

Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras

Since 1967

Bulletin of Marine and Coastal Research



Serie de Publicaciones Periódicas
Año 2021 • Volumen 50 (Supl. Esp.)

Santa Marta • Colombia

ISSN: 0122-9761
ISSN [Electrónico]: 2590-4671

BOLETÍN DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS

Bulletin of Marine and Coastal Research

(Bol. Investig. Mar. Costeras)

ISSN 0122-9761 | ISSN 2590-4671 (en línea)

La revista científica *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* está dirigida a la comunidad científica y a las personas relacionadas con temas medioambientales en zonas marino-costeras, con particular énfasis en América tropical. Considera para su publicación trabajos inéditos sobre cualquier tópico de investigación en el mar o en ambientes acuáticos de la zona costera, realizados en las áreas tropicales y subtropicales de América. Es editada desde 1967 por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar). Hasta el volumen 8 llevó el nombre de “Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín” y entre los volúmenes 9 y 24 se denominó “Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras”. A partir del año 2008 se publican dos números por volumen anual manteniendo esta periodicidad hasta la fecha. La revista se encuentra indexada en Web of Knowledge, SciELO-Colombia, en Scopus (ubicándose en el Q4 del Scimago Journal Ranking (SJR) en la categoría “Animal Science and Zoology”) y recientemente en Publindex.

El Boletín es una publicación completamente **bilingüe** (inglés y español) de **libre acceso**, que puede ser consultada en www.invemar.org.co/boletin y que es distribuida nacional e internacionalmente a través del sistema de canje y donación. Las instrucciones a los autores para la preparación y el envío de manuscritos se encuentran en las últimas páginas de este número y en el portal de Internet.

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* se acoge a normas éticas para la publicación de documentos científicos, en particular, a la evaluación por pares (simple ciego) de todos los manuscritos aceptados. Así mismo, se espera que todos los autores hagan seguimiento de un código ético que garantice el avance de la ciencia y la protección del ambiente natural.

.....

The scientific journal Bulletin of Marine and Coastal Research is written for the science community and any person interested in environmental issues in marine and coastal areas, with emphasis in the tropical Americas region. It considers unedited works about research topics on the sea or coastal aquatic environments, undertaken in the tropical and subtropical areas of the Americas. It has been edited since 1967 by the Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar) (Marine and Coastal Research Institute). Volumes 1-8 were named “Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín” and between volumes 9 and 24 it was called “Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras”. Since 2008, the journal has published two issues per annual volume.

The journal is indexed in Web of Science, SciELO-Colombia, Scopus (in Q4 of Scimago Journal Ranking (SJR) on Animal Science and Zoology category) and currently on Publindex..

The Bulletin is a bilingual (English and Spanish) and an open access publication, which can be consulted on www.invemar.org.co/boletin and it is also distributed nationally and internationally through exchange and donation systems. Instructions to authors for preparation and submission of manuscripts are in the final pages of this issue and in our website.

The Bulletin of Marine and Coastal Research is based on ethical standards for the publications of scientific documents, in particular about peer review process (single peer review) of all accepted manuscripts. In the same way, The Bulletin expects an ethic code from authors as a guaranty of science advance and natural environment protection.



Director general / General Director

Francisco A. Arias Isaza, Ph. D.

Director de la revista / Journal Director

Jesús A. Garay, M. Sc.



Director del Programa Antártico Colombiano /
Director of The Colombian Antarctic Program

Juan Camilo Forero Hauzeur, Capitán de Navío / Captain

Editor general / Editor-in-Chief

Arturo Acero P., Ph.D.

Universidad Nacional de Colombia sede Caribe (Cecimar), Colombia

Editor general invitado / Guest Editor-in-Chief

Alan Giraldo, Ph. D.

Universidad del Valle, Colombia

Comité editorial de este número / Guest Editorial Board for this issue

Arturo Acero P., Ph.D.

Universidad Nacional de Colombia sede Caribe (Cecimar), Colombia

0000-0002-6637-9901

Alan Giraldo, Ph. D.

Universidad del Valle, Colombia

0000-0001-9182-888X

Nancy Villegas, Ph. D.

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

0000-0003-3932-2106

Mario Londoño, Ph. D.

Universidad de Antioquia, Colombia

0000-0001-5089-6472

Constanza Ricaurte, Ph. D.

Invemar, Colombia

0000-0003-1554-4994

Jefe de Comunicación Científica / Head of Scientific Communication Team

Isabela Katime Arroyave

Invemar, Colombia

Asistente del comité editorial / Editorial Board Professional

Isabela Katime (2019)

Nesly Melissa Bello (2020)

Angie Vásquez Salas (2021)

Tatiana Gómez Orgullosa (2021)

Invemar, Colombia

Imágenes de portada / Cover Images

Especies: Pingüinos, Nancy Villegas, Universidad Nacional de Colombia;

León Marino, Mario Londoño, Universidad de Antioquia;

ARC 20 de Julio: Francisco Arias-Isaza, Invemar

Traducción / Translation

Springer

Diagramación y montaje / Layout and Assembly

John Khatib (Ediprint SAS)

Comité científico / Scientific Board

Adolfo Sanjuan Muñoz, <i>M. Sc.</i> ID 0000-0002-4786-862X	Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, sede Santa Marta, Colombia
Alfredo Gómez Gaspar, <i>M. Sc.</i> ID 0000-0002-2430-2738	Museo Marino de Margarita y Universidad de Oriente (Nueva Esparta), Venezuela
Efraín Rodríguez Rubio, <i>Ph. D.</i> ID 0000-0002-1150-3194	Centro de Innovación y Tecnología-ICP y Ecopetrol, Colombia
Gloria E. Sánchez, <i>Ph. D.</i>	Universidad de Magallanes, Chile
Juan Manuel Díaz, <i>Dr.rer.nat.</i> ID 0000-0002-2026-6522	Fundación Marviva, Colombia
Klaudia Hernández, <i>Ph. D.</i> ID 0000-0002-8490-2882	Universidad Andrés Bello, Chile
Marie Luise Schnetter, <i>Dr.rer.nat.</i>	Justus-Liebig-Universität Gießen, Alemania
Mónica Puyana, <i>Ph. D.</i> ID 0000-0001-7600-3118	Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
Yves François Thomas, <i>Ph. D.</i> ID 0000-0003-1896-0774	Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Francia

Evaluaadores de este número / Reviewers for this issue

Maribel Bailón, <i>Bfga.</i>	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Sonia Sánchez, <i>MSc.</i>	Instituto del Mar – IMARPE, Perú
Heiber Cárdenas, <i>Dr.</i>	Universidad del Valle, Colombia
Julio Cesar Herrera, <i>Dr.</i>	Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Prajvala Kutakoti, <i>PhD.</i>	Texas A&M University, Estados Unidos
Luis Pareja Román, <i>PhD.</i>	Rotgers University, Estados Unidos
Diana Díaz Guevara, <i>MSc.</i>	Universidad Jorge Tadeo Lozano, Colombia
Javier Díaz Ochoa, <i>PhD.</i>	Universidad de Magallanes, Chile
Carlos Ríos, <i>Dr.</i>	Universidad de Magallanes, Chile
Damián Gil, <i>Dr.</i>	Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina
Tarsicio Antezana, <i>PhD.</i>	Asociación para la defensa del ambiente y la cultura de Chiloe, Chile
Jaime Gómez-Gutiérrez, <i>Dr.</i>	Instituto Politécnico Nacional, México
Albert Palanques, <i>PhD.</i>	Instituto de Ciencias Marinas – CSIC, España
Juan M. Lirio, <i>Dr.</i>	Instituto Antártico Argentino, Argentina
Lizette Quan Young, <i>Dr.</i>	Universidad CES, Colombia
Brigitte Gavio, <i>PhD.</i>	Universidad Nacional de Colombia, Colombia
Jesús Ángel de León, <i>Dr.</i>	Universidad Autónoma de Nuevo León, México
Julio Parapar Vegas, <i>Dr.</i>	Universidad de La Coruña, España
Elie Poulin, <i>Dr.</i>	Universidad de Chile, Chile
Juan Manuel Daza, <i>PhD.</i>	Universidad de Antioquia, Colombia
Rebeca Gasca, <i>Dr.</i>	El Colegio de La Frontera Sur, México
Mario Londoño, <i>PhD.</i>	Universidad de Antioquia, Colombia
Mónica Puyana, <i>PhD.</i>	Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
Adriana Gracia, <i>Dr.</i>	Universidad del Atlántico, Colombia

Canje / Exchange

Centro de Documentación / Documentation Center (CDO) • E-mail: bibliote@invemar.org.co

Distribución / Distribution

Asistente del comité editorial / Editorial Board Professional • E-mail: boletin@invemar.org.co
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar)
Calle 25 # 2-55, Playa Salguero • Santa Marta, Colombia

Boletín en línea / Online Bulletin

www.invemar.org.co/boletin

Derechos reservados conforme a la ley
El Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras está bajo la licencia de Creative Commons
Atribución-No comercial-Compartir igual 4.0 Internacional

All rights reserved by law
The Bulletin of Coastal and Marine Research is under Creative Commons license
BY-NC-SA 4.0



Citar los artículos / Citation Style:
Autores. 2021. Título del artículo. Bol. Invest. Mar. Costeras, 50(Supl. Esp.): rango de páginas.
Authors. 2021. Title of article or note. Bull. Cost. Mar. Res., 50(Spec. Suppl.): page range.

BOLETÍN DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS

Bulletin of Marine and Coastal Research

(Bol. Investig. Mar. Costeras)

Registrado en SCOPUS, Publindex, Biological Abstracts, Biosis Previews,
Periódica, Zoological Record, Latindex, Scielo-Colombia
DOAJ e ISI Web of Knowledge

50 (Supl. Esp.)



**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
“José Benito Vives de Andrés”**

Vinculado al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Santa Marta, Colombia, 2021

La Antártica ha sido siempre motivo de importantes exploraciones científicas y aventuras, que ha exigido a aquellos que la han querido conquistar. Fue llamada por los exploradores del siglo XIX Terra Australis Incognita, y aunque su existencia y ubicación era desconocida se tenía la creencia que “equilibraba” la tierra del hemisferio norte, siendo hasta 1820 que el continente blanco fue descubierto por Fabian von Bellingshausen y Edward Bransfield, y desde ese momento el continente antártico ha sido de interés universal. El espíritu que ha mantenido el Tratado Antártico desde sus orígenes reconoció su papel protagónico para la estabilidad del planeta. Resolver intereses sobre regiones antárticas, propender por el avance en el conocimiento a través de la cooperación internacional, fomentar un escenario de Paz e investigar sus funciones reguladoras e influyentes en esa estabilidad climática y los cambios que esto genera en los ecosistemas marinos, han constituido prioridades para la ciencia marina.

Debido a la importancia geopolítica, geoestratégica y de conservación que tiene el -continente blanco-, como también se le conoce, se incluyó en el CONPES “Colombia potencia bioceánica”, el fortalecimiento de la investigación científica en la Antártica, con el fin de entender la conexión del país con los océanos de interés nacional y la consecución de recursos para continuar con esos estudios. Lo que sucede en la Antártica repercute incluso en las zonas costeras de nuestro país, reconociendo las conexiones que van desde el desplazamiento de las ballenas jorobadas, el ascenso en el nivel del mar, producto del deshielo de los polos, hasta los efectos generados por las actividades turísticas que pueden poner en riesgo los ecosistemas de una de las regiones más áridas y frías del mundo.

En virtud de lo anterior, desde el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, Invemar, y la Comisión Colombiana del Océano, CCO, aunamos esfuerzos para publicar y entregar a la comunidad científica del mundo este número especial del Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras dedicado a la investigación en la Antártica. Este número, con trece (13) manuscritos a bordo recorre los resultados investigativos de científicos latinoamericanos y en especial colombianos participantes de las primeras cinco campañas de expedición de nuestro país al continente antártico. Aquí, se abordan temáticas diversas que van desde caracterizaciones de radionúclidos en los sedimentos marinos, pasando por identificación de florecimientos fitoplanctónicos, flujos de sedimento glaciomarino, estudios taxonómicos y el impacto que produce el aumento de la temperatura.

Esperamos que este insumo sea solo un punto de partida y referencia para que las iniciativas e investigaciones que se lideran desde el Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos sigan su cauce. Además que permita estrechar los lazos de colaboración y se refuercen los vínculos entre científicos latinoamericanos y del mundo, ya que trabajar en este lugar tan hostil como Antártica, lo amerita. El progreso de la ciencia marina en un Decenio donde el Océano es protagonista, nos invita a persistir y propiciar este tipo de escenarios para avanzar hacia el conocimiento y entendimiento de los ecosistemas fundamentales para la vida en el planeta.

Francisco A. Arias Isaza
Director general Invemar

La edición especial de este boletín es un excelente documento de consulta y reafirma el compromiso de nuestros investigadores y científicos en su ardua labor de conocer el continente blanco. Es importante resaltar que la Antártica al concentrar cerca del 70 % de agua dulce del planeta y el 90 % de hielo terrestre, es considerado uno de los principales reguladores del clima y los océanos globales. De igual forma, es un territorio con una gran biodiversidad de fauna y flora, lo cual ofrece grandes oportunidades para el desarrollo de investigaciones en biotecnología con usos comerciales, así como una potencial fuente de bienes y servicios para el beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Para Colombia, desarrollar investigaciones en la Antártica representa un sinnúmero de oportunidades para mejorar las operaciones marinas, submarinas y terrestres en este territorio, así como lo revelan las páginas de este boletín, el cual ha convocado eminencias nacionales para que compartan con la comunidad científica algunos de los logros más importantes de la ciencia colombiana y que gracias al Programa Antártico Colombiano – PAC se ha venido fortaleciendo desde el año 2014, cuando por primera vez el país llegó al continente blanco con un buque propio, el ARC “20 de Julio”.

Sin lugar a dudar es objetivo de los autores evidenciar el avance de sus investigaciones científicas de alta calidad y, por ende, aumentar el conocimiento de la Antártica a partir del desarrollo de investigaciones en las áreas de oceanografía, biología marina, climatología, meteorología, geología, biogeografía e hidrografía, lo cual significa para Colombia estar frente a la posibilidad de generar en el corto, mediano y largo plazo un beneficio significativo para su población, especialmente para aquellas asentadas en los territorios marino costeros.

Así mismo, es importante resaltar el trabajo de los más de cien investigadores nacionales que se han vinculado a las siete expediciones científicas de Colombia a la Antártica, una razón más para continuar fortaleciendo el estudio de este majestuoso Continente, e invitar a las nuevas generaciones para que se vinculen a las expediciones y por ende sean ellos los autores de los artículos del Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. Finalmente agradecer el espacio de esta edición especial, la cual se convierte en un orgullo para Colombia y el PAC al haber dedicado sus páginas exclusivamente a la Antártica.

Capitán de Navío **Juan Camilo Forero Hauzeur**
Director del Programa Antártico Colombiano

TABLA DE CONTENIDO / CONTENTS

ARTÍCULOS / ARTICLES

Mary Luz Cañón Páez, Eduardo Santamaría del Ángel

Identificación de florecimientos fitoplanctónicos en el estrecho de Gerlache, Península Oeste Antártica

Identification of phytoplankton blooms in the Gerlache Strait, West Antarctic Peninsula. 13

**Susana Caballero, Debbie Steel, Logan Pallin, Natalia Botero-Acosta, Fernando Felix, Carlos Olavarría,
María Claudia Diazgranados, Sandra Bessudo, Ari Friedlander y C. Scott Baker**

Conexión migratoria entre zonas de cría del Pacífico Este y áreas de alimentación en la Península Antártica basado en coincidencias de genotipos individuales

Migratory connections among breeding grounds off the Eastern Pacific and feeding areas

in the Antarctic Peninsula based on genotype matching. 31

Jhon F. Mojica, David M. Holland, Julio Monroy

Características de mezcla de mesoescala en las bahías del Estrecho de Gerlache (Antártida)

Submeso-scale Mixing Features in the Gerlache Strait Bays (Antarctica). 41

**Diego F. Mojica-Moncada, Carlos Cárdenas, Jhon F. Mojica-Moncada, Fabian Brondi, Dalia C. Barragán-Barrera,
Cedomir Marangunic, David Holland⁵, Andrés Franco Herrera y Gino Casassa**

Estudio del glaciar Lange y su impacto debido al aumento de temperatura en la bahía Almirantazgo, isla Rey Jorge, Antártica

Study of the Lange Glacier and its impact due to temperature increase in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica 59

Giomar H. Borrero-Pérez y Daniela Yepes-Gaurisas

Lista anotada e ilustrada de los equinodermos recolectados durante las expediciones científicas colombianas a la Antártica (2016-2019)

Annotated and illustrated list of echinoderms collected during the Colombian scientific expeditions to the Antarctica (2016-2019) 85

Víctor Raul Poma-Llantoy, Pablo Antonio Mendoza-Hidalgo y Constanza Ricaurte-Villota

Caracterización de radionúclidos en los sedimentos marinos del monte submarino Orca, bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar

Characterization of radionuclides in the marine sediments of Orca Seamount, Admiralty Bay, and Mackellar Cove 109

Marisol Rivera-Gómez, Alan Giraldo y Diego F. Mojica-Moncada

Ensamblaje de eufáusidos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (península Antártica) durante enero 2015

Epipelagic euphausiids assemblage in the Gerlache Strait (Antarctic Peninsula) during January 2015. 129

Cristian Rodrigo, Andrés Varas-Gómez, César Grisales, Diana Quintana-Saavedra y Ricardo Molares

Flujos de sedimento glaciomarino en pequeñas bahías de la costa de Danco, península Antártica

Glacimarine sediment flows in small bays on the Danco Coast, Antarctic Peninsula 149

Edgar Fernando Dorado-Roncancio y Cristina Cedeño-Posso

Copépodos, hidromedusas y sifonóforos: diversidad y distribución en el estrecho de Gerlache, Península Antártica

Copepods, hydromedusae and siphonophores: Diversity and distribution in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula. 169

Adriana Osorno-Arango y Jaime Cantera-Kintz

Moluscos bentónicos recolectados en la Antártida occidental durante las expediciones “Caldas”, “Almirante Padilla” y “Almirante Campos” en los veranos australes de 2014-2015, 2016-2017 y 2018-2019

Benthic molluscs collected in Western Antarctica during the “Caldas”,

“Admiral Padilla” and “Admiral Campos” expeditions, southern summers 2014-2015, 2016-2017 and 2018-2019. 187

NOTAS / NOTES

Natalia Rincón-Díaz, Erasmo Macaya y Sara E. Guzmán-Henao

Aportes al conocimiento de las macroalgas del estrecho de Gerlache - Antártica
Contributions to the knowledge of macroalgae of the Gerlache Strait - Antarctica 213

Catalina Arteaga-Flórez y Maryela Bolaño-Lara

Poliquetos bentónicos recolectados en la III Expedición “Almirante Padilla” verano austral 2016-2017, al norte de la península Antártica
Benthic polychaetes collected in the III Expedición “Admiral Padilla” Austral Summer 2016-2017, to the north of the Antarctic Peninsula 221

Laura Valentina Hernández-Ardila, Dalia C. Barragán-Barrera, Javier Negrete, Sebastián Poljak, Federico G. Riet-Sapriza, Susana Caballero

Observaciones sobre la diversidad genética de la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) a partir del análisis de ADN mitocondrial, en la costa de Danco, península Antártica
Insights into the genetic diversity of the leopard seal (*Hydrurga leptonyx*), inferred from mitochondrial DNA analysis, at Danco Coast, Antarctic Peninsula. 227

Información de publicaciones científicas / Scientific publications information 239

Guía de autores / Author's guide 243

Ética de publicación / Publication ethics 248

Este suplemento especial contó con el apoyo de:
This special supplement was supported by:





Identificación de florecimientos fitoplanctónicos en el estrecho de Gerlache, Península Oeste Antártica

Identification of phytoplankton blooms in the Gerlache Strait, West Antarctic Peninsula

Mary Luz Cañón Páez^{1,2,3*}, Eduardo Santamaría del Ángel²

1. Dirección General Marítima. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena, Colombia. mcanonpaez@dimar.mil.co

2. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada 22860, México; santamaria@uabc.edu.mx

3. Alumna de doctorado en el programa de Oceanografía Costera de la Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada 22860, México.

