificación estadística, permitieron establecer categorías texturales (como arcilla, arena, grava y roca volcánica) y evaluar su distribución espacial en el área de estudio.

Asimismo, para evaluar las relaciones entre las variables oceanográficas medidas, se empleó la matriz de correlación de Pearson. Este análisis permitió identificar el grado de

asociación lineal entre pares de variables, proporcionando un coeficiente de correlación (R) que varió entre -1 y 1. La identificación de correlaciones significativas entre temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y profundidad permitió inferir patrones subyacentes en la dinámica oceanográfica de la zona de estudio.

IV. RESULTADOS

4.1. Calibración de la ecosonda Simrad EK60

La calibración de la ecosonda Simrad modelo EK60, operando a frecuencias sónicas de 38 y 120 kHz, se realizó a bordo del Buque de Investigación Oceanográfica Hespérides para la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1. Dado que la ecosonda había sido calibrada previamente a la toma de datos, se construyó la hoja de calibración con los datos tomados (Tabla 1). Los resultados se aprecian en la tabla siguiente:

Tabla 1

Parámetros Acústicos de Calibración a 38 kHz y 120 kHz

Factor	38 kHz	120 kHz
Coeficiente de absorción (dB/m)	0.01002	0.02705
Velocidad del sonido (m/s)	1460	1460
Ángulo de haz equivalente (dB/s)	-20.6	-18.5
Ganancia del transductor (dB)	26.50	25.6
Largo de pulso transmitido (ms)	4.096	1.024
Potencia transmitida (Watts)	200	50
Duración del pulso (ms)	4.096	1.024
Ángulo del haz 3 dB del eje mayor (°)	6.93	8.85
Desplazamiento angular del eje mayor (°)	-0.02	0.2
Sensibilidad del ángulo del eje mayor (°)	21.90	17.00
Ángulo del haz 3 dB del eje menor (°)	6.99	8.94
Desplazamiento angular del eje menor (°)	0.00	-0.02
Sensibilidad del ángulo del eje menor (°)	21.90	17.00

4.2. Morfología del fondo marino

En la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, a bordo del Buque de Investigación Oceanográfica Hespérides, se colectaron datos acústicos digitales en 8 días efectivos de trabajo, utilizando una ecosonda monohaz Simrad EK60 de dos frecuencias (38 y 120 kHz) para el perfilado del fondo marino en el área comprendida entre la Isla Decepción, la Isla Livingston y el monte submarino The Axe, en el Estrecho de Bransfield, con un total de 702 millas náuticas prospectadas.

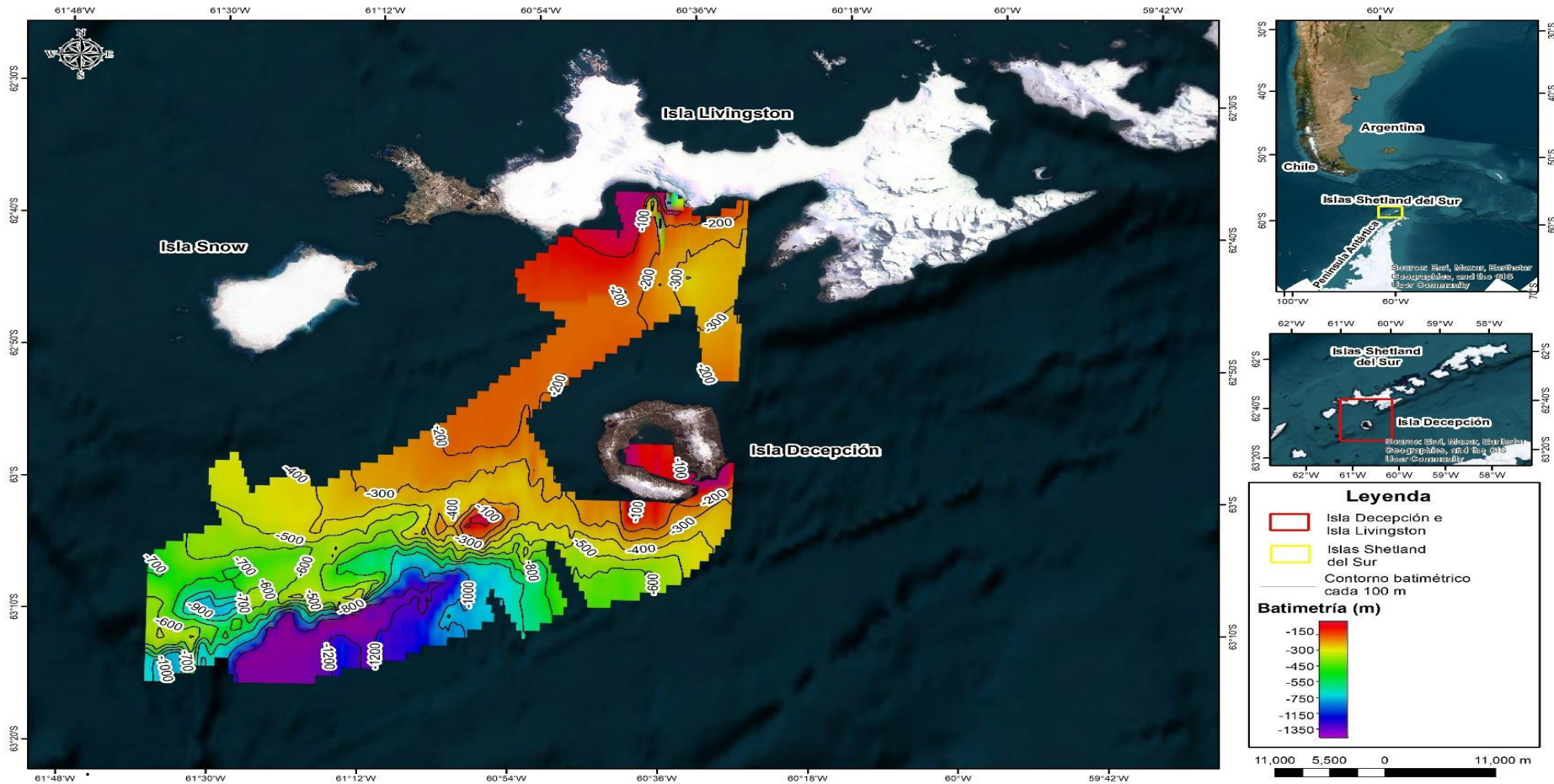
Como resultado del procesamiento de dichos datos, se generaron dos mapas batimétricos: el primero, de la zona comprendida entre el noroeste de Isla Livingston y el suroeste de Isla Decepción (Figura 19), y el segundo, de la zona conocida como The Axe en el Estrecho de Bransfield (Figura 26). Estos mapas fueron utilizados como base para la elaboración de perfiles batimétricos de las geoformas identificadas.

El primer mapa corresponde a la grilla batimétrica denominada “Grilla 1-6”, que fue elaborada a partir de la compilación de datos de profundidad colectados del 20 al 25 de febrero del 2019 (Figura 19), que abarcan la zona noroeste de Isla Livingston y el entorno de Isla Decepción. La batimetría se representó mediante una escala de colores, donde el rojo indica áreas someras de -100 m y el morado señala las zonas más profundas hasta -1300 m. Además, los contornos batimétricos están representados cada 100 m, evidenciando variaciones en el relieve submarino.

En la zona noroeste de la Isla Livingston, se identifican profundidades entre -150 m y -380 m, mientras que dentro de la Isla Decepción las profundidades oscilan entre -120 m y -300 m. Al suroeste de la Isla Decepción, las profundidades varían entre -100 m y -550 m, aumentando progresivamente hasta alcanzar los -1300 m a 13 km al suroeste de la isla (Figura 19).

Figura 19

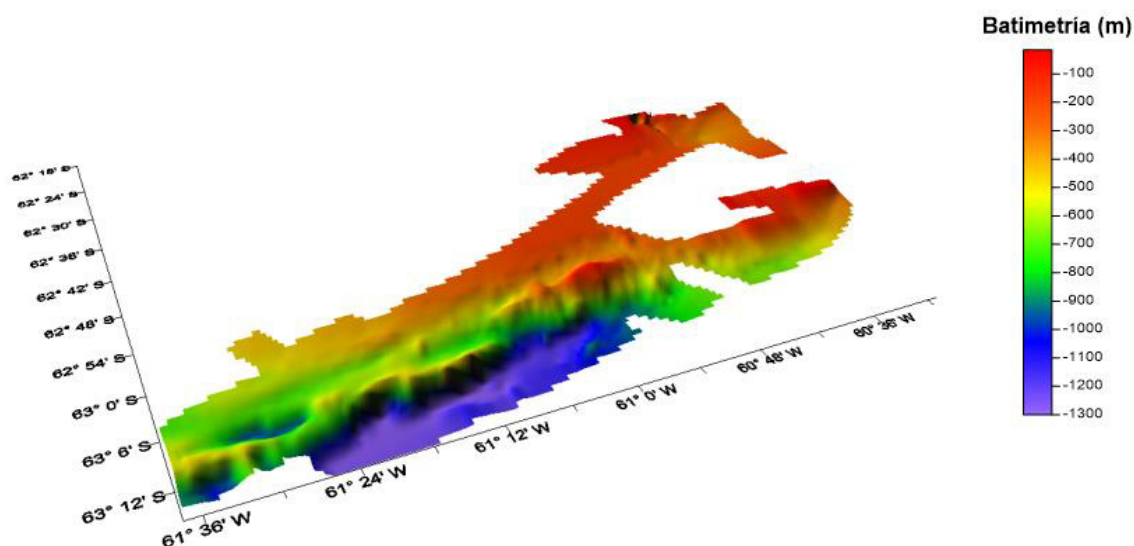
Batimetría 2D del transecto de la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1 entre el suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston



El gráfico batimétrico tridimensional (Figura 20) permitió caracterizar el fondo marino como las áreas someras (representadas en rojo y naranja) que se observan al noroeste de Isla Livingston y alrededor de Isla Decepción, las cuales probablemente corresponden elevaciones submarinas. En contraste, en el suroeste de Isla Decepción se identifican áreas más profundas (representadas en azul y morado), que podría corresponder a depresiones submarinas o zonas abisales.

Figura 20

Batimetría 3D Suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston



Nota. En la escala de colores se observa que el color rojo representa las áreas más someras de (-100 m). El verde y amarillo representan profundidades intermedias. El azul y morado indican las áreas más profundas (hasta -1300 m).

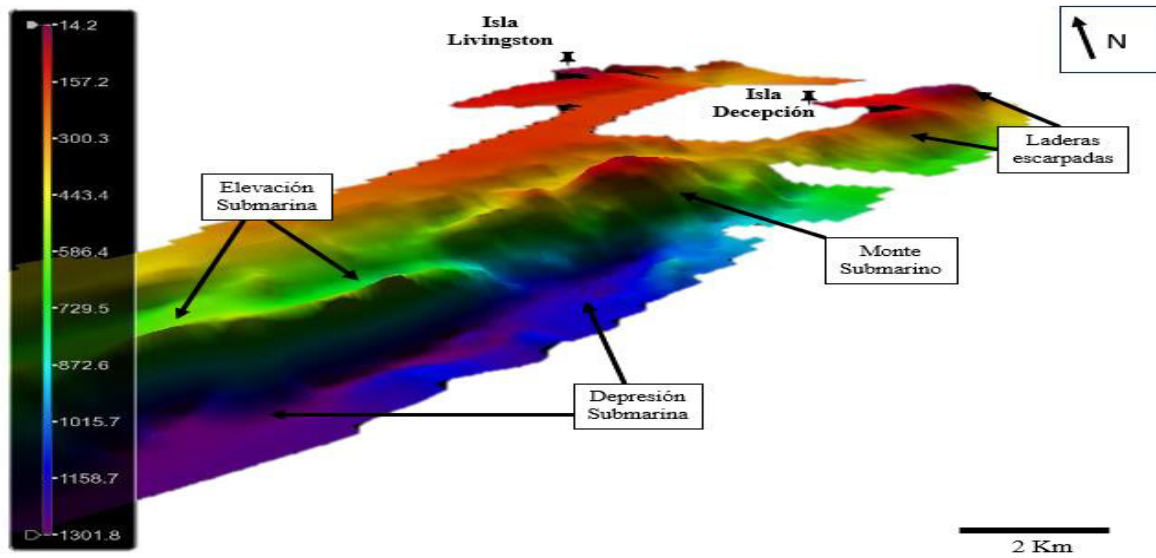
Se identificaron geoformas tales como elevaciones submarinas, un posible monte submarino, depresiones submarinas y laderas escarpadas en el área comprendida entre las Islas Livingston y Decepción. Estas geoformas se analizaron mediante el modelo tridimensional del relieve submarino.

En el área central, a 12 km al suroeste de la Isla Decepción, destaca un posible monte submarino prominente abarcando 8 km, caracterizado por pendientes abruptas y variaciones marcadas en la batimetría (Figura 21). Este monte submarino alcanza profundidades de hasta -900 metros en su base y podría estar relacionado con antiguos procesos volcánicos, dada la actividad tectónica de la región (Rey et al., 1995). A su vez, a 7 km de este posible monte submarino se observa un relieve pronunciado, representado en colores verde y amarillo, abarcando una longitud de 10 km (Figura 21), y corresponderían a posibles prominencias en el fondo marino formadas por procesos tectónicos o acumulación de material volcánico (Maestro et al., 2007).

Por otro lado, se identificaron depresiones submarinas de relieve plano al suroeste de Isla Decepción que abarcan 22 km (Figura 22), representadas en tonos azul oscuro y morado, y que podrían corresponder a la llanura abisal. Además, a 40 km al suroeste de Isla Decepción se identifica una depresión submarina que se extiende a profundidades entre -1000 y -1150 m (Figura 22). A lo largo de las transiciones entre elevaciones y depresiones, se observaron laderas escarpadas en los alrededores de Isla Decepción y a 4 km al suroeste de Isla Livingston, las cuales evidencian cambios abruptos en el relieve del fondo marino.

Figura 21

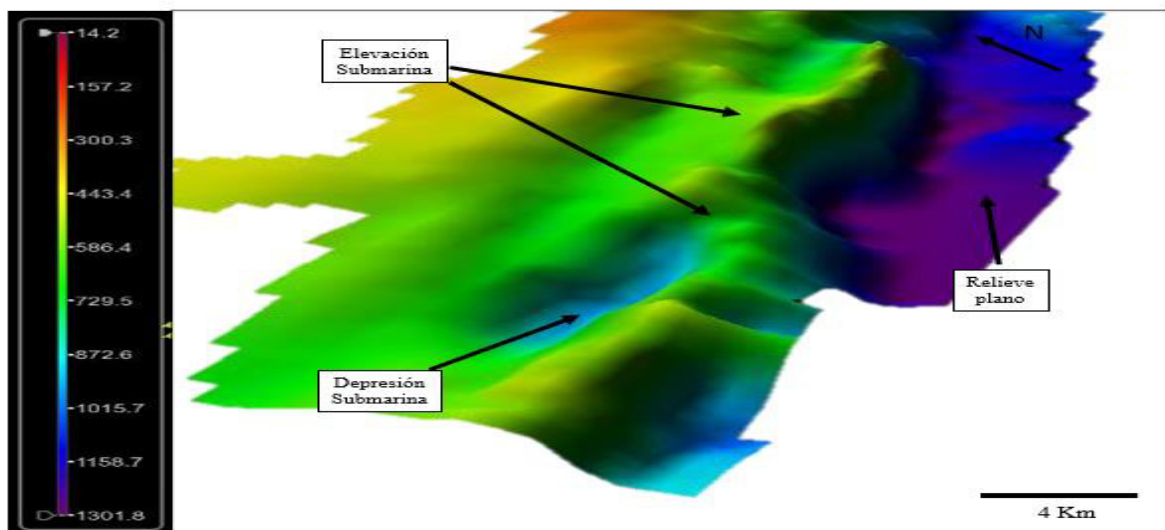
Geoformas de la zona suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston



Nota. Los recuadros indican las geoformas que se han reconocido a partir de la batimetría monohaz como laderas escarpadas en los alrededores de Isla Decepción, un posible monte submarino, depresiones submarinas y una elevación submarina al sur de Isla Decepción.

Figura 22

Geoformas Suroeste de Isla Decepción



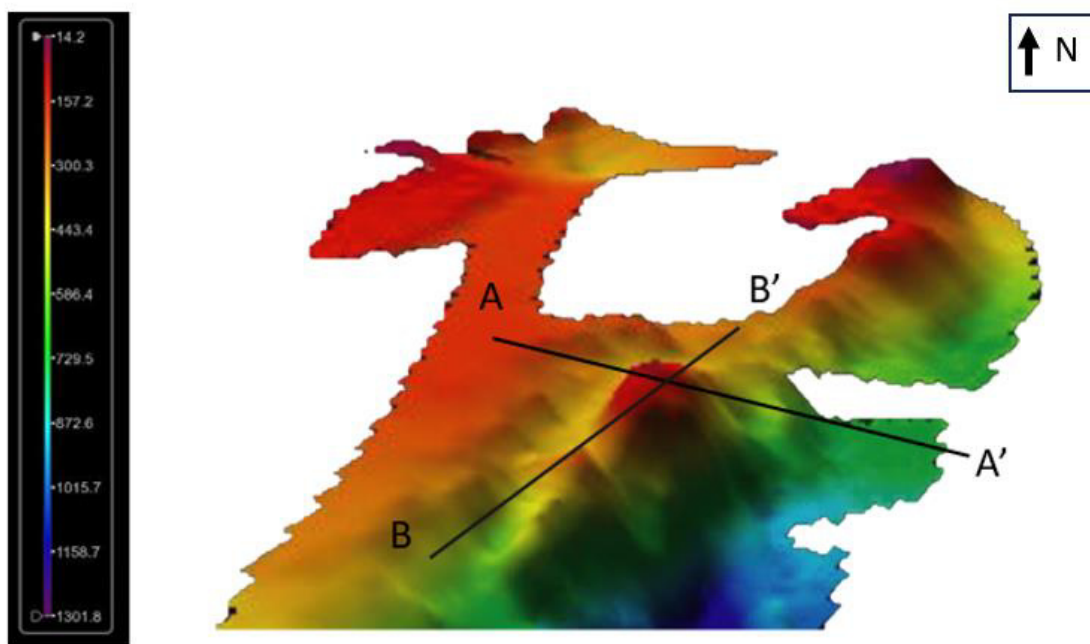
Nota. Detalle de las geoformas de elevaciones (color verde) de -600 m que abarca 22 km y una depresión submarina con radio de abertura con orientación este-oeste (color celeste y morado)

a 40 km de la Isla Decepción. Y limitando una zona profunda de relieve plano.

Se generaron dos trazos de perfiles sobre el posible monte submarino identificado al suroeste de la Isla Decepción (Figura 23): uno transversal (A-A') (Figura 24) y otro longitudinal (B-B') (Figura 25). Estos perfiles permiten analizar en detalle la morfología del monte, su elevación máxima y las pendientes asociadas. La visualización de los perfiles revela un cambio pronunciado en la topografía, lo que confirma la presencia de un relieve complejo, posiblemente relacionado con procesos tectónicos o volcánicos en la región (Rey et al., 1995).

Figura 23

Trazo de perfiles sobre el posible monte submarino al suroeste de Isla Decepción

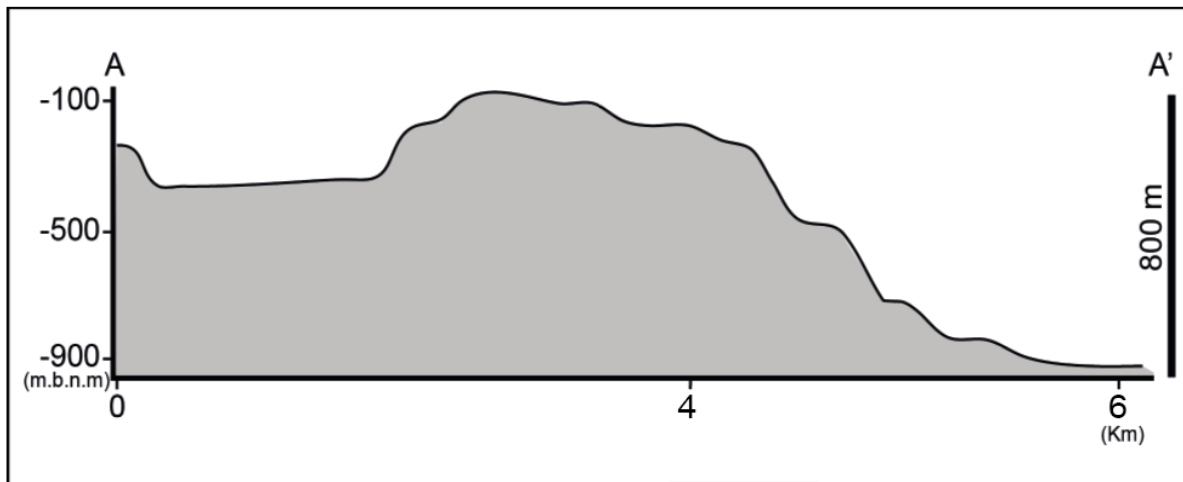


Nota. Se observa el trazo de un perfil transversal (A-A') y un perfil longitudinal (B-B').

El perfil transversal A-A' cruza el monte submarino de manera perpendicular a su eje principal (Figura 24). Su altura asciende a -800 m en ambos extremos hasta una elevación a -110 m en su punto más alto. Este perfil muestra una estructura de cima pronunciada y simétrica, con flancos empinados hacia ambos lados. La topografía sugiere un relieve abrupto característico de un monte submarino bien definido.

Figura 24

Perfil transversal A-A' sobre el monte submarino al suroeste de Isla Decepción

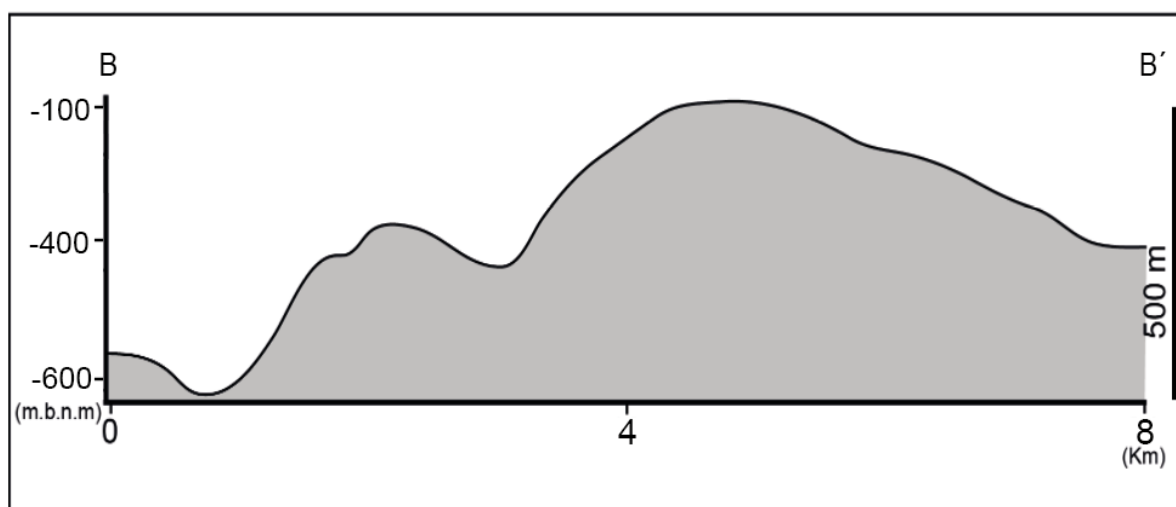


Nota. La distancia horizontal del perfil es de 6 km, mostrando una pendiente considerable, especialmente en los flancos del monte. Su ladera suroeste se presenta escarpada y escalonada.

El perfil longitudinal B-B' atraviesa el monte submarino a lo largo de su eje principal (Figura 25). Este perfil muestra una altura de 500 m, en su flanco suroeste presenta una superficie discontinua con depresiones de -580 y luego ascender a -380 para luego descender a -430 y alcanzar su punto más alto a -100 m en el centro del monte, antes de descender gradualmente hacia el otro extremo noreste, alcanzando profundidades de -450 m. A diferencia del perfil transversal, el longitudinal presenta pendientes menos pronunciadas, lo que sugiere una elongación del monte en esta dirección. La distancia horizontal del perfil es de 8 km, evidenciando que el monte submarino tiene una forma alargada y una pendiente asimétrica, lo que podría estar relacionado con la orientación de las fuerzas tectónicas en la región o con flujos volcánicos submarinos pasados (Maestro et al., 2007).

Figura 25

Perfil longitudinal B-B' sobre el monte submarino al suroeste de Isla Decepción



Nota. Se observa que su superficie no es continua, sino que presenta una variación de depresiones y picos.

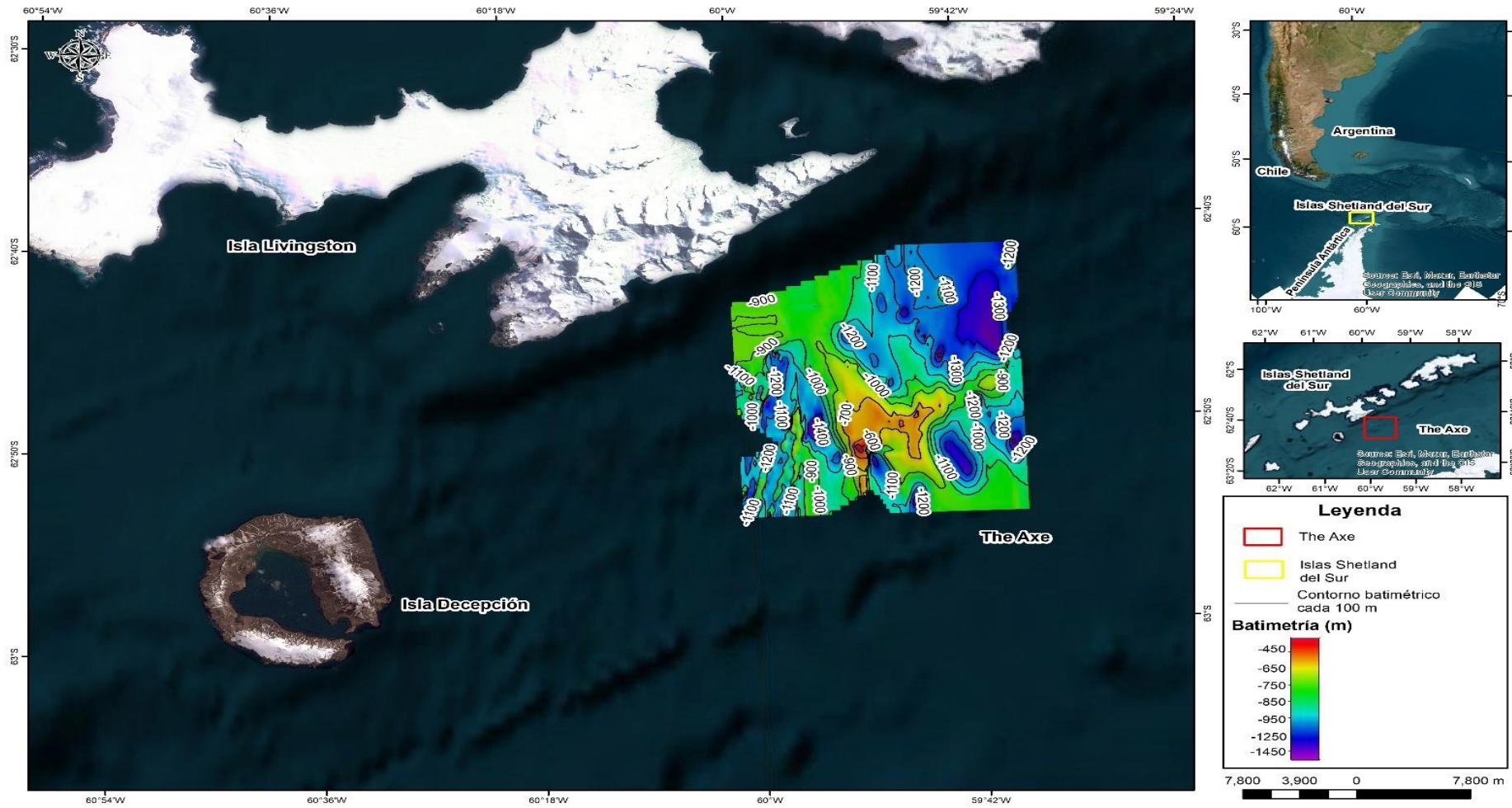
El segundo mapa corresponde a la grilla batimétrica denominada “Grilla 7-8”, que fue elaborada a partir de la compilación de datos de profundidad colectados del 26 al 27 de febrero del 2019 (Figura 26), que abarca la zona conocida como The Axe, en el Estrecho de Bransfield. La batimetría se representó mediante una escala de colores, donde el rojo indica áreas someras de -450 m y el morado señala las zonas más profundas hasta -1450 m. Además, los contornos batimétricos están representados cada 100 m, evidenciando variaciones en el relieve submarino.