* Autor de correspondencia.

RESUMEN

Con la finalidad de identificar florecimientos fitoplanctónicos, se utilizó el índice de propiedades ópticas inherentes ($POI_{\text{índice}}$) en muestras de agua de la superficie y el máximo de clorofila-a (MPC) que fueron tomadas en la Tercera (enero de 2017) y en la Cuarta Expedición (enero 2018) de Colombia a la Antártida en el Estrecho de Gerlache (EG). El $POI_{\text{índice}}$ se calculó partir de las anomalías espaciales estandarizadas de los coeficientes de absorción del fitoplancton, el detritus y la materia orgánica disuelta coloreada (CDOM) usando la longitud de onda 443. Además, se calculó el índice de tamaño del fitoplancton mediante la razón Azul / Rojo y este se relacionó con el $POI_{\text{índice}}$ para determinar la estructura de tamaño del fitoplancton responsable de los florecimientos. En 2017 se identificó a cuatro estaciones en condiciones de florecimiento, siendo dos superficiales y dos subsuperficiales; a tres estaciones en condiciones de descenso del florecimiento y a doce en condiciones de no florecimiento, con una estructura de tamaño diversa donde predominaron poblaciones del micro, nano y del picofitoplancton. En 2018 dos estaciones se identificaron en condiciones de florecimiento, siendo uno superficial y otro subsuperficial; a dos en condiciones de descenso del florecimiento y nueve en condiciones de no florecimiento, la estructura de tamaño que dominó los florecimientos fue el microfitoplancton. Con el $POI_{\text{índice}}$, se observaron en las dos expediciones condiciones subsuperficiales de florecimientos, probándose además su efectividad para florecimientos generados por condiciones naturales o estacionales en diferentes profundidades de la columna de agua.

PALABRAS CLAVES: Coeficientes de absorción, Índice Bio-óptico de florecimientos fitoplanctónicos, Índice de tamaño, Estrecho de Gerlache, fitoplancton.

ABSTRACT

In order to identify phytoplankton blooms, the inherent optical properties index ($IOP_{\text{índice}}$) was used in surface water samples and the maximum chlorophyll-a (MPC) that were taken in the Third (January 2017) and in the Fourth Expedition (January 2018) from Colombia to Antarctica in the Gerlache Strait (EG). The $IOP_{\text{índice}}$ is calculated from the standardized spatial anomalies of the phytoplankton, detritus and colored dissolved organic matter (CDOM) absorption coefficients using wavelength 443. In addition, the phytoplankton size index was calculated using the Blue / Red ratio and this related to the $IOP_{\text{índice}}$ to determine the size structure of the phytoplankton responsible for the blooms. In 2017, four stations were identified under bloom conditions, where two were superficial blooms and two subsurface bloom; to three in conditions of decrease of the bloom and to twelve in conditions of non-bloom, with a structure of diverse size where populations of the micro, nano and the picophytoplankton predominated. In 2018, two stations were identified in bloom conditions, being one superficial bloom and the other subsurface bloom; to two in conditions of decrease in bloom and nine in conditions of non-bloom, the size structure that dominated the blooms was microphytoplankton. With the $IOP_{\text{índice}}$, subsurface bloom conditions were observed in both expeditions, also proving their effectiveness for blooms generated by natural or seasonal conditions at different depths of the water column.

KEYWORDS: Absorption coefficients, Inherent optical properties index, Size index, Gerlache Strait, Phytoplankton.

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.SuplEsp.922>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

El fitoplancton marino requiere nutrientes y luz para su crecimiento. En el caso de la luz, la señal es absorbida o dispersada por los componentes presentes en el agua como son: la materia orgánica disuelta coloreada (CDOM); las partículas (fitoplancton y detritus) y el agua de mar ópticamente pura. Según Kirk (2011), a estas propiedades se les conoce como propiedades ópticas y se especifican en términos del coeficiente de absorción o dispersión. Fueron referidas por Preisendorfer (1961) como propiedades ópticas inherentes (POI), porque su magnitud depende solo de las sustancias presentes en el medio acuático y no de la estructura geométrica de los campos de luz que pueden penetrar en la columna de agua (Mobley, 1994; Kirk, 2011). La ciencia que se encarga de estudiarlos es la óptica hidrológica, que es una parte de la física que estudia el comportamiento de la luz en el agua (Kirk, 1994).

Las POI han sido utilizadas en la validación de productos satelitales de color del océano (IOCCG, 2006; Brewin *et al.*, 2015). Estos componentes absorben la luz en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético (Sathyendranath y Morel, 1983), permitiendo diferenciar espectros de absorción que para el caso del agua registra mayor absorción en el rojo, para el CDOM en el ultravioleta-visible y para el material particulado como el fitoplancton en el azul (Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018a).

Cambios en el color del océano es posible medirlos a través de técnicas tradicionales (muestreo *in situ*) (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015; Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018a) o plataformas satelitales (Aguilar Maldonado *et al.*, 2018b; Aguilar-Maldonado *et al.*, 2019). En el caso de los muestreos tradicionales, son escasos los programas de bases de datos de propiedades ópticas (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015), mientras que los métodos con plataformas satelitales de color del océano, se han preocupado por incorporar nuevos productos para entender las características de absorción, dispersión del agua y sus constituyentes (Aguilar-Maldonado *et al.*, 2019), pese a que en sus inicios las misiones estaban orientadas solamente a la determinación de la concentración de Clorofila-*a* (Ch-*a*) en los océanos (Arnone *et al.*, 2006; IOCCG, 2015).

Dentro de los eventos documentados, que cambian el color del océano, están los florecimientos del fitoplancton, los cuales responden a eventos naturales o estacionales y juegan un papel importante en los balances ecológicos locales (Falkowski y Raven, 2007). Cuando un florecimiento

INTRODUCTION

Marine phytoplankton required nutrients and light for their growth. In the case of light, the signal is absorbed or dispersed by the components present in water, such as colored dissolved organic matter (CDOM); particulates (phytoplankton and detritus), and optically pure seawater. According to Kirk (2011), these properties are known as optical properties and are specified in terms of the absorption or dispersion coefficient. They were referred to by Preisendorfer (1961) as inherent optical properties (IOPs) because their magnitude depends only on the substances present in the aquatic environment and not on the geometric structure of the light fields that can penetrate the water column (Mobley, 1994; Kirk, 2011). The science that is in charge of studying them is hydrological optics, which is a part of physics that studies the behavior of light in water (Kirk, 1994).

IOPs have been used in the validation of ocean color satellite products (IOCCG, 2006; Brewin *et al.*, 2015). These components absorb light at different wavelengths of the electromagnetic spectrum (Sathyendranath and Morel, 1983), allowing differentiation of absorption spectra that in the case of water, it registers greater absorption in red, for CDOM in ultraviolet-visible and particulate material such as phytoplankton in the blue (Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018a).

Changes in ocean color can be measured through traditional techniques (in situ sampling) (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015; Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018a) or satellite platforms (Aguilar Maldonado *et al.*, 2018b; Aguilar-Maldonado *et al.*, 2019). In the case of traditional samplings, there are few optical properties database programs (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015), while methods with ocean color satellite platforms have been concerned with incorporating new products to understand the characteristics of absorption, dispersion of water and its constituents (Aguilar-Maldonado *et al.*, 2019), although in the beginning the missions were oriented only to the determination of the concentration of Chlorophyll-*a* (Ch-*a*) in the oceans (Arnone *et al.*, 2006; IOCCG, 2015).

Within the documented events, which change the color of the ocean, are the phytoplankton blooms, which respond to natural or seasonal events and play an important role in local ecological balances (Falkowski and Raven, 2007). When a bloom occurs, depending on the dominant group that generates it, the color can change

ocurre, dependiendo del grupo dominante que lo genera puede cambiar el color desde un verde brillante a rojo o café oscuro (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015). El color del florecimiento es resultado de los pigmentos contenidos dentro de las células del fitoplancton, aunado a otros factores como los sedimentos, la CDOM y cualquier otro compuesto presente en la parcela de agua (Barocio-León *et al.*, 2006).

Los florecimientos fitoplanctónicos es posible caracterizarlos con métodos diferentes a los tradicionales, Santamaría-del-Ángel *et al.* (2015) propusieron el uso de un índice de POIs para detectar florecimientos en aguas ópticamente complejas. Este $POI_{\text{índice}}$ se calcula a partir de las anomalías estandarizadas espaciales de los coeficientes de absorción del fitoplancton (a_{phy}), de la materia orgánica disuelta coloreada (a_{CDOM}) y de los detritos (a_{d}), utilizando la longitud de onda (λ) 443 nm. Además, considera el análisis de funciones empíricas ortogonales (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2011) y puede clasificar las estaciones en estado de florecimiento y de no-florecimiento.

En la Antártida los florecimientos se desarrollan desde la primavera hasta el verano austral. Investigaciones realizadas en los 70's (Holm-Hansen *et al.*, 1989), demostraron que la mayoría de las masas de agua oceánicas antárticas predominaban con bajas biomásas fitoplanctónicas, donde la fracción del microfitoplancton era mucho más baja que la del nanofitoplancton, pero en las zonas costeras esta biomasa aumentaba. Cambios en la composición del fitoplancton en la Península Oeste Antártica (POA), de grandes diatomeas (Rodríguez *et al.*, 2002) a pequeños criptofitos (Mendes *et al.*, 2018) ha generado consecuencias en los niveles tróficos superiores (Mendes *et al.*, 2013). Hasta la fecha, con POI no se ha documentado para esta área condiciones de florecimientos, sino que se han realizado a través de plataformas satélites usando como indicador a la concentración de Chl-*a* (Gonçalves-Araujo *et al.*, 2015) y bases de datos *in situ*, con lo cual se detectaron ciclos de cinco años (Kim *et al.*, 2018) en los aumentos de la biomasa del fitoplancton.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue caracterizar florecimientos del fitoplancton en el EG mediante el $POI_{\text{índice}}$ propuesto por Santamaría-del-Ángel *et al.* (2015). Para esto se consideraron estaciones superficiales y en el MPC en 2017 y en 2018, cada año y profundidad fueron considerados por separado. Además, se relacionó el $POI_{\text{índice}}$ con la estructura de tamaño (picofitoplancton, nanofitoplancton o microfitoplancton), para identificar la fracción de tamaño del fitoplancton responsable de los florecimientos, aspecto hasta la fecha no abordado en esta área geográfica de estudio.

from a bright green to red or dark brown (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015). The color of the bloom is the result of the pigments contained within the phytoplankton cells, together with other factors such as sediments, CDOM, and any other compound present in the water plot (Barocio-León *et al.*, 2006).

Phytoplankton blooms can be characterized with methods other than the traditional ones, Santamaría-del-Ángel *et al.* (2015) proposed the use of a IOP_{index} to detect blooms in optically complex waters. This IOP_{index} is calculated from the spatial standardized anomalies of the absorption coefficients of phytoplankton (a_{phy}), of the colored dissolved organic matter (a_{CDOM}), and the detritus (a_{d} , non-algal particles), using the wavelength (λ) 443 nm. It also considers the analysis of orthogonal empirical functions, following the criteria outlined by Santamaría-del-Ángel *et al.* (2011) and can classify the stations under conditions of bloom or non-bloom.

In Antarctica, blooms develop from spring to summer. Research carried out in the '70s (Holm-Hansen *et al.*, 1989), showed that most of the Antarctic oceanic water masses predominated with low phytoplankton biomasses, where the fraction of micro-phytoplankton was much lower than that of nanophytoplankton, but in the coastal areas this biomass increased. Changes in the composition of phytoplankton in the West Antarctic Peninsula (WAP), from large diatoms (Rodríguez *et al.*, 2002) to small cryptophytes (Mendes *et al.*, 2018) have generated consequences in the upper trophic levels (Mendes *et al.*, 2013). To date, with IOPs, bloom conditions have not been documented for this area, but have been carried out through satellite platforms using the concentration of chlorophyll-*a* (Chl-*a*) as an indicator (Gonçalves-Araujo *et al.*, 2015) and *in situ* databases, with which five-year cycles (Saba *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2018) were detected in the increases in phytoplankton biomass.

Therefore, the objective of this work was to characterize blooms of phytoplankton in the EG using the IOP_{index} proposed by Santamaría-del-Ángel *et al.* (2015). For this, surface stations were considered and in the MPC in 2017 and 2018, each year and depth was considered separately. Also, the IOP_{index} was related to the size structure (picophytoplankton, nanophytoplankton or microphytoplankton), to identify the size fraction of the phytoplankton responsible for the blooms, an aspect not addressed to date in this geographical area of study.

ÁREA DE ESTUDIO

El EG está localizado en la zona costera de la Península Oeste Antártica y al norte del Archipiélago de Palmere (García *et al.*, 2002; Varela *et al.*, 2002), es una cuenca poco profunda limitada al oeste por las islas Anvers y Brabant y al este con la Península Antártica Norte. Está conectado al norte con el Estrecho de Bransfield y al mar de Bellingshausen a través de dos canales estrechos, en el centro por el canal de Schollaert y en el sur por el de Bismarck (Kerr *et al.*, 2018). Se consideran que es una extensión en dirección oeste de la Cuenca Occidental del Estrecho de Bransfield (García *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2002) (Fig. 1).

Estudios de circulación (Doval *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002; Sagra *et al.*, 2011) en el EG indican la incidencia de masas de agua de los Mares de Weddell, Bellingshausen y el Drake. Las masas de agua que predomina son aguas zonales transicionales con influencia del Mar de Bellingshausen (TBW) que fluyen a través de diferentes vías como el Estrecho de Bismarck y Dalman a través de la Bahía del Canal de Shorlaert y aguas zonales transicionales con influencia del Mar de Weddell (TWW) (García *et al.*, 2002).

STUDY AREA

The EG is located in the coastal zone of the Western Antarctic Peninsula and north of the Palmer Archipelago (García *et al.*, 2002; Varela *et al.*, 2002), it is a shallow basin limited to the west by the Anvers and Brabant islands and the East with the North Antarctic Peninsula. It is connected to the north with the Bransfield Strait and the Bellingshausen Sea through two narrow channels, in the center by the Schollaert Canal and the south by the Bismarck Canal (Kerr *et al.*, 2018). They are considered to be a westward extension of the Western Basin of the Bransfield Strait (García *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2002) (Fig. 1).

Circulation studies (Doval *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002; Sagra *et al.*, 2011) in the EG indicate the incidence of water bodies from the Weddell, Bellingshausen, and Drake Seas. The predominant water bodies are transitional zonal waters influenced by the Bellingshausen Sea (TBW) that flow through different pathways such as the Bismarck and Dalman Straits through the Shorlaert Channel Bay and transitional zonal waters influenced by the Weddell Sea

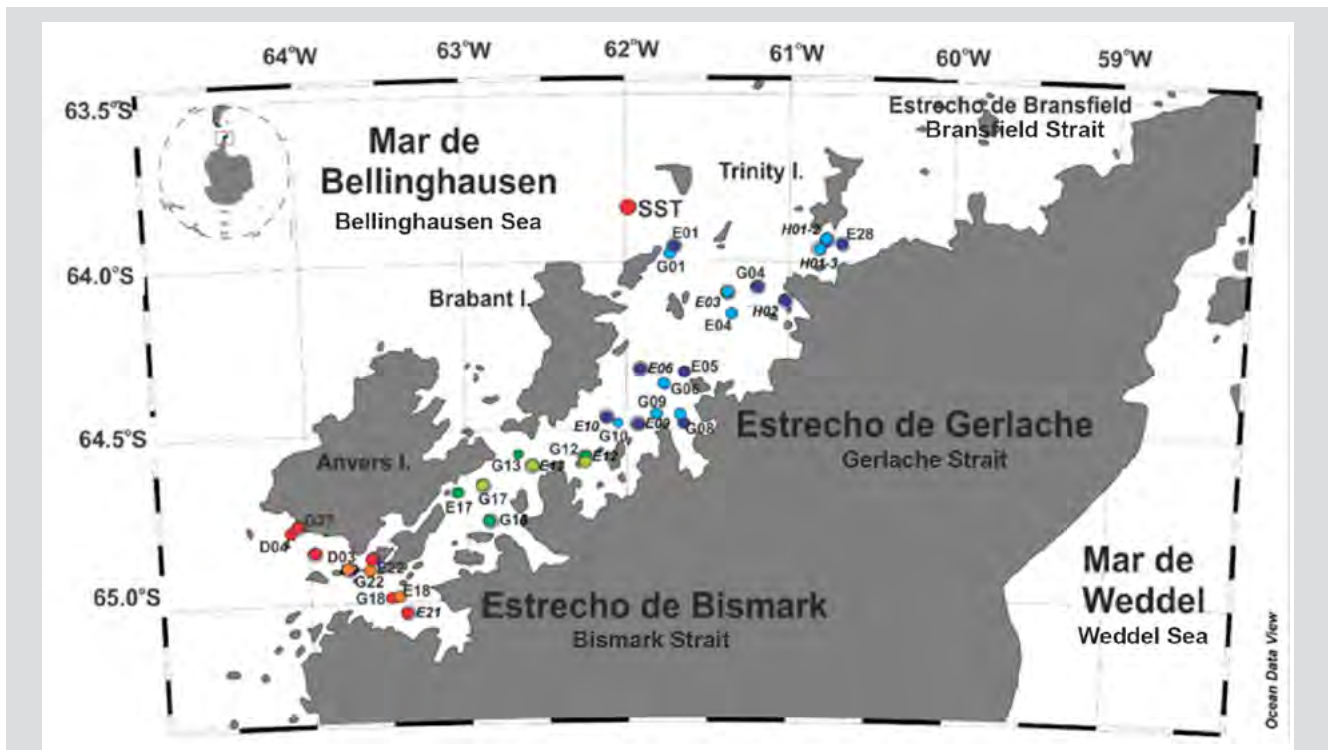


Figura 1. Distribución de las estaciones en el Estrecho de Gerlache. La región sur estuvo representada por las estaciones de círculos rojos (2017) y naranjas (2018), la región central por los círculos verde oscuro (2017) y verde claro (2018) y la región norte por los círculos azules (2017) y morados (2018).

Figure 1. Distribution of stations in the Strait of Gerlache. The southern region was represented by the stations of red circles (2017) and orange (2018), the central region dark green circles (2017) light green (2018), and the northern region blue circles (2017) and purple (2018).