En la zona de The Axe revela la presencia de un monte submarino prominente (Figura 26). Este monte se caracteriza por zonas someras, representadas en colores amarillo y naranja, con profundidades comprendidas entre -480 y -800 metros, que definen la cima de esta estructura submarina. La forma y distribución del relieve indican que en la zona de The Axe constituye un punto elevado del fondo marino, posiblemente asociado a procesos volcánicos o tectónicos (Gràcia et al., 1996).

Por otro lado, hacia el este y sureste de la zona de The Axe, se identifican pendientes pronunciadas que conducen a mayores profundidades, evidenciadas por contornos batimétricos cercanos entre sí, con profundidades que varían entre -1200 m y los -1400 m, representados de colores azul y morado. Estas características podrían estar asociadas a cañones submarinos o fracturas tectónicas que moldean el relieve marino (Solari et al., 2008). La disposición batimétrica indica una transición marcada entre las zonas someras y las profundas, lo que reflejaría una posible dinámica geológica activa en esta zona (Barker et al., 1998).

Figura 26

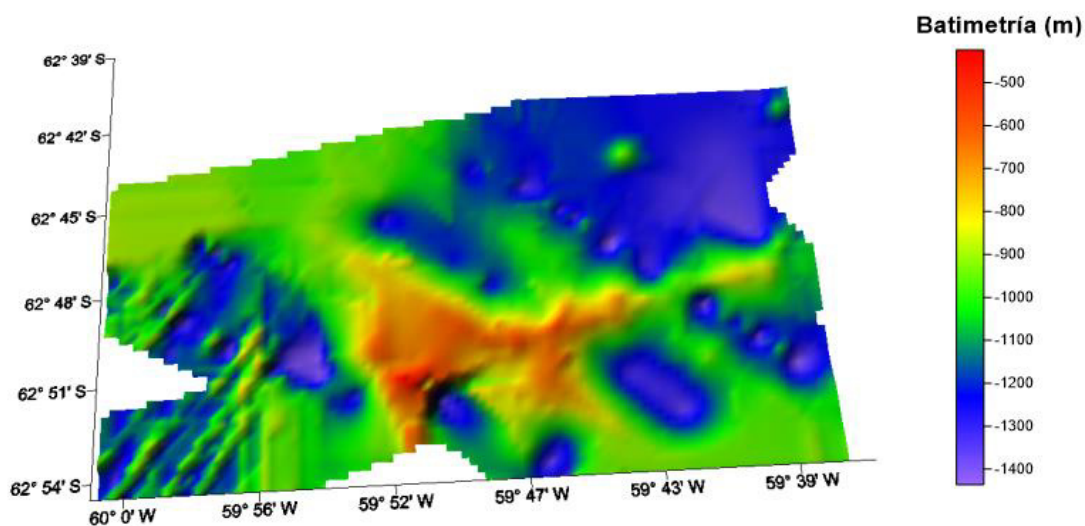
Batimetría 2D del transecto de la expedición EXPLOSEA 1 en la zona del monte submarino The Axe



El gráfico batimétrico tridimensional (Figura 27) permitió identificar una estructura volcánica submarina como un monte submarino en la zona de The Axe previamente descrito en Aquilina et al. (2013). Este monte submarino, de forma alargada y relieve positivo, sugiere un posible origen volcánico o tectónico (Gràcia et al., 1996). En contraste, las regiones circundantes presentan posibles depresiones submarinas más profundas especialmente al oeste y noreste de la zona de The Axe, visibles en colores verdes y azules. Las transiciones entre el monte submarino y las depresiones adyacentes se caracterizan por pendientes pronunciadas, evidenciando un relieve abrupto típico de regiones donde convergen procesos de levantamiento tectónico y erosión (Solari et al., 2008). Por último, en el extremo occidental y algunos sectores del noreste de The Axe, se identifican patrones batimétricos irregulares, que no representan características reales del fondo marino, esto debido posiblemente a la insuficiencia de datos batimétricos.

Figura 27

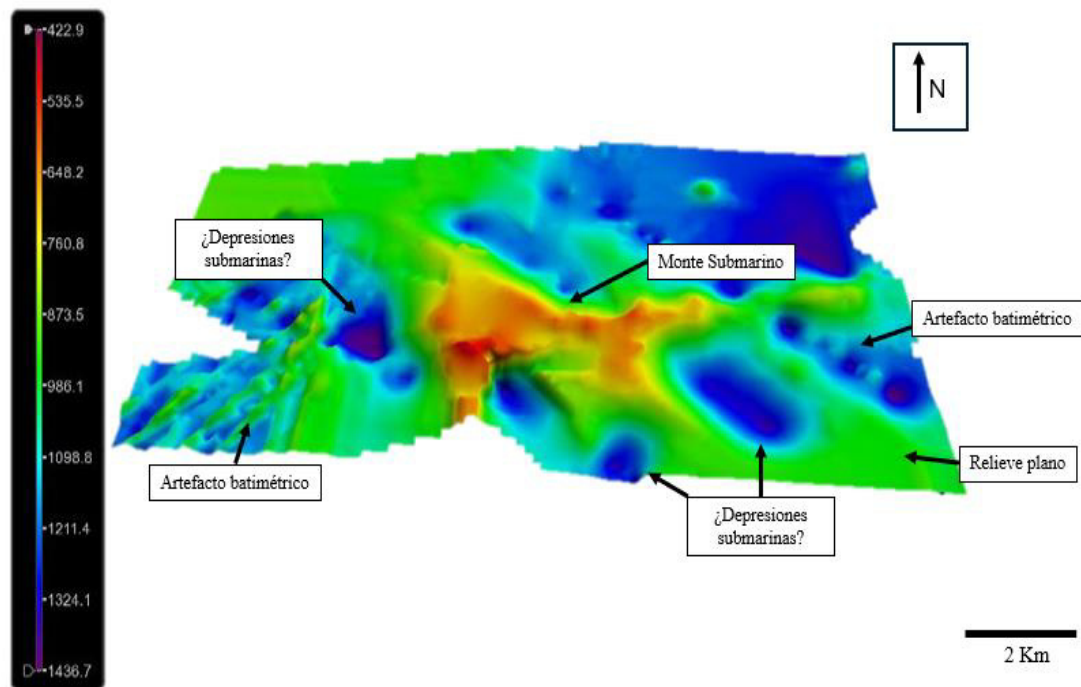
Batimetría 3D de la zona de The Axe



Se identificaron geoformas (Figura 28) destacando el monte submarino The Axe, y posibles depresiones submarinas. A su vez se identificó artefactos batimétricos que no reflejan las características reales del fondo marino.

Figura 28

Geoformas en los alrededores de la zona del monte submarino The Axe

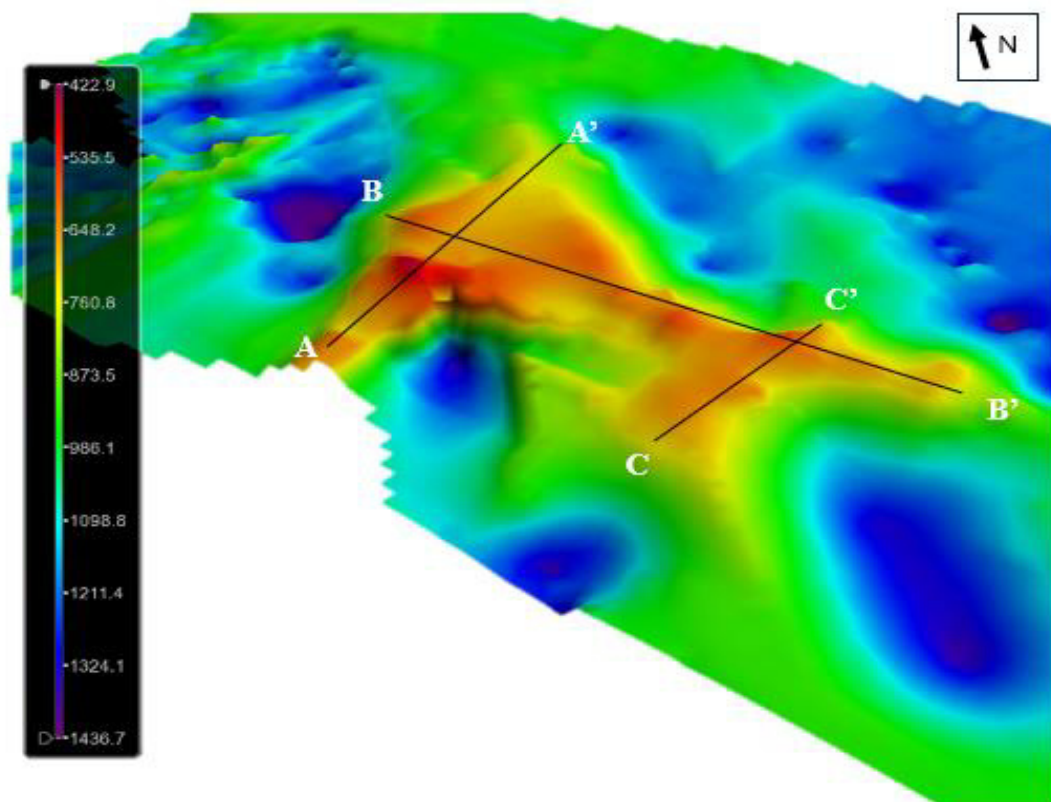


Nota. Se observan artefactos batimétricos en la zona occidental y oriental de la zona del monte submarino The axe posiblemente por la insuficiencia de datos batimétricos.

Se generaron tres trazos de perfiles sobre el monte submarino identificado en la zona de The Axe (Figura 29): dos transversales (A-A' y C-C) (Figuras 30 y 31) y otro longitudinal (B-B') (Figura 32). Estos perfiles permiten analizar en detalle la morfología del monte, su elevación máxima y las pendientes asociadas. La visualización de los perfiles revela un cambio pronunciado en la topografía, lo que confirma la presencia de un relieve complejo.

Figura 29

Trazo de perfiles sobre el monte submarino The Axe



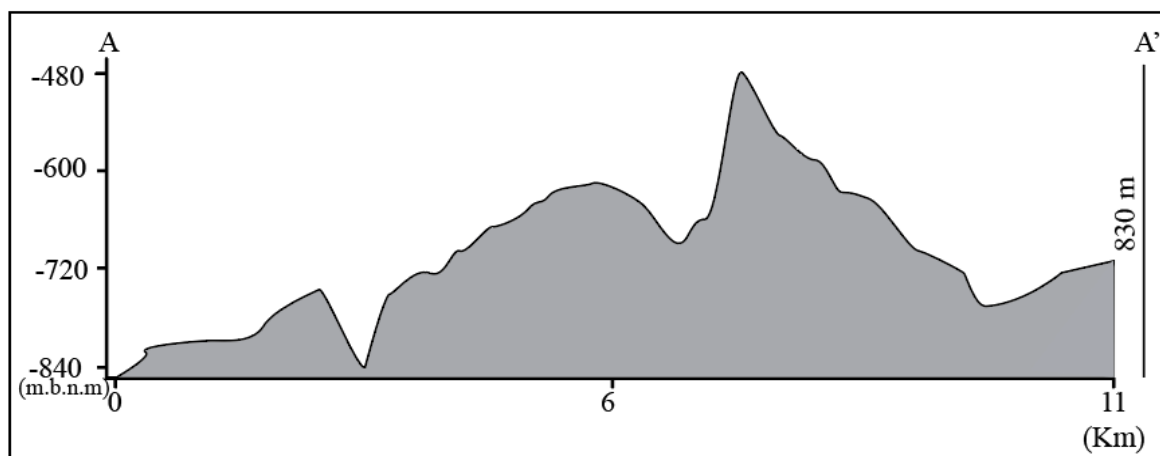
Nota. Se trazaron 2 perfiles transversales y 1 perfil longitudinal en el monte submarino The Axe.

El perfil transversal A-A' cruza el monte submarino The Axe de manera perpendicular a su eje principal (Figura 30), abarcando una longitud de 11 km. La pendiente asciende a una altura de 830 m en ambos extremos hasta una elevación de -480 m en su punto más alto, ubicado entre los 6 y 7 km. Este perfil muestra una estructura de cima prominente con flancos empinados, particularmente en los primeros 2 km y entre los 6 y 8 km, alternando con depresiones que reflejan valles secundarios.

La morfología observada en el perfil refleja un monte submarino con posibles características volcánicas distintivas, con una cima prominente y flancos que evidencian procesos de origen volcánico o posiblemente tectónico (Gràcia et al., 1996).

Figura 30

Perfil transversal A-A' sobre el monte submarino de The Axe



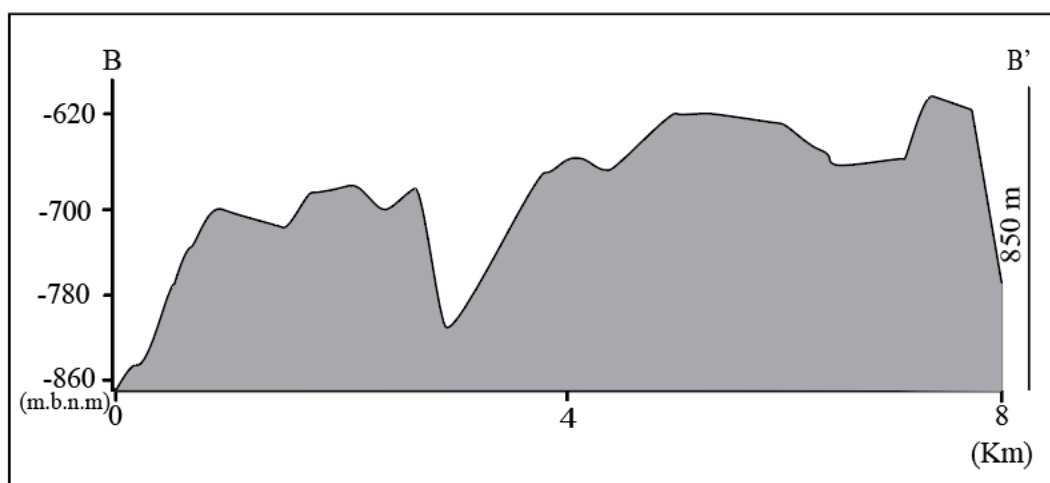
Nota. La distancia horizontal del perfil es de 11 km.

El perfil longitudinal B-B' recorre el monte submarino The Axe, abarca una longitud de 8 km (Figura 31). La pendiente se eleva desde -860 m en el extremo occidental hasta alcanzar una elevación máxima de -620 m hacia el centro del perfil, descendiendo nuevamente hacia el extremo oriental. Este perfil presenta una estructura escalonada con cimas y depresiones que alternan a lo largo del recorrido.

Las zonas más abruptas se observan entre los primeros 2 km y los últimos 6.5 km del perfil (Figura 31). En contraste, el sector central entre los 4 y 5 km del perfil muestra una morfología más suavizada. La cima principal a los 8 km del perfil, destaca como un punto prominente que alcanza una altura de 850 m. Este rasgo sugiere la presencia de una posible chimenea volcánica central, una característica común en montes submarinos de origen volcánico (Aquilina et al., 2013). Las transiciones abruptas entre los diferentes niveles del perfil subrayan la complejidad del monte submarino.

Figura 31

Perfil longitudinal B-B' sobre el monte submarino de The Axe



El perfil transversal C-C cruza el monte submarino de The Axe abarca una longitud de 6.5 km (Figura 32). Se observa que la pendiente asciende desde -860 m hasta una elevación máxima cercana a -620 m en su punto más alto, lo que corresponde a la cima del monte submarino. Este perfil destaca por un relieve marcado por pendientes variables: un ascenso inicial pronunciado, seguido de zonas intermedias más suavizadas y ligeros descensos hacia el final.

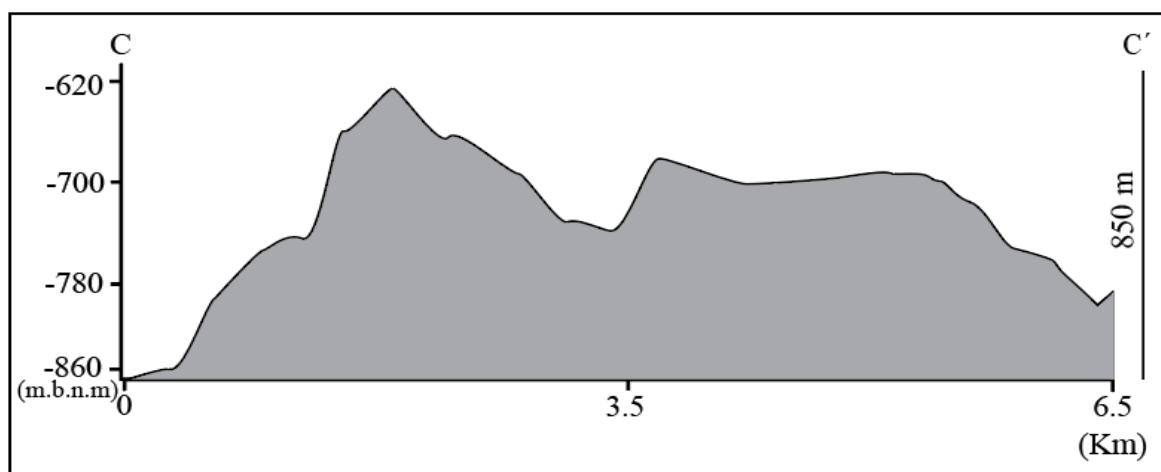
En los primeros 3.5 km, la pendiente muestra un ascenso sostenido con pequeños tramos de nivelación, alcanzando la cima a -620 m. A partir de este punto, el perfil desciende de manera escalonada, con algunas depresiones y áreas de transición que alternan entre descensos más bruscos y pendientes menos pronunciadas. Hacia el kilómetro 6.5, se observa un descenso final hacia -750 m.

La topografía del perfil indica que el monte submarino tiene un relieve mixto, con áreas de ascenso abrupto y zonas de transición más suaves. Esto podría ser resultado de procesos volcánicos iniciales (Aquilina et al., 2013), seguidos de modificaciones que posiblemente

fueron por movimientos tectónicos que alteraron la forma original del monte (Gràcia et al., 1997).

Figura 32

Perfil transversal C-C' sobre el monte submarino de The Axe



4.3. Ecointegración del fondo marino

Para llevar a cabo la clasificación de texturas del fondo marino, se elaboró una matriz en Excel que integró información de muestras de roca y sedimento, obteniendo un total de 25 muestras (Tabla 2). De las cuales, 17 muestras fueron recopiladas del portal “GeoAntártida” del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Dentro de estas, 15 muestras correspondieron a sedimentos y 2 a rocas. Adicionalmente, 8 muestras se obtuvieron del portal “Índice de Muestras Geológicas Marinas y Lacustres” de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), de las cuales 4 fueron clasificadas como sedimentos y 4 como rocas. Estas muestras proporcionan información relevante sobre las características sedimentológicas y litológicas de los fondos marinos en la zona de estudio. A continuación, se describen los elementos de la tabla:

1. **ID de muestra:** Cada fila tiene un identificador numérico secuencial (1 a 25), lo que facilita el seguimiento y referencia de las muestras a lo largo del análisis.

2. **Código de muestra:** Identificador asignado a cada muestra compuesto por nomenclaturas específicas como "GANT-20-12" o "047-BC", denominadas por las fuentes de información especificadas.
3. **Coordenadas (Longitud y Latitud):** Estas columnas proporcionan la ubicación geográfica precisa de cada muestra. Las coordenadas permiten su integración en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para análisis espacial.
4. **Profundidad del fondo:** Representa la profundidad, en metros, a la que se recolectaron las muestras, permitiendo evaluar las condiciones sedimentarias en diferentes entornos del fondo marino.
5. **Área:** Identifica el lugar de origen de las muestras, distribuidas principalmente en dos zonas: Isla Decepción y The Axe.
6. **Tipo:** Clasifica las muestras como "sedimentos" o "rocas", proporcionando una primera diferenciación del material recolectado.
7. **Descripción de texturas:** Proporciona detalles sedimentológicos o litológicos de las muestras. Ejemplos incluyen "clasto arenoso", "arena media limosa", "arcilloso" y "lino arenoso" para sedimentos, mientras que para rocas se describen como "roca volcánica".
8. **Sv (dB):** Contiene los valores de retrodispersión (backscatter) expresados en decibeles, que permiten evaluar la reflectividad acústica del fondo marino.
9. **Grilla:** Especifica la cuadrícula donde se ubicaron las muestras, como "Grilla 1-6" o "Grilla 7-8".
10. **Observaciones:** Incluyen detalles adicionales sobre las muestras, tales como la composición mineralógica (por ejemplo, cuarzo y feldespato), evidencia de alteración

volcánica o procesos erosivos, y la presencia de clastos facetados u otros rasgos relevantes.

11. **Fuente:** Indican la fuente de información de las muestras, como por ejemplo el portal GeoAntártida-INGEMMET y el portal de Índice de Muestras Geológicas Marinas y Lacustres de la NOAA.

Para una mejor visualización de las muestras, se elaboró un mapa de ubicación utilizando las dos grillas de eointegración “1-6” y “7-8” con los valores de fuerza de retrodispersión (S_v) (Figura 33). Este mapa permitió contrastar dichos valores con las muestras de roca y sedimento.

Tabla 2

Compilado de descripción de muestras de sedimento, roca y valores de la Fuerza de la retrodispersión acústica (Sv)

ID_ muestra	Código_ de_ muestra	Longitud	Latitud	Profundidad (m)	Área	Tipo	Descripción de Textura	Sv (dB)	Grilla	Observaciones	Fuente
1	GANT-20-12	-60.93	-63.04	185	Isla Decepción	Sedimento	Clástico arenoso	- 40.23	Grilla 1-6		Portal GeoAntartida- INGEMMET
2	GANT-20-13	-61.28	-63.16	482	Isla Decepción	Sedimento	Arena limosa	- 39.82	Grilla 1-6		Portal GeoAntartida- INGEMMET
3	GANT-20-15	-61.26	-63.09	458	Isla Decepción	Sedimento	Arena gruesa con matriz mohosa	- 39.68	Grilla 1-6	Algunos clastos presentan alteración verdosa.	Portal GeoAntartida- INGEMMET
4	GANT-20-16	-61.2	-63.08	594	Isla Decepción	Sedimento	Arcilloso	- 40.91	Grilla 1-6		Portal GeoAntartida- INGEMMET
5	GANT-20-17	-61.2	-63.06	430	Isla Decepción	Sedimento	Arena de grano medio limosa	- 39.33	Grilla 1-6	Naturaleza volcánica, textura afanítica, color gris a negro con algunos sectores de oxidación.	Portal GeoAntartida- INGEMMET

ID_muestra	Código_de_muestra	Longitud	Latitud	Profundidad (m)	Área	Tipo	Descripción de Textura	Sv (dB)	Grilla	Observaciones	Fuente
6	GANT-20-18A	-60.99	-62.98	321	Isla Decepción	Sedimento	Arena gruesa hasta gravilla	- 41.68	Grilla 1-6	Clastos rojizos con oquedades con cuarzo y arcilla. Algunos clastos facetados con estrías.	Portal GeoAntartida-INGEMMET
7	GANT-20-18B	-60.99	-62.98	321	Isla Decepción	Sedimento	Matriz limosa, arena media hasta gravilla	- 41.68	Grilla 1-6	Algunos clastos facetados con estrías.	Portal GeoAntartida-INGEMMET
8	GANT-20-19	-60.89	-62.98	298	Isla Decepción	Sedimento	Limo arcilloso	- 42.49	Grilla 1-6	Clastos facetados con estrías. Puntos de hidróxidos.	Portal GeoAntartida-INGEMMET
9	GANT-20-20	-59.73	-62.91	968	The Axe	Sedimento	Arcilloso	- 42.91	Grilla 7-8		Portal GeoAntartida-INGEMMET

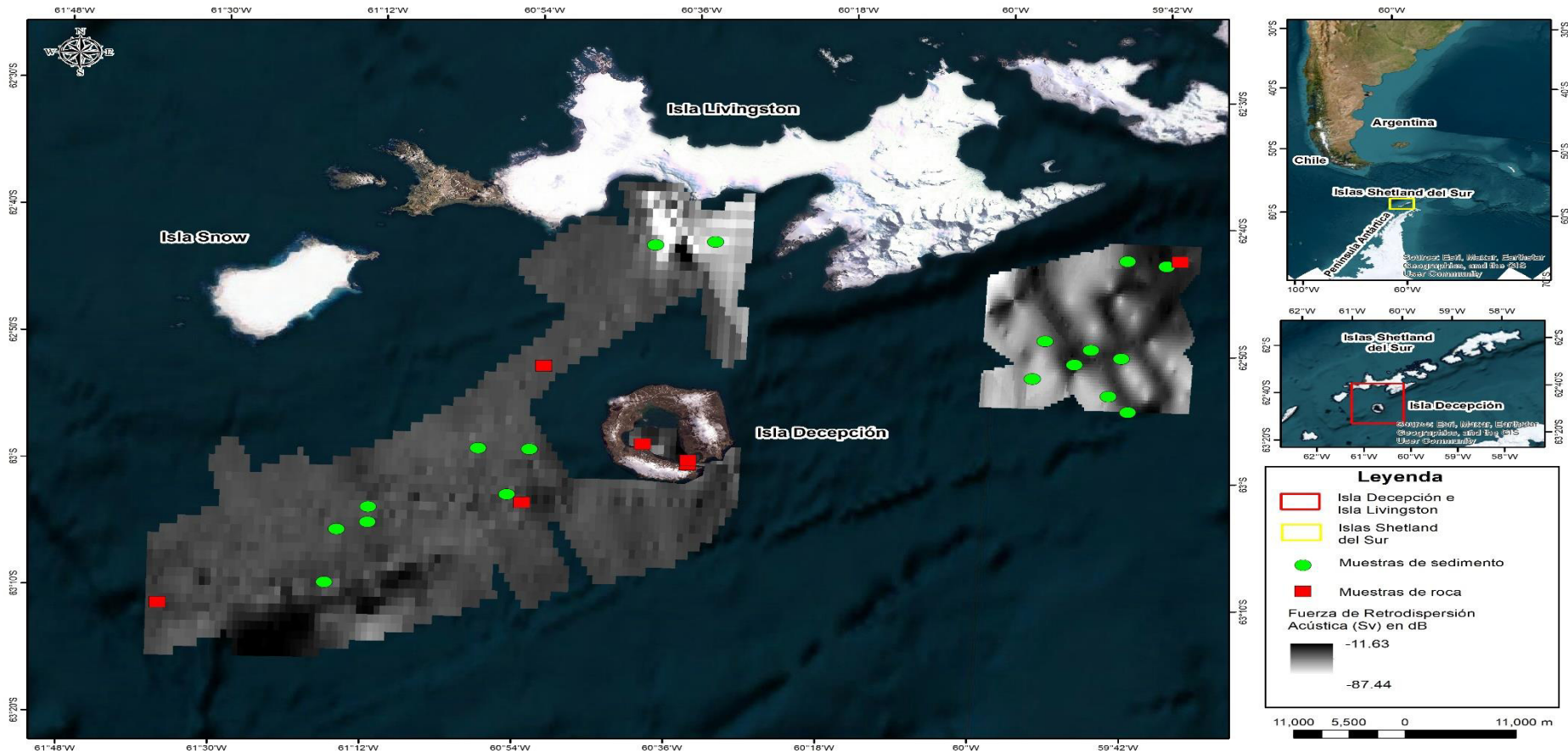
ID_muestra	Código_de_muestra	Longitud	Latitud	Profundidad (m)	Área	Tipo	Descripción de Textura	Sv (dB)	Grilla	Observaciones	Fuente
10	GANT-20-21	-59.77	-62.89	670	The Axe	Sedimento	Arena limosa	-59.71	Grilla 7-8	4 clastos que parecen tener origen en un volcanismo explosivo 2 blancos y 2 oscuros (más resistentes al rayado).	Portal GeoAntartida-INGEMMET
11	GANT-20-22	-59.92	-62.87	462	The Axe	Sedimento	Grava	-78.8	Grilla 7-8	Costra de Fe con vesículas alargadas y de tamaño milimétrico, de posible composición basáltica.	Portal GeoAntartida-INGEMMET
12	GANT-20-24	-59.9	-62.82	675	The Axe	Sedimento	Limo arenoso	-60.1	Grilla 7-8	Fragmento de roca volcánica alterada de tonalidad oscura, textura afanítica y con apariencia de escorias.	Portal GeoAntartida-INGEMMET

ID_ muestra	Código de muestra	Longitud	Latitud	Profundidad (m)	Área	Tipo	Descripción de Textura	Sv (dB)	Grilla	Observaciones	Fuente
13	GANT-20-25	-59.84	-62.85	542	The Axe	Sedimento	Limo arenoso	-45.72	Grilla 7-8	Fragmentos líticos oscuros, subangulosos y de tamaño de arena media a gruesa.	Portal GeoAntartida - INGEMMET
14	GANT-20-26	-59.81	-62.83	602	The Axe	Sedimento	Arena con escasa arcilla	-38.9	Grilla 7-8	Costras de Fe bioturbadas y oquedades de escape de gas, roca volcánica de textura porfirítica con fenos de plagioclasa alterada.	Portal GeoAntartida - INGEMMET
15	GANT-20-27	-59.75	-62.84	900	The Axe	Sedimento	Arena limosa	-49.85	Grilla 7-8		Portal GeoAntartida - INGEMMET

ID_muestra	Código_de_muestra	Longitud	Latitud	Profundidad (m)	Área	Tipo	Descripción de Textura	Sv (dB)	Grilla	Observaciones	Fuente
16	GANT-20-DR01	-60.87	-62.87	334	Noroeste de Isla Decepción	Roca	Roca volcánica	-39.17	Grilla 1-6		Portal GeoAntartida-INGEMMET
17	GANT-20-DR02	-60.9	-63.05	394	Suroeste de Isla Decepción	Roca	Roca volcánica	-37.98	Grilla 1-6		Portal GeoAntartida-INGEMMET
18	021-PC	-59.675	-62.717	1039	Isla livingston	Sedimento	Arena fangosa	-34.59	Grilla 7-8		(IMLGS)-NOAA
19	047-BC	-59.752	-62.712	1189	Isla livingston	Sedimento	Barro o exudado	-42.04	Grilla 7-8		(IMLGS)-NOAA
20	086ES	-60.665	-62.708	150	Isla livingston	Sedimento	Barro o exudado	-51.3	Grilla 1-6		(IMLGS)-NOAA
21	087-PC	-60.55	-62.702	265	Isla livingston	Sedimento	Barro o exudado	-69.38	Grilla 1-6		(IMLGS)-NOAA
22	PRR-32384	-60.67	-62.97	60	Isla Decepción	Roca	Roca volcánica	-34.18	Grilla 1-6		(IMLGS)-NOAA
23	DECP ES	-60.58	-63	-	Isla Decepción	Roca	Roca volcánica	-37.77	Grilla 1-6		(IMLGS)-NOAA
24	PRR-32377 NBP9904	-60.58	-62.99	87	Isla Decepción	Roca	Roca volcánica	-28.54	Grilla 1-6		(IMLGS)-NOAA
25	- 13.01DR 21	-59.65	-62.71	924	The Axe	Roca	Roca volcánica	-36.88	Grilla 7-8		(IMLGS)-NOAA

Figura 33

Mapa de ubicación de muestras de sedimento y roca asociado a 2 grillas con valores de la Fuerza de retrodispersión acústica (S_v)



Nota. Se observa al oeste del mapa la grilla denominada "1-6_ ECOINTEGRACIÓN" y al este la grilla "7-8_ ECOINTEGRACIÓN".

Para la grilla 1-6 que contiene los valores de retrodispersión (Sv) colectados del 20 al 25 de febrero del 2019. Al aplicar la clasificación en el software ArcMap 10.5 donde se utilizó el método Manual utilizando 4 clases: como resultado se obtuvo un cuadro de clasificación estadística (Tabla 3) y un histograma donde se muestra la distribución de los datos (Figura 34). Se pudo establecer asociaciones entre la reflectividad y las muestras, lo que resultó en la obtención de una clasificación supervisada (Herrera, 2019), resultando en cuatro clases de texturas: arcilla, arena, grava y roca volcánica (Tabla 4),

La clasificación estadística (Tabla 3) muestra los valores generales como el Mínimo: -87.44, Máximo: -11.63, Media: -39.39, Desviación estándar: 7.14 (indica que la mayor parte de los datos se agrupa relativamente cerca de la media, lo que respalda el pico claro en el histograma).

Tabla 3

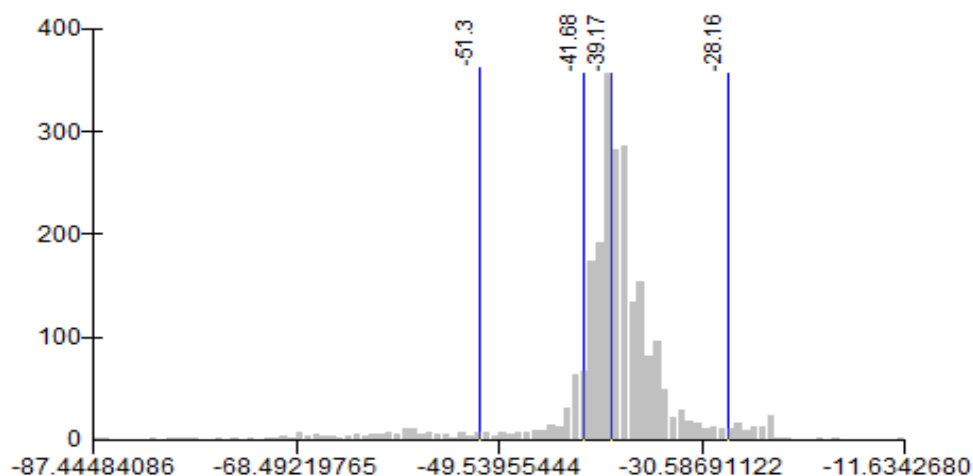
Cuadro de clasificación estadística de la grilla 1-6 que contiene los valores de retrodispersión (Sv).

Estadística	Valor
Minimum	-87.44
Maximum	-11.63
Mean	-39.39
Standard Deviation	7.14

El histograma muestra una distribución unimodal, tiene una concentración de datos en el rango cercano a la media (Figura 35), asimismo existe una leve asimetría hacia la izquierda, dado que hay valores más extremos (hacia -87.44) que hacia el rango superior (-28.16). Las clases definidas manualmente están alineadas con la naturaleza de los datos, destacando un rango principal y valores extremos con menor frecuencia.

Figura 34

Histograma de frecuencias de la grilla 1-6 que contiene los valores de retrodispersión (Sv).



Nota. El histograma de frecuencias se obtuvo utilizando el software ArcMap versión 10.5.

Tabla 4

Clases granulométricas y sus respectivos rangos de reflectividades (Sv)

CLASES GRANULOMÉTRICAS	REFLECTIVIDAD ACÚSTICA DE FONDO MARINO (dB)
Arcilla	-87.44 — -51.30
Arena	-51.30 — -41.68
Grava	-41.68 — -39.17
Roca Volcánica	-39.17 — -28.16

El histograma se divide en las siguientes cuatro clases, con los valores de ruptura señalados en líneas azules:

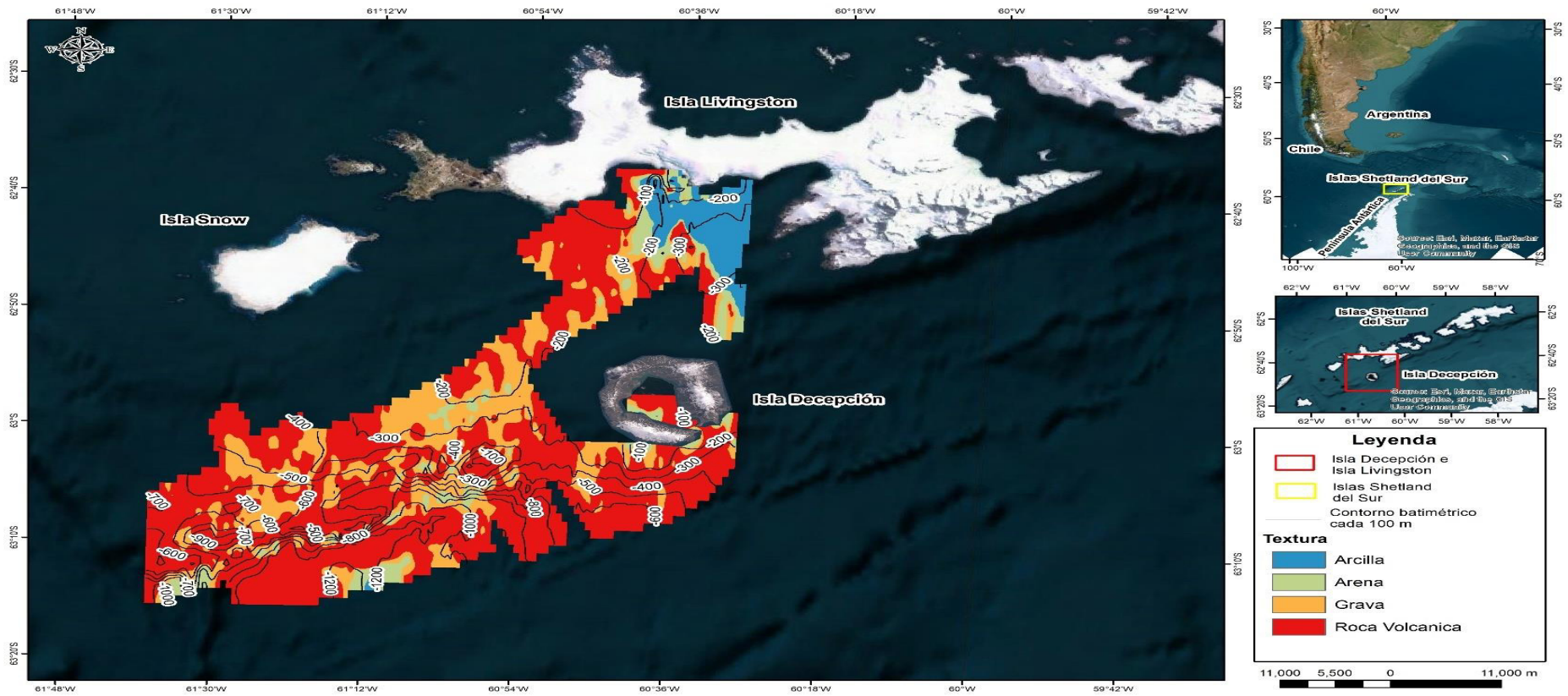
Primera clase clasificada como arcilla con rangos de (-87.44 a -51.30): Representa los valores más bajos de reflectividad acústica, tiene una frecuencia muy baja. Segunda clase clasificada como arena (-51.3 a -41.68): Este rango es amplio que abarca una porción menor de los datos. Tercera clase clasificada como grava (-41.68 a -39.17): Es la clase más representativa, con el pico más alto del histograma. Este rango agrupa la mayoría de los valores,

reflejando características dominantes del fondo marino. Cuarta clase clasificada como roca volcánica (-39.17 a -28.16): Este rango es más amplio y representa los valores más altos de reflectividad.

Como resultado, se obtuvo 1 mapa textural que abarca una superficie de 1981 km², destacando contornos batimétricos representados a intervalos de 100 metros (Figura 35). La distribución textural del fondo marino está representada por cuatro categorías principales: arcilla, arena, grava y roca volcánica, cada una indicada con colores específicos. La roca volcánica, representada en rojo, se encuentra predominantemente al suroeste y noroeste de Isla Decepción, y al noroeste de la Isla Livingston, cubriendo el 896 km², que corresponde al 45.23 % del área total, con profundidades entre los -500 m y -1280 m. Las áreas de grava, representadas en naranja, abarcan 511 km² lo que equivale al 25.80 % del área total, se distribuyen hacia el sureste de Isla Decepción y en zonas al suroeste de Isla Livingston, con profundidades entre los -200 m y -800 m. La arena, representada en color verde, se encuentra principalmente al norte y noreste de Isla Decepción en el Estrecho de Bransfield, así como en algunas zonas intermedias al suroeste de Isla Livingston, y cubre 448 km², representando el 22.61 % del área total esta textura se distribuye en profundidades intermedias, entre los -280 m y -950 m. Las áreas de arcilla, en azul, cubren 126 km², lo que representa el 6.36 % del área total, se concentran principalmente en la zona noreste de Isla Livingston con profundidades entre los -280 m y -490 m.

Figura 35

Mapa Textural del transecto de la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1 entre el suroeste de Isla Decepción y el noroeste de Isla Livingston



Para la grilla 7-8 que contiene los valores de retrodispersión (Sv) colectados del 26 al 27 de febrero del 2019, presentó una alta variabilidad en los valores de retrodispersión (Sv), lo que impidió establecer asociaciones consistentes con las muestras, debido a la ausencia de una relación entre ambos, procediendo a la clasificación no supervisada (Herrera, 2019). Por lo cual, la clasificación del software ArcMap 10.5, donde se utilizó el método Natural Breaks (Jenks) dio como resultado una tabla de clasificación estadística (Tabla 5) y un histograma de frecuencias (Figura 36) donde se muestra la distribución de los datos de las tres categorías basadas en su reflectividad (Alta, media y baja) (Tabla 6).

La clasificación estadística calculada utilizando el software ArcMap 10.5. (Tabla 5) muestra los valores generales como el Mínimo: -99.77, Máximo: -27.47, Media: -55.92 (coincide con el rango donde se encuentra la mayor concentración de datos en el histograma), Desviación estándar: 15.32 (es relativamente alta, lo que indica una dispersión considerable de los datos alrededor de la media)

Tabla 5

Cuadro de clasificación estadística de la grilla 7-8 que contiene los valores de retrodispersión (Sv).

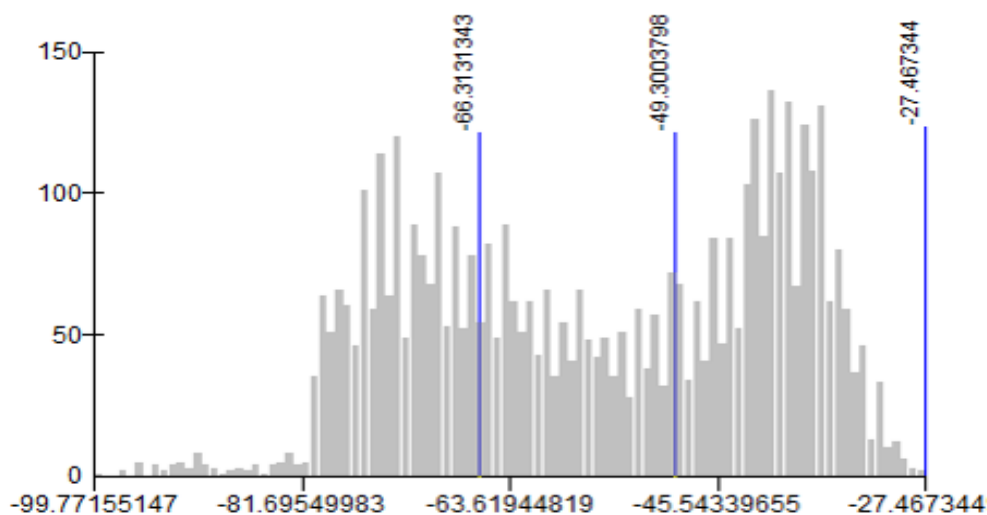
Estadística	Valor
Minimum	-99.77
Maximum	-27.47
Mean	-55.92
Standard Deviation	15.32

El histograma de frecuencias muestra una distribución multimodal (Figura 36), caracterizada por varios picos destacados a lo largo del rango de valores. Aunque hay varios picos, se observa una mayor concentración de valores en la parte intermedia del rango, con una disminución gradual hacia los extremos. El rango total de valores es amplio, lo que indica una variabilidad considerable en las reflectividades acústicas. Los valores en los extremos del rango

(de -99.77 y -27.47) tienen frecuencias muy bajas, lo que sugiere que son menos comunes en el área de estudio.

Figura 36

Histograma de frecuencias de la grilla 7-8 que contiene los valores de retrodispersión (Sv)



Nota. El histograma de frecuencias se generó utilizando el software ArcMap versión 10.5.

Las líneas verticales azules dividen el histograma en tres clases principales, que corresponden a los siguientes rangos:

Tabla 6

Clases de reflectividad y sus respectivos rangos de reflectividades (Sv)

CLASE DE REFLECTIVIDAD	REFLECTIVIDAD ACÚSTICA DE FONDO MARINO (dB)
Alta	-27.47 — -49.30
Media	-49.30 — -66.31
Baja	-66.31 — -99.77

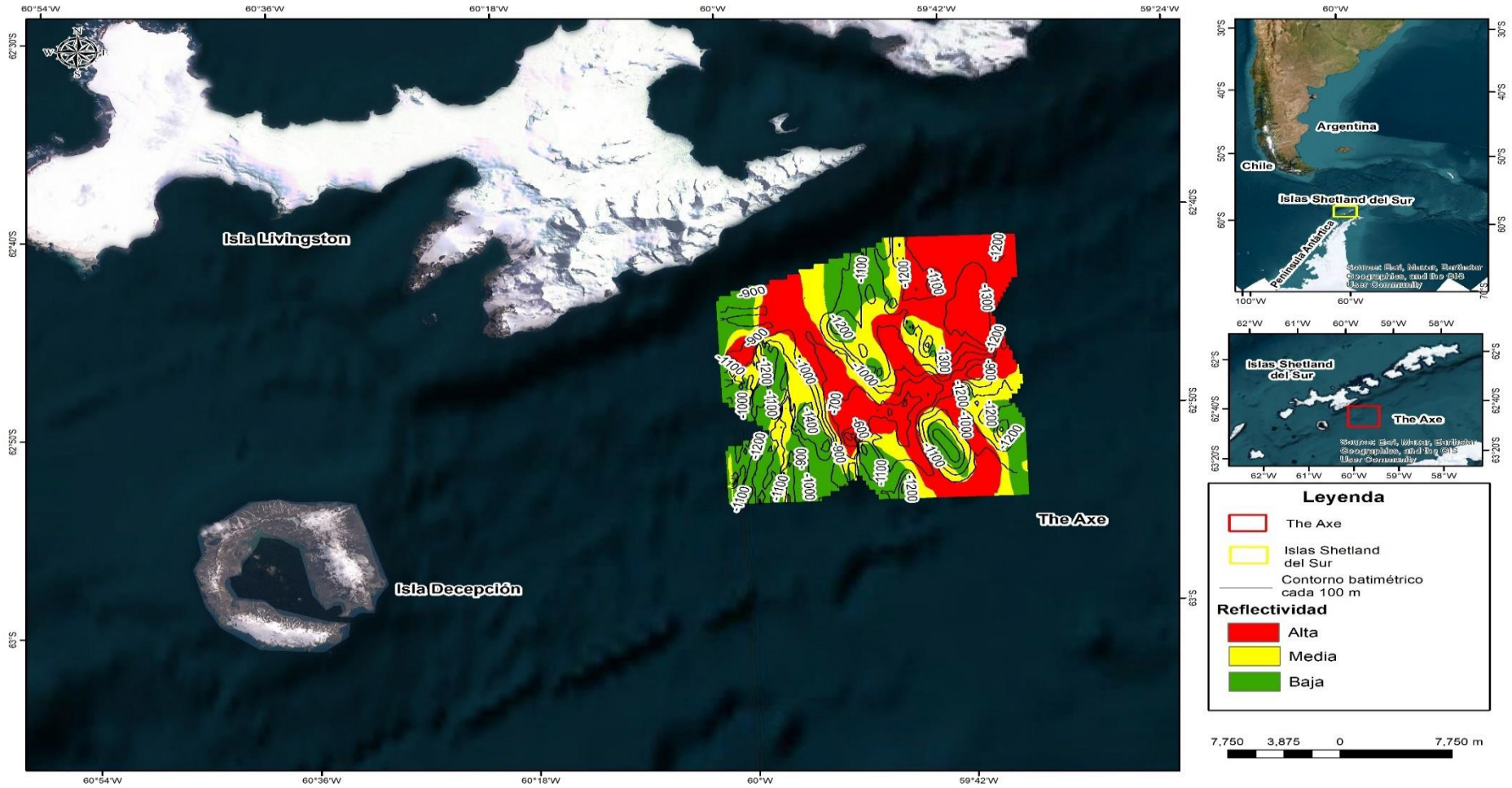
Primera clase clasificada como alta reflectividad: (-27.47 a -49.30), esta clase incluye los valores más altos del rango, con frecuencias menores pero distribuidas de manera consistente. Segunda clase clasificada como media reflectividad: (-49.30 a -66.31), este rango

concentra una parte significativa de los datos, con frecuencia prominentes. Tercera clase clasificada como baja reflectividad: (-66.31 a -99.77), esta clase incluye los valores más bajos, que tienen frecuencias relativamente bajas en el histograma.

Dichos resultados estadísticos se reflejan en el mapa de reflectividad que muestra la distribución espacial de los valores de retrodispersión (S_v) (Figura 37) que abarca una superficie de 446 km². Este mapa incluye la clasificación de reflectividades en tres categorías por colores: alta (color rojo), media (color amarillo) y baja (color verde), destacando contornos batimétricos representados a intervalos de 100 metros. Las áreas de alta reflectividad acústica (rojo), cubren una superficie de 195 km² que corresponde al 43.72 % del área total, se concentran principalmente en las zonas más elevadas del monte submarino, entre profundidades de -860 a -1370 m, estas áreas probablemente están asociadas a sustratos duros como roca y grava (Hughes Clarke, 1994; Lamarche et al., 2011). Por otro lado, las regiones con reflectividad media (amarillo), abarcan 99 km² lo que equivale al 22.20 % del área total, se encuentran en profundidades intermedias de -900 a -1230 metros, asociadas a sedimentos de grano fino, como el limo y la arcilla (Hughes Clarke, 1994). Finalmente, las zonas de baja reflectividad acústica (verde) cubren 152 km² lo que representa el 34.08 % del área total, predominan en áreas más profundas, generalmente entre -930 y -1400 metros, que podrían estar asociados a sustratos blandos como los lodos, se caracterizan por su baja densidad y alta porosidad, lo que resulta en una reflectividad acústica baja debido a la absorción de las ondas sonoras (Hamilton, 1970; Richardson et al., 2001).

Figura 37

Mapa de reflectividad del transecto de la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1 en la zona de The Axe



4.4. Abundancia acústica de macrozooplancton y peces

En esta sección se presenta el análisis de la distribución y abundancia acústica de macrozooplancton y peces, basado en los valores ecointegrados obtenidos a partir de los datos recolectados durante la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, utilizando frecuencias de 38 kHz y 120 kHz. Los resultados revelan patrones de densidad que evidencian variaciones espaciales significativas, identificando tanto zonas de concentración como áreas donde los organismos se encuentran dispersos. Estos hallazgos proporcionan una visión integral de la dinámica de estas comunidades en la zona de estudio. Adicionalmente, se describe una relación cualitativa entre la distribución acústica de macrozooplancton y peces con los tipos de sustrato y las geoformas submarinas previamente identificadas.

4.4.1. Distribución y concentración de macrozooplancton tipo *Fluid-like*

La densidad acústica del macrozooplancton tipo *Fluid-like* en la zona de estudio presenta una distribución heterogénea, con predominancia de valores bajos ($<10 \text{ m}^2/\text{mn}^2$, representados en azul claro) (Figura 38), asociados a sustratos blandos y reflectividades bajas a medias. Estas áreas se extienden principalmente al noroeste de las Islas Livingston, hacia el interior de la Isla Decepción (roca volcánica dominante) y al suroeste del monte submarino The Axe (sustratos como limo o arcilla).

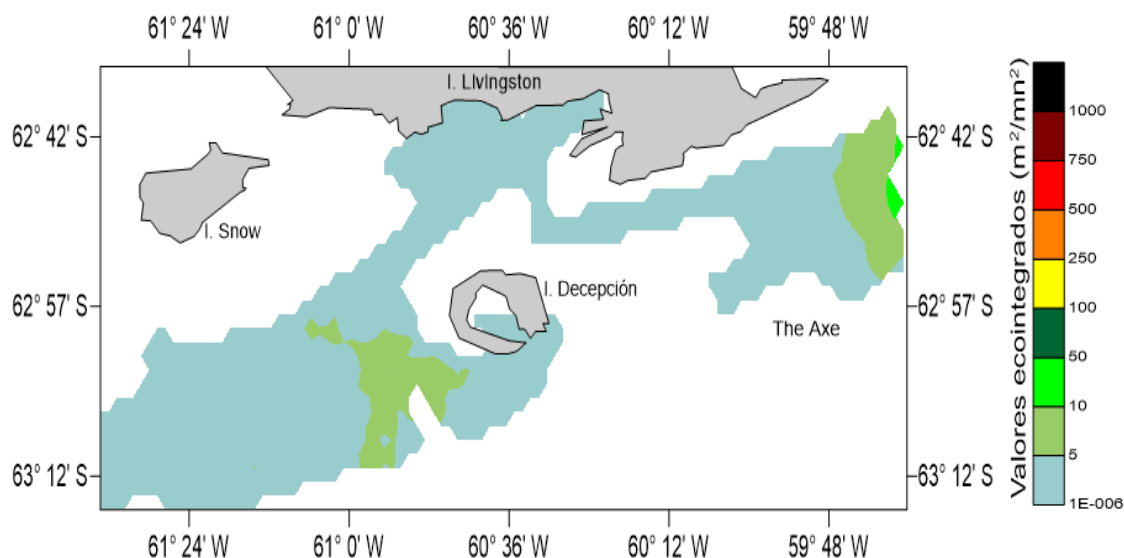
Se identifican zonas con densidades medias ($5.4\text{-}9.85 \text{ m}^2/\text{mn}^2$, verde claro) a 3.5 km al sureste de The Axe, asociadas a reflectividades altas y sustratos duros. Adicionalmente, se observan núcleos puntuales con valores de $9.5\text{-}11.89 \text{ m}^2/\text{mn}^2$ (verde fosforescente) a 4 km al sureste de The Axe, también vinculados a sustratos duros y reflectividades altas.

A 13 km al suroeste de la Isla Decepción, en una posible elevación submarina, se registran densidades moderadas ($6\text{-}10 \text{ m}^2/\text{mn}^2$, verde claro) distribuidas de forma dispersa,

asociadas a texturas de roca volcánica y grava. El resultado de la estimación acústica de abundancia se totalizó en 7650 toneladas.