La circulación en la superficie varía según la estación, con un patrón principal de salida hacia el Norte (Zou *et al.*, 2002) que se une al flujo de la Corriente de Bransfield, corriente de límite occidental que se mueve hacia el Noreste cerca de las Islas Shetland del Sur (Sagra *et al.*, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de agua en la superficie y el máximo de Chl-*a* (MPC), profundidad a la que ocurre la mayor concentración de Chl-*a*, se recolectaron a través de un sistema de roseta oceanográfica de 12 botellas de 8 L cada una. Perfiles de fluorescencia se tomaron en las estaciones para identificar el MPC con un fluorímetro ECOtriplet acoplado a un CDT SB19 Plus. Estas muestras fueron tomadas durante la Tercera (enero de 2017) y Cuarta Expedición (enero de 2018) de Colombia a la Antártida (Fig. 1) en el EG, en el marco del Proyecto: Investigación científica marina para la seguridad marítima en la Antártica” a cargo de la Dirección General Marítima.

Entre 1 a 2 L de agua se filtraron a través de filtros GF / F, con un sistema de filtración positiva, para determinar los coeficientes de absorción por el material particulado ($a_p(\lambda)$), de acuerdo con Mitchell *et al.* (2002). Los filtros se guardaron en cápsulas histoprep y en nitrógeno líquido hasta análisis en laboratorio. Adicionalmente, se tomaron muestras de 250 mL de agua, en botellas ámbar previamente tratadas con HCL al 10 % y mufladas a 450 °C, para determinar el $a_{CDOM}(\lambda)$ según Mitchell *et al.* (2002).

En el laboratorio, para la determinación del $a_p(\lambda)$ los filtros se humedecieron con una gota de agua de mar filtrada y su densidad óptica (OD) se leyó entre 400 a 700 nm con incrementos de 1 nm, a través de un espectrofotómetro Varian–Cary 100 con un sistema de esfera integradora siguiendo el protocolo de Mitchell *et al.* (2002). El procedimiento de lectura, se repitió después de enjuagar los filtros dos veces, con metanol caliente por 15 minutos, para obtener el coeficiente de absorción del detritus $a_d(\lambda)$. El coeficiente de absorción del fitoplancton $a_{phy}(\lambda)$ se obtuvo por la diferencia entre el $a_p(\lambda)$ y el $a_d(\lambda)$.

Para la determinación del $a_{CDOM}(\lambda)$, las muestras de agua, se filtraron a través de filtros de membrana de 0.25 mm de poro y la densidad óptica del filtrado se leyó entre 250 a 750 nm, usando celdas de 10 cm de longitud. La determinación $a_{CDOM}(\lambda)$ se realizó de acuerdo con Mitchell *et al.* (2002).

(TWW) (García *et al.*, 2002). Surface circulation varies by season, with a main northward outflow pattern (Zou *et al.*, 2002) joining the flow of the Bransfield Current, a western boundary current moving northeast near the South Shetland Islands (Sagra *et al.*, 2011).

MATERIALS AND METHODS

Samples of water on the surface and the maximum of Chl-*a* (MPC), depth at which the highest concentration of Chl-*a* occurs, were collected through an oceanographic rosette system of 12 bottles of 8 L each. Fluorescence profiles were taken at the stations to identify the MPC with an ECOtriplet fluorimeter coupled to a CDT SB 19 Plus. These samples were taken during the third (January 2017) and fourth expedition (January 2018) from Colombia to Antarctica (Fig. 1) in the EG, within the framework of the Project: Marine scientific research for maritime safety in Antarctica” By the General Maritime Directorate.

Between 1 to 2 L of water were filtered through GF / F filters, with a positive filtration system, to determine the absorption coefficients by the particulate material ($a_p(\lambda)$), according to Mitchell *et al.* (2002). Filters were stored in histoprep capsules and liquid nitrogen until laboratory analysis. Additionally, samples of 250 mL of water were taken, in amber bottles previously treated with 10 % HCL and muffled at 450 °C, to determine $a_{CDOM}(\lambda)$ according to Mitchell *et al.* (2002).

In the laboratory, for the determination of $a_p(\lambda)$, the filters were moistened with a drop of filtered seawater, and their optical density (OD) was read between 400 to 700 nm with 1 nm increments, through a Varian spectrophotometer. –Cary 100 with an integrating sphere system following the protocol of Mitchell *et al.* (2002). The reading procedure was repeated after rinsing the filters twice, with hot methanol for 15 minutes, to obtain the detritus absorption coefficient $a_d(\lambda)$. The phytoplankton absorption coefficient $a_{phy}(\lambda)$ was obtained by the difference between $a_p(\lambda)$ and $a_d(\lambda)$.

For the determination of $a_{CDOM}(\lambda)$, the water samples were filtered through membrane filters of 0.25 mm pore and the optical density of the filtrate was read between 250 to 750 nm, using cells of 10 cm in length. The determination $a_{CDOM}(\lambda)$ was made according to Mitchell *et al.* (2002).

Para identificar el estado del florecimiento de las estaciones muestreadas en el EG, se calculó el $POI_{\text{índice}}$ para estaciones en superficie-2017, en el MPC-2017, en superficie-2018 y en el MCP-2018 de acuerdo con Santamaría-del-Ángel *et al.* (2015), cuyo proceso implicó: 1) estandarizar los valores del a_{phy} (443), a_{CDOM} (443) y a_d (443), mediante la transformación Z ; 2) realizar el análisis de componente principales para reducir el número de variables; 3) elegir el primer ACP debido a que representa la mayor variación posible del conjunto de datos basándose en los valores propios (eigenvalores) y 4) calcular el índice con base en la primera función empírica ortogonal estandarizada (SEOF₁) (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2011) mediante:

$$POI_{\text{índice}} = -1 \times [(b_{1,1} + Z a_{\text{phy} 443}) + (b_{1,2} + Z a_{\text{cdom} 443}) + (b_{1,3} + Z a_{d 443})] \quad (1)$$

Donde Z corresponde a las anomalías espaciales estandarizadas por condición (superficie 2017, MPC 2017, superficie 2018 y MPC 2018) de las absorciones de a_{phy} (443), a_{CDOM} (443), y a_d (443) respectivamente y los coeficientes $b_{1,1}$, $b_{1,2}$, y $b_{1,3}$ a los pesos de las anomalías. Para describir el estado del florecimiento, se consideró el criterio de Santamaría-del-Ángel *et al.* (2015), quienes indican que en una distribución gaussiana, un intervalo de confianza a un 95 % tiene límites superiores de 1.96 desviaciones estándar (valor de Z). Este valor fue redondeado a 2 desviaciones estándar para definir el límite de las condiciones de florecimiento. Mientras mayor sea este valor el florecimiento será más intenso. Con base en lo anterior, Aguilar-Maldonado *et al.* (2018b), para describir las etapas de un florecimiento de fitoplancton, interpretaron los valores del $POI_{\text{índice}}$ definiendo valores, < que 1, la estación está en condiciones de no florecimiento; valores entre 1 y 2 representan condiciones en las que la estación está a punto de entrar en condiciones de florecimiento o que ya va saliendo de un florecimiento y los valores superiores a 2 son anómalos e indican condiciones de florecimiento activo.

De otro lado, con el $a_{\text{phy}}(\lambda)$, también es posible determinar el índice de tamaño de la población de fitoplancton dominante (Wu *et al.*, 2007; Millan-Núñez y Millan-Núñez, 2010) en los cruceros, mediante la razón:

$$A/R = a_{\text{phy}(440)} / a_{\text{phy}(675)} \quad (2)$$

Con la razón Azul / Rojo fue posible identificar la fracción de tamaño de la población de fitoplancton responsable del florecimiento al relacionarla con el $POI_{\text{índice}}$. Según, Wu *et al.* (2007), una proporción de Azul / Rojo mayor que 3.0 implica el predominio de picofitoplancton y valores menores a 2.5 de microfitoplancton, por lo que el

To identify the state of the stations bloom sampled in the EG, the $IOP_{\text{índice}}$ was calculated for stations on the surface-2017, in the MPC-2017, on the surface-2018, and in the MCP-2018 according to Santamaría-del-Ángel *et al.*, (2015), whose process involved: 1) standardizing the values of a_{phy} (443), a_{CDOM} (443) and a_d (443), through the Z transformation; 2) perform principal component analysis to reduce the number of variables; 3) choose the first ACP because it represents the greatest possible variation of the data set based on the proper values (eigenvalues and 4) calculate the index based on the first standardized orthogonal empirical function (SEOF₁) (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2011) by:

$$IOP_{\text{índice}} = -1 \times [(b_{1,1} + Z a_{\text{phy} 443}) + (b_{1,2} + Z a_{\text{cdom} 443}) + (b_{1,3} + Z a_{d 443})] \quad (1)$$

Where Z corresponds to the standardized spatial anomalies by condition (surface 2017, MPC 2017, surface 2018, and MPC 2018) of the absorptions of a_{phy} (443), a_{CDOM} (443), and a_d (443) respectively and the coefficients $b_{1,1}$, $b_{1,2}$, and $b_{1,3}$ to the weights of the anomalies. To describe the state of bloom, the criterion of Santamaría-del-Ángel *et al.* (2015), who indicated that in a Gaussian distribution, a 95 % confidence interval has an upper limit of 1.96 standard deviations (Z value). This value was rounded to 2 standard deviations to define the limit of conditions of bloom. The higher this value the more intense the bloom will be. Based on the above, Aguilar-Maldonado *et al.* (2018b), to describe the stages of a phytoplankton bloom, they interpreted the $IOP_{\text{índice}}$ values defining values, < than 1, the season is in non-bloom conditions; Values between 1 and 2 represent conditions in which the station is about to enter conditions bloom or is already emerging from bloom, and values higher than 2 are anomalous and indicate active bloom conditions.

On the other hand, with the $a_{\text{phy}}(\lambda)$, it is also possible to determine the size index of the dominant phytoplankton population (Wu *et al.*, 2007; Millan-Núñez and Millan-Núñez, 2010) in cruise ships, using the ratio:

$$A/R = a_{\text{phy}(440)} / a_{\text{phy}(675)} \quad (2)$$

With the Blue / Red ratio it was possible to identify the size fraction of the phytoplankton population responsible for bloom by relating it to the $IOP_{\text{índice}}$. According to, Wu *et al.* (2007), a ratio of Blue / Red greater than 3.0 implies the predominance of picophytoplankton and values of less than 2.5 of microphytoplankton, so that the interval between 2.5 and 3.0 would predominate nanophytoplankton (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015).

intervalo entre 2.5 y 3.0 predominaría el nanofitoplancton (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ventaja de utilizar este índice, es que no depende del número de observaciones, por tanto, es un buen método para comparar campañas de investigación que tienen diferente número de muestras (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015). Para el 2017 el $POI_{\text{índice}}$ (Figs. 2a, 2b) mostró a cuatro estaciones en condiciones de florecimiento, a tres en condiciones de entrada o salida del florecimiento y a doce en condiciones de no florecimiento. Estudios previos (Holm-Hansen *et al.*, 1989; Figueroa, 2002; Rodríguez *et al.*, 2002), indicaron que es un área altamente productiva, con una amplia variación espaciotemporal de producción del fitoplancton, debido al aumento de la estabilidad en la capa superficial como consecuencia del aporte glaciar. Lo anterior, aunado a procesos de mezcla reducidos por la geomorfología protegida de esta área, conlleva que se generen florecimientos del fitoplancton (Varela *et al.*, 2002) que sostiene a los todos los niveles tróficos superiores. Así mismo, esta alta productividad se atribuye entre otros factores al patrón complejo de circulación, a la dinámica del hielo, a la entrada de agua continental y a las distintas masas de agua que en este convergen (Kerr *et al.*, 2018).

Las estaciones identificadas en estado de florecimiento, en la superficie de 2017, fueron la D04 ubicada en la Estación Palmer al sur del EG y la estación G16 también ubicada en el Sur del Estrecho (Fig. 2a). Para esta condición, el diagrama de dispersión del $POI_{\text{índice}}$ vs la razón Azul / Rojo mostró que la estructura de tamaño que conformó el florecimiento en estas dos estaciones fue el microfitoplancton (Fig. 2a). Los trabajos de Rodríguez *et al.* (2002) y Varela *et al.* (2002), para áreas costeras del EG, describieron que ocurre una amplia variación espaciotemporal de producción del fitoplancton junto con altas concentraciones de Chl a y dominio de las diatomeas (Mendes *et al.*, 2013; Gonçalves-Araujo *et al.*, 2015;), con lo cual se sigue manteniendo estructuras de tamaño del microfitoplancton según la aproximación del $POI_{\text{índice}}$.

La magnitud del espectro de absorción de las estaciones en florecimiento fue posible compararlas a través del cálculo del espectro adimensional (A) según los criterios de Barocio-Leon *et al.* (2006). Con el espectro A, se eliminan las diferencias en la magnitud de los espectros generadas por la concentración de clorofila de cada muestra. Por lo anterior,

RESULTS AND DISCUSSION

The advantage of using this index is that it does not depend on the number of observations; therefore, it is a good method to compare research campaigns that have different numbers of samples (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015). For 2017, the IOP_{index} (Figs. 2a, 2b) showed four stations in bloom conditions, three in conditions of entry or exit of bloom, and twelve in non-bloom conditions. Previous studies (Holm-Hansen *et al.*, 1989; Figueroa, 2002; Rodríguez *et al.*, 2002), indicated that it is a highly productive area, with a wide spatio-temporal variation in phytoplankton production, due to increased stability in the surface layer as a consequence of the glacial contribution. The above, coupled with mixing processes reduced by the protected geomorphology of this area, leads to the generation of phytoplankton blooms (Varela *et al.*, 2002) that sustain all the higher trophic levels. Likewise, this high productivity is attributed, among other factors, to the complex pattern of circulation, the dynamics of ice, the entry of continental water, and the different bodies of water that converge in it (Kerr *et al.*, 2018).

The stations identified in bloom conditions, on the surface of 2017, were D04 located at Palmer Station south of the EG and G16 station also located in the South of the Strait (Fig. 2a). For this condition, the scatter diagram of the IOP_{index} vs the Blue / Red ratio showed that the size structure that made up the bloom in these two stations was the micro-plankton (Fig. 2a). The works of Rodríguez *et al.* (2002) and Varela *et al.* (2002), for coastal areas of the EG, described that a wide spatio-temporal variation of phytoplankton production occurs together with high concentrations of Chl- a and dominance of diatoms (Mendes *et al.*, 2013; Gonçalves-Araujo *et al.*, 2015;), which continues to maintain micro-plankton size structures according to the IOP_{index} approximation.

It was possible to compare the magnitude of the absorption spectrum of the bloom Stations through the calculation of the dimensionless spectrum (A) according to the criteria of Barocio-Leon *et al.* (2006). With the A spectrum, the differences in the magnitude of the spectra generated by the chlorophyll concentration of each sample are eliminated. Therefore, each absorption value between 400 to 700 nm was standardized by the maximum absorption value of this interval. In the case of the D04 station, a pronounced shoulder was not observed between 480 to 500 nm (Fig. 3b), these differences in

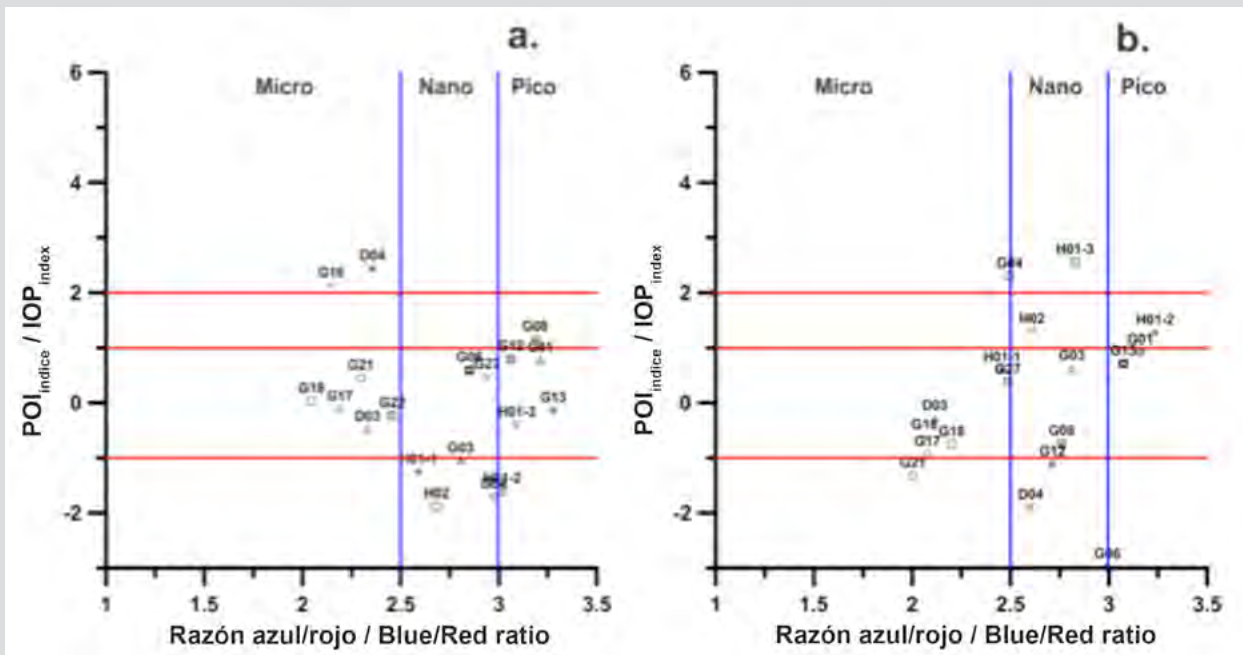


Figura 2. Relación del Índice de POI_{indice} con la estructura de tamaño para identificar florecimientos en Estaciones: **a.** superficial 2017, **b.** en el MPC en 2017.

Figure 2. Relationship of the IOP_{indice} with the size structure to identify blooms in Stations: **a.** superficial 2017, **b.** in the MPC in 2017.

cada valor de absorción entre 400 a 700 nm fue estandarizado por el valor máximo de absorción de este intervalo. En el caso de la estación D04 no se observó un hombro pronunciado entre 480 a 500 nm (Fig. 3b), estas diferencias en la forma se atribuyen a variaciones en la concentración y composición de pigmentos presentes en la célula (Babin *et al.*, 2003) o al efecto paquete, por el tamaño celular (Wright y Jeffrey, 2006).

Datos de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, Thomas *et al.*, 2012) mostraron que en la estación G16, la concentración más alta de pigmentos, fue la fucoxantina pigmento marcador de las diatomeas (Roy *et al.*, 2011), mientras que, en la estación D04, se observaron concentraciones similares de fucoxantina, hexfucoxantina y en menor proporción, de alloxantina (Fig. 4). Lo anterior, evidencia un cambio en la concentración de pigmentos y, por lo tanto, en la composición de la estructura fitoplanctónica (Sathyendranath *et al.*, 2001; Cañon-Páez, 2020) en estas dos estaciones en florecimiento activo. Así mismo, en la región entre 550 y 650 nm (Fig. 3b) la absorción es menor y con hombros no observados en la estación G16, estas formas son características de grupos con la presencia de pigmentos carotenoides (Wright *et al.*, 1991).

Por el contrario, la estación G08 en la superficie de 2017, ubicada en la región norte del Estrecho, se identificó en condición de florecimiento del picofitoplancton (Fig. 2a),

shape are attributed to variations in the concentration and composition of pigments present in the cell (Babin *et al.*, 2003) or the packet effect, due to cell size (Wright and Jeffrey, 2006).