Figura 38

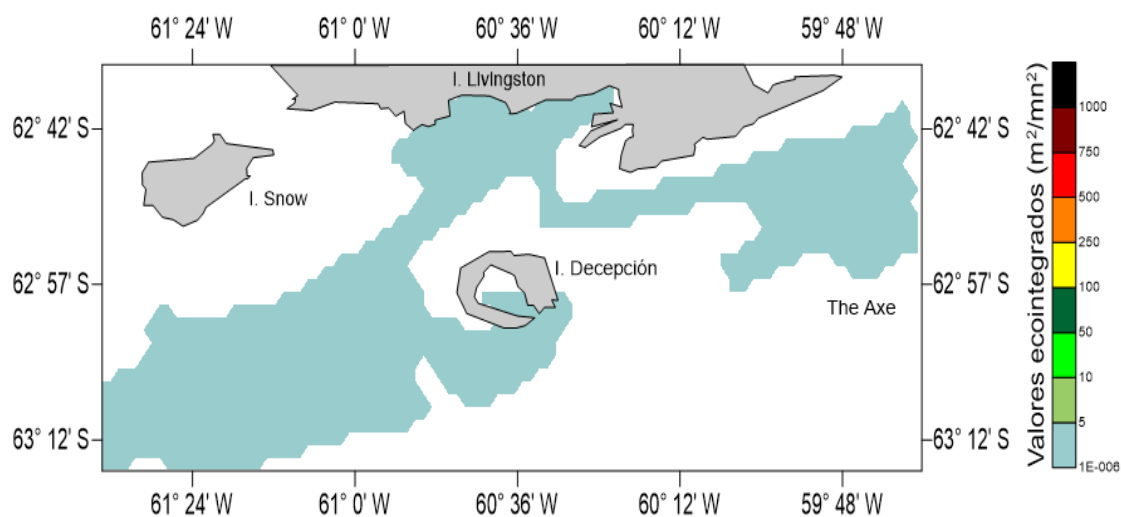
Densidad acústica de macrozooplancton tipo Fluid-like en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019.



El biovolumen acústico del macrozooplancton tipo *Fluid-like* (Figura 39) en el área de estudio presentó valores predominantemente bajos. La mayor parte de la zona de estudio se encuentra en el rango más bajo de la escala, con valores entre ($1E-006 \text{ m}^2/\text{mn}^2$ - $4.18 \text{ m}^2/\text{mn}^2$). Estas áreas se distribuyen ampliamente alrededor de la zona de The Axe y las Islas Livingston y Decepción, predominando especialmente al este y sureste de la Isla Livingston y en zonas alejadas de las costas. Esto sugiere una baja concentración de volumen de organismos en el área de estudio dispersos en la región y que no forman enjambres ni concentraciones significativas. El biovolumen promedio estimado fue de $0.13 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ y el resultado de la estimación de biovolumen se totalizó en $379 \text{ (cm}^3/\text{m}^3)$.

Figura 39

Biovolumen acústico de macrozooplancton tipo Fluid-like en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019.



4.4.2. Distribución acústica y concentración de peces

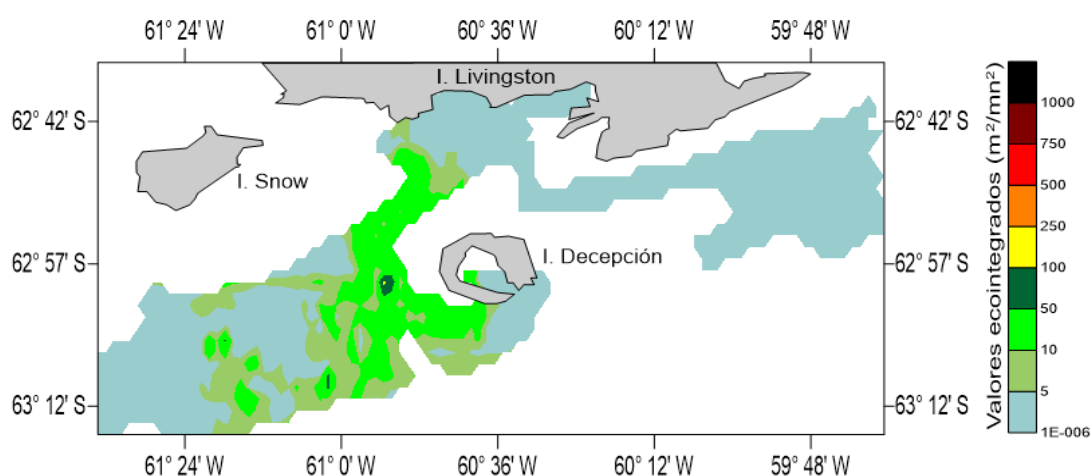
La distribución espacial de la densidad acústica NASC (120 kHz) de peces en el área de estudio se caracteriza por un predominio de densidades bajas ($1E-006$ a $8.92 m^2/mn^2$, representadas en azul claro y verde claro) (Figura 40), concentradas en tres zonas principales: (1) el monte submarino The Axe, con reflectividades altas (sustratos duros) al noreste y bajas (sustratos blandos); (2) el noreste de la Isla Livingston, con texturas de arcilla y arena; y (3) a 29 km al suroeste de la Isla Decepción, con texturas de grava y roca volcánica.

Las densidades medias ($12.38-49.27 m^2/mn^2$, verde fosforescente) se distribuyen de forma más específica, localizándose principalmente al suroeste de la Isla Livingston y en los alrededores de la Isla Decepción, donde se sugiere la presencia de un posible monte submarino. Estas áreas presentan texturas de grava, roca volcánica y, en menor proporción, arena, indicando una posible correlación entre la complejidad del sustrato y la agregación de peces.

Las densidades más altas (70.94-105.39 m^2/mn^2) se observan de manera puntual a 8 km al oeste de la Isla Decepción, cerca de un posible monte submarino. Esta zona se caracteriza por texturas de grava y roca volcánica, junto con una marcada acumulación de peces, lo que sugiere la presencia de hábitats favorables para la agregación de estas especies.

Figura 40

Densidad acústica NASC 120 kHz Peces en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019.



La distribución espacial de la densidad acústica NASC (38 kHz) de peces en el área de estudio se caracteriza por un predominio de densidades bajas ($1E-006$ a $7.15 m^2/mn^2$, representadas en azul claro y verde) (Figura 41), concentradas en tres zonas principales: (1) al noreste de la Isla Livingston, con texturas de arcilla y arena; (2) a 39 km al suroeste de la Isla Decepción, con grava y roca volcánica; y (3) al este del monte submarino The Axe, donde se registran reflectividades altas asociadas a sustratos duros.

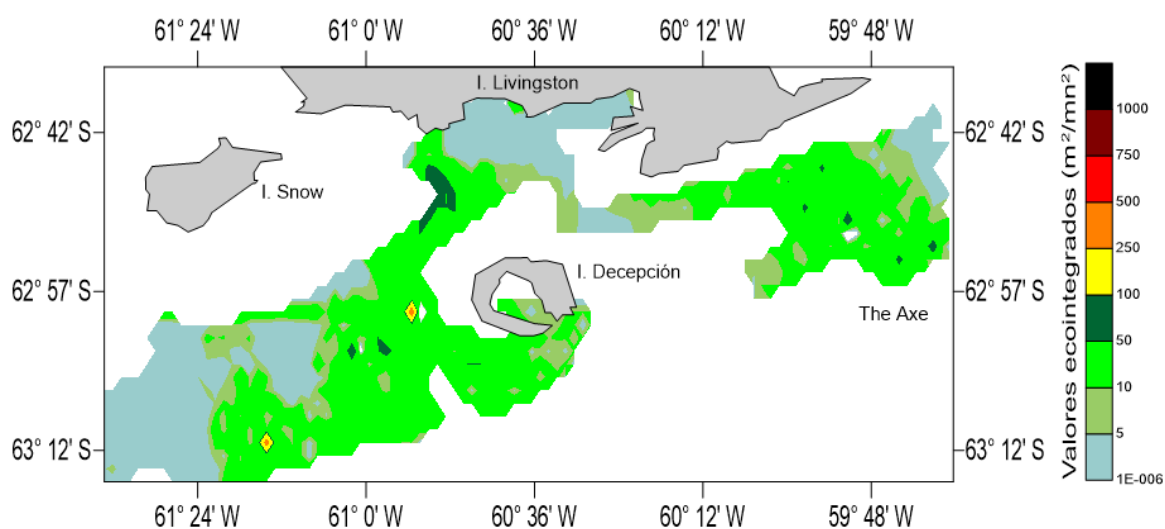
Las densidades medias ($10.65-47.38 m^2/mn^2$, verde fosforescente) presentan una distribución más específica, localizándose en tres áreas: (1) al suroeste de la Isla Livingston, con predominio de roca y grava; (2) en la Isla Decepción, caracterizada por roca y grava; y (3) en la zona noroeste el monte submarino The Axe, donde se observan reflectividades bajas y

medias asociadas a sustratos blandos, destacándose una concentración notable. Adicionalmente, se identifican pequeñas áreas con valores más altos ($51-96 \text{ m}^2/\text{mn}^2$) en estas mismas zonas.

Las densidades más altas ($98.54-289.64 \text{ m}^2/\text{mn}^2$) se presentan de forma puntual y localizada, principalmente: (1) a 7.5 km al noroeste de la Isla Decepción, cerca de un posible monte submarino; y (2) a 28 km de la misma isla, donde hay una extensión de elevaciones submarinas y una posible depresión abisal sugieren la presencia de una pequeña concentración de peces. Estas áreas se caracterizan por texturas de grava, roca volcánica y, en menor proporción, arena.

Figura 41

Densidad acústica NASC 38 kHz Peces en la Expedición Científica Española EXPLOSEA 1, 2019



4.5. Oceanografía

En la Expedición Científica Española EXPLOSEA-1 se llevaron a cabo 15 estaciones oceanográficas distribuidas en tres zonas: 6 en los alrededores de The Axe, 3 al suroeste y 6 dentro de Isla Decepción en el Estrecho de Bransfield. Dentro de cada una de estas localidades, las condiciones oceanográficas predominantes fueron diferentes, teniendo en cuenta las

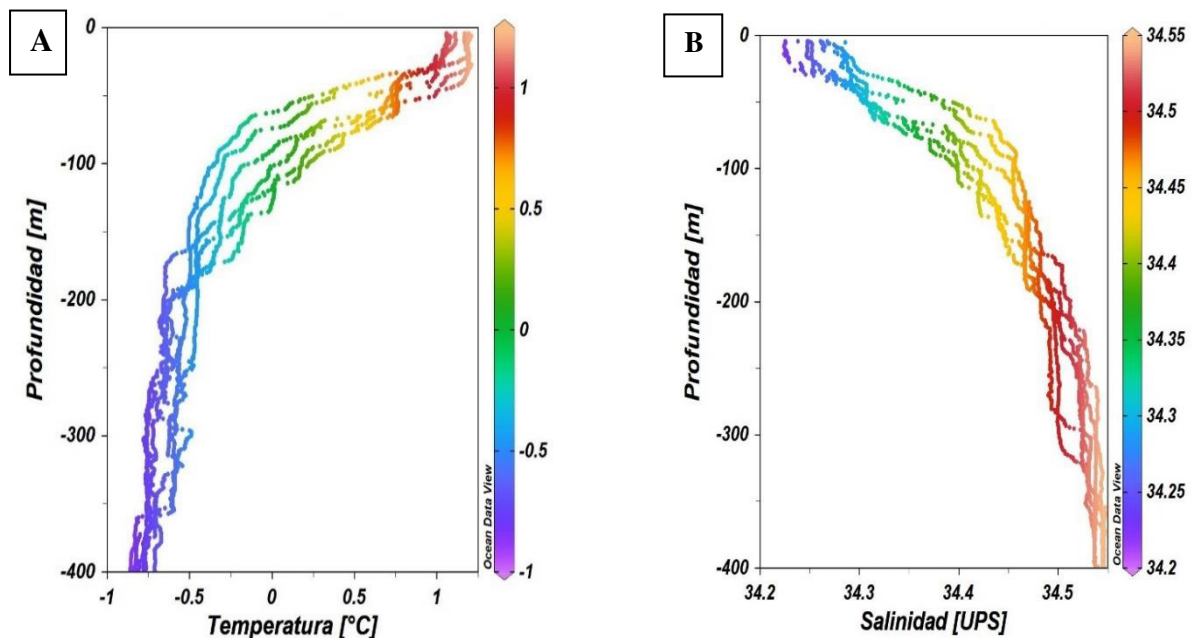
diferentes profundidades de la columna de agua, las condiciones ambientales y meteorológicas marinas presentes.

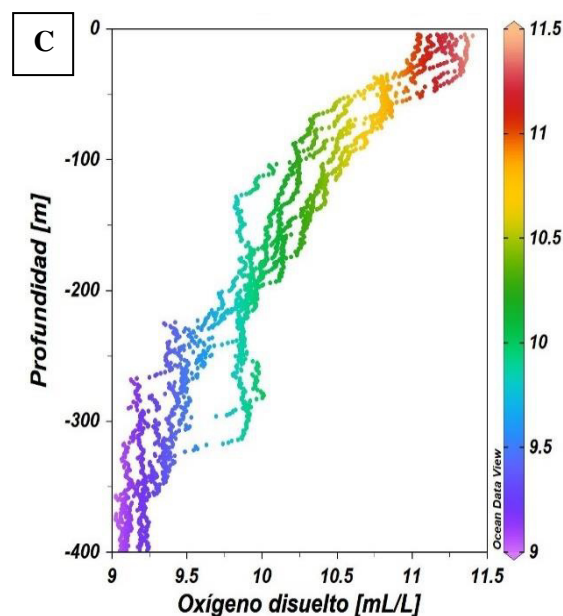
4.5.1. *The Axe*

La temperatura presentó valores entre 1.0 °C y 0.3 °C dentro de los -50 y -190 m, mientras que los valores más bajos se presentaron entre los -210 y -400 m con temperaturas entre -0.3 °C y -1.0 °C (Figura 42 (A)). Por su parte, la salinidad estuvo entre 34.28 UPS en superficie y 34.55 UPS en el fondo (Figura 42 (B)). Los datos de oxígeno disuelto mostraron una columna de agua bien oxigenada con valores entre 11.5 y 10.5 mL/L dentro de los -80 a -190 m, a medida que aumenta la profundidad el oxígeno disuelto aumento a partir de los -200 m con valores cercanos a 9 mL/L (Figura 42 (C)).

Figura 42

Perfiles de temperatura (A), salinidad (B) y oxígeno disuelto (C) de la zona de The Axe entre el 26 y 27 de febrero del 2019





Además, se presenta una matriz de correlación de Pearson que analiza las relaciones lineales entre las variables Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Salinidad (UPS), Oxígeno Disuelto (mL/L) y Profundidad (m) (Figura 43). La correlación entre Temperatura y Salinidad es negativa y muy fuerte (-0.98), lo que indica que un aumento en la temperatura está asociado con una disminución significativa de la salinidad. Por otro lado, existe una relación positiva fuerte entre Temperatura y Oxígeno Disuelto (0.92), lo cual sugiere que a temperaturas más altas se incrementa la concentración de oxígeno disuelto. La correlación entre Temperatura y Profundidad también es positiva (0.85), indicando que temperaturas mayores se encuentran asociadas a mayores profundidades.

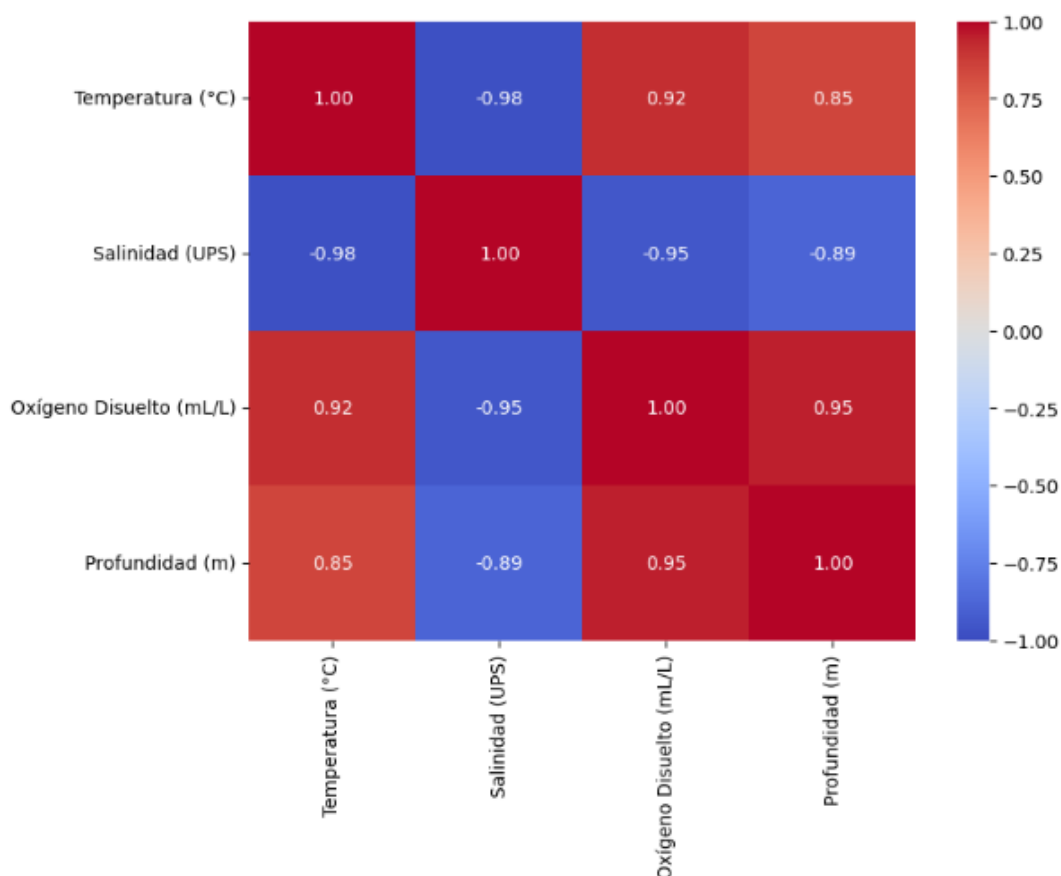
En el caso de la Salinidad, se observa una correlación negativa muy fuerte con Oxígeno Disuelto (-0.95), lo que implica que niveles más altos de salinidad están asociados con una disminución notable en el oxígeno disuelto. Asimismo, la Salinidad y la Profundidad presentan una relación negativa fuerte (-0.89), lo cual evidencia que la salinidad tiende a disminuir a medida que aumenta la profundidad.

Finalmente, la relación entre Oxígeno Disuelto y Profundidad es positiva y muy fuerte (0.95), indicando que a mayores profundidades hay una mayor concentración de oxígeno

disuelto. Este patrón podría estar relacionado con procesos físicos o químicos específicos del ambiente acuático (Thurman & Trujillo, 2014).

Figura 43

Matriz de correlación de Pearson entre temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la zona de The Axe entre el 26 y 27 de febrero del 2019



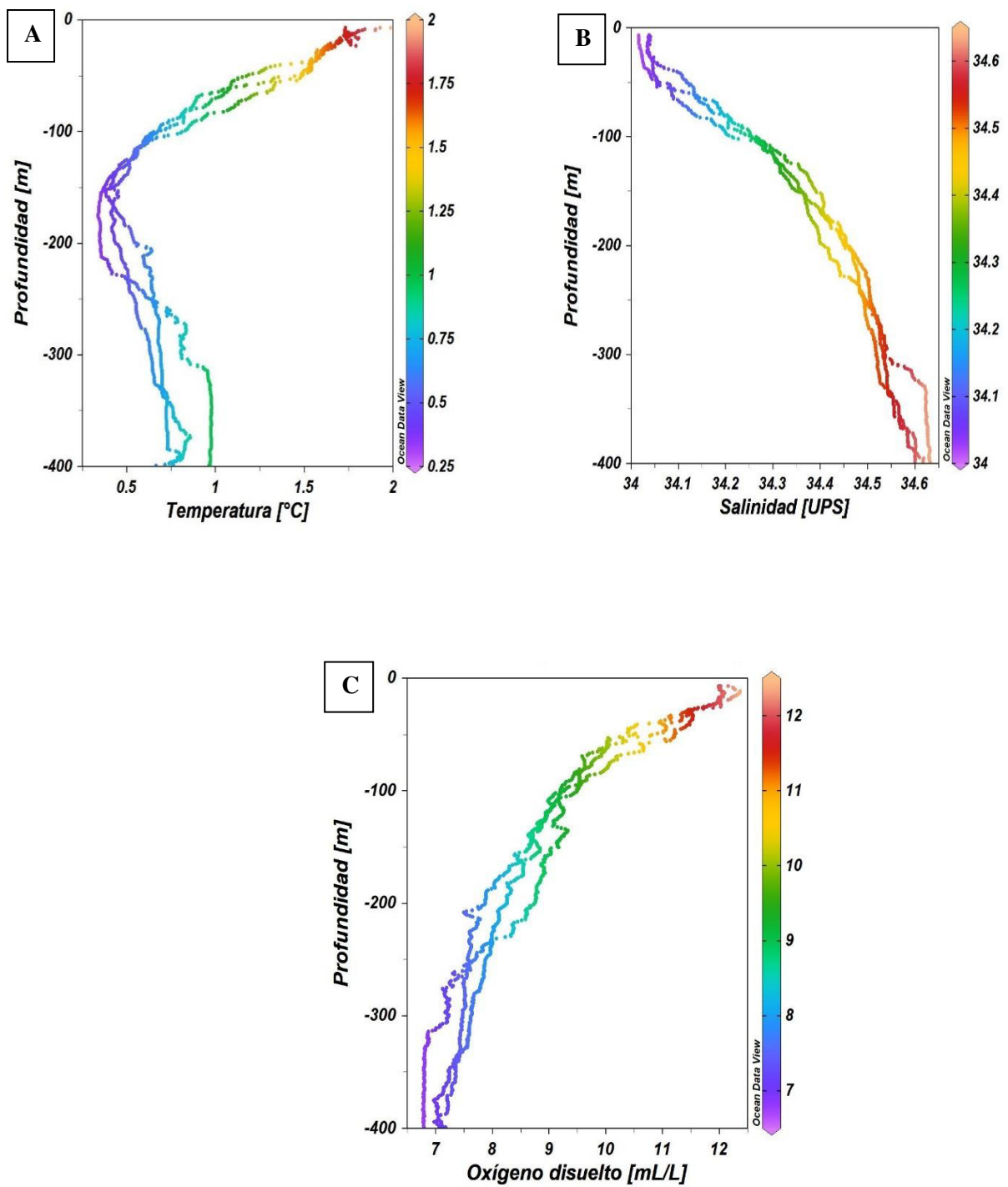
4.5.2. Suroeste de Isla Decepción

La temperatura presentó valores entre 1.85 °C y 1.20 °C dentro de los -50 y -190 m, mientras que los valores más bajos se presentaron entre los -220 y -400 m con temperaturas entre 0.8 °C y 0.20 °C (Figura 44 (A)). Por su parte, la salinidad estuvo entre 34.28 UPS en superficie y 34.55 UPS en el fondo (Figura 44 (B)). Los datos de oxígeno disuelto mostraron una columna de agua bien oxigenada con valores entre 11.5 y 10.5 mL/L dentro de los -70 a -

190 m, a medida que aumenta la profundidad el oxígeno disuelto aumento a partir de los -200 m con valores cercanos a 8 mL/L (Figura 44 (C)).

Figura 44

Perfiles de temperatura (A), salinidad (B) y oxígeno disuelto (C) de la zona Suroeste de Isla Decepción el 22 de febrero del 2019



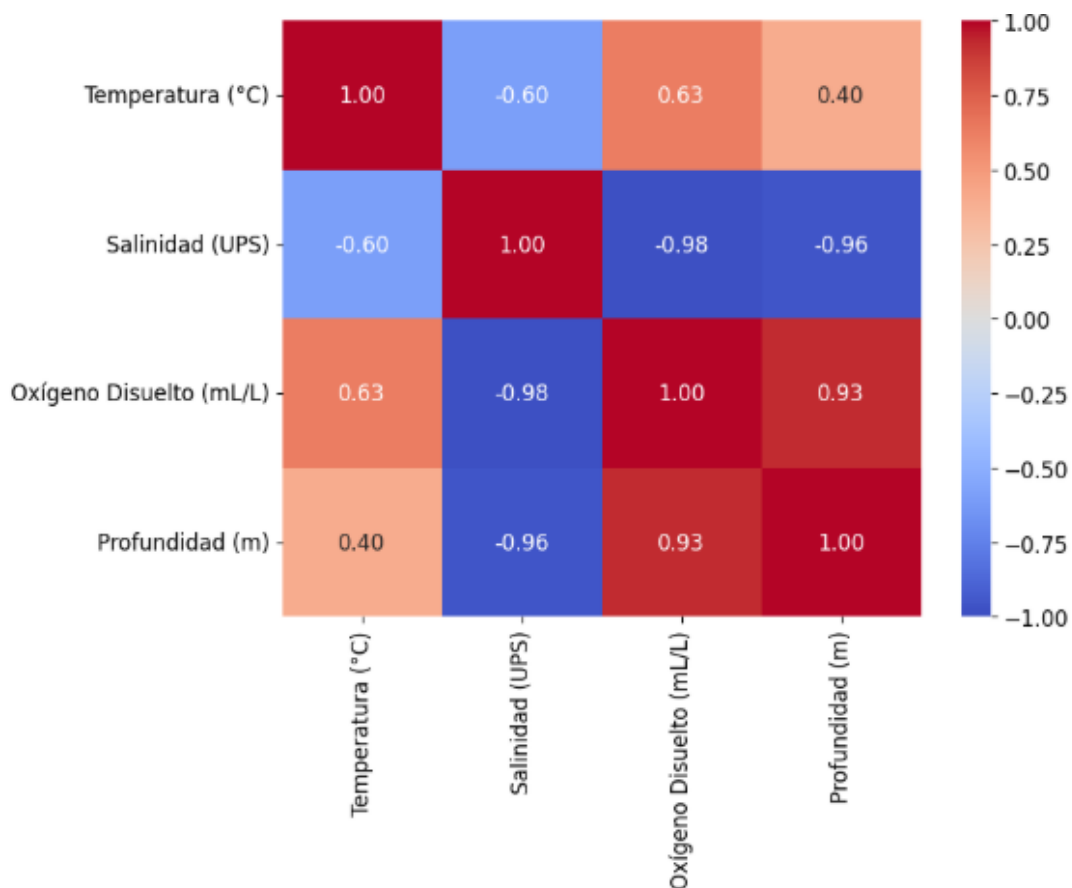
Asimismo, se presenta una matriz de correlación de Pearson que analiza las relaciones lineales entre las variables Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Salinidad (UPS), Oxígeno Disuelto (mL/L) y Profundidad (m) (Figura 45). En primer lugar, se observa una correlación negativa moderada entre la Temperatura y la Salinidad (-0.60), lo que indica que, a medida que aumenta la temperatura, la salinidad tiende a disminuir. Por otro lado, la correlación entre Temperatura y Oxígeno Disuelto es positiva y moderada (0.63), sugiriendo que el oxígeno disuelto aumenta con temperaturas más altas. La relación entre Temperatura y Profundidad es positiva pero débil (0.40), mostrando una conexión lineal menos significativa entre estas variables.

La Salinidad muestra relaciones más marcadas con otras variables. Existe una fuerte correlación negativa entre Salinidad y Oxígeno Disuelto (-0.98), lo que refleja que niveles más altos de salinidad están asociados con una disminución notable en el oxígeno disuelto. Asimismo, la correlación entre Salinidad y Profundidad es también fuerte y negativa (-0.96), indicando que a mayores profundidades la salinidad tiende a disminuir significativamente.

Por otro lado, la relación entre Oxígeno Disuelto y Profundidad destaca por su fuerte correlación positiva (0.93), lo que implica que, en profundidades mayores, el contenido de oxígeno disuelto es más elevado. Este resultado podría estar relacionado con procesos de mezcla vertical o características específicas del ambiente acuático (Henley et al., 2020).

Figura 45

Matriz de correlación de Pearson entre la profundidad, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto de la zona Suroeste de Isla Decepción el 22 de febrero del 2019

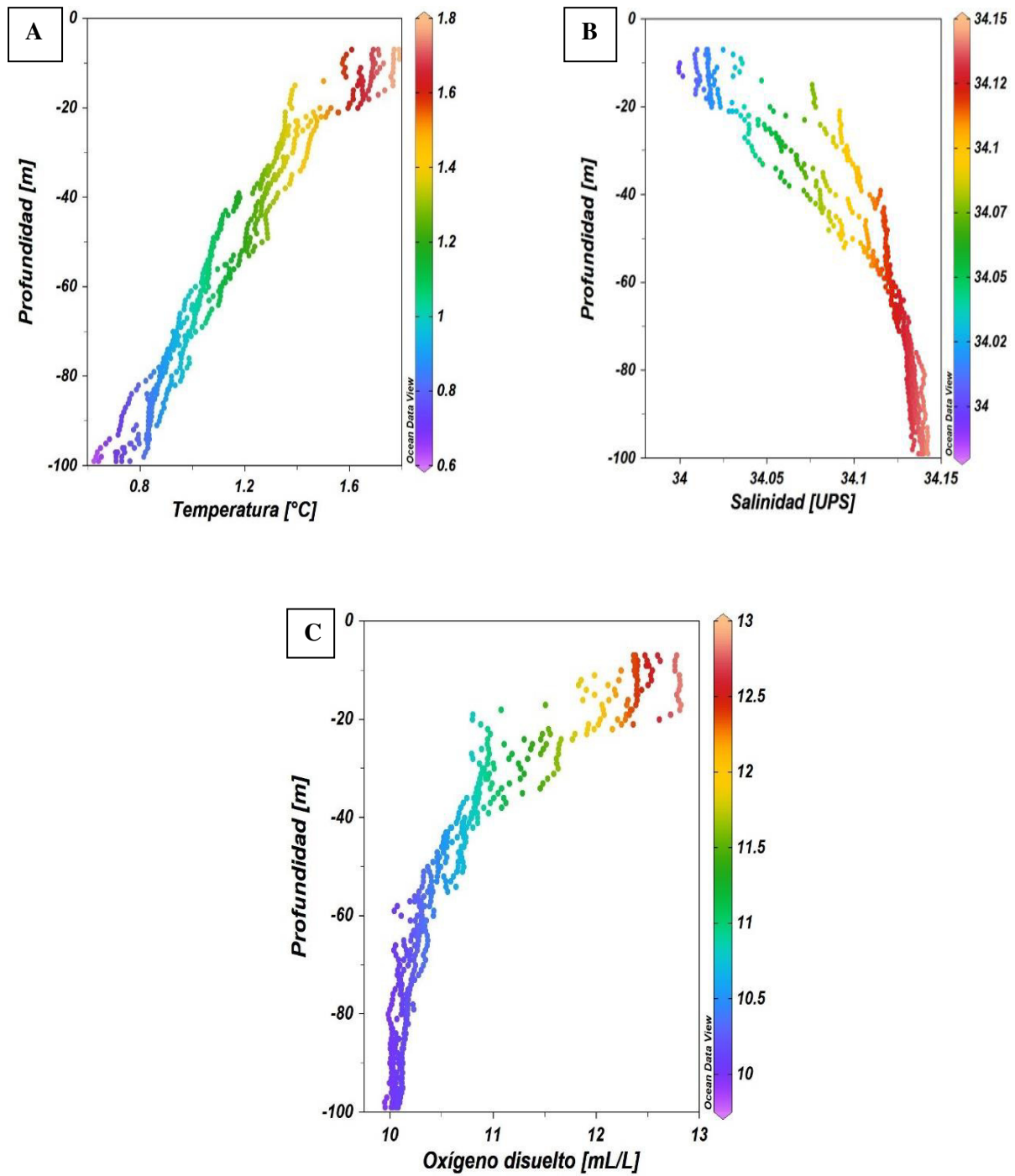


4.5.3. Isla Decepción

La temperatura presentó valores entre 1.6 °C y 1.1 °C dentro de los -20 y -60 m, mientras que los valores más bajos se presentaron entre los -65 y -100 m con temperaturas entre 1.0 °C y -0.5 °C (Figura 46 (A)). Por su parte, la salinidad estuvo entre 34.01 UPS en superficie y 34,13 UPS en el fondo (Figura 46 (B)). Los datos de oxígeno disuelto mostraron una columna de agua bien oxigenada con valores entre 12.5 y 11.3 mL/L dentro de los -20 a -40 m, a medida que aumenta la profundidad el oxígeno disuelto aumento a partir de los -50 m con valores cercanos a 9.5 mL/L (Figura 46 (C)).

Figura 46

Perfiles de temperatura (A), salinidad (B) y oxígeno disuelto (C) de la zona dentro de Isla Decepción entre el 1 al 3 de marzo del 2019



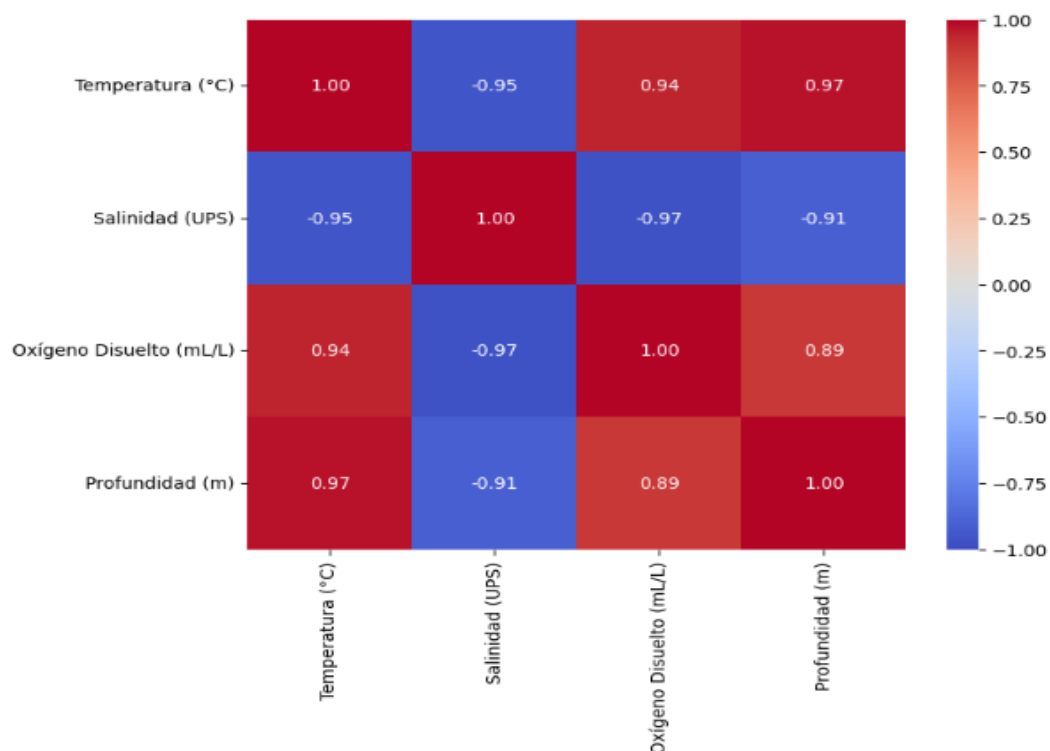
Asimismo, se presenta una matriz de correlación de Pearson que evalúa las relaciones lineales entre las variables Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Salinidad (UPS), Oxígeno Disuelto (mL/L) y Profundidad (m) (Figura 47). Se observa una correlación negativa muy fuerte entre Temperatura y Salinidad (-0.95), lo que indica que un aumento en la temperatura está asociado con una disminución significativa en la salinidad. Esto puede ser resultado de procesos de mezcla o diferencias en las características de las masas de agua (Talley et al., 2011). Por otro lado, la relación entre Temperatura y Oxígeno Disuelto es positiva y muy fuerte (0.94), sugiriendo que temperaturas más altas favorecen un incremento en la concentración de oxígeno disuelto, probablemente debido a procesos biológicos o químicos sensibles a la temperatura (Garcia & Gordon, 1992). Además, Temperatura y Profundidad presentan una correlación positiva muy fuerte (0.97), lo que indica que las temperaturas más altas se encuentran a mayores profundidades.

En cuanto a la Salinidad, se identifica una correlación negativa muy fuerte con el Oxígeno Disuelto (-0.97), lo que indica que mayores niveles de salinidad están asociados con una disminución en el oxígeno disuelto. Este patrón puede deberse a procesos de estratificación que limitan la mezcla de las masas de agua (Mann et al., 1996). Asimismo, la relación entre Salinidad y Profundidad es negativa y fuerte (-0.91), lo que evidencia que la salinidad tiende a disminuir a medida que aumenta la profundidad, posiblemente por la entrada de agua menos salina en capas profundas (Whitworth et al., 1998).

Finalmente, la correlación entre Oxígeno Disuelto y Profundidad es positiva y fuerte (0.89), lo que sugiere que a mayores profundidades se encuentran mayores concentraciones de oxígeno disuelto. Este comportamiento podría estar relacionado con procesos de circulación o características químicas específicas del sistema estudiado (Henley et al., 2020).

Figura 47

Matriz de correlación de Pearson entre temperatura, salinidad y oxígeno disuelto de la zona dentro de Isla Decepción entre el 1 al 3 de marzo del 2019



A su vez, se obtuvo información satelital oceanográfica sobre la temperatura superficial del mar y la salinidad superficial del mar, proporcionado por la Sociedad Nacional de Pesquería del Perú (SNP). Esta información corresponde a la zona de estudio ubicada entre Isla Decepción, Isla Livingston y la zona del monte submarino The Axe.

La temperatura superficial del mar en el día 21 de febrero del 2019 fluctuó entre -0.16 y 1.65 °C, con promedio 0.8 °C para toda la zona evaluada (Figura 48). Las temperaturas más bajas de -0.16 °C, se presentaron próximas al sureste de la zona de The Axe, en cambio las temperaturas superficiales más altas se registraron próximas a la Isla Decepción con temperaturas mayores a 1.48 °C y alrededores de Isla Livingston alcanzando temperaturas mayores a 1.35 °C debido posiblemente a la advección de aguas más cálidas (Meredith et al., 2018; Tenorio, 2016), asimismo en los alrededores del monte submarino The Axe la

temperatura fluctuó entre 1.25 °C y 1.44 °C. Se observa un incremento de temperatura en el día 24 de febrero del 2019 fluctuó entre -0.45 y 1.7 °C (Figura 49), con promedio 0.7 °C para toda la zona evaluada. Las temperaturas más bajas (-0.45 °C) se presentaron próximas al sureste de la zona de The Axe, en cambio las temperaturas superficiales más altas se registraron próximas a la Isla Decepción con 1.6 °C y alrededores de Isla Livingston alcanzando temperaturas mayores a 1.35 °C, asimismo en los alrededores del monte submarino The Axe la temperatura fluctuó entre 1.14 °C y 1.39 °C. Sin embargo, en el día 27 de febrero del 2019 presentó una disminución de la temperatura fluctuando entre -0.27 y 1.53 °C (Figura 50), con promedio 0.6 °C para toda la zona evaluada. Las temperaturas más bajas (-0.24 °C) se presentaron próximas al sureste de la zona de The Axe, en cambio las temperaturas superficiales más altas se registraron próximas a la Isla Decepción con 1.5 °C y alrededores de Isla Livingston alcanzando temperaturas mayores a 1.28 °C, asimismo en los alrededores del monte submarino The Axe la temperatura fluctuó entre 0.85 °C y 1.23 °C.

Figura 48

Distribución de temperatura superficial del mar (°C), entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 21 de febrero del 2019

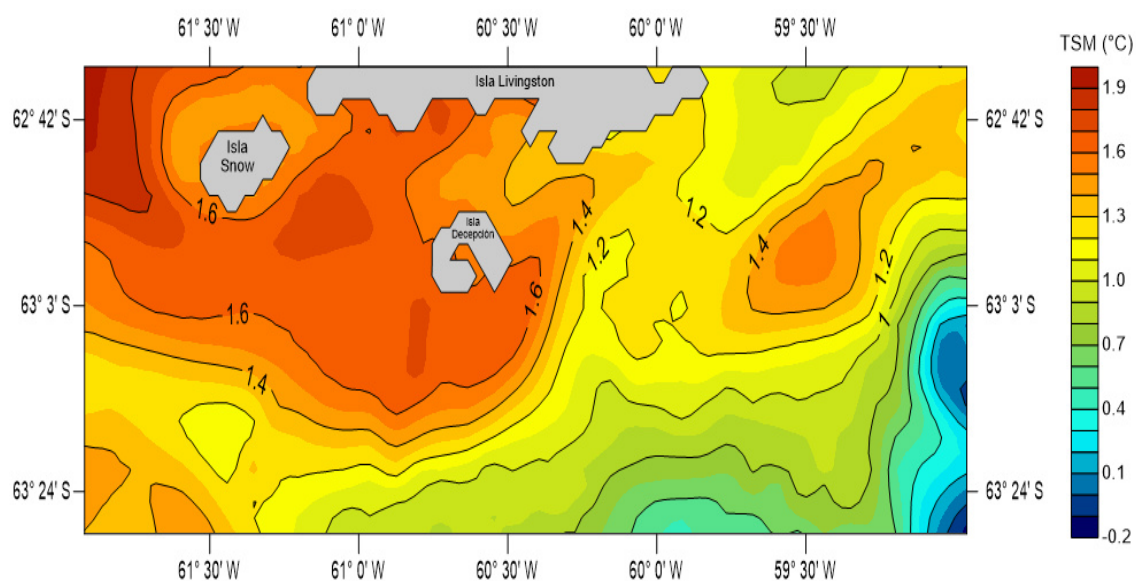
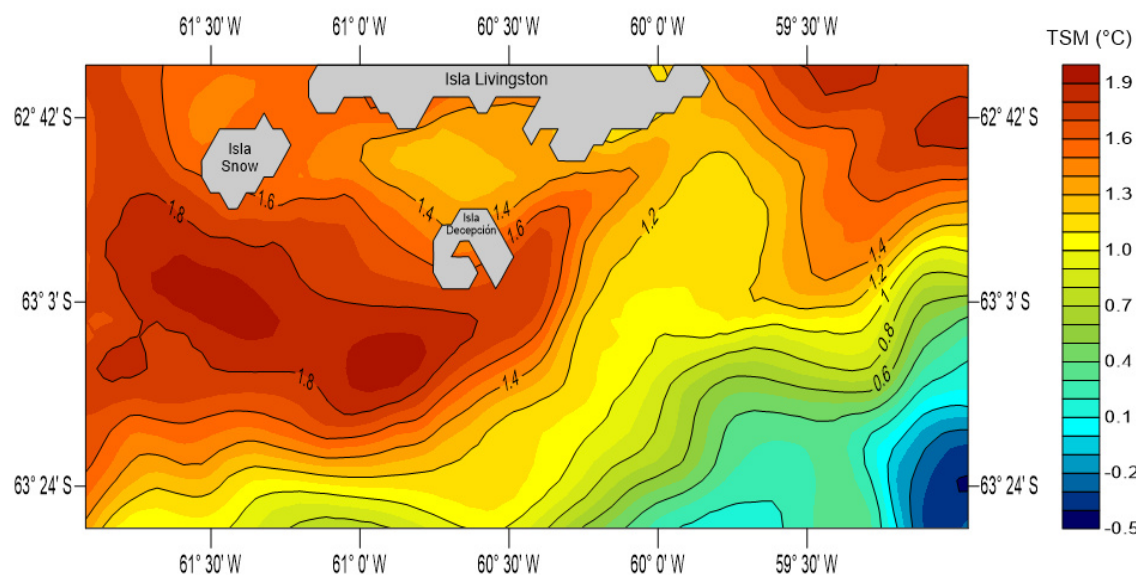
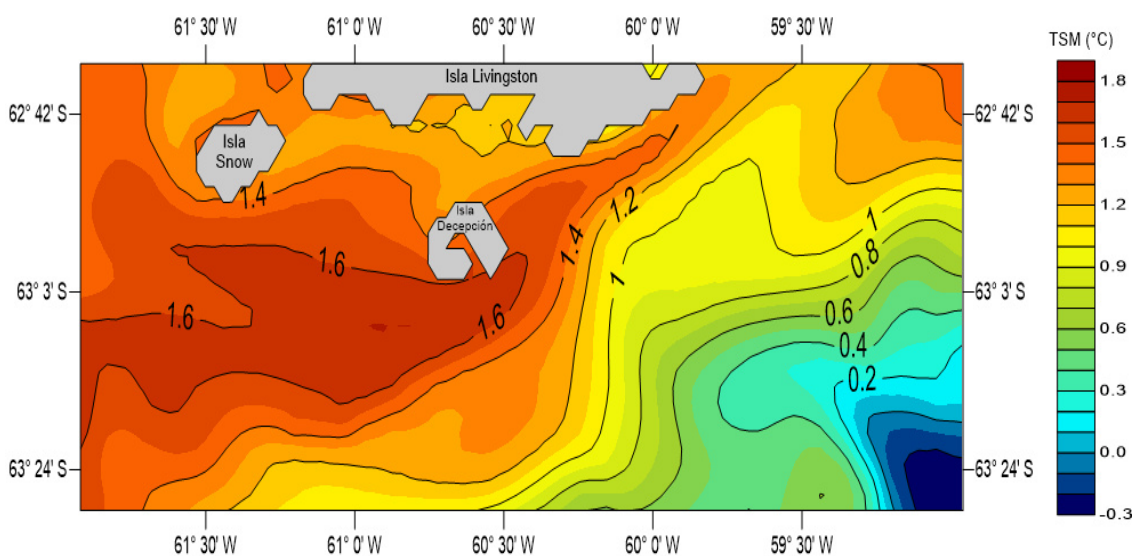


Figura 49

Distribución de temperatura superficial del mar (°C) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 24 de febrero del 2019

**Figura 50**

Distribución de temperatura superficial del mar (°C) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 27 de febrero del 2019

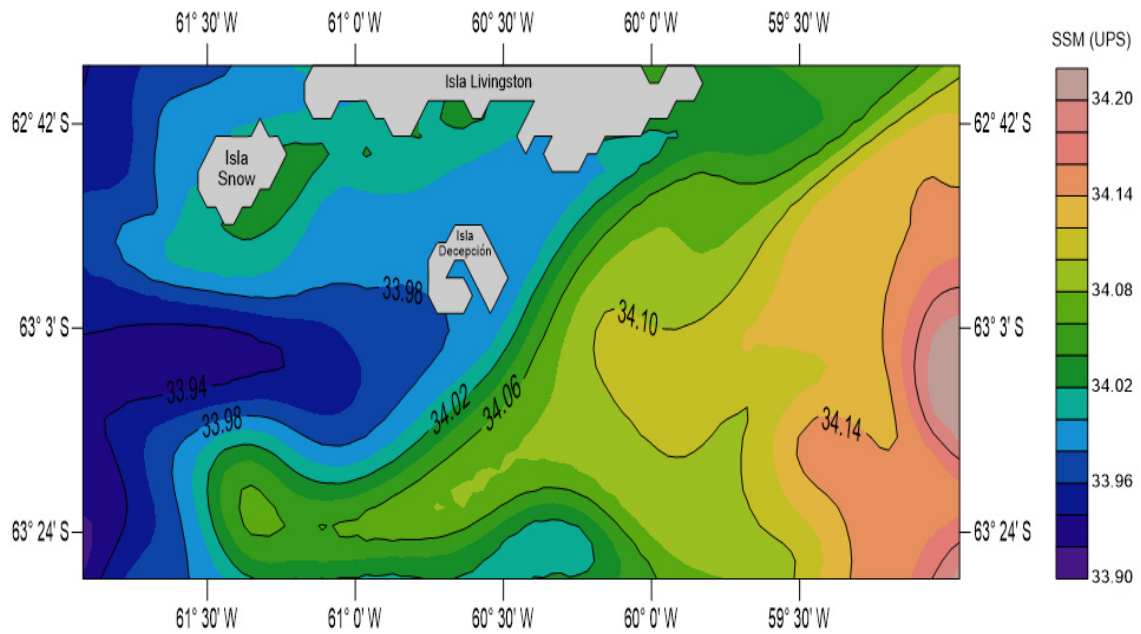


La salinidad superficial del mar el día 21 de febrero del 2019 presentó valores entre 33.8 y 34.1 UPS (Figura 51). Su distribución mostró un comportamiento contrario al de la temperatura; por lo general, las concentraciones de sales aumentan al aproximarse a la

península Antártica (Meredith et al., 2018). Las mayores concentraciones halinas (>34.18 UPS) se localizaron al noreste del Estrecho de Bransfield, asociadas a temperaturas <0 °C, en tanto que las menores concentraciones de sales se localizaron entre las Islas Decepción y Livingston y los alrededores del monte submarino The Axe, con valores menores a 34.09 UPS, las mismas que se encontraron asociadas a temperaturas mayores a 1 °C. Este comportamiento es típico de la zona antártica y ya ha sido comentado ampliamente en (Biomass Scar/Scor/Iabo/Acmrr, 1983). La salinidad superficial del mar el día 24 de febrero del 2019 presentó valores entre 33.7 y 34.2 UPS (Figura 52). Las mayores concentraciones halinas (>34.19 UPS) se localizaron al noreste del Estrecho de Bransfield, asociadas a temperaturas <0.5 °C, en tanto que las menores concentraciones de sales se localizaron entre las Islas Decepción y Livingston y los alrededores del monte submarino The Axe, con valores menores a 34.07 UPS, las mismas que se encontraron asociadas a temperaturas mayores a 1.2 °C. La salinidad superficial del mar el día 27 de febrero del 2019 presentó valores entre 33.8 y 34.2 UPS (Figura 53). Las mayores concentraciones halinas (>34.16 UPS) se localizaron al noreste del Estrecho de Bransfield, asociadas a temperaturas <0.3 °C, en tanto que las menores concentraciones de sales se localizaron entre las Islas Decepción y Livingston y los alrededores del monte submarino The Axe, con valores menores a 34.06 UPS, las mismas que se encontraron asociadas a temperaturas mayores a 1.27 °C.

Figura 51

Distribución de la salinidad superficial del mar (UPS) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 21 de febrero del 2019

**Figura 52**

Distribución de la salinidad superficial del mar (UPS) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 24 de febrero del 2019

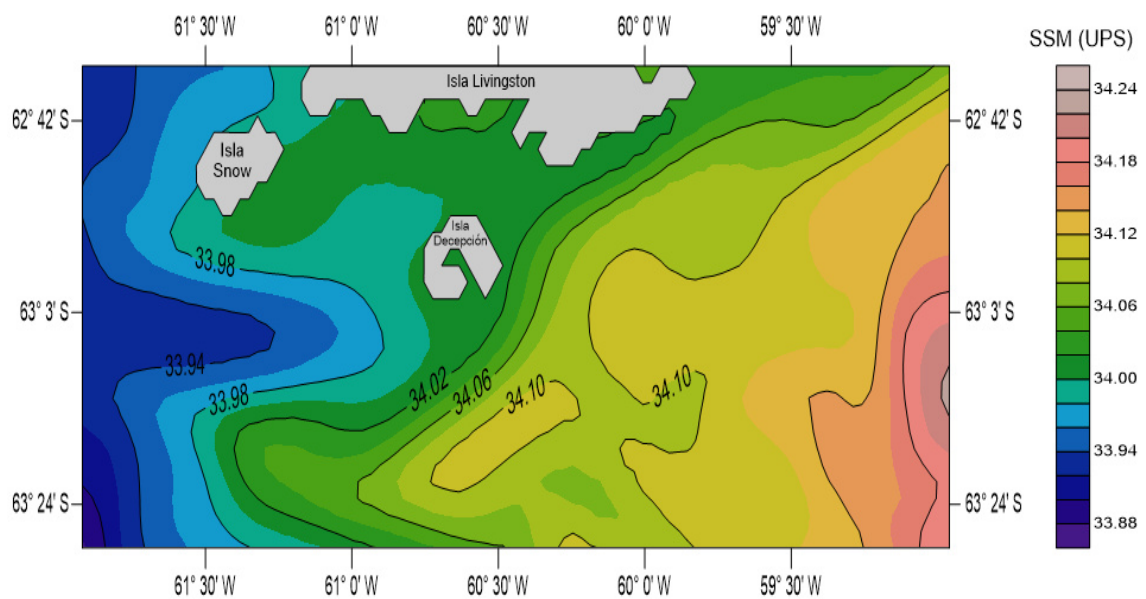
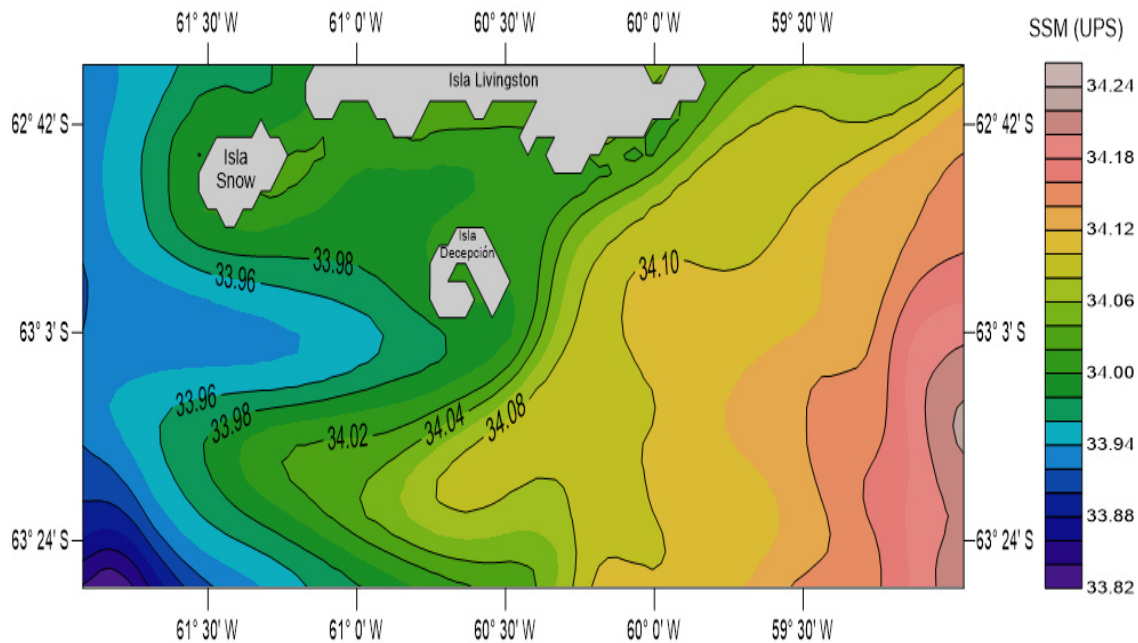


Figura 53

Distribución de salinidad superficial del mar (°C) entre Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe el 27 de febrero del 2019



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Caracterización de geoformas submarinas en los alrededores de Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe

Los resultados obtenidos en esta investigación revelan una compleja morfología submarina en las zonas del noroeste de Isla Livingston, el suroeste de Isla Decepción y la zona de The Axe en el Estrecho de Bransfield. Estos hallazgos no solo confirman la presencia de geoformas submarinas significativas, sino que también proporcionan evidencia que sugiere una intensa actividad geológica pasada y presente en la región, vinculada a procesos volcánicos y tectónicos.

La identificación de un posible monte submarino al suroeste de Isla Decepción, con pendientes abruptas y una base que alcanza los -900 m, es consistente con estudios previos que han documentado la presencia de estructuras volcánicas en la región (Rey et al., 1995). La morfología de este monte, caracterizada por variaciones marcadas en la batimetría y flancos empinados, sugiere un origen volcánico, posiblemente asociado a la actividad magmática que ha moldeado el fondo marino en el Estrecho de Bransfield. Esta interpretación se refuerza por la presencia de elevaciones submarinas y laderas escarpadas en las zonas circundantes, las cuales podrían ser el resultado de la acumulación de material volcánico y la posterior erosión marina. Además, las depresiones submarinas identificadas al suroeste de Isla Decepción, con profundidades que superan los -1000 m, podrían corresponder a una llanura abisal formada por procesos de extensión cortical y subsidencia, comunes en regiones con actividad tectónica activa (Barker et al., 1998).

En cuanto a la zona de The Axe, la presencia de un monte submarino prominente con una cima somera y pendientes pronunciadas hacia los flancos sugiere una génesis vinculada a procesos volcánicos o tectónicos. Esta estructura coincide con descripciones previas de

Aquilina et al. (2013), quienes identificaron una morfología similar en la región. La transición abrupta entre las zonas someras y las profundas, evidenciada por contornos batimétricos cercanos entre sí, podría estar asociada a la presencia de cañones submarinos o fracturas tectónicas, lo que reflejaría una dinámica geológica activa en el área (Solari et al., 2008). Estas características son consistentes con el contexto geotectónico del Estrecho de Bransfield, donde la convergencia de placas y la actividad volcánica han generado un relieve submarino complejo y diverso.

Sin embargo, es importante destacar que la presencia de artefactos batimétricos en algunas zonas de The Axe, producto de la insuficiencia de datos, limita la interpretación precisa de ciertas geoformas. Esto resalta la necesidad de futuras expediciones de colección de datos de mayor resolución, que permitan una caracterización más detallada del fondo marino y una mejor comprensión de los procesos geológicos que lo han modelado.