High-performance liquid chromatography data (HPLC, Thomas *et al.*, 2012) showed that at G16 station, the highest concentration of pigments was fucoxanthin, which is the marker pigment of diatoms (Roy *et al.*, 2011), while, at station D04, similar concentrations of fucoxanthin, hexfucoxanthin and, to a lesser extent, alloxanthin were observed (Fig. 4). The foregoing shows a change in the concentration of pigments and therefore, in the composition of the phytoplankton structure (Sathyendranath *et al.*, 2001; Cañon-Páez, 2020) in these two seasons in active bloom. Likewise, in the region between 550 and 650 nm (Fig. 3b), the absorption is lower, and with shoulders not observed in the G16 station, these forms are characteristic of groups with the presence of carotenoid pigments (Wright *et al.*, 1991).

In contrast, the 2017 surface station G08, located in the northern region of the Strait, was identified in a bloom condition for picophytoplankton (Fig. 2a), but apparently in an exit bloom condition. This result reveals an advantage of the method, in that, with the IOP_{indice} it is possible to identify whether or not a station is in bloom

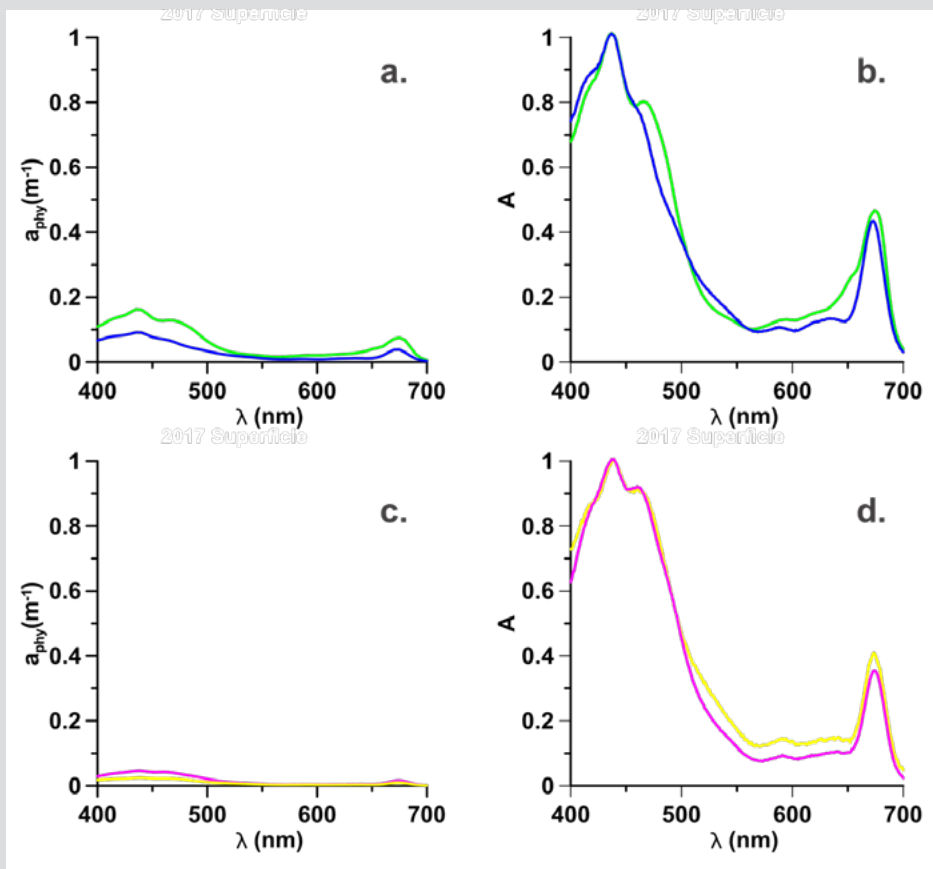


Figura 3. Coeficientes de absorción del fitoplancton y espectro normalizado (adimensional), donde las Estaciones superficiales 2017: G16 (verde), D04 (Azul) en florecimiento se representan en **a.** Espectro de a_{phy} **b.** espectro Adimensional y para las estaciones en florecimiento en el MPC en 2017: G04 (amarillo), H01-3 (magenta) se representan en **c.** Espectro de a_{phy} y **d.** espectro Adimensional.

Figure 3. Absorption coefficients of Phytoplankton and Normalized absorption spectra (adimensional), where the 2017 surface Stations: G16 (green), D04 (Blue) in bloom are represented in **a.** a_{phy} spectrum, **b.** Normalized spectrum and for the bloom stations in the MPC in 2017: G04 (yellow), H01-3 (magenta) are represented in **c.** a_{phy} spectrum and **d.** Normalized spectrum.

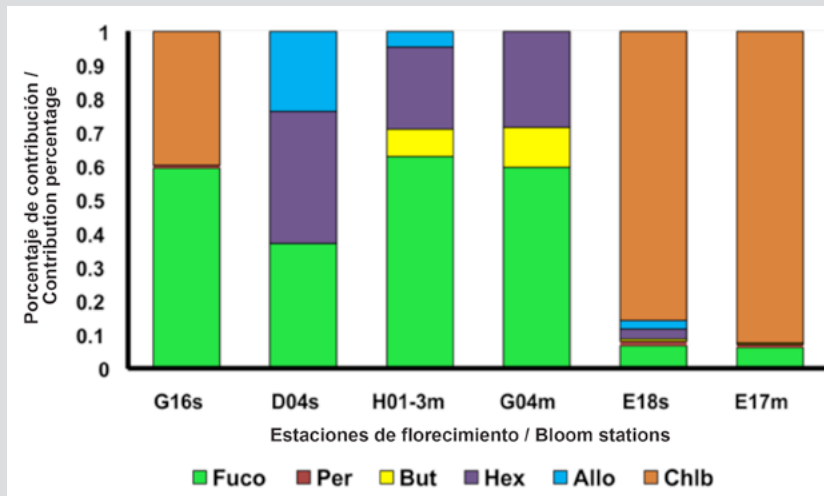


Figura 4. Porcentaje de contribución de los pigmentos fucoxantina (Fuco), peridinina (Per), butanoiloxifucoxantina (But), hexanoiloxifucoxantina (Hex), alloxantina (Allo), clorofila b (Chl-b), en las estaciones en florecimiento donde: 2017 en superficie (G16, D04) y MPC (H01-3, G04); 2018 en superficie (E18) y en MPC (E17).

Figure 4. Percentage of the pigments fucoxanthin (Fuco), peridin (Per), butanoyloxyfucoxanthin (But), hexanoyloxyfucoxanthin (Hex), alloxanthin (Allo), chlorophyll b (Chl-b) contribution, in the bloom stations where: 2017 on the surface (G16, D04) and MPC (H01-3, G04); 2018 on the surface (E18) and in MPC (E17).

pero aparentemente va en condiciones de salida. Este resultado, deja ver una ventaja del método, en cuanto a que con el $POI_{\text{índice}}$ es posible identificar si una estación está o no en condiciones de florecimiento, además permite identificar florecimientos ocasionados por los diferentes tamaños del fitoplancton, lo cual no es posible observar con métodos tradicionales como la observación al microscopio.

En las estaciones del MPC en 2017, el $POI_{\text{índice}}$ mostró a la estación G04, en estado de florecimiento ocasionado por microfitoplancton (Fig. 2b), mientras que en la estación H01-3 se mostró también en florecimiento, pero de nanofitoplancton (Fig. 2b). Aspecto importante de resaltar, dado que el reporte de florecimientos para fracciones como el nano o picofitoplancton son escasos, debido a las limitaciones del método tradicional de observar fracciones pequeñas (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015). Para las estaciones identificadas en condiciones de entrada o salida del florecimiento, que fueron dos, en la H01-2 la fracción responsable fue el picofitoplancton y en la H02 el nanofitoplancton, las demás se presentaron en condiciones de no florecimiento (Fig. 2b). Sin embargo, valores bajos de CDOM para las estaciones H01-2 y H02 (0.02 y 0.03 m^{-1}) indican que la condición para estas estaciones es de entrada en florecimiento.

Un aspecto a observar, es que las estaciones G04 y H01-3, fueron identificadas en superficie como estaciones de no florecimiento, lo cual constituye otra ventaja de este método, pues permite identificar condiciones de florecimiento en profundidad o florecimientos subsuperficiales. Además, este resultado sugiere que durante el 2017 la superficie no estuvo interconectada con el MPC, actuando de manera independiente cada una. Lo anterior, sugiere un alto aporte glaciario con mayor estratificación en la columna de agua, producto del incremento del agua de deshielo de un año cálido (Kim *et al.*, 2018), que hace que la estabilidad en la capa superficial aumente como consecuencia del aporte glaciario y aunado a procesos de mezcla reducidos (Varela *et al.*, 2002), conlleva que se generen florecimientos del fitoplancton independientes.

Si se observa la magnitud de los espectros a_{phy} , de las estaciones G04 y H01-3 en el MCP en 2017 (Fig. 3c) son más aplanados, con respecto los espectros de las estaciones en florecimiento (G16, D04) en la superficie en 2017 (Fig. 3a). La explicación a este aplanamiento, puede ser debido a la adaptación de las comunidades del fitoplancton a procesos de fotoaclimatación, o por el efecto paquete, que es característico de comunidades con tamaños de células

conditions, it also allows us to identify blooms caused by the different sizes of phytoplankton, which is not possible to observe with traditional methods such as microscope observation.

In the MPC stations in 2017, the $IOP_{\text{índice}}$ showed station G04, in a bloom state caused by microphytoplankton (Fig. 2b), while in station H01-3 it was also in bloom but of nanophytoplankton (Fig. 2b). An important aspect to highlight, given that the report of blooms for fractions such as nano or picophytoplankton is scarce, due to the limitations of the traditional method of observing small fractions (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2015). For the stations identified in conditions of entry or exit of bloom, which were two, in sampling point H01-2 the responsible fraction was picophytoplankton, and in H02 nanophytoplankton, the others were presented in non-bloom conditions (Fig. 2b). However, low CDOM values for stations H01-2 and H02 (0.02 and 0.03 m^{-1}) indicate that the condition for these stations is at the beginning of bloom.

One aspect to observe is that stations G04 and H01-3 were identified on the surface as non-bloom stations, which constitutes another advantage of this method since it allows the identification of conditions of bloom in-depth or subsurface bloom. Furthermore, this result suggests that during 2017 the surface was not interconnected with the MPC, each one acting independently. This suggests a high glacier contribution with greater stratification in the water column, as a result of the increase in meltwater in a warm year (Kim *et al.*, 2018), which causes the stability in the surface layer to increase as a consequence of the glacial contribution and coupled with reduced mixing processes (Varela *et al.*, 2002), leads to the generation of independent phytoplankton blooms.

If the magnitude of the a_{phy} spectra is observed, of the stations G04 and H01-3 in the MCP in 2017 (Fig. 3c) they are more flattened, with respect to the spectra of the bloom stations (G16, D04) on the surface in 2017 (Fig. 3a). The explanation for this flattening may be due to the adaptation of phytoplankton communities to photoacclimation processes, or due to the pigment packaging effect, which is the characteristic of communities with larger cell sizes (Bricaud *et al.*, 1995) and that generally they are evidenced by the flattening of the absorption spectrum. Both photoacclimation and the packaging effect cause the phytoplankton communities to regulate the pigment content in the cell in response to

más grandes (Bricaud *et al.*, 1995) y que generalmente son evidenciados por el aplanamiento del espectro de absorción. Tanto la fotoaclimatación como el efecto paquete hacen que las comunidades del fitoplancton regulen el contenido de pigmentos en la célula en respuesta a la disponibilidad de luz (MacIntyre *et al.*, 2002) provocando un cambio en la forma (Fig. 3d) del espectro (Bricaud *et al.*, 2004).

Aunado a lo anterior, en la Figura 4, se observa que, la concentración de pigmentos difiere en las estaciones de la superficie y el MPC, aspecto que también influye en el cambio de la forma de los espectros (Fig. 3d). Por lo tanto, a diferencia de la superficie en el MPC, las estaciones en florecimiento presentaron estructuras de tamaños y composición de pigmentos diferentes que muestran cambios en la estructura fitoplanctónica causantes de los florecimientos (Cañon-Páez, 2020).

Las formas adimensionales presentadas en las estaciones G04 y H01-3 (Fig. 3d) no presentaron diferencias en el hombro entre 480 y 500 nm, siendo muy parecidos, sin embargo, la magnitud de la absorción entre 500 a 650 nm fue menor para la estación H01-3. Este cambio puede ser producto de la presencia de Allo, pigmento asociado junto con la Hex al nanofitoplancton (Vidussi *et al.*, 2001). Por lo tanto, se sugiere que, en el MPC, el cambio en la forma de los espectros obedeció al tamaño celular que influye en el efecto paquete (Bricaud *et al.*, 2004), a procesos de fotoaclimatación (Ciotti *et al.*, 2002; Barocio-León *et al.*, 2006;) y a las diferencias en las proporciones de pigmentos fitoplanctónicos presentes en las comunidades presentes en las estaciones en florecimientos.

En cuanto a los datos de 2018 solamente dos estaciones (E18, E17) se identificaron en condiciones de florecimiento, dos en condiciones de entrada o salida del florecimiento (E05, E06) y nueve en condiciones de no florecimiento (E13, E04, E01, E03, E10, E28, E22, E08, E09) (Figs. 5a y 5b). De las estaciones identificadas en florecimiento en la superficie, solamente la E18 se observó en florecimiento de microfitoplancton (Fig. 5a). Las estaciones E17, E05 y E06 se identificaron en condiciones de entrada o salida del florecimiento también con predominio del microfitoplancton.

Las estaciones E17 y E05 en la superficie en 2018, estuvieron cerca del límite inferior para ser considerados en condiciones de florecimiento, con un valor de 1.9 (Fig. 5a), por lo cual se pensaría, que esta estación está en proceso de iniciar un florecimiento o recién viene saliendo

the availability of light (MacIntyre *et al.*, 2002) causing a change in the shape (Fig. 3d) of the spectrum (Bricaud *et al.*, 2004).

In addition to the above, in Figure 4, it is observed that the concentration of pigments differs in the stations of the surface and the MPC, an aspect that also influences the change in the shape of the spectra (Fig. 3d). Therefore, unlike the surface in the MPC, the bloom stations presented structures of different sizes and composition of pigments that show changes in the phytoplankton structure causing the bloom (Cañon-Páez, 2020).

The normalized spectra presented in stations G04 and H01-3 (Fig. 3d) did not present differences in the shoulder between 480 and 500 nm, being very similar, however, the magnitude of absorption between 500 and 650 nm was lower for the station H01-3. This change may be the product of the presence of Allo, a pigment associated with Hex with nanophytoplankton (Vidussi *et al.*, 2001). Therefore, it is suggested that in the MPC, the change in the shape of the spectra was due to the cell size that influences the packaging effect (Bricaud *et al.*, 2004), to photoacclimation processes (Ciotti *et al.*, 2002; Barocio-León *et al.*, 2006;) and the differences in the proportions of phytoplankton pigments present in the communities present in the bloom stations.

As for the 2018 data, only two stations (E18, E17) were identified in bloom conditions, two in conditions of entry or exit of bloom (E05, E06), and nine in non-bloom conditions (E13, E04, E01, E03, E10, E28, E22, E08, E09) (Figs. 5a and 5b). Of the stations identified in surface bloom, only E18 was observed in micro-plankton bloom (Fig. 5a). Stations E17, E05, and E06 were identified in conditions of entry or exit of bloom, also with a predominance of micro-plankton.

Stations E17 and E05 on the surface in 2018 were close to the lower limit to be considered in bloom conditions, with a value of 1.9 (Fig. 5a), so it would be thought that this station is in the process of starting a bloom or just coming out of it. To identify whether the bloom is beginning or is in decline, it would be expected to find high values of a_{CDOM} (443) if it were the second option, since according to Aguilar-Maldonado *et al.* (2018a) a source of CDOM in a bloom, is constituted by phytoplankton in decomposition processes, associated with the most intense stage of the previous bloom. It has also been reported that other sources of CDOM in

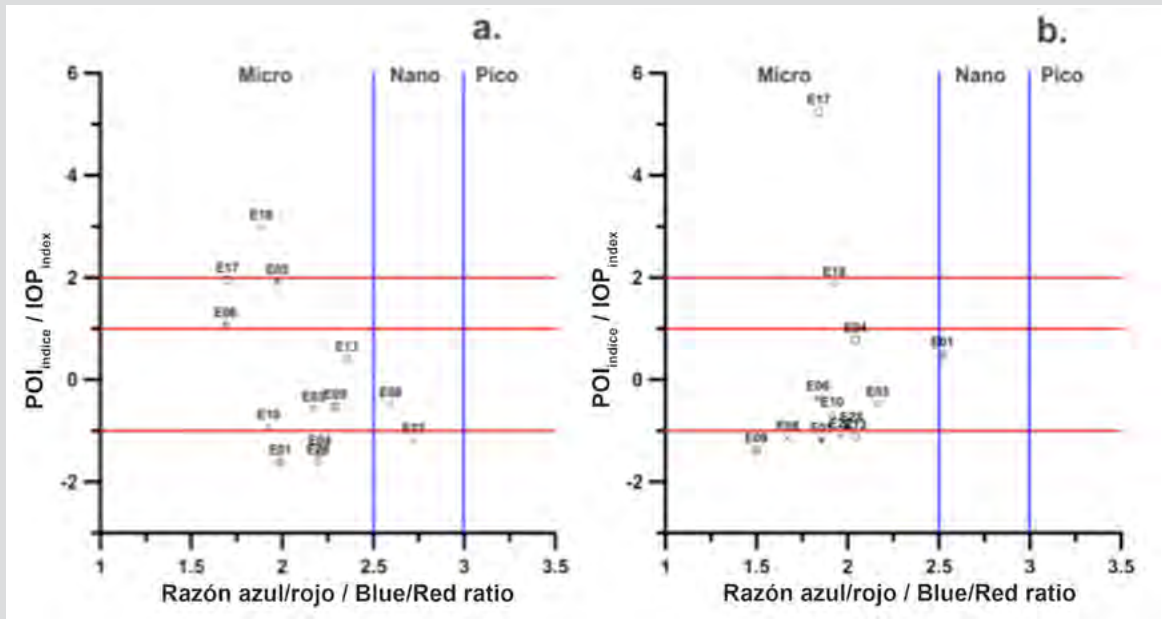


Figura 5. Relación del Índice de $POI_{\text{índice}}$ con la estructura de tamaño para identificar florecimientos en Estaciones: **a.** superficiales 2018, **b.** en el MPC en 2018.

Figure 5. Relation of the $IOP_{\text{índice}}$ with the size structure to identify blooms in Stations: **a.** superficial 2018, **b.** in the MPC in 2018.

de él. Para identificar si el florecimiento está iniciando o está en decaimiento, se esperaría encontrar altos valores de a_{CDOM} (443) si fuera la segunda opción, ya que según Aguilar-Maldonado *et al.* (2018a) una fuente de CDOM es un florecimiento, lo constituyen el fitoplancton en procesos de descomposición, asociado a la etapa más intensa del florecimiento previo. También se ha reportado que, otras fuentes de CDOM en aguas antárticas son el bacterioplancton y el Krill (Ortega-Retuerta *et al.*, 2010; 2009). En el caso de las estaciones E17 y E05, presentaron valores de CDOM de 0.12 m^{-1} (que representa una anomalía estandarizada $Z=-0.87$) y de 0.25 m^{-1} ($Z=1.14$), respectivamente. Estos valores sugieren que la estación E05 se encuentra en la fase de decaimiento del florecimiento, mientras que en la estación E17 está iniciando.

La estación E18 mostró al $a_{\text{phy}}(\lambda)$, por debajo de 0.2 m^{-1} (Fig. 6a) y su forma adimensional (Fig. 6b) dejó ver un hombro pronunciado en la región 480 a 500 nm, el cual no se observó en las estaciones en florecimiento del 2017. Este hombro es característico de poblaciones con presencia de Allo y Hex (Cota *et al.* 2003) con lo cual se generan cambios en el espectro de absorción de esta estación con respecto a las de 2017. En la Figura 4 se pueden observar contribuciones altas de Chl-*b* para esta estación, pigmento no observado en las estaciones en florecimiento en 2017 y el cual es considerado marcador de las clorofitas (Roy *et al.*, 2011). Por la alta concentración de este pigmento se pensaría según

Antarctic waters are bacterioplankton and Krill (Ortega-Retuerta *et al.*, 2010; 2009). In the case of stations E17 and E05, they presented CDOM values of 0.12 m^{-1} (which represents a standardized anomaly $Z = (-0.87)$) and of 0.25 m^{-1} ($Z = 1.14$), respectively. These values suggest that season E05 is in the decline phase of bloom, while season E17 is just beginning.

Station E18 showed the $a_{\text{phy}}(\lambda)$, below 0.2 m^{-1} (Fig. 6a) and its normalized spectra (Fig. 6b) revealed a pronounced shoulder in the region 480 at 500 nm which was not observed in the bloom station in 2017. This shoulder is the characteristic of populations with the presence of Allo and Hex (Cota *et al.* 2003), which generates changes in the absorption spectrum of this season to those of 2017. In Figure 4 high contributions of Chl-*b* can be observed for this sampling point, a pigment not observed in the bloom stations in 2017 and which is considered a marker of chlorophytes (Roy *et al.*, 2011). Due to the high concentration of this pigment, it would be thought according to Vidusii *et al.* (2001) that the size fraction responsible for bloom would be nanophytoplankton, however, the Blue / Red Ratio proposed by Wu *et al.* (2007), let us see with the index that corresponds to microplankton. With this station, it was also possible to observe the change in the structure of the phytoplankton community in the EG between 2017 and 2018, observed in the form of

Vidussi *et al.* (2001) que la fracción de tamaño responsable del florecimiento sería el nanofitoplancton, sin embargo, la Razón Azul / Rojo propuesta por Wu *et al.* (2007), deo ver con el índice que corresponde al microfitoplancton. Con esta estación, además fue posible observar el cambio en la estructura de la comunidad del fitoplancton en el EG entre 2017 y 2018, observados en la forma de los espectros (Figs. 3 y 5), los cuales pueden estar asociados a diferentes respuestas fisiológicas de las comunidades por factores ambientales (Gonçalves-Araujo *et al.*, 2015) y ecológicos, entre ellos a diferentes grados de empaquetamiento de pigmento (Ferreira *et al.*, 2018).

De otro lado, en las estaciones del MPC en 2018 la estación E17, alcanzó un valor de $POI_{\text{índice}}$ de 5 (desviaciones estándar) mostrando a esta estación en un estado de florecimiento muy intenso, ocasionado por microfitoplancton (Fig. 5b). Lo anterior, confirma que esta estación en la superficie no estaba en salida del florecimiento sino en entrada, esto debido al valor del $POI_{\text{índice}}$ registrado para el

the spectra (Figs. 3 and 5), which may be associated with different physiological responses of the communities by environmental factors (Gonçalves-Araujo *et al.*, 2015) and ecological factors, including different degrees of pigment packing (Ferreira *et al.*, 2018).

On the other hand, in the MPC stations in 2018, station E17 reached an $IOP_{\text{índice}}$ value of 5 (standard deviations), showing this station in a very intense bloom state, caused by micro-plankton (Fig. 5b). This confirms that this station on the surface was not at the end of the bloom but at the entrance, due to the value of the $IOP_{\text{índice}}$ registered for the MCP and the low values of CDOM. On the contrary, the station E18, by the value of the $IOP_{\text{índice}}$ for the MPC, would indicate the exit condition of the bloom due to the increase in the value of the CDOM (0.22 m^{-1}) with respect to the surface (0.18 m^{-1}).

With stations E17 and E18, an interconnection between the surface and the MCP is evidenced in 2018,

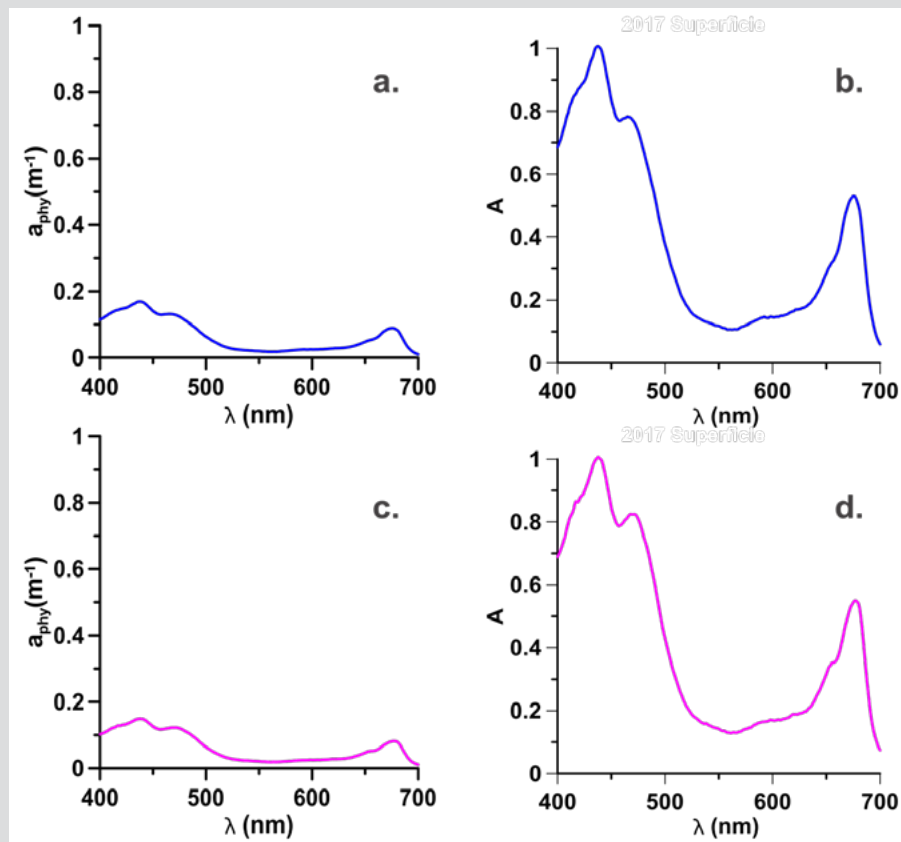


Figura 6. Coeficientes de absorción del fitoplancton y Adimensional, para las estaciones en florecimiento en 2018: Superficial de la E18 (Azul) se representan en **a.** Espectro de a_{phy} , **b.** Espectro Adimensional y para el MPC de la E17 (magenta) se representan en **c.** Espectro de a_{phy} y **d.** espectro Adimensional.

Figure 6. Absorption coefficients of Phytoplankton and Normalized absorption spectra (adimensional), for the bloom stations in 2018: Surface of the E18 (Blue) are represented in **a.** a_{ph} spectra, **b.** Normalized spectra and for the E17 (magenta) MPC it is they represent in **c.** a_{ph} spectra and **d.** Normalized spectra.

MCP y a los bajos valores de CDOM. La estación E18 por el contrario, por el valor del $POI_{\text{índice}}$ para el MPC indicaría la condición de salida del florecimiento debido el aumento del valor del CDOM (0.22 m^{-1}) con respecto a la superficie (0.18 m^{-1}).

Con la estación E17 y la E18 se evidencia una interconexión entre la superficie y el MCP en 2018 no identificado en 2017, donde las estaciones en florecimiento en el MPC fueron diferentes a las de la superficie, sugiriendo menos aporte glacial, con lo cual la estratificación en la columna de agua fue menor y la interconexión fue más evidente. Por tanto, se sugieren mayores procesos de mezcla en 2018 que conllevan capas interconectadas entre la superficie y el MPC no independientes como en 2017. Además, la estación E17 presentó el espectro de absorción con las mayores magnitudes de absorción, notándose un hombro pronunciado entre 450 y 500 nm (Fig. 6c) y en la forma adimensional la forma es muy parecida a la E18 en superficie, sin embargo, el hombro es más pronunciado en la E17. La diferencia, obedece a la presencia de otros pigmentos en la E18 (Fig.4) como la Allo y Hex. En la E17, la Chl-*b* fue el pigmento con la mayor concentración, por lo cual se cree que el grupo con mayor contribución al florecimiento en esta estación estaría dado por los flagelados verdes (clorofitas) y no por las diatomeas (Mendes *et al.*, 2012) que sí estuvieron presentes en 2017 por la contribución de fucoxantina como lo deja ver la Figura 4.

Las diferencias observadas en las estructuras de la comunidad, responsables de los florecimientos en 2018 con respecto al 2017, puede obedecer a la variabilidad ambiental ya identificada por Saba *et al.*, (2014) y Kim *et al.* (2018) para la POA, donde ciclos de alta concentración de clorofila se observa cada 5 años, siendo el 2017 un año con alta biomasa (1.22 mg/m^3 Chl-*a* y 1.42 mg/m^3 Chl-*a*, en superficie y el MPC) y 2018 se identificó como el inicio del periodo en descenso de la biomasa (0.63 y 0.70 mg/m^3 Chl-*a* en superficie y el MPC).

CONCLUSIONES

En este trabajo a través del $POI_{\text{índice}}$ fue posible identificar florecimientos superficiales y subsuperficiales (en las estaciones H01-3, G04 y E17 del MPC) en el EG, observándose cambios en las condiciones estudiadas, donde en 2017 no fue posible observar una interconexión entre las estaciones superficiales y el MPC, mientras que en 2018 sí. Los cambios observados en las formas de

unidentified in 2017, where the bloom stations in the MPC were different from those on the surface, suggesting less glacial contribution, thus stratification in the water column was smaller and the interconnection was more evident. Therefore, greater mixing processes are suggested in 2018 that involve interconnected layers between the surface and the MPC that are not independent as in 2017. Also, station E17 presented the absorption spectra with the highest absorption magnitudes, noting a pronounced shoulder between 450 and 500 nm (Fig. 6c) and in the adimensional spectra the shape is very similar to the E18 on the surface, however, the shoulder is more pronounced in the E17. The difference is due to the presence of other pigments in E18 (Fig. 4) such as Allo and Hex. In E17, Chl-*b* was the pigment with the highest concentration, for which it would be thought that the group with the greatest contribution to bloom in this sampling point would be given by the green flagellates (chlorophytes) and not by diatoms (Mendes *et al.*, 2012) that were present in 2017 due to the contribution of fucoxanthin as shown in Figure 4.

The differences observed in the community structures, responsible for the blooms in 2018 compared to 2017, maybe due to the environmental variability already identified by Kim *et al.* (2018) for the POA, where cycles of high chlorophyll concentration are observed every 5 years, with 2017 being a year with high biomass (1.22 mg/m^3 Chl-*a* and 1.42 mg/m^3 Chl-*a*, on the surface and in the MPC) and 2018 would be identified as the beginning of the period in biomass decline (0.63 and 0.70 mg/m^3 Chl-*a* on the surface and the MPC).

CONCLUSIONS

In this work, through the $IOP_{\text{índice}}$, it was possible to identify surface and subsurface blooms (in stations H01-3, G04, and E17 of the MPC) in the EG, observing changes in the conditions studied, where in 2017 it was not possible to observe an interconnection between the surface stations and the MPC, while in 2018 it did. Changes in the shape of the absorption spectra showed variations in the phytoplankton structure due to size structure, the composition of different pigments, and warm (2017) and cold (2018) environmental conditions. This approach allowed the identification of peak and nanophytoplankton blooms that cannot be observed using the traditional method since these size structures are not identifiable in the traditional light microscope. This makes this tool a



los espectros de absorción, mostraron diferencias en la estructura fitoplanctónica, debido a la estructura de tamaño, la composición de pigmentos diferentes y las condiciones ambientales cálidas (2017) y frías (2108). Esta aproximación permitió identificar florecimientos de pico y nanofitoplancton que a través del método tradicional no es posible observar, debido a que estas estructuras de tamaño no son identificables en el microscopio óptico tradicional. Lo anterior hace que esta herramienta sea un complemento muy importante en los programas de monitoreo donde el componente fitoplanctónico sea considerado.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General Marítima por el apoyo y financiación para el desarrollo del proyecto. A la Armada Nacional y el Programa Antártico Colombiano por lo cupos en la III y IV Expedición a la Antártida. A la Facultad de Ciencias Marinas de la Universidad Autónoma de Baja California por la aceptación al programa de doctorado, al CONACYT por proveer los recursos de la beca doctoral No CUV / Becario 208078 / 633423 y AMERIGEISS por el apoyo financiero de materiales.

very important complement in monitoring programs where the phytoplankton component is considered.

ACKNOWLEDGEMENT

Special thanks to the General Maritime Directorate for the support and financing of the project development. To the National Navy and the Colombian Antarctic Program for the quotas in the III and IV Expedition to Antarctica. To the Faculty of Marine Sciences of the Autonomous University of Baja California for accepting the doctorate program, to CONACYT for providing the resources of the doctoral scholarship No CUV / Scholar 208078 / 633423 and AMERIGEISS for the financial support of materials.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Aguilar-Maldonado, J., E. Santamaría-del-Ángel, A. González-Silvera, O. Cervantes-Rosas, L. Lopez, A. Gutiérrez-Magness, S. Cerdeira-Estrada and M.T. Sebastián-Frasquet. 2018a. Identification of Phytoplankton Blooms under the Index of Inherent Optical Properties (IOP Index) in Optically Complex Water., 10(2): 1-17. <https://doi.org/10.3390/w10020129>
- Aguilar-Maldonado, J.A., E. Santamaría-Del-Ángel, A. González-Silvera, O.D. Cervantes-Rosas and M.T. Sebastián-Frasquet. 2018b. Mapping satellite inherent optical properties index in coastal waters of the Yucatán Peninsula (Mexico). Sustainability, 10(6): 1-20. <https://doi.org/10.3390/su10061894>
- Aguilar-Maldonado, J., E. Santamaría-del-Ángel, A. González-Silvera and, M.T. Sebastián-Frasquet. 2019. Detection of Phytoplankton Temporal Anomalies Based on Satellite Inherent Optical Properties: A Tool for Monitoring Phytoplankton Blooms. Sensors, 550401. <https://doi.org/10.3390/s19153339>
- Arnone, R., M. Babin, A.H. Barnard, E. Boss, J.P. Cannizzaro, K.L. Carder, F.R. Chen, E. Devred, R. Doerffer, K. Du, F. Hoge, O.V. Kopelevich, T. Platt, A. Poteau, C. Roesler and S. Sathyendranath. 2006. Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms, and Applications. Dartmouth, Canada. 122 p.
- Babin, M., D. Stramski, G. M. Ferrari, H. Claustre, A. Bricaud, G. Obolensky, and N. Hoepffner. 2003. Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, nonalgal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe, J. Geophys. Res., 108(C7): 3211. <https://doi.org/10.1029/2001JC000882>
- Barocio-León OA, R. Millán-Núñez, E. Santamaría-del-Ángel, A. González-Silvera and C.C. Trees. 2006. Spatial variability of phytoplankton absorption coefficients and pigments off Baja California during November 2002. J. Oceanogr., 62: 873-885. <https://doi.org/10.1007/s10872-006-0105-z>
- Brewin J.W., S. Sathyendranath, D. Müller, C. Brockmann, P.Y. Deschamps, E. Devred, R. Doerffer, N. Fomferra, B. Franz, M. Grant, S. Groom, A. Horseman, Ch. Hu, H. Krasemann, Z.P. Lee, S. Maritorena, F. Mélin, M. Peters, P. Platt, P. Regner, T. Smyth, F. Steinmetz, J. Swinton, J. Werdell, and G.N. White. 2015. The Ocean Colour Climate Change Initiative: III. A round-robin comparison on in-water bio-optical algorithms. Remote Sensing of Environment, 162: 271-294. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.09.016>
- Bricaud, A., M. Babin, A. Morel, and H. Claustre. 1995. Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: Analysis and parameterization, J. Geophys. Res., 100: 13,321- 13,332. <https://doi.org/10.1029/95JC00463>

- Bricaud, A., H. Claustre, J. Ras and K.Oubelkheir. 2004. Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *J. Geophys. Res.*, 109: C11010. <https://doi.org/10.1029/2004JC002419>
- Cañón-Paez, M.L. 2020. Delimitación de regiones dinámicas en el Estrecho de Gerlache- Península Oeste Antártica, con base en una aproximación multisensor: Descripción de su variabilidad hidrográfica, química, biológica y óptica (tesis de doctorado). Universidad Autonoma de Baja California, México.
- Ciotti, A.M., M.R. Lewis and J.J. Cullen. 2002. Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. *Limnol. Oceanogr.*, 47(2): 404-417. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.2.0404>
- Cota, G.F., G. Harrison, T. Platt, S. Sathyendranath and V. Stuart. 2003. Bio-optical properties of the Labrador Sea. *J. Geophys. Res.* 108: 3228. <https://doi.org/10.1029/2000JC000597>
- Doval, M.D; X. Alvarez-Salgado, C. Castro and F. Perez. 2002. Dissolved organic carbon distributions in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep-Sea Research II*, 49: 663-674. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00117-5](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00117-5)
- Falkowski, P.G. and J. Raven. 2007. Aquatic Photosynthesis, second edition. Princeton University Press. Princeton, USA. 476 p. <https://doi.org/10.1515/9781400849727>
- Figueroa, L., 2002. Bio-optical characteristics of Gerlache and Bransfield Strait waters during an Antarctic summer cruise. *Deep-Sea Research II*. 49: 675-691. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00118-7)
- García M., C. Castroc, A. Ríos, M. Doval, G. Rosón, D. Gomise and López O. 2002. Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. *Deep-Sea Research II*. 49: 585-602. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00113-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00113-8)
- Gonçalves-Araujo R., M. Silva de Souza, V. Tavano and C. Eiras. 2015. Influence of oceanographic features on spatial and interannual variability of phytoplankton in the Bransfield Strait. *J. Marine. Syst.*, 142: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.09.007>
- Holm-Hansen, O., B.G. Mitchell and D.M. Karl. 1989. Phytoplankton blooms in the vicinity of Palmer Station, Antarctica. *Polar Biol.*, 10(1): 49-57. <https://doi.org/10.1007/BF00238290>
- IOCCG. 2014. Phytoplankton Functional Types from Space. Sathyendranath, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 15, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- IOCCG. 2015. Ocean Colour Remote Sensing in Polar Seas. Babin, M., K. Arrigo, S. Bélanger and M-H. Forget, (eds.). IOCCG Report Series, No. 16, International Ocean Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada.
- IOCCG. 2006. Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms, and Applications. Lee, Z.-P. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 5, IOCCG, Dartmouth, Canada. 122 p.
- Kerr, R., I.B.M. Orselli, J.M. Lencina-Avila, R.T. Eidt, C.R.B. Mendes, L.C. da Cunha, C. Goyet, M.M. Mata and V.M. Tavano 2018. Carbonate system properties in the Gerlache Strait, Northern Antarctic Peninsula (February 2015): I. Sea-Air CO₂ fluxes. *Deep-Sea Res. PTII.*, 149: 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.02.008>
- Kim, H., H.W. Ducklow, D. Abele, E.M. Ruiz Barlett, A.G. Buma, M.P. Meredith, P.D. Rosema, O.M. Schofield, H.J. Venables and I.R. Schloss. 2018. Inter-decadal variability of phytoplankton biomass along the coastal West Antarctic Peninsula. *Phil. Trans. R. Soc. A* 376: 20170174. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0174>
- Kirk, J.T.O. 1994. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. University Press, Cambridge. 500 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623370>
- Kirk, J.T.O. 2011. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. 3er edition. Cambridge University Press, Cambridge. 649p.
- MacIntyre H.L., T.M. Kana, J. Anning and R. Geider. 2002. Photoacclimation of photosynthesis irradiance response curves and photosynthetic pigments in microalgae and cyanobacteria. *Journal of Phycology*, 38:17-38. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2002.00094.x>
- Matsuoka, A., V. Hill, Y. Huot, M. Babin and A. Bricaud, 2011. Seasonal variability in the light absorption properties of western Arctic waters: Parameterization of the individual components of absorption for ocean color applications. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(C2): 1-15. <https://doi.org/10.1029/2009JC005594>
- Mendes, C.R.B., M.S. de Souza, V.M.T. Garcia, M.C. Leal, V. Brotas and C.A.E. Garcia. 2012. Dynamics of phytoplankton communities during late summer around the tip of the Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. PTI.*, 65: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.03.002>