5.2. Eointegración del Fondo Marino a partir de Valores de la Fuerza de Retrodispersión

Acústica (Sv)

Para la grilla 1-6, los valores de retrodispersión permitieron establecer una clasificación supervisada con cuatro clases de texturas (arcilla, arena, grava y roca volcánica). La clasificación estadística reveló una distribución unimodal con una ligera asimetría hacia la izquierda, lo que indica la presencia de valores extremos negativos. La predominancia de roca volcánica (45.23 % del área total) en zonas al suroeste y noroeste de Isla Decepción, así como al noroeste de Isla Livingston, sugiere una fuerte conexión con la actividad volcánica histórica de la región. Esta interpretación es consistente con estudios previos que han documentado la presencia de estructuras volcánicas en el Estrecho de Bransfield (Rey et al., 1995). Sin embargo, la distribución de grava (25.80 % del área total) en zonas al sureste de Isla Decepción y al suroeste de Isla Livingston plantea interrogantes sobre los mecanismos de transporte y deposición de sedimentos gruesos en estas áreas. ¿Podrían estas acumulaciones de grava estar

asociadas a corrientes de fondo intensas o a eventos de erosión relacionados con la actividad glaciar pasada? Esta pregunta resalta la necesidad de estudios adicionales para comprender mejor estos procesos. La presencia de arena (22.61 % del área total) en zonas intermedias y de arcilla (6.36 % del área total) en áreas más profundas sugiere una gradación sedimentaria típica de ambientes marinos, donde los sedimentos más finos se depositan en zonas de menor energía (Micallef, 2018). Sin embargo, la leve asimetría hacia la izquierda observada en el histograma de retrodispersión indica la presencia de valores extremos de reflectividad baja, posiblemente asociados a sedimentos más finos como la arcilla. Esto podría sugerir la existencia de áreas localizadas con procesos de deposición particulares, como la acumulación de sedimentos en cuencas protegidas o la influencia de corrientes de fondo que redistribuyen los sedimentos de manera desigual.

Por otro lado, la grilla 7-8 mostró una alta variabilidad en los valores de retrodispersión, lo que impidió establecer asociaciones consistentes con las muestras. Como resultado, se optó por una clasificación no supervisada utilizando el método de Natural Breaks (Jenks), obteniendo tres clases de reflectividad (alta, media y baja). En este caso, la distribución multimodal del histograma indicó una mayor heterogeneidad en los valores de reflectividad, con varios picos destacados. La clasificación de reflectividad en el mapa de la grilla 7-8 reveló que las áreas de alta reflectividad (posiblemente asociadas a sustratos duros como roca o grava) se concentran en las zonas más elevadas del monte submarino, mientras que las áreas de baja reflectividad (potencialmente vinculadas a sustratos blandos) predominan en las regiones más profundas.

Las diferencias en la distribución de valores de retrodispersión y la metodología aplicada entre ambas grillas pueden atribuirse a varios factores. En primer lugar, la falta de datos de valores de retrodispersión acústica y la falta de muestras pudo haber influido en la variabilidad observada en la grilla 7-8, lo que dificultó establecer correlaciones directas con las

muestras y requirió una clasificación no supervisada. En contraste, la grilla 1-6 presentó una distribución de valores más uniforme, permitiendo una clasificación supervisada con asociaciones más claras entre los valores de retrodispersión y las muestras de textura.

5.3. Distribución Espacial del Macrozooplancton y Peces en Relación Cualitativa con la Batimetría y los Tipos Sustratos:

La densidad acústica del macrozooplancton tipo *Fluid-like* mostró un predominio de valores bajos ($<10 \text{ m}^2/\text{mn}^2$), distribuidos ampliamente en zonas con sustratos blandos, y sustratos como arcilla y limo, y en áreas de menor complejidad batimétrica. Este patrón coincide con lo reportado por Fielding et al. (2012), quienes indican que las bajas densidades de zooplancton suelen asociarse a sustratos blandos y aguas menos turbulentas. Por otro lado, las densidades medias y moderadas ($5.4\text{--}11.89 \text{ m}^2/\text{mn}^2$) se concentraron en áreas con sustratos duros, como roca volcánica y grava, y en zonas de mayor relieve submarino, como los montes submarinos. Esto sugiere que la complejidad del hábitat y la presencia de sustratos duros podrían favorecer la agregación del macrozooplancton, posiblemente debido a la mayor disponibilidad de recursos y refugio (Genin, 2004).

El biovolumen acústico del macrozooplancton también mostró valores predominantemente bajos, con una distribución dispersa en la región. Esto indica que el macrozooplancton no forma enjambres densos en el área de estudio, lo que podría estar relacionado con la baja productividad primaria o la influencia de factores ambientales como las corrientes marinas y la disponibilidad de nutrientes (Benoit-Bird & Lawson, 2016).

La distribución de la densidad acústica de peces, tanto a 38 kHz como a 120 kHz, mostró un predominio de densidades bajas en áreas con sustratos blandos y menor complejidad batimétrica, como arcilla y arena. Estas zonas, caracterizadas por reflectividades bajas, podrían ser menos favorables para la agregación de peces debido a la falta de refugio y recursos

(Simmonds & MacLennan, 2005). Por el contrario, las densidades medias y altas se concentraron en áreas con sustratos duros, como grava y roca, y en zonas de mayor relieve submarino, como los montes submarinos y las elevaciones cercanas a las islas. Estos resultados son consistentes con estudios que indican que los sustratos duros y las estructuras topográficas complejas actúan como hábitats críticos para la agregación de peces, proporcionando refugio y áreas de alimentación (Genin, 2004; Benoit-Bird & Lawson, 2016).

5.4. Correlación entre la Profundidad, Temperatura, Salinidad y Oxígeno Disuelto en la Zona de Estudio.

En la zona The Axe, la fuerte correlación negativa entre temperatura y salinidad (-0.98) sugiere un efecto importante del derretimiento de hielo, proceso ampliamente documentado en sistemas polares (Rignot et al., 2013). La disminución de la salinidad a medida que aumenta la temperatura podría estar relacionada con la entrada de agua dulce superficial, lo que también influye en la estratificación de la columna de agua. Por otro lado, la fuerte relación positiva entre temperatura y oxígeno disuelto (0.92) coincide con estudios previos que vinculan temperaturas más altas con una mayor actividad fotosintética y biológica en estas aguas (Arrigo et al., 2012). Este patrón también puede estar relacionado con procesos de mezcla que favorecen la oxigenación en las capas más profundas, como lo indica la relación positiva entre Temperatura y Profundidad (0.85).

En el suroeste de Isla Decepción, las correlaciones moderadas entre Temperatura y Salinidad (-0.60) y Temperatura y Oxígeno Disuelto (0.63) sugieren una menor intensidad de los procesos de mezcla o de los aportes de agua dulce en comparación con The Axe. Estas diferencias podrían estar asociadas a variaciones locales en la configuración batimétrica y en la dinámica oceánica (Schmidtke et al., 2013). La fuerte correlación negativa entre salinidad y oxígeno disuelto (-0.98) indica que la salinidad juega un papel importante en la distribución del oxígeno disuelto, lo que podría deberse a procesos de estratificación o a la influencia de

aportes de agua de diferente origen. Además, la relación entre temperatura y profundidad es débil (0.40), lo que sugiere que la distribución térmica no sigue un patrón uniforme y podría estar influenciada por factores locales como corrientes o variaciones en la topografía del fondo.

Dentro de Isla Decepción, la relación entre temperatura y salinidad (-0.95) es similar a la observada en The Axe, lo que indica que la estructura de la columna de agua podría estar regulada por procesos de mezcla similares. La correlación positiva muy fuerte entre temperatura y oxígeno disuelto (0.94) refuerza la idea de que las aguas más cálidas tienden a estar mejor oxigenadas, posiblemente por la influencia de procesos fotosintéticos o la interacción con la atmósfera. Sin embargo, la disminución del oxígeno disuelto a partir de los -50 m podría estar relacionada con un aumento en la actividad microbiana o con la limitada renovación de las masas de agua a estas profundidades.

La correlación positiva entre Oxígeno Disuelto y Profundidad, observada en todas las áreas estudiadas, es un hallazgo relevante y contrasta con el patrón típico en muchos ecosistemas oceánicos, donde las capas profundas suelen ser menos oxigenadas debido a la descomposición de materia orgánica y la falta de intercambio con la superficie (Sarmiento & Gruber, 2006). Este comportamiento inusual podría estar relacionado con procesos específicos de la región antártica, como el enfriamiento intenso de las aguas profundas, que aumenta la solubilidad del oxígeno, y la formación de masas de agua frías y densas, que tienden a estar bien oxigenadas (Gordon et al., 2009). Además, la circulación única de masas de agua en el Estrecho de Bransfield, donde convergen corrientes superficiales y profundas, podría estar contribuyendo a este patrón al transportar aguas ricas en oxígeno hacia las capas más profundas (Sangrà et al., 2011).

VI. CONCLUSIONES

- Se confirma la hipótesis planteada, sí es posible caracterizar acústicamente los componentes bióticos y no bióticos de los alrededores de la Isla Decepción. Además, se logró caracterizar las zonas comprendidas por la Isla Livingston y la zona de The Axe en el Estrecho de Bransfield, mediante un enfoque integral que combinó el análisis acústico de la reflectividad, la densidad acústica de macrozooplancton y peces, variables oceanográficas (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto), y las características geomorfológicas del fondo marino.
- La caracterización batimétrica en los alrededores de Isla Livingston, Isla Decepción y la zona de The Axe evidencia una notable diversidad de geoformas submarinas, incluyendo elevaciones, depresiones y montes submarinos. Estas estructuras sugieren la influencia de procesos tectónicos y volcánicos que moldean activamente el fondo marino en esta región del Estrecho de Bransfield. Sin embargo, la presencia de artefactos batimétricos en algunas zonas como The Axe, debido a la insuficiencia de datos, limita la interpretación precisa de ciertas estructuras.
- Los resultados obtenidos para la grilla 1-6 y la grilla 7-8 muestran diferencias significativas en la distribución de los valores de retrodispersión (S_v) y en la metodología de clasificación utilizada para caracterizar el fondo marino. En la grilla “1-6”, la clasificación supervisada permitió identificar cuatro clases de texturas (arcilla, arena, grava y roca volcánica), con una predominancia de roca volcánica vinculada a la actividad volcánica histórica de la región. Por otro lado, la grilla 7-8 presentó una alta variabilidad en los valores de retrodispersión, lo que requirió una clasificación no supervisada, donde se identificaron áreas de alta, media y baja reflectividad, asociada principalmente a sustratos duros y blandos. Estas diferencias resaltan la influencia de

factores como la disponibilidad de datos y la heterogeneidad del fondo marino en la interpretación de los resultados.

- Los resultados de este estudio evidencian que la distribución del macrozooplancton tipo *Fluid-like* y de los peces en la zona de estudio está influenciada por la naturaleza del sustrato y la complejidad batimétrica. Se observaron densidades bajas en áreas con sustratos blandos, y en regiones de menor relieve submarino, lo que sugiere que estos hábitats pueden no ser óptimos para la agregación de organismos. En contraste, las densidades medias y altas se concentraron en zonas con sustratos duros y mayor relieve topográfico, lo que coincide con estudios previos que destacan la importancia de la estructura del hábitat en la distribución de la fauna marina.
- Los perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto muestran diferencias significativas en las tres áreas de estudio: The Axe, el suroeste de Isla Decepción y dentro de la Isla Decepción. Estas variaciones están influenciadas por la dinámica oceanográfica local, las interacciones con masas de agua circundantes y la estructura del fondo marino. La zona de The Axe presenta una fuerte correlación entre temperatura y salinidad, lo que sugiere efectos del derretimiento de hielo, mientras que las relaciones entre temperatura y oxígeno disuelto indican un mayor proceso fotosintético y biológico en aguas más cálidas. En el suroeste de Isla Decepción, las correlaciones moderadas sugieren una menor intensidad de procesos de mezcla, posiblemente debido a variaciones locales en la topografía y corrientes oceánicas. La presencia de oxígeno disuelto a mayor profundidad en todas las áreas contrastada con patrones típicos en otros ecosistemas oceánicos refuerza la importancia de los procesos específicos de la región antártica, como el enfriamiento y la circulación de masas de agua.

VII. RECOMENDACIONES

- Los resultados resaltan la necesidad de integrar enfoques multidisciplinarios entre datos geológicos, biológicos y oceanográficos para comprender mejor las interacciones entre las características físicas del fondo marino y los procesos ecológicos en las áreas estudiadas, debido a la importancia en regiones polares, donde los ecosistemas son altamente vulnerables a los impactos del cambio climático. Un monitoreo continuo permitirá identificar patrones a largo plazo y diseñar estrategias efectivas para la conservación de la biodiversidad marina en estos ambientes únicos.
- Se recomienda llevar a cabo futuras expediciones científicas de recolección de datos con mayor resolución, incluyendo datos acústicos y sísmicos, así como muestras de sedimentos, especialmente en la zona de The Axe. Esta información adicional permitirá una caracterización más detallada del fondo marino, mejorando la precisión en la interpretación de las geoformas submarinas y proporcionando una comprensión más profunda de los procesos volcánicos, tectónicos y sedimentarios que han dado forma al relieve del Estrecho de Bransfield. Además, la integración de estos datos ayudará a esclarecer los mecanismos de transporte y deposición de sedimentos, particularmente en zonas con acumulaciones de grava y alta variabilidad de reflectividad.
- Realizar estudios adicionales que integren datos como mediciones de corrientes y disponibilidad de nutrientes, para comprender mejor los mecanismos que favorecen la agregación de macrozooplancton y peces en torno a estructuras submarinas. Además, sería valioso complementar los datos acústicos con muestreos biológicos directos de organismos para validar las estimaciones de densidad y biovolumen, así como para identificar la composición específica de las comunidades. A su vez, se sugiere emplear múltiples frecuencias acústicas para mejorar la detección y discriminación de

organismos, especialmente en áreas con baja densidad, donde la sensibilidad acústica puede ser limitada.

- Llevar a cabo un monitoreo continuo de las condiciones oceánicas en la región para comprender mejor cómo los factores climáticos y oceanográficos, como el derretimiento de hielo y la circulación de corrientes, afectan la distribución de variables como la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto. Además, sería beneficioso realizar estudios adicionales sobre los mecanismos que favorecen la oxigenación en capas profundas, especialmente en contextos de cambio climático, para evaluar el impacto a largo plazo sobre los ecosistemas polares y las comunidades biológicas que dependen de estas condiciones.

VIII. REFERENCIAS

- Agnew, D. J., & Marín, V. H. (1994). Modelo preliminar del comportamiento de la pesquería de kril en la subárea 48.1. *CCAMLR Science*, *1*, 71–79.
- Agusto, M., Caselli, A., & Poma, S. (2007). Estudio volcanológico del sector occidental de la Isla Decepción (Antártida): caracterización geoquímica y análisis evolutivo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, *62*(4), 530–544.
- Aquilina, A., Connelly, D. P., Copley, J. T., Green, D. R. H., Hawkes, J. A., *et al.* (2013). Geochemical and visual indicators of hydrothermal fluid flow through a sediment-hosted volcanic ridge in the Central Bransfield Basin (Antarctica). *PLoS ONE*, *8*(1), e54686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054686>
- Arrigo, K. R., Perovich, D. K., Pickart, R. S., Brown, Z. W., van Dijken, G. L., Lowry, K. E., Mills, M. M., Palmer, M. A., Balch, W. M., Bahr, F., Bates, N. R., Benitez-Nelson, C., Bowler, B., Brownlee, E., Ehn, J. K., Frey, K. E., Garley, R., Laney, S. R., Lubelczyk, L., ... Swift, J. H. (2012). Massive phytoplankton blooms under Arctic sea ice. *Science*, *336*(6087), 1408. <https://doi.org/10.1126/science.1215065>
- Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E. A., & Rothery, P. (2008). Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature*, *432*(7013), 100–103. <https://doi.org/10.1038/nature02996>
- Ayón, P., Swartzman, G., Bertrand, A., Gutiérrez, M., & Bertrand, S. (2008). Zooplankton and forage fish species off Peru: Large-scale bottom-up forcing and local-scale depletion. *Progress in Oceanography*, *79*(2–4), 208–214. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.023>
- Ballesterio, L., & García, D. (2010). *Estudio batimétrico con ecosonda multihaz y clasificación de fondos* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña].

<https://upcommons.upc.edu/entities/publication/feb134fd-c597-4e9d-942c-949de7456dc9>

- Ballón, M. (2010). *Acoustic study of macrozooplankton off Peru: Biomass estimation, spatial patterns, impact of physical forcing and effect on forage fish distribution* [Tesis doctoral]. Université Montpellier
- Ballón, M., Bertrand, A., Lebourges-Dhaussy, A., Gutiérrez, M., Ayón, P., Grados, D., & Gerlotto, F. (2011). Is there enough zooplankton to feed forage fish populations off Peru? An acoustic (positive) answer. *Progress in Oceanography*, 91(4), 360–381. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.03.001>
- Baraldo, A. (1999). *Evolución geológica de la Isla Decepción, Islas Shetland del Sur, Antártida* [Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires]. Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3174_Baraldo.pdf
- Barker, P. F., & Austin, J. A. (1998). Rift propagation, detachment faulting, and associated volcanism in Bransfield Strait, Antarctic Peninsula. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 24017–24043. <https://doi.org/10.1029/98JB01139>
- Benoit-Bird, K. J., & Lawson, G. L. (2016). Ecological insights from pelagic habitats acquired using active acoustic techniques. *Annual Review of Marine Science*, 8, 463–490. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-034001>
- Ben-Zvi, T., Hernández, S., & Ugalde, A. (2009). The P wave velocity structure of Deception Island, Antarctica, from two-dimensional seismic tomography: Evidence for a shallow magma chamber. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114(B6), B06207. <https://doi.org/10.1029/2008JB006187>

- BIOMASS SCAR/SCOR/IABO/ACMRR. (1983). *Second post-FIBEX data interpretation workshop* (BIOMASS Report Series No. 31). Scientific Committee on Antarctic Research.
- Boltovskoy, D. (1981). *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos del trabajo con el zooplancton marino*. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.
- Brandt, S. (1996). Acoustic assessment of fish abundance and distribution. En B. R. Murphy & D. W. Willis (Eds.), *Fisheries techniques* (2.^a ed., pp. 385-432). American Fisheries Society.
- Brierley, A. S. (2014). Quick guide: Diel vertical migration. *Current Biology*, 24(22), R1074-R1076. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.08.054>
- Cabreira, A. (2017). *Caracterización hidroacústica y clasificación automática de agregaciones de organismos marinos* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Comahue]. <http://hdl.handle.net/1834/10995>
- Cárdenas, G., Pellón, J., Franco, M., & Espinoza, P. (2016). Algunos aspectos de la biología y ecología del krill (*Euphausia superba*) en el Estrecho de Bransfield e Isla Elefante, verano austral 2006 (ANTAR XVI). *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 31(1), 24–38. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/85>
- Caselli, A., Badi, G., Bonatto, A., Bengoa, C., Agosto, M., Bidone, A., & Ibáñez, J. (2007). Actividad sísmica y composición química fumarólica anómala debido a posible efecto sello en el sistema volcánico, Isla Decepción (Antártida). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62(4), 545–552. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00044822200700040007
- Castellví, J. (1972). *Ecología marina*. Editorial Dossat.

- Castillo, R., Peraltila, S., Aliaga, A., Flores, M., Ballón, M., Calderón, J., & Gutiérrez, M. (2009). Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano. *Informe del Instituto del Mar Peruano* 36(1-2), 23-27. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/2001>
- Cerpa Cornejo, L., Venturini, N., Ricaurte-Villota, C., Rodríguez, K. A., Arteaga, A., Tarazona, U., Olaechea, R., Rosas, S., Dold, B., de Ignacio, C., Asensio Ramos, M., Herrera, J., Paredes Zavala, J., Poma, V., Esquivel, R., Bartens, M., & Indacochea Mejía, A. G. (2022). *Evolución del volcanismo submarino en el estrecho de Bransfield: Relación de las emanaciones hidrotermales con la biodiversidad y el cambio climático* (Boletín INGEMMET, Serie M: Geología Marina y Antártica, N.º 1). Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3927>
- Chong, J., & Pavez, F. (2020). *Pesca Antártica: Desafíos de la regulación de la Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos y otros instrumentos jurídicos relacionados* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178996>
- Chu, D. (2011). Technology evolution and advances in fisheries acoustics. *Journal of Marine Science and Technology*, 19(3), 245–252. <https://doi.org/10.51400/2709-6998.2188>
- Cifuentes, J. L., García, M., & Mondragón, M. (1986). *El océano y sus recursos* (Separata).
- Cifuentes, J., Torres, M., & Frías, M. (1997). *El océano y sus recursos: Las ciencias del mar: oceanografía geológica y oceanografía química* (Vol. 2). Fondo de Cultura Económica.
- Delgado, L. (2015). *Levantamiento hidrográfico con sistema LIDAR* [Tesis de maestría, Escuela Superior de Guerra Naval]. <http://hdl.handle.net/1834/8155>
- Editors of Encyclopaedia Britannica. (2020, October 16). *Marine geology*. In *Encyclopaedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/marine-geology>

- Estrada Sanabria, J. P. (2018). *Variación espacio-temporal del oxígeno disuelto en la microcuenca del Río Cutuchi, utilizando técnicas de estimación geoestadística, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional UTC. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8444>
- European Geological Data Infrastructure [EGDI]. (2022). *Marine geology*. <https://www.europe-geology.eu/geological-themes/marine-geology/>
- Fernandes, P., Gerlotto, F., Holliday, D., Nakken, O., & Simmonds, E. (2002). Acoustic applications in fisheries science: The ICES contribution. *ICES Journal of Marine Science*, 59(2), 483–492. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2002.1244>
- Fielding, S., Watkins, J. L., Collins, M. A., Enderlein, P., & Venables, H. J. (2012). Acoustic determination of the distribution of fish and krill across the Scotia Sea in spring 2006, summer 2008 and autumn 2009. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 59–60, 173–188. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2011.08.002>
- Flores, H., van Franeker, J. A., Siegel, V., Haraldsson, M., Strass, V., Meesters, E. H., ... & Bathmann, U. (2008). Distribution patterns of mesopelagic fishes in the Southern Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 55(3–4), 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.11.010>
- Foote, K. G. (1982). Optimizing copper spheres for precision calibration of hydroacoustic equipment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 71(3), 742–747. <https://doi.org/10.1121/1.387544>
- Foote, K. G. (1983). Linearity of fisheries acoustics, with addition theorems. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 73(6), 1932–1940. <https://doi.org/10.1121/1.389583>
- Foote, K. G. (1987). Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82(3), 981–987. <https://doi.org/10.1121/1.395298>

- Foote, K. G., & Stanton, T. K. (2000). Acoustical methods. En R. Harris, P. H. Wiebe, J. Lenz, H. R. Skjoldal, & M. Huntley (Eds.), *ICES zooplankton methodology manual* (pp. 223–258). Academic Press.
- Furness, R., & Monaghan, P. (1987). Seabird Feeding ecology. In *Seabird ecology* (pp. 23–34). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2093-7_3
- Gaddum, J. (2015). *Desarrollo tecnológico de alimentos extruidos para peces en etapa inicial* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. Repositorio Institucional UABC. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/871>
- Gallardo, V., & Castillo, J. (1970). Quantitative observations on benthic macrofauna of Port Foster (Deception I.), Chile Bay (Greenwich I.). In M. Holdgate (Ed.), *Antarctic ecology* (Vol. 1, pp. 242–243). Academic Press.
- Garcia, H. E., & Gordon, L. I. (1992). Oxygen solubility in seawater: Better fitting equations. *Limnology and Oceanography*, 37(6), 1307–1312. <https://doi.org/10.4319/lo.1992.37.6.1307>
- Gascón, V., & Werner, R. (2005). *Antarctic krill: A case study on the ecosystem implications of fishing*. Lighthouse Foundation. https://www.academia.edu/108525745/Antarctic_Krill_a_case_study_on_the_ecosystem_implications_of_fishing
- Genin, A. (2004). Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems*, 50(1–2), 3–20. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.10.008>
- Gordon, A. L., Orsi, A. H., Muench, R., Huber, B. A., Zambianchi, E., & Visbeck, M. (2009). Western Ross Sea continental slope gravity currents. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(13–14), 796–817. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.10.037>

- Gràcia, E., Canals, M., Farràn, M. L., Sorribas, J., & Pallàs, R. (1997). Central and eastern Bransfield basins (Antarctica) from high-resolution swath-bathymetry data. *Antarctic Science*, 9(2), 168–180. <https://doi.org/10.1017/S0954102097000229>
- Gràcia, E., Canals, M., Farràn, M., Prieto, M. J., Sorribas, J., & Team, G. (1996). Morphostructure and evolution of the central and eastern Bransfield Basins (NW Antarctic Peninsula). *Marine Geophysical Researches*, 18(2–4), 429–448. <https://doi.org/10.1007/BF00286088>
- Greenlaw, C. F. (1979). Acoustical estimation of zooplankton populations. *Limnology and Oceanography*, 24(2), 226–242. <https://doi.org/10.4319/lo.1979.24.2.0226>
- Greenlaw, C. F., & Johnson, R. K. (1982). Physical and acoustical properties of zooplankton. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 72(6), 1706–1710. <https://doi.org/10.1121/1.388663>
- Gutiérrez, M. (1988). *Determinación de la trayectoria real del haz acústico y de la posición verdadera de blancos submarinos* [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
- Gutiérrez, M. (1997). Biomass and distribution of krill (*Euphausia superba*) in the Bransfield Strait during the Peruvian ANTAR expeditions I, II, and III. *Korean Journal of Polar Research*, 8(1–2), 117–125.
- Gutiérrez, M., & Herbozo, G. (2004). *Batimetría y clasificación exploratoria del fondo marino utilizando información de retrodispersión acústica* (Informe Acústico N.º 405). Instituto del Mar del Perú (IMARPE). https://www.researchgate.net/publication/357636268_Batimetria_y_clasificacion_exploratoria_del_fondo_marino_utilizando_informacion_de_retrodispersion_acustica
- Gutiérrez, M., Peraltilla, S., Bertrand, A., Gonzales Salas, A., Swartzman, G., & Castillo Valderrama, R. (2016). Distribución, abundancia y proximidad espacial de enjambres

- de krill (*Euphausia superba*) en el Estrecho de Bransfield y alrededores de la isla Elefante, verano austral 2006. *Boletín Instituto Del Mar Del Perú*, 31(1), 9–23. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/94>
- Gutiérrez, M., Ramírez, A., Bertrand, S., Móron, O., Bertrand, A., (2008). Ecological niches and areas of overlap of the squat lobster ‘munida’ (*Pleuroncodes monodon*) and anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru. *Progress in Oceanography* 79, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.019>
- Hamilton, E. L. (1970). Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 75(23), 4423–4446. <https://doi.org/10.1029/JB075i023p04423>
- Haniotis, S. (2010). *Interacción ondas acústicas/fondo marino. Aplicación a la caracterización de fondos* [Tesis doctoral, Universidad de la República]. Repositorio Institucional de la Universidad de la República. <http://hdl.handle.net/20.500.12008/4111>
- Henley, S. F., Schofield, O., Hendry, K. R., Schloss, I. R., Moffat, C., & Abele, D. (2020). Variability and change in the west Antarctic Peninsula marine system: Research priorities and opportunities. *Progress in Oceanography*, 173, 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.102246>
- Herrera, J. (2019). *Caracterización Geomorfológica-Textural de la margen continental peruana del área de la carta náutica N°112, de Punta Sal a Punta Pariñas*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional de Piura
- Holliday, D. V., & Pieper, R. E. (1995). Bioacoustical oceanography at high frequencies. *ICES Journal of Marine Science*, 52(3-4), 279–296. [https://doi.org/10.1016/1054-3139\(95\)80044-1](https://doi.org/10.1016/1054-3139(95)80044-1)