- Mendes, C.R.B., V.M. Tavano, M.C. Leal, M.S. de Souza, V. Brotas and C.A.E. Garcia. 2013. Shifts in the dominance between diatoms and cryptophytes during three late summers in the Bransfield Strait (Antarctic Peninsula). *Polar Biol.*, 36(4): 537-547. <https://doi.org/10.1007/s00300-012-1282-4>
- Mendes, C.R.B., V.M. Tavano, T. S. Dotto, R. Kerr, M.S. de Souza, C.A.E. Garcia and E.R. Secchi. 2018. New insights on the dominance of cryptophytes in Antarctic coastal waters: A case study in Gerlache Strait. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography.*, 149: 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.02.010>
- Millán-Núñez, E. and R. Millán-Núñez. 2010. Specific Absorption Coefficient and Phytoplankton Community Structure in the Southern Region of the California Current during January 2002. *J. Oceanogr.*, 66: 719-730. <https://doi.org/10.1007/s10872-010-0059-z>
- Mitchell, B.G., M.Kahru, J. Wieland and M. Stramska, 2002. Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. In: Mueller JL, Fargion GS, McClain R (eds) *Ocean Optics protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 4, Volume IV: Inherent Optical Properties: Instruments, Characterizations, Field Measurements and Data Analysis Protocols.* NASA/TM-2003-211621, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD. (Chapter 4), 39–60. Palma, E.D., Matano, R.P., 2012. A numerical study of the Mage.
- Mobley, C. 1994. *Light and Water: radiative transfer in natural waters.* Academic Press, New York.
- Ortega-Retuerta, E., T.K. Frazer, C.M. Duarte, S. Ruiz-Halpern, A. Tovar-Sanchez, J.M. Arrieta and I. Reche. 2009. Biogenesis of chromophoric dissolved organic matter by bacteria and krill in the Southern Ocean. *Limnology and Oceanography.*, 54(6): 1941-1950. <https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6.1941>
- Ortega-Retuerta, E., I. Reche, E. Pulido-Villena, S. Agustí and C.M. Duarte. 2010. Distribution and photoreactivity of chromophoric dissolved organic matter in the Antarctic Peninsula (Southern Ocean). *Mar. Chem.*, 118: 129-139. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2009.11.008>
- Preisendorfer, R.W. 1961. Application of Radiative Transfer Theory to Light Measurements in the Sea. *Union Geod. Geophys. Inst. Monogr.*, 10: 11–30.
- Rodriguez, F., M. Varela and M. Zapata. 2002. Phytoplankton assemblages in the Gerlache and Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) determined by light microscopy and CHEMTAX analysis of HPLC pigment data. *Deep-Sea Res. PTII.*, 49(4-5): 723-747. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00121-7)
- Roy S., C. Llewellyn, E. Skartad and G. Johnsen. 2011. *Phytoplankton pigments. Characterization, Chemotaxonomy and Applications in Oceanography.* Cambridge environmental chemistry series. Published in the United States of America by Cambridge University Press, New York. 892 p. ISBN 978-1-107-00066-7.
- Saba, G.K., Fraser, W.R., Saba, V. S., Lannuzzi, R.A., Coleman, K.E., Doney, S.C., Ducklow, H., Martison, D., Miles, T.N., Patterson-Fraser, D., Stammerjohn, S.E. 2014. Winter and spring controls on the summer food web of the coastal West Antarctic Peninsula. *Nature Communications, Nature communications*, 5(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms5318>
- Sangra, P., C. Gordo, M. Hernández-Arencibia, A. Marrero-Díaz, A. Rodríguez-Santana, A. Stegner, A. Martínez-Marrero, J.L. Pelegrí and T. Pichon. 2011. The Bransfield current system. *Deep Sea Res. Part I: Ocean. Res. Pap.* 58 (4): 390-402. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2011.01.011>
- Santamaria-del-Ángel, E., A. González-Silvera, R. Millán-Núñez, M.E. Callejas-Jiménez and Cajal-Medrano, R. 2011. Determining Dynamic Biogeographic Regions using Remote Sensing Data. In *Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management*; Morales, J., V. Stuart, T. Platt and S., Sathyendranath. Eds. EU PRESPO and IOCCG: Dartmouth, NS, Canada, Chapter 19: 273–293.
- Santamaria-del-Ángel, E., I. Soto, J. Wolny, S. Cerdeira-Estrada, R. Cajal-Medrano, F. Muller-Karger, J. Cannizzaro, Y.X.S. Padilla-Rosas, A. Mercado-Santana, M.F. Gracia-Escobar, P. Alvarez-Torres and M.C. Ruiz-de-la-Torre. 2015. Phytoplankton Blooms : New Initiative Using Marine Optics as a basis for monitorin programs. *Coastal Ecosystems: Experiences and Recommendations for Environmental Monitoring Programs: 57-88.* Nova Science Publishers, Inc.
- Sathyendranath, S. and A. More., 1983. Light emerging from the sea interpretation and uses in remote sensing. *Remote Sensing Applications in Marine Science and Technology*, 323-357. https://doi.org/10.1007/978-94-009-7163-9_16
- Sathyendranath, S., G. Cota, V. Stuart, M. Maassand and Platt, T. 2001. Remote sensing of phytoplankton pigments: a comparison of empirical and theoretical approaches. *Int. J. Remote Sens.*, 22: 249-273. <https://doi.org/10.1080/014311601449925>
- Thomas, C.S. 2012. The HPLC Method. Chapter 6. In: *The Fifth SeaWiFS HPL Analysis Round-Robin Experiment (SeaHARRE-5).* NASA/TM-2012-217503. SEAHARRE5, by: Stanford B. *et al.* November 2012:63-72.
- Varela M., E. Fernandez and Serret P. 2002. Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995-1996. *Deep-Sea Research II*, 49: 749-768. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00122-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00122-9)

- Vidussi, F., H. Claustre, B.B. Manca, A. Luchetta and J.C. Marty. 2001. Phytoplankton pigment distribution in relation to upper thermocline circulation in the eastern Mediterranean Sea during winter. *Journal of Geophysical Research*, 106(C9): 19939-19956. <https://doi.org/10.1029/1999JC000308>
- Wright, S.W., S.W. Jeffrey, R.F. Mantoura, C.A. Llewellyn, T. Bjornland, D. Repeta and N. Welschmeyer, 1991. Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 77: 183-196. <https://doi.org/10.3354/meps077183>
- Wright, S. W. and S. W. Jeffrey. 2006. Pigment markers for phytoplankton production, in *Marine Organic Matter: Biomarkers, Isotopes and DNA*, edited by J. K. Volkman, pp. 71-104, Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/698_2_003
- Wu, J., H. Hong, S. Shang, M. Dai, Lee, Z., J. Wu, H. Hong, S. Shang, M. Dai and Z.L. Variation. 2007. Variation of phytoplankton absorption coefficients in the northern South China Sea during spring and autumn. *Biogeosciences Discussions*, 4(3):1555-1584. <https://doi.org/10.5194/bgd-4-1555-2007>
- Zhou, M., P.P. Niiler and J.H. Hu. 2002. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep Sea Res. Part I: Ocean. Res. Pap.* 49 (2):267-280. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00062-0)

RECIBIDO/RECEIVED: 30/07/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 16/10/2019



Conexión migratoria entre zonas de cría del Pacífico Este y áreas de alimentación en la Península Antártica basado en coincidencias de genotipos individuales

Migratory connections among breeding grounds off the Eastern Pacific and feeding areas in the Antarctic Peninsula based on genotype matching

Susana Caballero^{1*}, Debbie Steel², Logan Pallin³, Natalia Botero-Acosta⁴, Fernando Felix⁵, Carlos Olavarría⁶,
ID 0000-0002-9285-3873 ID 0000-0001-5898-2850 ID 0000-0001-8024-9663 ID 0000-0001-5976-2577 ID 0000-0002-3165-7748

Maria Claudia Diazgranados⁷, Sandra Bessudo⁸, Ari Friedlander^{2,3} y C. Scott Baker²
ID 0000-0001-8237-9840 ID 0000-0003-3819-2004 ID 0000-0003-2183-2036

1. Laboratorio de Ecología Molecular de Vertebrados Acuáticos (LEMVA), Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, carrera 1 No. 18A-10, Bogotá, Colombia. sj.caballero26@uniandes.edu.co
 2. Marine Mammal Institute and Department of Fisheries and Wildlife, Oregon State University, 2030 SE Marine Science Drive, Newport, OR 97365, USA
 3. Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of California Santa Cruz, Coastal Biology Building, 130 McAllister Way, Santa Cruz, CA 95060, USA
 4. Fundación Macuáticos Colombia, Calle 27 No. 79-167, Medellín, Colombia
 5. Museo de Ballenas, Salinas, Ecuador/PO Box 09-06-2370, Guayaquil, Ecuador.
 6. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Raúl Bitrán 1305, La Serena, Chile.
 7. Programa Marino, Conservation International, Carrera 13 No. 71-41, Bogotá, Colombia.
 8. Fundación Malpelo y otros Ecosistemas Marinos, Carrera 11 No. 87-51, Bogotá, Colombia.
- * Autor de correspondencia.

RESUMEN

En este estudio, se analizaron 114 muestras de ADN colectadas en diferentes localidades en la zona de reproducción de la población G (stock G), incluyendo la costa de Ecuador y localidades en el norte y sur del Pacífico colombiano, así como muestras obtenidas en la primera expedición científica colombiana a la Antártica en el estrecho de Gerlache. Se genotipificaron 15 loci microsatélites y se realizaron comparaciones de los genotipos obtenidos. Para estas comparaciones se utilizó una base de datos genéticos de individuos tanto en zonas de reproducción de Colombia y la zona de alimentación alrededor de la península Antártica. Se confirmó la conectividad existente entre las zonas de alimentación alrededor de la península Antártica y las zonas de reproducción en Colombia y Ecuador utilizando marcadores microsatélites. Se encontraron recapturas entre localidades en un mismo año, pero también se obtuvieron algunas recapturas en una misma localidad entre años diferentes, tanto en zonas de reproducción como de alimentación. Se encontraron recapturas de individuos en muestras colectadas con 20 años de diferencia, dando información preliminar sobre la longevidad de los animales de esta población.

PALABRAS CLAVE: *Megaptera novaeangliae*, Pacífico sudeste, Genotipificación, Microsatélite, Conexión migratoria.

ABSTRACT

We analysed 114 DNA samples collected in different locations within the stock G breeding grounds, including Ecuador and the northern and southern Pacific of Colombia. We genotyped 15 microsatellite loci, sexed all samples, and performed genotype comparisons. Genotype comparisons were done using a DNA register of previously genotyped individuals from the Colombian breeding ground and the Antarctic Peninsula feeding Area. We confirmed connectivity between feeding grounds in Antarctic Peninsula and breeding grounds in Colombia and Ecuador using microsatellite loci. We found recaptures within each sampling location in the same year, but we also found a few recaptures in the same locations between years both in breeding and feeding grounds. Interestingly, we found recaptures between breeding and feeding grounds using samples collected 20 years apart, providing some information about longevity in this stock. Further comparisons with other data sets (Brazil, North Pacific) are needed to understand the migratory connectivity of this stock.

KEYWORDS: *Megaptera novaeangliae*, Southeastern Pacific, Genotyping, Microsatellite, Migratory connectivity.

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.SuplEsp.933>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

Las ballenas jorobadas tienen una distribución cosmopolita, con poblaciones distribuidas en las tres cuencas oceánicas: Atlántico Norte, Pacífico Norte y el hemisferio sur. Para el hemisferio sur, la Comisión Ballenera Internacional (International Whaling Commission, IWC) reconoce seis sub poblaciones o stocks (IWC, 1998). La identidad de cada una de estas sub poblaciones está definida de acuerdo con su distribución en zonas de alimentación en altas latitudes y sus áreas de cría en zonas del trópico. Las conexiones migratorias existentes entre estas zonas de cría y alimentación han sido sugeridas según evidencia obtenida por estudios comparativos basados en foto identificación (v. g., Acevedo *et al.* 2017, Flórez-González *et al.* 1998, Garrigue *et al.* 2002, Stevick *et al.* 2004), análisis de ADN mitocondrial (v. g., Baker *et al.* 1998, Olavarría *et al.* 2007, Félix *et al.* 2012) y, recientemente, por comparación de genotipos a nivel individual (Steel *et al.* 2017).

Se describió una conexión migratoria entre lugares de reproducción y cría en la costa Pacífica de Colombia y las zonas de alimentación alrededor de la Península Antártica (sub población o stock G) a partir de análisis genéticos (Caballero *et al.* 2000, 2001; Olavarría *et al.* 2007). Cuando se compara la sub población G con otras sub poblaciones del Hemisferio Sur, se encuentra que la población que visita y se reproduce anualmente en el Pacífico Colombiano presenta una diferenciación genética significativa con respecto a las demás de esta región (Olavarría *et al.* 2007). Adicionalmente se ha reportado una diversidad haplotípica (h) y nucleotídica (π) relativamente altas para esta zona de reproducción (Caballero *et al.* 2001, Olavarría *et al.* 2007). La zona de reproducción del Pacífico Colombiano puede tener una importancia particular ya que se ha sugerido como un posible corredor para flujo genético en el pasado y actualmente, permitiendo el intercambio genético entre los grupos del Pacífico Norte y el Hemisferio Sur. Esto ha sido sugerido con base en la identificación de haplotipos de la región control del ADN mitocondrial que se encuentran compartidos entre la zona de reproducción del Pacífico Colombiano y las zonas de alimentación del Pacífico Norte (Caballero *et al.* 2001, Baker y Medrano-González 2002)

Otras áreas del Pacífico Sudeste han sido reconocidas también como zonas de reproducción de la sub población G. Estas incluyen la costa de Ecuador y las Islas Galápagos en el sur y la frontera entre Panamá y Colombia en el norte (Félix *et al.* 2011, Félix *et al.* 2012).

INTRODUCTION

Humpback whales have a cosmopolitan distribution with populations in all three major ocean basins: North Atlantic, North Pacific and Southern Hemisphere. In the Southern Hemisphere, six breeding stocks are recognised by the IWC (IWC, 1998). The identity of each of these stocks has been defined because of their distribution in high latitude feeding grounds and breeding grounds in tropical sites. The migratory connections between summer and winter grounds have been suggested for these stocks based on photo ID comparisons (e.g., Flórez-González *et al.*, 1998; Garrigue *et al.*, 2002; Stevick *et al.*, 2004; Acevedo *et al.* 2017) and mitochondrial DNA analyses (e.g., Baker *et al.*, 1998; Olavarría *et al.*, 2007; Félix *et al.*, 2012) and recently, by genotype matching (Steel *et al.*, 2017).

A migratory connection between breeding sites off the Pacific Coast of Colombia and the feeding grounds off the Antarctic Peninsula (Breeding Stock G) was described based on genetic analyses (Caballero *et al.*, 2000, 2001; Olavarría *et al.*, 2007). Among Southern Hemisphere stocks, the population that overwinters, and breeds, in the Colombian Pacific is significantly differentiated genetically from other populations in the region (Olavarría *et al.*, 2007). Relatively high haplotype (h) and nucleotide (π) diversities have been reported for humpbacks in this breeding ground (Caballero *et al.*, 2001; Olavarría *et al.*, 2007). The Colombian breeding ground may be of particular importance as it has been suggested as a possible corridor for past or present genetic exchange between North Pacific and Southern Hemisphere humpbacks. This has been suggested due to the identification of shared control region haplotypes found between the Colombian breeding ground and breeding and feeding areas in the North Pacific (Caballero *et al.*, 2001; Baker and Medrano-González, 2002)

Other areas in the southeastern Pacific have also been recognized as breeding grounds for stock G. These include the coast of Ecuador and the Galapagos Islands in the south, and the border between Panama and Colombia in the north (Félix *et al.*, 2011, 2012). There appears to be some population stratification among locations constituting this breeding ground, since some haplotypes found in Ecuador have only been previously described in the Magellan Strait and not in the Antarctic Peninsula (Félix *et al.*, 2012). Further molecular studies in these regions will

Parece existir también sub estructuración o estratificación poblacional entre las localidades que constituyen esta zona de reproducción, ya que algunos haplotipos encontrados en muestras de Ecuador solo han sido previamente descritos en el Estrecho de Magallanes y no alrededor de la Península Antártica (Félix *et al.* 2012). Estudios moleculares en estas zonas adicionales podrán ayudar a clarificar si esta posible sub estructuración existe entre localidades de esta zona de reproducción (Félix *et al.* 2012), ya que estudios de foto identificación (Acevedo *et al.*, 2017) y marcaje satelital también la sugieren (Guzmán and Félix, 2017).

En este trabajo presentamos resultados de comparaciones a nivel individual a partir de genotipos realizados a partir de muestras colectadas en diferentes localidades de alimentación y reproducción del Pacífico sudeste, incluyendo la costa de Ecuador, el Pacífico Colombiano y la Península Antártica.

ZONA DE ESTUDIO

Se colectaron muestras de piel de ballenas jorobadas durante la temporada de reproducción en Salinas, Ecuador, entre 2006 y 2010 (N=55), cerca de Nuquí, Golfo de Tribugá, Departamento del Choco, en la zona norte del Pacífico Colombiano entre 2015 y 2016 (N=43), en Bahía Málaga y la Isla Gorgona, Departamento del Valle del Cauca en el sur del Pacífico Colombiano (N=2), y en el Estrecho de Gerlache, en la Península Antártica, como parte de la primera expedición Colombiana a la Antártica en 2014 (N=14) (Tabla 1 y Figura 1).

Tabla 1. Resumen de las muestras y de los perfiles de ADN de las zonas de reproducción y las zonas de alimentación de la subpoblación o stock G, que incluyen el sexo de las muestras. QC hace referencia a las muestras que cumplieron con los estándares de control de calidad y fueron incluidas en los análisis finales.

allow for clarification of possible population stratification or fine-scale population structure among location in this breeding ground (Félix *et al.*, 2012). Stratification of the BSG at breeding grounds has also been found using photo-identification (Acevedo *et al.*, 2017) and satellite tagging (Guzmán and Félix, 2017).

Here we present results from genotype matching for samples from different locations among the southeastern Pacific breeding ground, including Coastal Ecuador, the Colombian Pacific Coast, and the Antarctic Peninsula.

STUDY AREA

Skin samples were collected from humpback whales during field seasons around Salinas, Ecuador between 2006 and 2010 (N=55), close to Nuquí, Tribuga Gulf, in the Northern Colombian Pacific in 2015 and 2016 (N=43), in Bahía Málaga and Gorgona Island, in the Southern Colombian Pacific (N=2), and in the Gerlach Strait, Antarctic Peninsula, as part of the first Colombian Antarctic Expedition in 2014 (N=14) (Table 1 and Figure 1).

Table 1. Summary of samples and DNA profiles from breeding grounds and Antarctic feeding grounds of stock G, including sex of the samples. QC refers to samples that passed the quality control parameters and were included in the analysis.

	# Muestras / # Samples	# QC Muestras / # QC samples	# Individuos / # Individuals	# Machos / # Males	# Hembras / # Females
Ecuador	55	51	48	36	12
Norte Colombia / Northern Colombia	43	43	41	28	15
Sur Colombia / Southern Colombia	2	2	2	1	1
Península Antártica / Antarctic Peninsula	14	14	10	7	7
Total	114	110	101	72	35

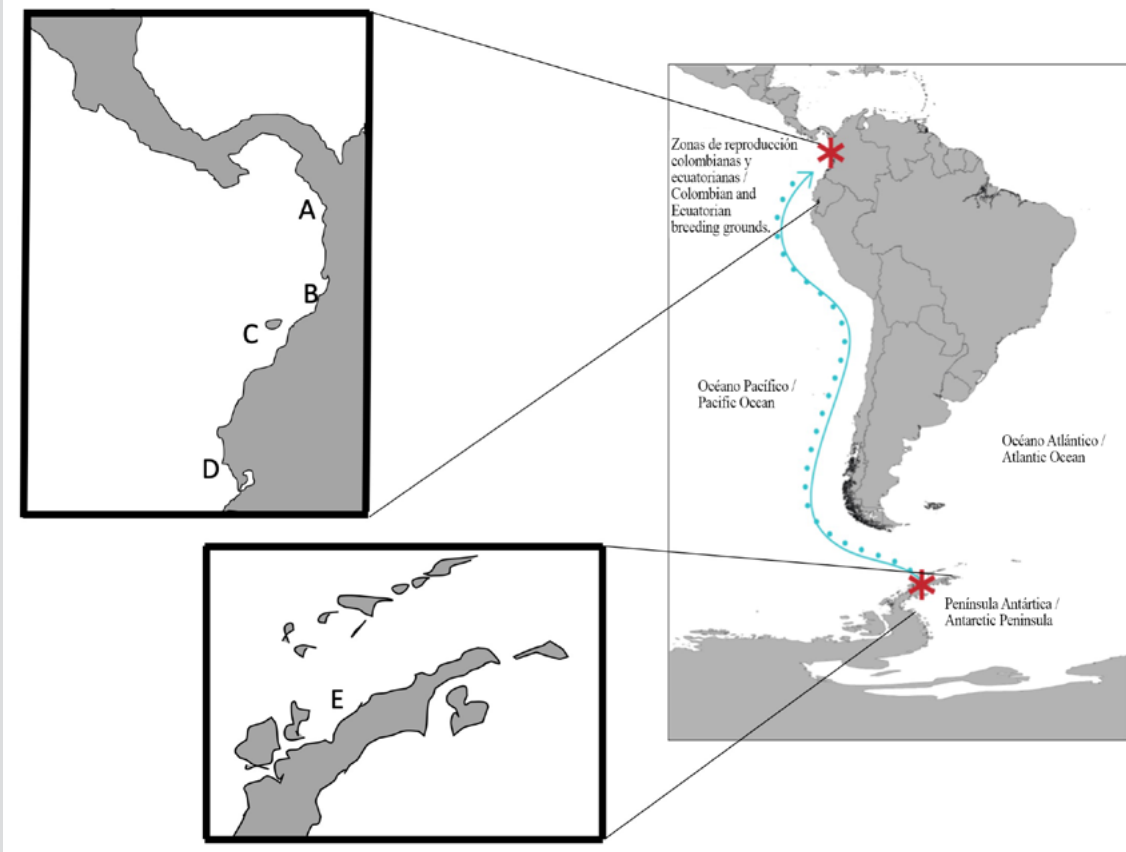


Figura 1. Localidades de muestreo en las zonas de alimentación y de reproducción para la subpoblación G: A. Nuquí, Departamento del Chocó, Colombia (Norte de Colombia), B. Bahía Málaga y C. Isla Gorgona Departamento del Valle del Cauca, Colombia, D. Salinas, Ecuador, y E. Estrecho de Gerlache, Península Antártica. En azul, ruta migratoria.

Figure 1. Sampling locations among the breeding and feeding grounds of Stock G: A. Nuquí, Colombia (Northern Colombia), B. Málaga Bay and C. Gorgona Island, Colombia, D. Salinas, Ecuador, and E. Gerlach Strait, Antarctic Peninsula. In blue, migratory route.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se colectaron biopsias de piel utilizando el rifle modificado Paxarms (Krützen *et al.* 2002) y se colectó piel desprendida, flotando en el agua, utilizando una malla para atraparla (ver Félix *et al.*, 2012). Las muestras fueron preservadas en etanol al 95 % y mantenidas 4 °C hasta su análisis en el laboratorio. Se extrajo ADN total utilizando proteinasa K para digerir el tejido, seguido por un protocolo clásico de fenol-cloroformo (Sambrook *et al.* 1989). Se genotipificaron 15 loci microsatélites siguiendo los protocolos de Constantine *et al.* (2012) y de Steel *et al.* (2017) utilizando los primers o cebadores previamente publicados: Ev1, Ev14, Ev21, Ev37, Ev94, Ev96, Ev104 (Valsecchi y Amos 1996) GATA417, GATA28 (Palsboll *et al.* 1997) rw31, rw 4-10, rw48 (Waldick *et al.* 1999) and GT211, GT575, GT23 (Bérubé *et al.* 2000). La identificación individual fue confirmada con sexaje molecular y secuenciación de la región control del ADN mitocondrial (mtDNA) siguiendo los

MATERIALS AND METHODS

Skin biopsies were collected using the Paxarms modified rifle (Krützen *et al.*, 2002) and sloughed skin was collected from the water scooping it with a net (see Félix *et al.*, 2012). Samples were preserved in ethanol 95 % and stored at 4° C before laboratory analysis. DNA was extracted following a skin tissue digestion with proteinase K and a standard phenol-chlorophorm extraction method (Sambrook *et al.*, 1989). Genotyping of 15 microsatellite loci followed protocols from (Constantine *et al.*, 2012) and (Steel *et al.*, 2017) using previously published primers: Ev1, Ev14, Ev21, Ev37, Ev94, Ev96, Ev104 (Valsecchi and Amos, 1996) GATA417, GATA28 (Palsboll *et al.*, 1997) rw31, rw 4-10, rw48 (Waldick *et al.*, 1999) and GT211, GT575, GT23 (Bérubé *et al.*, 2000). Individual identification was also confirmed by molecular sex identification and sequencing of the mitochondrial control region (mtDNA) following the protocols from

protocolos de Olavarria *et al.* (2007). Cada loci microsatélite fue amplificado por PCR de manera independiente y luego todos los productos de amplificación fueron combinados (multiplex) para su montaje en el secuenciador ABI 3730 xl DNA (Applied Biosystems), utilizando el marcador de peso 500LIZ™. La identificación de los alelos se realizó utilizando el programa ABI PRISM GeneMapper 4.0 (Life Technologies). Las muestras amplificadas para 10 loci o menos se consideraron de baja calidad y se eliminaron de la base de datos. Los genotipos de alta calidad fueron resueltos utilizando el programa CERVUS (Marshall *et al.* 1998) requiriendo una coincidencia exacta de al menos ocho loci, soportado por la información del sexo y el haplotipo mitocondrial. Los valores de la probabilidad (PI) de identidad se encontraron en el rango entre 2.1×10^{-7} y 5.7×10^{-12} para el criterio de mínimo de ocho loci coincidentes. Se realizaron comparaciones de los genotipos generados utilizando dos “registros” de ADN (definiendo como “registros” una base de datos electrónica de perfiles de ADN) para individuos de ballenas jorobadas previamente identificados para la zona de reproducción de la costa Pacífica de Colombia (N = 111; 1991-1999) y la zona de alimentación alrededor de la Península Antártica (N = 70; 1989-1999) mantenidas por el South Pacific Whale Research Consortium (Steel *et al.* 2017) y, por un acuerdo de colaboración, también se compararon con un archivo de 508 muestras individuales colectadas en la Península Antártica en años recientes (2010-2016; Pallin 2018). Adicionalmente, y con el fin de confirmar los patrones de estructura poblacional previamente descritos para la subpoblación del Pacífico sudeste, dicha estructura poblacional fue evaluada con el programa STRUCTURE® v. 2.3 (Pritchard, *et al.* 2000) que asigna individuos a grupos utilizando un modelo Bayesiano que minimiza el desequilibrio de ligamiento y las desviaciones del equilibrio de Hardy-Weinberg. Se corrió el modelo de panmixia con correlación de frecuencias alélicas para estimar el número más probable de grupos genéticos (K) en la muestra (*length burn-in period*: 10 000; MCMC: 100 000). Este programa evalúa diferentes valores de K utilizando diversos modelos de ancestría. Se corrieron diez réplicas en STRUCTURE y los resultados fueron visualizados en el programa Structure Harvester (Earl and vonHoldt, 2012). En este análisis se incluyeron 254 muestras de la Península Antártica, de Colombia y de Ecuador y para realizar comparaciones se incluyó un grupo de muestras de Brasil (n=50) (Cypriano-Sousa *et al.*, 2016) y del Pacífico Sur (Nueva Caledonia, n = 50; Polinesia Francesa y Samoa Americana, n = 100; Tonga, n= 50) (Steel *et al.* 2017)

(Olavarria *et al.*, 2007). Microsatellite loci were amplified individually and PCR products were multiplexed for loading in an ABI 3730 xl DNA sequencer (Applied Biosystems), using 500LIZ™ size standard. Allele calling was done using ABI PRISM GeneMapper Software 4.0 (Life Technologies). Samples which amplified at less than 10 loci were considered poor quality and were removed from the dataset. Quality genotypes were resolved using the program CERVUS (Marshall *et al.*, 1998) requiring the exact match of at least eight loci, supported by information on sex and mtDNA control region haplotype. Probability of identity (PI) values ranged between 2.1×10^{-7} and 5.7×10^{-12} for the minimum criterion of eight matching loci. Genotype comparisons were done using a DNA ‘register’ (i.e., a searchable electronic database of DNA profiles) of previously genotyped individuals from the Colombian breeding ground (N = 111; 1991-1999) and the Antarctic Peninsula feeding Area (N = 70; 1989-1999) both held by the South Pacific Whale Research Consortium (Steel *et al.*, 2017) and, through a collaborative agreement, to a more recent collection from Antarctic Peninsula of 508 individuals (2010-2016; Pallin, 2018). Additionally, in order to confirm previously described patterns of genetic structure for the Eastern Pacific humpback whale stock, these were evaluated using STRUCTURE® v. 2.3 (Pritchard *et al.*, 2000) which assigns individuals to groups using a Bayesian model-based method that minimizes linkage disequilibrium and deviations from Hardy-Weinberg expectations. The admixture model with correlated allele frequencies was selected to estimate the most likely number of gene pools (K) in the sample (*length burn-in period*: 10 000; MCMC: 100 000). This software also evaluates different K values using population ancestry models. Ten replicates were run in STRUCTURE and results were visualized in Structure Harvester (Earl and vonHoldt, 2012). For this analysis, 254 samples from Antarctic Peninsula, Colombia and Ecuador were used for comparisons with a subset of samples from Brazil (n=50) (Cypriano-Sousa *et al.*, 2016) and from the South Pacific (New Caledonia, n = 50; French Polynesia and American Samoa, n = 100; Tonga, n= 50) (Steel *et al.*, 2017)

RESULTADOS

Ciento catorce muestras fueron obtenidas a partir de biopsias remotas o de piel desprendida en tres localidades del Pacífico sudeste y de la Península Antártica. Se buscó obtener perfiles genéticos de estas muestras para realizar comparaciones con los genotipos de los registros de ADN del South Pacific Whale Research Consortium, que incluyen 16 loci microsatélite, haplotipos de ADN mitocondrial y sexo (Steel *et al.* 2017). Para todas las muestras se logró determinar el sexo y el haplotipo mitocondrial, información utilizada para poder aclarar recapturas potenciales (Tabla 1). De los 15 microsatélites utilizados, uno (EV21) no amplificó apropiadamente y no fue incluido en los análisis. Cuatro muestras, todas de Ecuador, no amplificaron para lograr el mínimo de calidad requerida de 10 loci para análisis y no fueron incluidas en la base de datos.

Las comparaciones realizadas con el resto de los 110 genotipos revelaron nueve coincidencias (matches) dentro de las localidades, tres en Ecuador, dos en Colombia y cuatro en la Península Antártica. (Tabla 1). Todas estas recapturas se dieron dentro de una misma temporada de campo con la excepción de un individuo, que fue muestreado en Ecuador en 2009 y nuevamente en 2010. Luego de eliminar estas recapturas dentro de cada localidad, los 101 genotipos restantes fueron comparados con individuos muestreados en 181 Colombia (N = 111) y la Península Antártica (N = 70) 20 años antes, y con un catálogo genético contemporáneo de la Península Antártica (Pallin *et al.* 2017, N = 510; 2010 - 2016) (Tabla 2). Considerando el solapamiento espacial y temporal entre 10 individuos muestreados en la Península Antártica incluidos en este estudio y en el catálogo de Pallin *et al.* (2018), estas dos bases de datos fueron comparadas primero y luego se unieron para realizar comparaciones posteriores con otras colectas temporales y espaciales. Se identificaron dos recapturas; un individuo muestreado en 2013 y nuevamente en 2015 y una muestra obtenida en 2015 y nuevamente en 2016. Luego de quitar dichas recapturas, un total de 518 individuos se definieron en la colección contemporánea de genotipos de la Península Antártica. Al comparar estos genotipos con los perfiles de los 70 individuos colectados 20 años antes, se encontraron dos recapturas en la misma región con un espacio temporal de 18 años, una hembra muestreada en 1997 y nuevamente en el 2015 (Tabla 3). Por el contrario, no se encontró ninguna recaptura al comparar las bases de datos de genotipos obtenidos en años recientes en las localidades de la zona de reproducción (Colombia

RESULTS

One hundred and fourteen samples were obtained from skin biopsies or sloughed skin from three locations in the southeastern Pacific and the Antarctic Peninsula. We attempted to provide comparable DNA profiles of these samples for comparison to those held in the DNA register of the South Pacific Whale Research Consortium, including 16 microsatellite loci, mtDNA haplotypes and sex identification (Steel *et al.*, 2017). All samples provided sex and mtDNA, information that helped in confirming potential recaptures (Table 1). Of the 15 microsatellite loci tried, one (EV21) failed to amplify and was dropped from further analyses. Four samples, all from Ecuador, failed to amplify for the minimum quality control (QC) criteria of 10 loci and were removed from the dataset.

Comparison of the remaining 110 genotypes revealed nine internal region matches, three within Ecuador, two within Colombia and four within the Antarctic Peninsula dataset (Table 1). All recaptures were within a field season with the exception of one individual, which was sampled in Ecuador in 2009 and again in 2010. After within-region replicates were removed the 101 individual genotypes were compared to 181 individuals sampled in Colombia (N = 111) and the Antarctic Peninsula (N = 70) almost 20 years earlier and to a large contemporary genetic catalogue from the Antarctic Peninsula (Pallin *et al.*, 2017, N = 510; 2010 - 2016) (Table 2). Given the spatial and temporal overlap between the 10 individuals sampled in the Antarctic Peninsula as part of this study and the Pallin *et al.* (2018) genetic catalogue, these two datasets were compared first and then merged for later comparisons to the other temporal and spatial collections. Two recaptures were identified between the two datasets; one individual sampled in 2013 and again in 2015 and one sampled in 2015 and again in 2016. After removing these recaptures, a total of 518 individuals remained in the contemporary collection of DNA profiles from Antarctic Peninsula. Comparing genotypes of these individuals to genotypes of 70 individuals collected in the same region two decades earlier revealed two recaptures each spanning 18 years, one female sampled in 1996 and again in 2014 and another female sampled in 1997 and again in 2015 (Table 3). In contrast, no recaptures were found when comparing the recent breeding ground genetic catalogues (Colombia 2015-2017 and Ecuador 2006-2010) to the previous breeding ground genetic catalogue (Colombia 1991-1999) (Table 3). A comparison of genotypes between the three



2015-2017 y Ecuador 2006-2010) ni con el catálogo de genotipos de años anteriores (Colombia 1991-1999) (Tabla 3). Una comparación de genotipos entre las localidades de la zona de reproducción y las de alimentación reveló cinco recapturas (Tabla 3), una previamente reportada por *et al.* (2017), tres entre la base de datos de Colombia 1991-1999 y la base de datos de la Península Antártica 2010-2016 y una entre Ecuador y la Península Antártica 2010-2016 (Tabla 3).

breeding grounds and the two feeding grounds revealed five recaptures (Table 3), one previously described in Steel *et al.* (2017), three between the Colombia 1991-1999 catalogue and the Antarctic Peninsula 2010-2016 collection and one between the Ecuador and the Antarctic Peninsula 2010-2016 collection (Table 3).

Tabla 2. Bases de datos utilizadas en las comparaciones realizadas.