- Horne, J. K., & Jech, J. M. (1999). Multi-frequency estimates of fish abundance: Constraints of rather high frequencies. *ICES Journal of Marine Science*, 56(2), 184–199. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1998.0432>
- Hughes Clarke, J. E. (1994). Toward remote seafloor classification using the angular response of acoustic backscatter: A case study from multiple overlapping GLORIA data. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 19(1), 112–127. <https://doi.org/10.1109/48.289455>
- Huhn, K., Arroyo, M., Cattaneo, A., Clare, M. A., Gràcia, E., Harbitz, C. B., Krastel, S., Kopf, A., Løvholt, F., Rovere, M., Strasser, M., Talling, P. J., & Urgeles, R. (2019). Modern submarine landslide complexes. In K. Ogata, A. Festa, & G. A. Pini (Eds.), *Submarine landslides* (pp. 181–200). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119500513.ch12>
- IDS Topografía. (2020). *Batimetrías. Cartografiando el fondo marino*. <https://www.idstopografia.com/batimetrías-cartografiando-el-fondo-marino/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *Batimetrías*. <http://www.ideam.gov.co/web/agua/batimetrías>
- Instituto Geológico y Minero de España. (2019). *Informe científico-técnico de la Expedición antártica EXPLOSEA-1. Exploración de emisiones submarinas de fluidos hidrotermales, mineralizaciones y geobio-sistemas asociados*.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2019). *Estudios de Geología Marina en el Perú* (Informe técnico N° A6913). <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2242>
- Instituto Humboldt de Investigación Marina y Acuícola – Sociedad Nacional de Pesquería. (2016). *Metodología de evaluación de anchoveta empleando información recopilada por la flota de pesca*.
- Iriondo, M. (2007). *Introducción a la Geología*. Editorial Brujas.
- Johnson, R. (1977). Sound scattering from a fluid sphere revisited. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 61(2), 375-377. <https://doi.org/10.1121/1.381326>

- Kalinowski, J., & Witek, Z. (1985). *Scheme for classifying aggregations of Antarctic krill*. (BIOMASS Handbook No. 27).
- Keller, R. A., Fisk, M. R., White, W. M., and Birkenmajer, K. (1992). Isotopic and trace element constraints on mixing and melting models of marginal basin volcanism, Bransfield Strait, Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, *111*, 287–303. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(92\)90185-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(92)90185-X)
- Keller, R. A., Strelin, J., Lawver, L., & Fisk, M. (1994). Dredging young volcanic rocks in Bransfield Strait, Antarctica. *U.S. Antarctic Journal*, *28*, 98–100.
- Klepeis, K. A., & Lawver, L. A. (1994). Bathymetry of the Bransfield Strait, southeastern Shackleton Fracture Zone and South Shetland Trench. *Antarctic Journal of the United States*, *27*, 103–104.
- Kloser, R. J., Ryan, T., Sakov, P., Williams, A., & Koslow, J. A. (2002). Species identification in deep water using multiple acoustic frequencies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *59*(6), 1065–1077. <https://doi.org/10.1139/f02-076>
- Kock, K. H. (1992). *Antarctic fish and fisheries*. Cambridge University Press.
- Lamarche, G., Lurton, X., Verdier, A.-L., & Augustin, J.-M. (2011). Quantitative characterization of seafloor substrate and bedforms using advanced processing of multibeam backscatter—Application to the Cook Strait, New Zealand. *Continental Shelf Research*, *31*(2), S93-S109. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.06.001>
- Lawver, L. A., Keller, R. A., Fisk, M. R., & Strelin, J. A. (1995). Bransfield Strait, Antarctic Peninsula: Active extension behind a dead arc. In B. Taylor (Ed.), *Backarc basins: Tectonics and magmatism* (pp. 315–342). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1843-3_8

- Llorens, S. (2016). *Caracterización del target strength de piensos comerciales mediante ecosondas monohaz y de haz partido* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/74471>
- Loeb, V. J., Siegel, V., Holm-Hansen, O., Hewitt, R., Fraser, W., Trivelpiece, W., & Trivelpiece, S. (1997). Effects of sea-ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature*, 387(6636), 897-900. <https://doi.org/10.1038/43174>
- Lovrich, G. A., Romero, M. C., Tapella, F., & Thatje, S. (2005). Distribution, reproductive and energetic conditions of decapod crustaceans along the Scotia Arc (Southern Ocean). *Scientia Marina*, 69(S2), 183-193. <https://doi.org/10.3989/scimar.2005.69s2183>
- Lozano, P., Fernández-Salas, L. M., Rueda, J. L., López-González, N., Vila, Y., López-Rodríguez, F. J., Farías, C., Vázquez, J. T., & Díaz del Río, V. (2015). *Efectos de las emisiones de fluidos en la respuesta acústica de los fondos marinos del golfo de Cádiz* [Ponencia]. VIII Simposio (MIA15), Málaga, España.
- MacLennan, D. N., & Simmonds, E. J. (1992). *Fisheries acoustics*. Chapman & Hall.
- Maestro, A., Rey, J., & Somoza, L. (2007). Active tectonics, fault patterns, and stress field of Deception Island: A response to oblique convergence between the Pacific and Antarctic plates. *Journal of South American Earth Sciences*, 23(2-3), 256-270. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2006.09.023>
- Malvé, M. E., Gordillo, S., & Rivadeneira, M. M. (2014). Estructura de las comunidades bentónicas en tres sitios de las islas Shetland del Sur (Antártida): patrones de diversidad, composición y tamaños corporales. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 42(1), 53-62.
- Mann, K. H., & Lazier, J. R. N. (1996). *Dynamics of marine ecosystems: Biological-physical interactions in the oceans* (2nd ed.). Blackwell Science.

- Marchena, J. (2018). *Estimación del comportamiento de parámetros geomecánicos aplicando técnicas geoestadísticas en la concesión Mi Grimaldina 1, caserío de Piñipata, Hualgayoc – Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3034>
- Martínez, P. (2020). Pesca comercial en la Antártica: El comienzo del desequilibrio ambiental de la zona. *Analéctica*, 6(38), 1-5.
- Medialdea, T., & Somoza, L. (2018). *El geólogo marino*. Instituto Geológico y Minero de España. <http://hdl.handle.net/10261/277644>
- Medwin, H., & Clay, C. S. (1998). *Fundamentals of acoustical oceanography*. Academic Press.
- Meredith, M. P., Falk, U., Bers, A. V., Mackensen, A., Schloss, I. R., & Barlett, E. R. (2018). Anatomy of a glacial meltwater discharge event in an Antarctic cove. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2122), 20170163. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0163>
- Micallef, A. (Ed.). (2018). *Submarine geomorphology*. Springer.
- Moral G. F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(1). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/582>
- Moreno, E. (Ed.). (2012). *Expedición de circunnavegación Malaspina 2010: Cambio global y exploración de la biodiversidad del océano. Libro blanco de métodos y técnicas de trabajo oceanográfico*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Muhammad, L., Sri, P., Budhi, A., & Tiggi, C. (2019). Bathymetry Mapping Using Underwater Acoustic Technology. *Journal of Geoscience Engineering Environment and Technology* 4(2), 135-138. <https://doi.org/10.25299/jgeet.2019.4.2.3059>

- Murase H., Ichihara M., Yasuma H., Watanabe H., Yonezaki S., Nagashima H., Kawahara S., Miyashita K. (2009) Acoustic characterization of biological backscatterings in the Kuroshio-Oyashio inter-frontal zone and subarctic waters of the western North Pacific in spring. *Fisheries Oceanography*, 18(5), 386–401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2009.00519.x>
- Murphy, B. R., & Willis, D. W. (1996). *Fisheries techniques* (2nd ed.). American Fisheries Society.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022). *Hidroacústica*. https://oceanexplorer.noaa.gov/explorations/lewis_clark01/background/hydroacoustic/s/hydroacoustics.html
- Nowacek, D. P., Friedlaender, A. S., Halpin, P. N., Hazen, E. L., Johnston, D. W., Read, A. J., Espinasse, B., Zhou, M., & Zhu, Y. (2011). Superaggregations of krill and humpback whales in Wilhelmina Bay, Antarctic Peninsula. *PLOS ONE*, 6(4), e19173. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019173>
- O'Keeffe, E. (2011). *Mapping European seabed habitats in the Atlantic: GIS workshop – Habitat mapping using ArcGIS tools* [Workshop manual]. University of Aveiro, Department of Biology.
- Pace, N. G., Zerr, B., Pouliquen, E., & Canepa, G. (1998). Overview of progress towards area seabed classification. En *UDT Europe 98: Conference Proceedings* (pp. 41–45). Nexus Media Ltd.
- Parica, C. A., Salani, F. M., Vera, E. I., Remesal, M. B., & Césari, S. N. (2007). Geología de la Formación Cerro Negro (Cretácico) en Isla Livingston: aportes a su geocronología y contenido paleontológico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62(4), 553-567.

https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000448222007000400008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Peraltilla, S., Escudero, L., Flores, O., & Gonzales, A. (2016). Distribución, concentración y biomasa de krill (*Euphausia superba*) durante el verano austral del 2007 en el Estrecho de Bransfield. *Boletín Instituto Del Mar Del Perú*, 31(1), 80–88.

<https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/86>

Pouliquen, E., & Lurton, X. (1992). Identification de la nature du fond de la mer à l'aide de signaux d'écho-sondeurs. *Journal de Physique IV Proceedings*, 2(C1), C1-941–C1-944. <https://doi.org/10.1051/jp4:19921205>

Pouliquen, E., & Lurton, X. (1992). Sea-bed identification using echo-sounder signals. In *Proceedings of the European Conference on Underwater Acoustics* (pp. 535-539). Elsevier Applied Science.

Pugh, P. R., Pagès, F., & Boorman, B. (1997). Vertical distribution and abundance of pelagic cnidarians in the Eastern Weddell Sea, Antarctica. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 77(2), 341-360. <https://doi.org/10.1017/S002531540007171X>

Quiñones, J., Díaz, E., & Romero, M. C. (2016). La comunidad pelágica del Estrecho de Bransfield, con énfasis en el krill, verano 2013. *Boletín Instituto Del Mar Del Perú*, 31(2), 206–211. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3097>

Remiro Gargallo, A. V. (2019). *Técnicas numéricas aplicadas a la propagación de sonido en el medio marino* [Trabajo final de grado, Universitat Politècnica de València]. Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/128636>

Reunión Consultiva del Tratado Antártico. (2016). *Base de datos del Tratado Antártico: Resolución 4 (2016), RCTA XXXIX – CPA XIX, Santiago*. <https://www.ats.aq/devAS/Meetings/Measure/640?lang=s&id=640>

- Reunión Consultiva del Tratado Antártico. (2019). *Base de datos del Tratado Antártico: Medida 10 (2019), RCTA XLII – CPA XXII, Praga.*
<https://www.ats.aq/devAS/Meetings/Measure/691?lang=s>
- Reunión Consultiva del Tratado Antártico. (2022). *Base de datos del Tratado Antártico: Medida 10 (2022), RCTA XLIV – CPA XXIV, Berlín.*
<https://www.ats.aq/devAS/Meetings/Measure/760>
- Rey, J., Somoza, L., & Martínez-Frías, J. (1995). Tectonic, volcanic, and hydrothermal event sequence on Deception Island (Antarctica). *Geo-Marine Letters*, 15(1), 1-8. <https://doi.org/10.1007/BF01204491>
- Richardson, M. D., Briggs, K. B., & Young, D. K. (2001). Effects of biological activity on the acoustic properties of sediments. In J. Y. Aller, S. A. Woodin, & R. C. Aller (Eds.), *Organism-sediment interactions* (pp. 305-330). University of South Carolina Press.
- Rignot, E., Jacobs, S., Mouginot, J., & Scheuchl, B. (2013). Ice-shelf melting around Antarctica. *Science*, 341(6143), 266-270. <https://doi.org/10.1126/science.1235798>
- Rivera, M., & Giraldo, A. (2019). Distribución espacial de eufáusidos (*Euphausiacea*) frente a la isla de Malpelo, Pacífico tropical colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 243-253. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i1.31197>
- Rodríguez, M. (2015). *La hidroacústica horizontal aplicada a la detección de peces en ecosistemas someros: estudio de la señal acústica de barbos y carpas* [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional US. <https://idus.us.es/items/111ac1c3-f7fe-41d9-8cf6-c0e34a7414b2>
- Russell, N. J. (2000). Toward a molecular understanding of cold activity of enzymes from psychrophiles. *Extremophiles*, 4(2), 83-90. <https://doi.org/10.1007/s007920050141>

- Sánchez, N. (2012). *Técnicas acústicas y software libre: aplicaciones en la gestión costera* [Tesis doctoral, Universidad da Coruña].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=38015>
- Sánchez, R. (2007). *Antártida: introducción a un continente remoto*. Editorial Albatros.
- Sangrà, P., Gordo, C., Hernández-Arencibia, M., Marrero-Díaz, A., Rodríguez-Santana, A., Stegner, A., & Martínez-Marrero, A. (2011). The Bransfield current system. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58(4), 390-402. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2011.01.011>
- Sarmiento, J. L., & Gruber, N. (2006). *Ocean biogeochemical dynamics*. Princeton University Press.
- Schmidtko, S., Johnson, G. C., & Lyman, J. M. (2013). MIMOC: A global monthly isopycnal upper-ocean climatology with mixed layers. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(4), 1656-1672. <https://doi.org/10.1029/2011JC007651>
- Siegel, V. (2005). Distribution and population dynamics of *Euphausia superba*: Summary of recent findings. *Polar Biology*, 29(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s00300-005-0058-5>
- Simmonds, J., & MacLennan, D. N. (2005). *Fisheries acoustics: Theory and practice* (2nd ed.). Blackwell Science.
- Smellie, J. L., López-Martínez, J., Headland, R., Hernández-Cifuentes, F., Maestro, A., Rey, J., Serrano, E., Somoza, L., & Thomson, J. W. (2002). *Geology and geomorphology of Deception Island* (BAS GEOMAP Series, Sheets 6-A and 6-B, scale 1:25,000). British Antarctic Survey.
- Solari, M. A., Hervé, F., Martinod, J., Le Roux, J. P., Ramírez, L. E., & Palacios, C. (2008). Geotectonic evolution of the Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Insights from

- analogue models. *Antarctic Science*, 20(2), 185-196. <https://doi.org/10.1017/S095410200800093X>
- Stanton, T., Chu, D., Wiebe, P.H., 1996. Acoustic scattering characteristics of several zooplankton groups. *ICES Journal of Marine Science* 53(2), 289–295. <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0037>
- Talley, L. D., Pickard, G. L., Emery, W. J., & Swift, J. H. (2011). *Descriptive physical oceanography: An introduction* (6th ed.). Academic Press.
- Tenorio, J. (2016). Aspectos oceanográficos durante la Expedición ANTAR XVI. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 31(1), 48-57. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/91>
- Thurman, H. V., & Trujillo, A. P. (2014). *Introduction to oceanography* (10th ed.). Pearson Education.
- Torres, T., Bastías, J., Otero, R., & Calderón, M. (2015). Nuevos registros de Araucariáceas y Podocarpáceas del Cretácico Superior de Punta Hannah, Isla Livingston, Archipiélago de las Shetland del Sur, Antártica. En *Actas Simposio SIM9 Geología y Paleontología Antártica (in extenso)*. XIV Congreso Geológico Chileno.
- United States Geological Survey. (2022). *Marine geology*. <https://www.usgs.gov>
- Urick, R. J. (1983). *Principles of underwater sound* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Valdez, C., Grados, G., La Cruz, L., Cuadros, G., Cornejo, R., & Castillo, R. (2022). Caracterización acústica de las agregaciones de krill (*Euphausia superba*) detectadas automáticamente en el Estrecho de Bransfield e Isla Elefante. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 35(3), 315-331. <https://doi.org/10.47193/mafis.3532022010903>
- Valencia, M. (1989). Características químicas de las aguas del Estrecho Bransfield-Islands Shetland del sur. *Acta Antártica Ecuatoriana* 1(1), 27-91. <http://hdl.handle.net/1834/3870>

- Ventero, A. (2016). *Estudio biológico de la capa de dispersión acústica estival en el mar de Alborán y su implicación en la evaluación de pelágicos costeros* [Tesis doctoral, Universitat de les Illes Balears]. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/402944>
- Vernet, M., & Cape, M. (2019). Ecosistemas marinos antárticos después del rompimiento de barreras de hielo. *Cuadernos de Investigación UNED*, 11(1), 36-43. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S165942662019000100036
- Villarroel, M. (2016). *El krill antártico y su conservación en el continente blanco* [Monografía de Diplomado en Asuntos Antárticos, Universidad de Magallanes].
- Villemur, J. (2004). El krill y su hábitat antártico. *Boletín del Centro Naval*, 808, 312.
- Whitworth, T., III, Orsi, A. H., Kim, S. J., Nowlin, W. D., Jr., & Locarnini, R. A. (1998). Water masses and mixing near the Antarctic Slope Front. In S. S. Jacobs & R. F. Weiss (Eds.), *Ocean, ice, and atmosphere: Interactions at the Antarctic continental margin* (Vol. 75, pp. 1-27). American Geophysical Union.
- Wicstead, J. (1979). *Zooplankton marino*. Ediciones Omega.
- Wiebe, P. H. (1988). Functional regression equations for zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight and carbon: a correction. *Fishery Bulletin*, 86(4), 833-835. <https://spo.nmfs.noaa.gov/node/14372>
- Wiebe, P. H., Boyd, S. H., & Cox, J. L. (1975). Relationships between zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight, and carbon. *Fishery Bulletin*, 73(4), 777-786. <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/pdf-content/1975/734/wiebe.pdf>
- Zambrano, E., & Cardin, V. (1989). Contribución al conocimiento de la oceanografía física del Estrecho Bransfield. *Acta Antártica Ecuatoriana*, 1(1), 1-17. <https://aquadocs.org/handle/1834/3826>

IX. ANEXOS

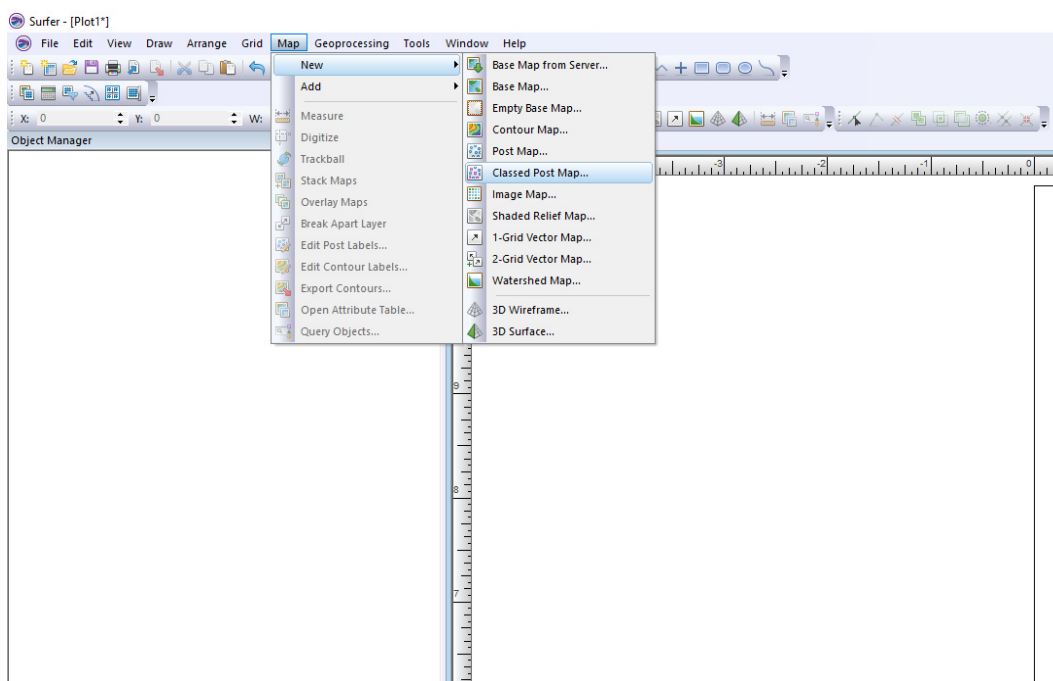
PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR LA INTERPOLACIÓN Y EL VARIOGRAMA DE MAPAS DE DENSIDAD ACÚSTICA

- **Selección y preparación de los datos obtenidos**

Los parámetros que estudiamos son la longitud (valores decimales, eje x), la latitud (valores decimales, eje y) y los valores NASC_38kHz (eje z). Para preparar los datos es preciso plotearlos, usando la función “Classed post map” de Surfer (Figura A) después de esto aparecerá el mapa creado, posterior a ello iremos aluego, en la sección de “Property” Manager” de Surfer 13, en la sección “Classes” luego “Edit classes” y colocaremos dos clases para diferenciar los valores que tenemos dentro del transecto (Figura B).

Figura A

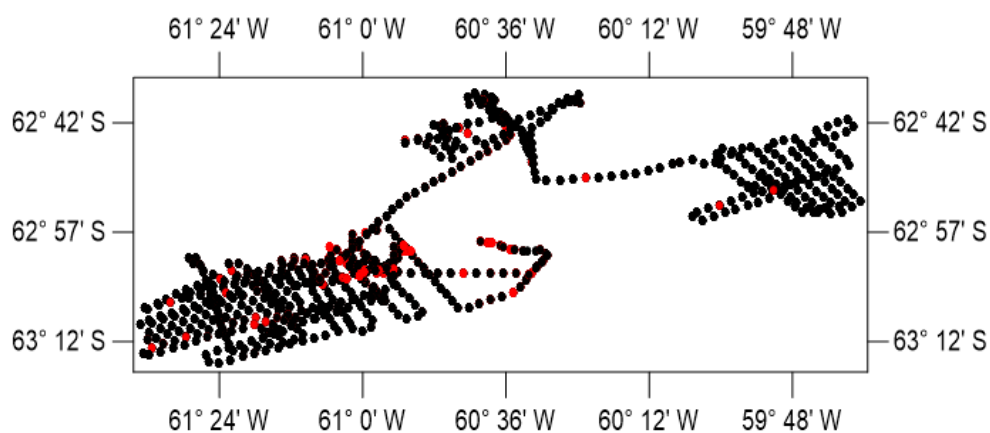
Secuencia para crear un mapa con la opción Classed Post Map de Surfer



Nota. Se coloca la opción Map/New/ Classed post map.

Figura B

Mapa de classed post map en Surfer

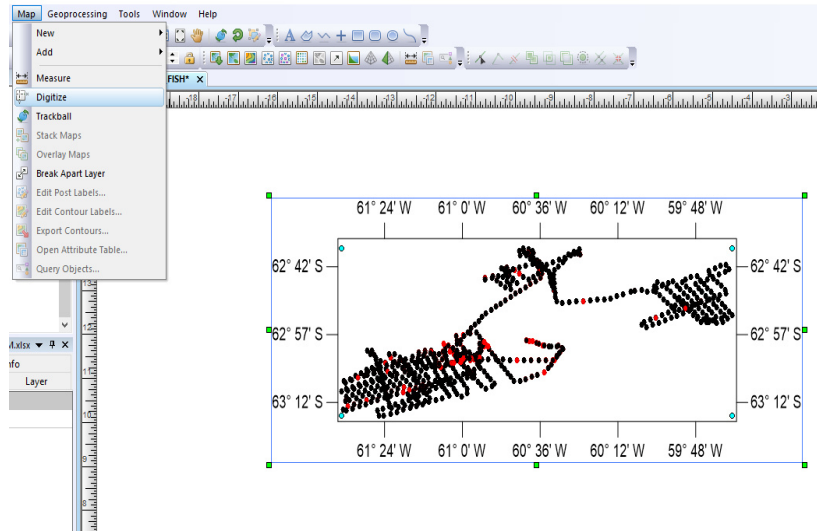


Nota. El mapa que se observa permite averiguar si los datos no tienen errores y también estimar su capacidad en proporcionar información espacial sobre la abundancia (número de datos, dispersión espacial de los valores etc.)

Continuando con el procedimiento se utilizó este mapa para diseñar sobre el ploteo. Luego se trazó un polígono alrededor de los datos “blank file” (fichero de posiciones de los puntos definiendo el polígono). En efecto, es indispensable para limitar el área de análisis, dado que la abundancia estará limitada al área observada. Para digitalizar los puntos del polígono, se utiliza la función “Digitize” del menú Map (Figuras C, D y E). Al culminar la delimitación del polígono debemos tener cuidado en copiar el primer par de puntos y copiarlos como último par de datos, a fin de asegurar que el polígono quede efectivamente cerrado (Figura D). Finalmente, en la primera línea del fichero se apunta en la primera columna el número de puntos, y en la segunda columna un valor 0 (Figura E). Por último, se graba el “blank file”, dándole un nombre apropiado.

Figura C

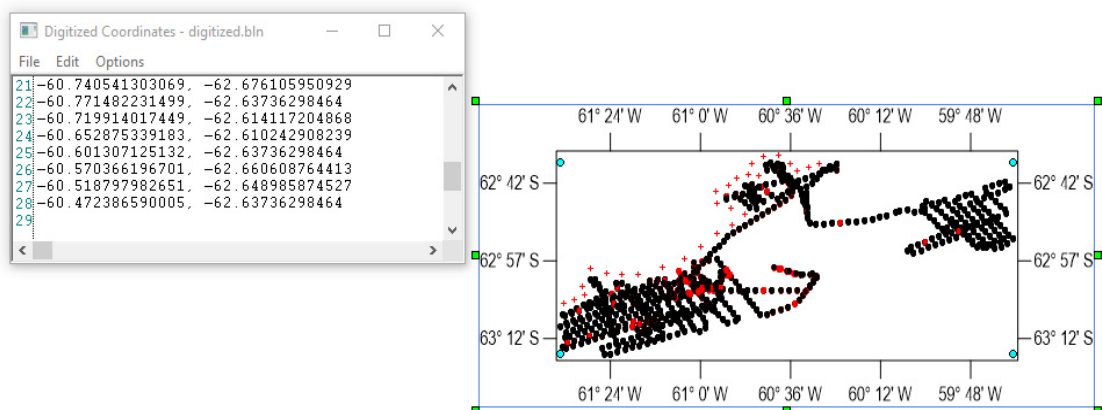
Opción "Digitize" de Surfer para los puntos del polígono de blanqueo



Nota. Una vez entrado en esta función, se debe dar click secuencialmente para que aparezcan los puntos sobre la pantalla delimitando la zona; un fichero se abre en la pantalla presentando los puntos ya definidos.

Figura D

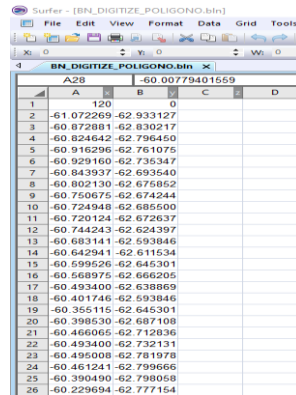
Cuadro de coordenadas del ploteo del polígono de blanqueo en Surfer



Nota. Al finalizar el polígono se coloca la primera fila de las coordenadas al final para cerrar el polígono.

Figura E

Coordenadas que se obtuvieron de los puntos ploteados



	A	B	C	D
1	120	0		
2	-61.072269	-62.933127		
3	-60.872881	-62.830217		
4	-60.824642	-62.796450		
5	-60.916296	-62.761075		
6	-60.929160	-62.735347		
7	-60.843937	-62.693640		
8	-60.802130	-62.676852		
9	-60.750675	-62.674244		
10	-60.724948	-62.685500		
11	-60.720124	-62.672637		
12	-60.744243	-62.624397		
13	-60.683141	-62.593846		
14	-60.642941	-62.611534		
15	-60.599526	-62.645301		
16	-60.568975	-62.666205		
17	-60.493400	-62.638869		
18	-60.401746	-62.593846		
19	-60.355115	-62.645301		
20	-60.398530	-62.687108		
21	-60.466065	-62.712836		
22	-60.493400	-62.732131		
23	-60.495008	-62.781978		
24	-60.461241	-62.799666		
25	-60.390490	-62.798058		
26	-60.229694	-62.777154		

Nota. En la primera fila en la columna A esta los números de datos y en a columna B está el valor 0 significa que solamente el área adentro del polígono se toma en cuenta; si colocamos un 1, ello indica que al blanquear el proceso se hará hacia afuera y no hacia dentro del polígono.

- **Construcción de una grilla de análisis.**

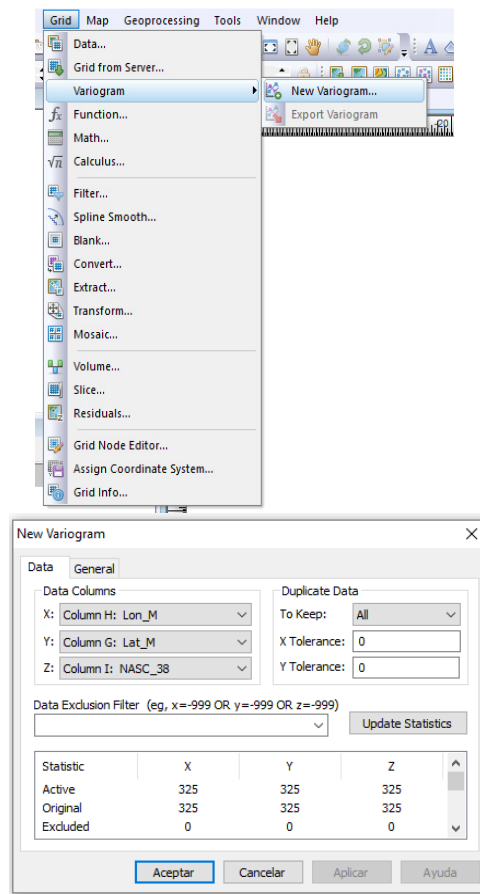
Posteriormente, una vez preparados los datos se debe construir la grilla de análisis de los datos para esto se requiere varias etapas importantes como el cálculo del variograma experimental y posteriormente el cálculo del modelo del variograma para ajustar los de datos a un modelo adecuado para la interpolación.

- **Cálculo del variograma experimental**

Este cálculo se realizó en Surfer mediante la función Variogram/ New Variogram del menú Grid; luego, en la sección “New Variogram”, en el eje X colocaremos la longitud, y en el eje Y: latitud, y en el eje Z: los valores NASC 38 de peces (Figura F).

Figura F

Secuencia de generación del Variograma experimental en Surfer

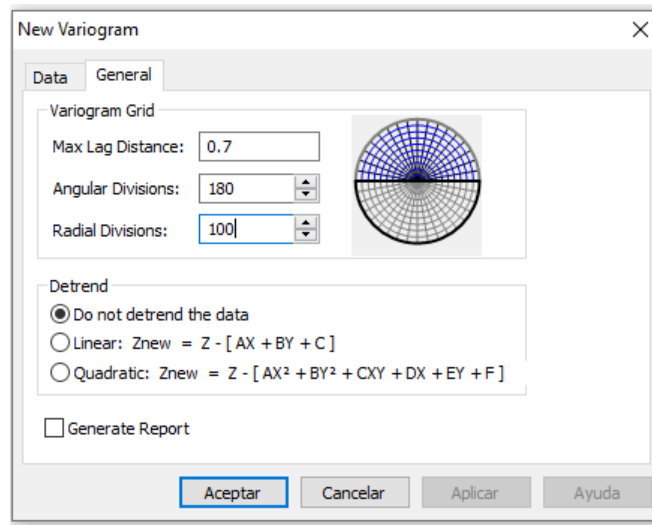


Nota. La ventana que se abre proporciona varias informaciones sobre los datos y requiere una lectura atenta. El primer paso consiste en seleccionar las variables apropiadas en las ventanas de los ejes x, y, z.

La etapa siguiente consiste en abrir la ventana “general”, donde se define la distancia máxima de estudio de correlaciones espaciales. Se observará que el software propone un valor de rango máximo (0.7 grados en el ejemplo de las Figura G). Lo cambiamos a 0.2, asegurándose así que si las correlaciones espaciales son lo suficientemente grandes. El variograma calculado por los datos y los ajustes seleccionados se verán como se muestra en la Figura H.

Figura G

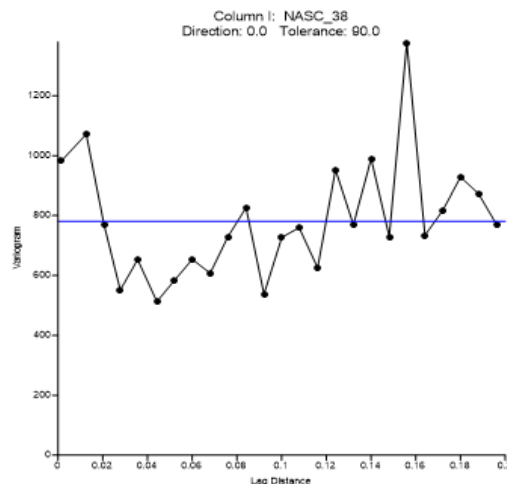
Cuadro general del Variograma experimental en Surfer



Nota. Usar valores más cortos permiten ahorrar tiempo de cálculo. Sin conocimiento previo, se puede aumentar el valor de las divisiones angulares hasta el máximo (360°).

Figura H

Variograma experimental con un ángulo de 0.2 grados

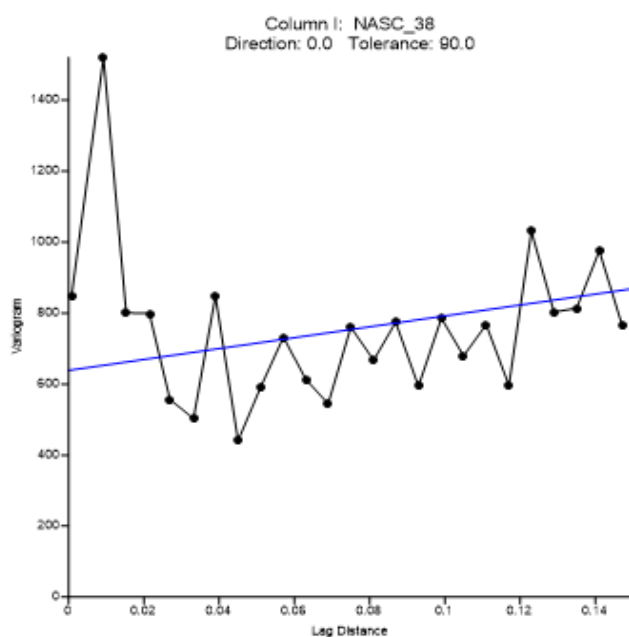


Nota. A partir de ahora empieza la parte “delicada” del procesamiento. Se puede ver en el variograma experimental que la correlación espacial es bastante limitada, y no hay correlación para distancias mayores de 0.5 grados.

En este caso se puede reducir la distancia de observación y precisar los resultados para pequeñas distancias. Calculando pues un variograma para distancias de 0.15 grados máximo, obtenemos el variograma siguiente (Figura I).

Figura I

Variograma experimental con un ángulo de 0.15 grados




Nota. Se puede notar que las correlaciones espaciales en esta base de datos no sobrepasan 0.25 grados.

Es posible afinar la el variograma, para lo cual se abre la ventana “Property Manager-Variogram” (Figura J). La observación del variograma se hace usando las ventanillas de izquierda, en particular “Max lag distance” y “Number of lags”. Se sabe que en general la parte más importante del variograma (la que tiene la mayor información) es la más vecina al origen (distancias más cortas). Usando las funciones del “Property Manager- Variogram”, podemos buscar la figura que nos proporciona la mejor información sobre estas distancias cortas (Figura K).

Figura J

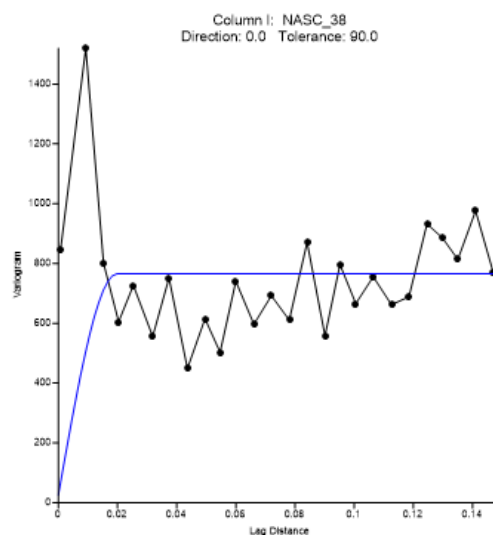
Cuadro de propiedades del Variograma experimental

Property Manager - Variogram	
Experimental Model Statistics Plot Info	
General	
Estimator type	Variogram
Max lag distance	0.15
Number of lags	25
Auto lag width	<input checked="" type="checkbox"/>
Lag width	0.006
Auto vertical scale	<input checked="" type="checkbox"/>
Vertical scale	1520
Lag Direction	
Direction	
Direction	0
Tolerance	90
Step amount	30
Step direction	Step CW
Step direction	Step CCW

Nota. Se puede notar que las correlaciones espaciales en esta base de datos no sobrepasan 0.25 grados.

Figura K

Variograma experimental modelado



Nota. Se puede ver en la figura que a cierto valor promedio en el variograma se da una sucesión de valores que pueden ser modelados en Surfer (línea azul). El modelo muestra que el

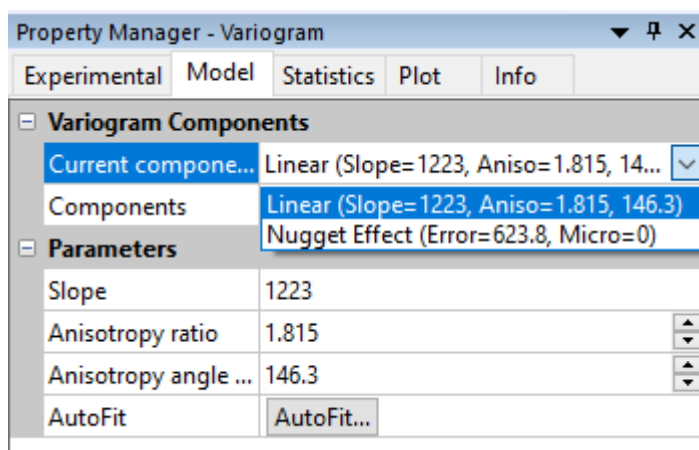
variograma se vuelve asintótico, y el lado izquierdo de la curva demuestra que en estos datos hay una estructura.

- **Cálculo del modelo**

Posteriormente una vez que se tiene una buena comprensión del variograma experimental, la etapa siguiente consiste en seleccionar y ajustar un modelo. Para esto se vuelve a abrir la ventana “Property Manager- Variogram” y su sub-ventana “Model”. El software propone unos modelos por defecto, generalmente un modelo de pepita y un modelo linear (Figura L). En este ejemplo los dos modelos propuestos no representan correctamente el variograma experimental (línea azul sobre el variograma), y es necesario elegir otro(s). Para esto se elimina ambos componentes del modelo linear usando la tecla “remove”. Se añade ahora un modelo esférico “add” y un nuevo efecto pepita (Figura M). Una vez introducidos estos dos modelos, se ajustan los valores de pepita (nugget), meseta (scale) y rango (length) que permitan un ajuste aceptable según los valores del modelo que se precien en surfer (valores pepita, rango y meseta). Igualmente consideramos que un solo modelo esférico (además del efecto pepita) representa correctamente el variograma experimental, ya que no hay correlaciones a grandes distancias, para finalmente obtener el variograma modelo (Figura N).

Figura L

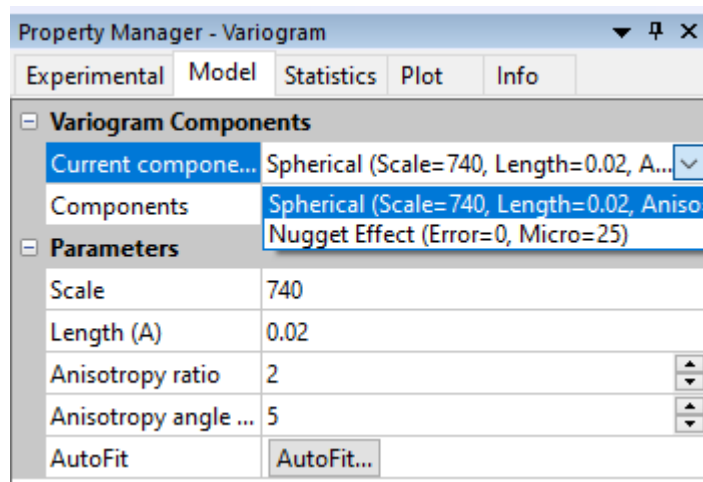
Grid Data Krigging aplicado en Surfer



Nota. En este caso no se considera anisotropía, pero se puede añadir esta característica si aparece necesario, a través de la observación de los valores en el mapa.

Figura M

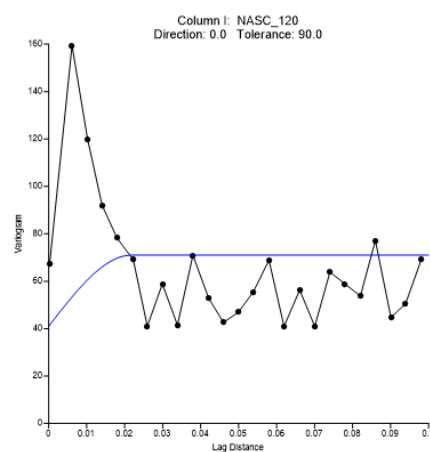
Grid Data Krigging aplicado en Surfer



Nota. Para este caso particular seleccionamos los siguientes valores: pepita = 0, modelo esférico: meseta = 740; rango= 0.02°

Figura N

Variograma modelo final

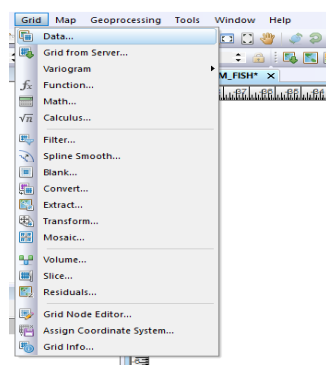


- **Cálculo de la abundancia**

Este paso consiste en construir una grilla de interpolación de los datos usando las informaciones del variograma (modelo). Para esto se abre la ventana “grid” de Surfer para usar la función Data (Figura Ñ). Se llenan las ventanillas (nombre de las variables para los ejes x, y, z; gridding method = “kriging” (Figura O). Posterior a ello se abre la opción “advanced options” donde se colocan los valores del variograma presionando la casilla “get variogram” (Figura P), para lo cual es imprescindible que el variograma que hemos generado esté abierto en Surfer (archivo *.srf).

Figura Ñ

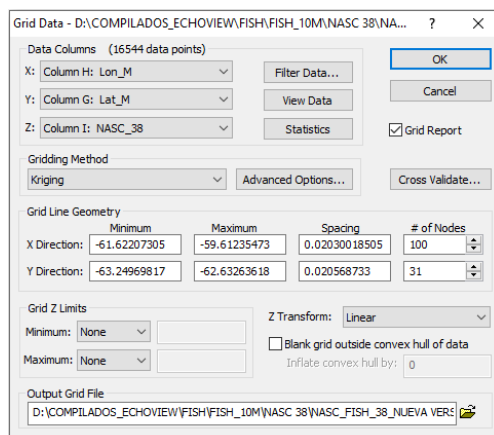
Grid Data Kriging aplicado en Surfer



Nota. Colocamos la opción Grid/ Data para crear la grilla de análisis.

Figura O

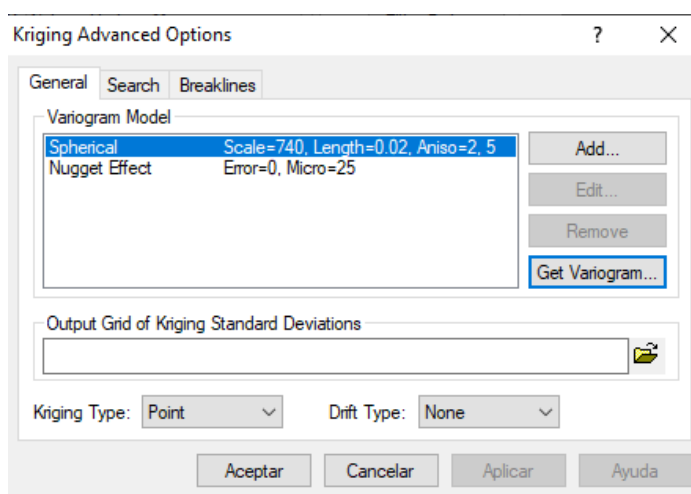
Cuadro de propiedades de Grid Data en Surfer



Nota. En la ventana principal, se puede seleccionar varios ajustes, y en particular la de la longitud de un elemento (Spacing, es decir, el número de nodos en sentido vertical y horizontal que tendrá la grilla resultante) También se pueden introducir filtros, límites geográficos de la grilla, definición de límites de distancias, etc.

Figura P

Cuadro de opciones avanzadas de Kriging en Surfer

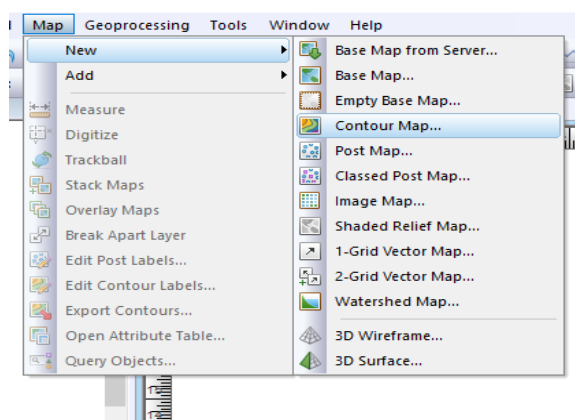


Nota. Para esto previamente se observa dos opciones de pepita y lineal generados automáticamente por el software el cual daremos click en la opción “Remove” para luego dar click a la opción “Get Variogram”.

Una vez interpolada la grilla, conviene delimitar el área de estudio, usando la función “blank” de la ventana Grid. El software pide el nombre de los ficheros de grilla y de “blank” y construye una grilla limitada por el polígono definido anteriormente. A partir de la grilla construida, se puede entonces plotear las densidades por la función “Contour map” del menú Map (Figura Q). Posteriormente obtendremos un mapa previo con la interpolación obtenida con los ajustes del variograma modelo (Figura R).

Figura Q

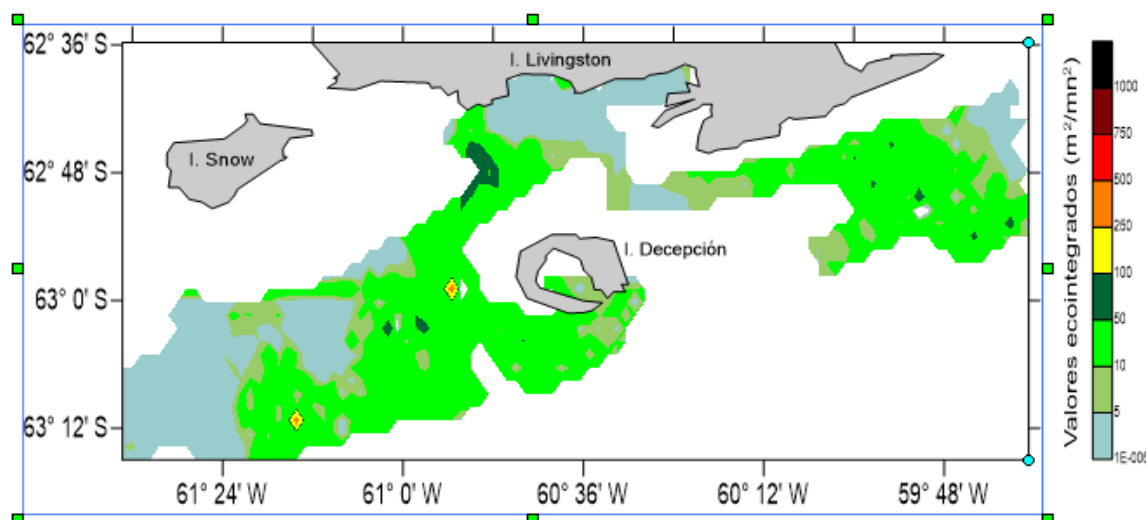
Secuencia para generar el mapa de contornos en Surfer



Nota. Seleccionamos la opción Map/New/ Contour Map.

Figura R

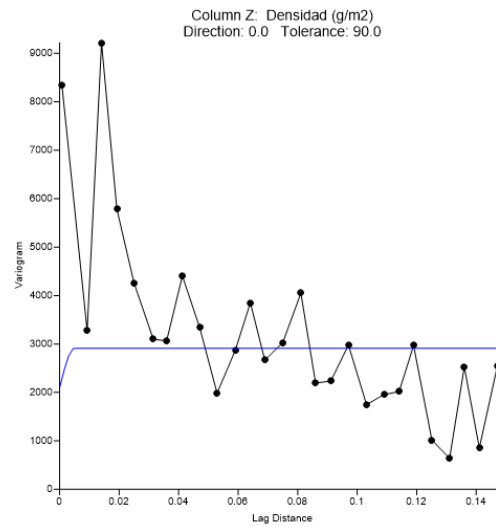
Visualización del mapa obtenido con la interpolación con el ajuste del variograma modelo en Surfer



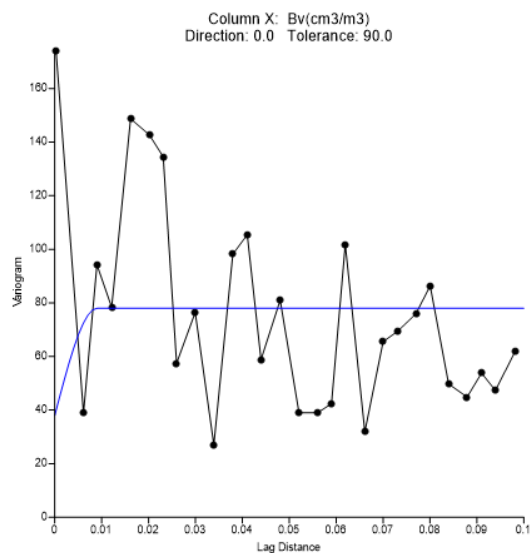
Nota. Se observa el mapa generado con la interpolación con su escala de colores en valores eointegrados (m^2/mn^2) y los polígonos agregados como son las islas Livingston, Snow y Decepción esto para mejorar los detalles de ubicación del mapa, en el lado izquierdo en la sección "Property Manager Map" se podrán observar las opciones para configurar la escala, el formato de coordenadas, el tipo y tamaño de letra, etc.

VARIOGRAMAS DE MAPAS ACÚSTICOS DE MACROZOOPLANCTON Y PECES

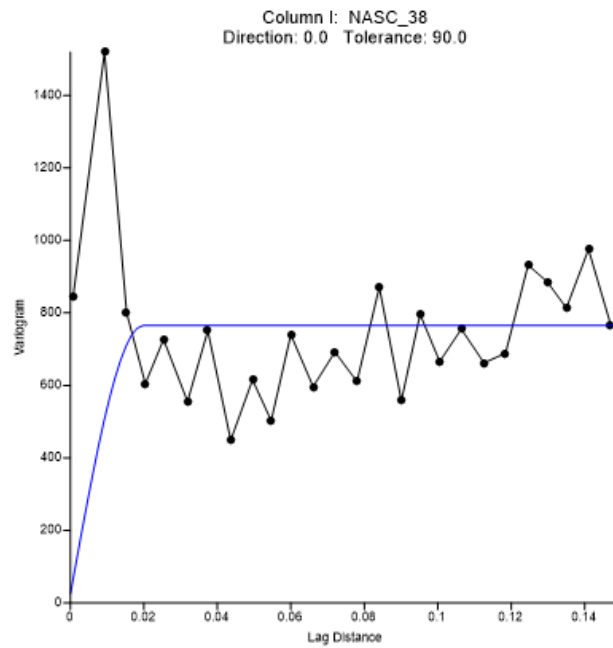
- Variograma del mapa de Densidad acústica de macrozooplancton tipo Fluid-like



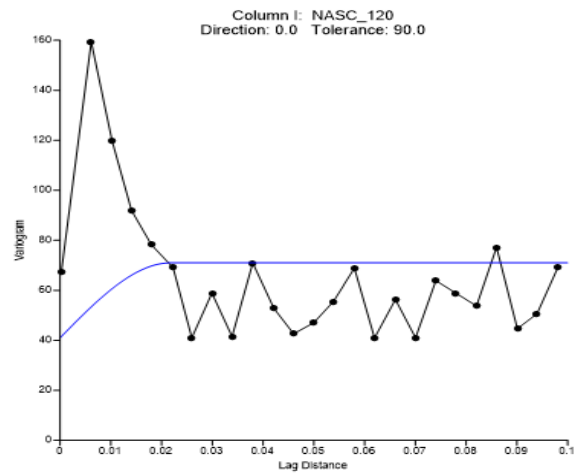
- Variograma del mapa de Biovolumen de macrozooplancton tipo Fluid-like



- Variograma del mapa de Densidad acústica de peces NASC 120 kHz



- Variograma del mapa de Densidad acústica de peces NASC 38 kHz



MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Problema	Preguntas	Hipótesis	Objetivos	Métodos	Datos	Resultados Esperados
<p>La zona ubicada en los alrededores de la Isla Decepción, ubicada al oeste del Estrecho de Bransfield, es una zona volcánica y asimismo es una zona importante de distribución del krill antártico (<i>Euphausia superba</i>), aunque durante las expediciones antárticas peruanas no se ha estudiado al krill en dicha área.</p> <p>Asimismo, para dicha región no existe una investigación que vincule la posible abundancia relativa del krill con las emanaciones del fondo marino. De otro lado, los efectos agregados del cambio climático, más las condiciones volcánicas de la región, justifican el desarrollo de una investigación que permita caracterizar la zona en sus condiciones biogeográficas, a fin de contribuir con los esfuerzos de la comunidad internacional para la conservación</p>	<p>¿Es posible hacer una caracterización acústica de las geoformas y características biogeográficas de los alrededores de la Isla Decepción?</p>	<p>Es posible caracterizar acústicamente los componentes bióticos y no bióticos de los alrededores de la Isla Decepción</p>	<p>Determinar las características térmicas, halinas y oxigenas de la zona en estudio.</p> <p>Determinar la relación entre intensidad de la retrodispersión acústica y el tipo de sedimento</p>	<p>Cartografía de las condiciones térmicas, halinas y oxigenas a diversos estratos de profundidad en la zona de estudio.</p>	<p>Información oceanográfica CDTO</p>	<p>Caracterización oceanográfica de la zona en estudio en varios estratos de profundidad.</p> <p>Batimetría tridimensional de la zona en estudio.</p> <p>Identificación de las geoformas en la zona de estudio.</p>
<p>Asimismo, para dicha región no existe una investigación que vincule la posible abundancia relativa del krill con las emanaciones del fondo marino. De otro lado, los efectos agregados del cambio climático, más las condiciones volcánicas de la región, justifican el desarrollo de una investigación que permita caracterizar la zona en sus condiciones biogeográficas, a fin de contribuir con los esfuerzos de la comunidad internacional para la conservación</p>			<p>Realizar identificación y cuantificación de especies vivas marinas, incluyendo peces, macrozooplancton y zooplancton en general</p>	<p>Diseño y uso de algoritmos de dos frecuencias para separar acústicamente los grupos de organismos.</p>	<p>Datos acústicos monohaz a 38 y 120 kHz</p>	<p>Mapas de distribución de la densidad acústica para peces y macrozooplancton</p>

de los recursos marinos vivos antárticos.						
Asimismo, no se ha cuantificado la abundancia de krill antártico (<i>Euphasia superba</i>) y zooplancton en los alrededores de Isla Decepción, Estrecho de Bransfield, Antártida. Asimismo, no existe una clasificación de tipo de fondos con información acústica monohaz en la zona de estudio.			Detectar y clasificar geoformas	Procesamientos de datos acústicos y análisis geoestadístico para la cuantificación de organismos vivos (38 -120 kHz)	Parámetros de Calibración de la ecosonda científica.	Clasificación de los tipos de fondos Mapas texturales del fondo marino
Por las razones indicadas es conveniente desarrollar una línea de base que facilite el monitoreo futuro de la zona en estudio con propósitos de analizar la variabilidad de las características biogeográficas más resaltantes de la zona, lo cual es relevante para la modelización de escenarios futuros de cambio climático.						