Table 2. Datasets used for comparison

	Años de colecta / Collection years	# Individuos / # Individuals	# Machos / # Males	# Hembras / # Females
Colombia	1991-1999	111	64	25
Península Antártica / Antarctic Peninsula	1989-1999	70	23	40
Península Antártica / Antarctic Peninsula	2010-2016	507	239	268
Total		697	326	333

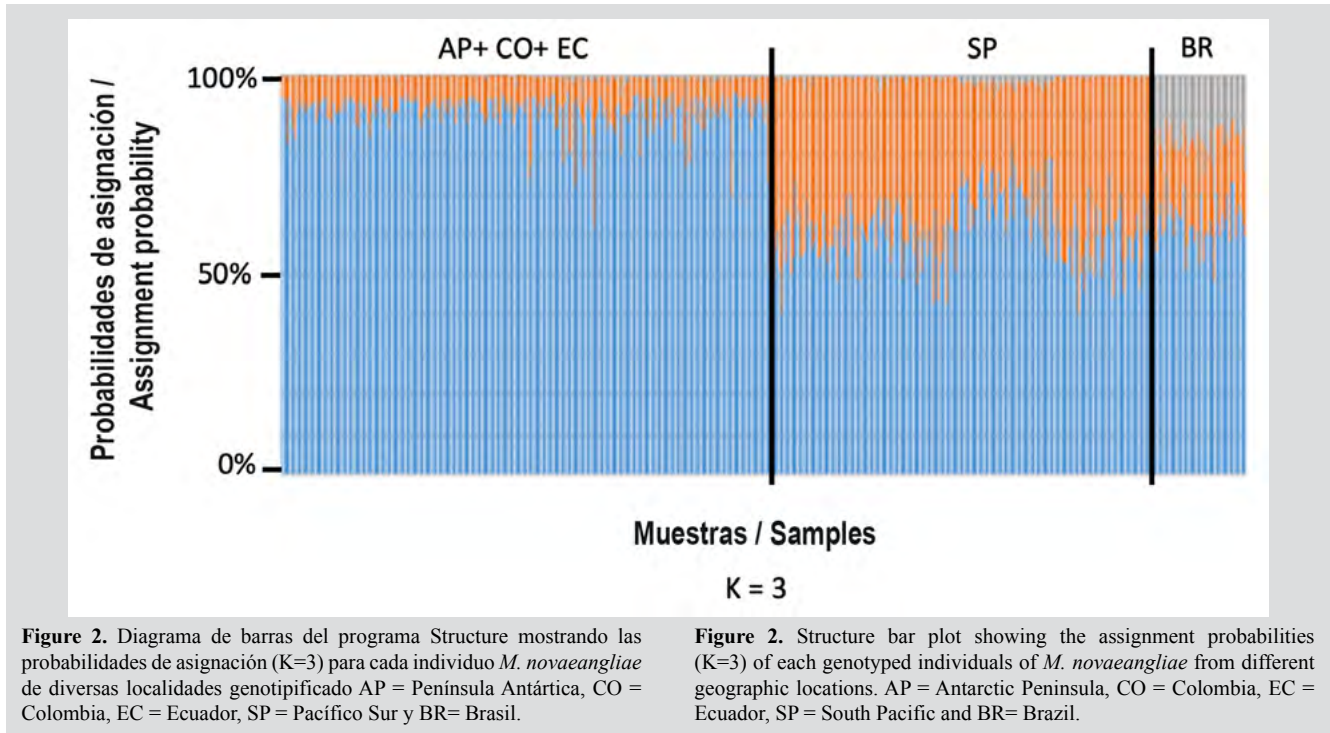
Tabla 3. Recapturas individuales a partir de genotipos dentro y entre muestreos en la región. El número sobre la diagonal representa las recapturas entre años, dentro de la misma localidad. El número debajo de la diagonal representa recapturas entre las zonas de alimentación y reproducción. * representa una recaptura previamente descrita.

Table 3. Genotype recaptures within and between regional collections. Number on diagonal is between-year, within-region recaptures. Numbers below diagonal are between-region matches. * previously described recapture.

Región (años) / Region (years)	N	Colombia (1991-99)	Colombia (2015-16)	Ecuador (2006-10)	Península Antártica / Antarctic Peninsula (1989-99)	Península Antártica / Antarctic Peninsula (2010-16)
Colombia (1991-99)	111	6				
Colombia (2015-16)	43	0	0			
Ecuador (2006-10)	48	0	0	1		
Península Antártica / Antarctic Peninsula (1989-99)	70	1*	0	0	1	
Península Antártica / Antarctic Peninsula (2010-16)	518	3	0	1	2	13

El análisis de estructura genética confirmó que todas las muestras analizadas pertenecían a una misma población (K=3) (Figura 2), confirmando la conectividad genética existente entre las zonas de alimentación alrededor de la Península Antártica y las zonas de reproducción, y mostrando diferenciación genética al realizar comparaciones con grupos de otras áreas del Hemisferio Sur (Pacífico Sur y Brasil), soportando lo previamente establecido por otros autores (Cypriano-Sousa *et al.* 2016; Steel *et al.* 2017).

The analysis of genetic structure confirmed that all the samples belonged to one population (K=3) (Figure 2), confirming connectivity between Antarctic Peninsula feeding and breeding grounds, showing differentiation with groups from other areas of the Southern Hemisphere (South Pacific and Brazil) as previously established by other authors (Cypriano-Sousa *et al.*, 2016; Steel *et al.*, 2017).



DISCUSION

En este trabajo presentamos resultados de genotipificación individual y recapturas en muestras de ballenas jorobadas de diversas localidades de las zonas de reproducción del Pacífico Este y sus zonas de alimentación alrededor de la Península Antártica. Este es el primer trabajo presentando resultados sobre el uso de marcadores moleculares nucleares (microsatélites) para esta subpoblación o stock, ya que los trabajos anteriores sobre genética poblacional de estos grupos se habían enfocado en análisis de secuencias de la región control del ADN mitocondrial (Caballero *et al.* 2002, Olavarría *et al.* 2007). Estos resultados confirman conocimiento previo sobre la conectividad genética existente entre los grupos que se alimentan en la zona del estrecho de Gerlache en la Península Antártica y sus zonas de reproducción en la costa de Ecuador y el Pacífico Colombiano.

En este estudio se presenta información sobre recapturas genéticas individuales encontradas entre estas dos regiones. La mayoría de las recapturas encontradas en nuestros análisis fueron recapturas dentro de cada una de las localidades de muestreo, pero hubo algunas interesantes para la misma localidad en años diferentes, tanto en zonas de alimentación como en zonas de reproducción, apoyando los datos presentados por Steel *et al.*, (2017).

DISCUSSION

Here we present results from genotype matching for samples from different locations among the Eastern Pacific breeding grounds and the feeding areas around Antarctic Peninsula for stock G. This is the first study presenting results for this stock from nuclear molecular markers, such as microsatellite loci, since all previous studies on this population had focused on mitochondrial DNA control region (Caballero *et al.*, 2001; Olavarría *et al.*, 2007). These results confirm previous knowledge regarding known genetic connectivity between feeding areas around the Gerlach Strait in Antarctic Peninsula and breeding areas of Colombia and Ecuador.

In this study we present individual genetic recaptures found between these two areas. Most of the recaptures found in our analyses were internal matches, but there were a few interesting recaptures in the same region for different years, both in breeding and feeding grounds, further supporting the findings by Steel *et al.* (2017).

Also, finding recaptures between breeding grounds and feeding grounds with samples collected 20 years apart provides indirect initial information about longevity of these individuals and confirms philopatry and a strong migratory connection between these areas for



Adicionalmente, el encontrar recapturas entre zonas de reproducción y alimentación para muestras tomadas con una diferencia temporal de 20 años proporciona información inicial sobre la longevidad de estos animales y confirma la filopatría y la fuerte conexión migratoria existente entre estas áreas para el stock G. Así mismo, el no haber encontrado recapturas para muestras colectadas en diferentes localidades dentro de la zona de reproducción (Ecuador y el norte del Pacífico Colombiano vs sur del Pacífico Colombiano), parece soportar la hipótesis sobre estratificación poblacional dentro de las áreas de esta zona de reproducción (Félix *et al.*, 2012, Guzmán and Félix, 2016). Estudios futuros deberán incluir muestras adicionales de estas áreas, así como muestras de animales que se alimentan en el Estrecho de Magallanes y que se reproducen potencialmente en Panamá y Costa Rica (Acevedo *et al.* 2017).

Análisis adicionales permitirán realizar la identificación de recapturas potenciales cuando estos datos sean comparados con registros de ADN para el Pacífico Sur y subpoblaciones adyacentes (e.g., Brasil, Cypriano-Souza *et al.* 2016) y ayudarán a informar sobre potencial migración entre Hemisferios cuando se puedan hacer comparaciones con muestras obtenidas de grupos del Pacífico Norte.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al South Pacific Whale Research Consortium por permitirnos tener acceso a las bases de datos genéticas utilizadas para realizar estas comparaciones. Por el apoyo logístico para realizar la toma de muestras en el Estrecho de Gerlache, agradecemos al programa Antártico Colombiano y a D. Mojica. El apoyo financiero para realizar esta investigación fue otorgado por la Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes (Proyecto Semilla Profesor, a S. Caballero) y de Oregon State University (a C. S. Baker).

stock G. Also, the fact that no recaptures were found among samples collected in different areas within this breeding ground (Ecuador and the northern Colombian Pacific vs southern Colombian Pacific), temporally separated by 20 years, could support the hypothesis of population stratification within areas of this breeding ground (Félix *et al.*, 2012; Guzmán and Félix, 2016). Future studies should include additional samples from these areas, plus samples from animals known to feed in the Magellan Strait and potentially breed in Panamá and Costa Rica (Acevedo *et al.*, 2017).

Additional analyses will allow identification of other potential recaptures when this data are compared with the DNA register for the South Pacific and adjacent stocks (e.g., Brazil, Cypriano-Souza *et al.*, 2016) and inform of potential cross hemisphere migration or genetic exchange when comparisons are done with samples from the North Pacific.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the South Pacific Whale Research Consortium for access to the genetic database used in these comparisons. For logistic support for sample collection in the Gerlach Strait we thank the Colombian Antarctic Project and D. Mojica. Financial support for this research came from Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes (Proyecto Semilla Profesor, to SC) and Oregon State University (to CSB).

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Acevedo, J., A. Aguayo-Lobo, J. Allen, N. Botero-Acosta, J. Capella, C. Castro, L. Dalla Rosa, J. Denkinger, F. Félix, L. Flórez-González, F. Garita, H.M. Guzmán, B. Haase, G. Kaufman, M. Llano, C. Olavarría, A.S. Pacheco, J. Plana, K. Rasmussen, M. Scheidat and E.R. Secchi. 2017. Migratory preferences of humpback whales between feeding and breeding grounds in the eastern South Pacific. *Mar. Mam. Sci.*, 33: 1035-1052.
- Baker, C. S. and L. Medrano-González. 2002. Worldwide distribution and diversity of humpback whale mitochondrial DNA lineages. In: Pfeiffer, C.J. (Ed.). *Molecular and Cell Biology of Marine Mammals*. Krieger Publishing, Malabar, Florida.
- Baker, C. S., L. Flórez-González, R. B. Abernethy, H. C. Rosenbaum, R. W. Slade, J. Capella and J. L. Bannister. 1998. Mitochondrial DNA variation and maternal gene flow among humpback whales of the Southern Hemisphere. *Mar. Mam. Sci.*, 14:721-737.
- Bérubé, M., H. Jorgensen, R. McEwing and P. J. Palsboll. 2000. Polymorphic di-nucleotide microsatellite loci isolated from the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*. *Mol. Ecol.*, 9:2181-2183.

- Caballero, S., H. Hamilton, L. F6rez-Gonz6lez, J. Capella, C. Olavarria, H. Rosenbaum and C. S. Baker. 2000. Stock identity and diversity of humpback whale mitochondrial DNA lineages on the Colombian winter breeding grounds. Internat. Whaling Com., report SC/52/IA14. 1-7 pp.
- Caballero, S., Hamilton, H. Jaramillo, C., Capella, J., Fl6rez-Gonz6lez, L., Olavarria, C. Rosenbaum, H., Guhl, F. and C. S. Baker. 2001. Genetic characterization of the Colombian Pacific Coast humpback whale population using RAPD and mitochondrial DNA sequences. Mem. Queensland Mus., 47: 459-464.
- Constantine, R., Jackson, J. A., Steel, D., Baker, C. S., Brooks, L., Burns, D., Clapham, P., Hauser, N., Madon, B., Matilla, D., Oremus, M., Poole, M., Robbins, J., Thompson, K. and C. Garrigue. 2012. Abundance of humpback whales in Oceania using photo-identification and microsatellite genotyping. Mar. Ecol. Progr. Ser., 453: 249-261.
- Cypriano-Souza, A. L., Engel, M. H., Caballero, S., Olavarria, C., Fl6rez-Gonz6lez, L., Capella, J., Steel, D., Sremba, A., Aguayo, A., Thiele, D., Baker, C. S. and S. L. Bonato. 2016. Genetic differentiation between humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) from Atlantic and Pacific breeding grounds of South America. Mar. Mam. Sci., 33:457-479.
- Earl, D. A. and B. M Vonholdt. 2012. Structure Harvester: a website and program for visualizing structure output and implementing the Evanno method. Cons. Gen. Res., 4: 359-361.
- F6lix, F., D. M. Palacios, S. K. Salazar, S. Caballero, B. Haase and J. Falconi. 2011. The 2005 Gal6pagos humpback whale expedition: a first attempt to assess and characterise the population in the Archipelago. J. Cet. Manag., 3:291-299.
- F6lix, F., S. Caballero and C. Olavarria. 2012. Genetic diversity and population structure of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) from Ecuador based on mitochondrial DNA analyses. J. Cet. Manag., 12:71-77.
- Fl6rez-Gonz6lez, L., J. Capella, B. Hasse, G. Bravo, F. F6lix and T. Gerrodette. 1998. Changes in winter destinations and the northernmost record of southeastern Pacific humpback whales. Mar. Mam. Sci., 14:189-196.
- Garrigue, C., A. Aguayo, V. L. U. Amante-Helweg, et al. 2002. Movements of humpback whales in Oceania, South Pacific. J. Cet. Manag., 4:255-260.
- Guzm6n, H. M. and F F6lix. 2017. Movements and habitat use by Southeast Pacific humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) stellite tracked at two breeding sites. Aq. Mam., 43: 139-155.
- International Whaling Commission. 1998. Annex G – Report of the sub-committee on the comprehensive assessment of Southern Hemisphere humpback whales. Report to the International Whaling Commission 48:170–182
- Kr6tzen, M., L. M. Barr6, L. M. M6ller, M. R. Heithaus, C. Simms and W. B. Sherwin. 2002. A biopsy system for small cetaceans: darting success and wound healing in *Tursiops* spp. Mar. Mam. Sci., 18: 863-878.
- Marshall, T. C., J. Slate, L. E. B. Kruuk and J. M. Pemberton. 1998. Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. Mol. Ecol., 7: 639-655.
- Olavarria, C., C. S. Baker, C. Garrigue, et al. 2007. Population structure of South Pacific humpback whales and the origin of the eastern Polynesian breeding grounds. Mar. Ecol. Progr. Ser., 330: 257-268.
- Pallin, L. J., C. S Baker, D. Steel, et al. 2018. High pregnancy rates in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) around the Western Antarctic Peninsula, evidence of a rapidly growing population. Roy. Soc. Open Sci., 5: 180017.
- Palsboll, P. J., M. B6rub6, A. H. Larsen and H. Jorgensen. 1997. Primers for the amplification of tri- and tetramer microsatellite loci in baleen whales. Mol. Ecol., 6: 893-895.
- Pritchard, J. K., M. Stephens and P. Donnelly. 2000. Inferences of population structure using multilocus genotype data. Genetics, 155: 945-959.
- Sambrook, J., E. F. Fritsch and T. Maniatis. 1989. Molecular cloning: a laboratory manual. Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York, U.S.A. 1546 pp
- Steel, D., M. Anderson, C. Garrigue, C. Olavarria, S. Caballero, S. Childerhouse, P. Clapham, R. Constantine, S. Dawson, M. Donoghue, L. Fl6rez-Gonz6lez, N. Gibbs, N. Hauser, M. Oremus, D. Paton, M. M. Poole, J. Robbins, L. Slooten, D. Thiele, J. Ward and C. S. Baker. 2017. Migratory interchange of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) among breeding grounds of Oceania and connections to Antarctic feeding areas based on genotype matching. Polar Biol. <https://doi.org/10.1007/s00300-017-2226-9>
- Stevick, P. T., A. Aguayo, J. Allen, et al. 2004. Migrations of individually identified humpback whales between the Antarctic Peninsula and South America. J. Cet. Res. Manag., 6: 109-113.
- Valsecchi, E. and W. Amos. 1996. Microsatellite markers for the study of cetacean populations. Mol. Ecol., 5: 151-156.
- Waldick, R. C., M. W. Brown and B. N. White. 1999. Characterization and isolation of microsatellite loci from the endangered North Atlantic right whale. Mol. Ecol., 8: 1763-1765.



Características de mezcla de submesoescalas en las bahías del Estrecho de Gerlache (Antártida)

Submeso-scale Mixing Features in the Gerlache Strait Bays (Antarctica)

Jhon F. Mojica^{1-4*}, David M. Holland¹⁻², Julio Monroy³⁻⁴

0000-0003-3317-0404

0000-0002-5768-0866

0000-0002-3981-7486

1. Center for global Sea Level Change, NYUAD, Abu Dhabi UAE. jhon.mojica@nyu.edu

2. Courant Institute of Mathematical Science, NYUNY, New York, USA

3. Grupo de Investigación en Oceanología (GIO), Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena de Indias, Colombia

4. Programa Antártico Colombiano, Bogotá, Colombia

* Autor de correspondencia.

RESUMEN

Las medidas de turbulencia en el océano son escasas, especialmente en ambientes como la Antártida. En este trabajo presentamos un mapa de distribución espacial de las difusividades diapícnas y de las características de la columna del agua a través de las tres principales bahías del estrecho de Gerlache. Las medidas fueron registradas durante la quinta expedición colombiana a la Antártida, 2018-2019, usando un perfilador de microestructura vertical en caída libre sobre los primeros 400 m de profundidad, para registrar las fluctuaciones de la cizalla vertical a escalas de disipación ($10^{-3} - 10^3$ m). La difusividad diapícnica es alta, entre 1-2 órdenes de magnitud sobre la corriente principal de Gerlache, comparada con el interior de las bahías, con valores que van desde $O(\log_{10}k_p = -3 \text{ m}^2\text{s}^{-1})$ hasta $O(\log_{10}k_p = -5 \text{ m}^2\text{s}^{-1})$ respectivamente sobre los primeros 400 m. Los valores más elevados de mezcla fueron registrados en la sección sur del estrecho de Gerlache (bahía Flandes) comparados con los valores de la sección norte (bahía Charlotte), indicando la presencia de agua bien mezclada. Hay zonas más activas (Hot Spots) que presentan altos niveles de mezcla turbulenta y pueden ser asociadas con la interacción producida por la entrada de masas de agua como la Upper Circumpolar Depth Water, la Antarctic Surface Water, y la Weddell Sea Deep Water, con el agua que reside en las bahías y la topografía que presenta cada una de estas.

PALABRAS CLAVE: Hielo-océano, Dinámica oceánica antártica, Mezcla diapícnica, Estrecho de Gerlache, Mezcla.

ABSTRACT

Measurements of turbulence in the ocean are sparse, especially in environments such as Antarctica. Here we map the spatial distribution of diapycnal diffusivities and the water column characteristics across the three main bays in the Gerlache Strait on the western side of the Antarctic Peninsula. The measurements were recorded during the Fifth Colombian Antarctic Expedition, 2018-2019, using a Vertical Microstructure Profiler in free fall for the first 400 m depth, to record fluctuations of vertical shear at dissipation scales ($10^{-3} - 10^3$ m). Diapycnal diffusivities are higher by 1-2 orders of magnitude in the Gerlache mainstream compared with the interior bays, with values from $O(\log_{10}k_p = -3 \text{ m}^2\text{s}^{-1})$ to $O(\log_{10}k_p = -5 \text{ m}^2\text{s}^{-1})$ respectively over the upper 400 m. The highest mixing values were recorded in the southern section of Gerlache Strait (Flandes Bay) compared to the northern one (Charlotte Bay), indicating better well-mixed water in the south. Observed Hot Spots of higher turbulence levels may be associated with the interaction of the entrance of the Upper Circumpolar Depth Water, the Antarctic Surface Water, and the Weddell Sea Deep Waters with resident waters and topography.

KEYWORDS: Sea ice, Antarctic Ocean dynamics, Diapycnal mixing, Gerlache Strait, Mixing.

INTRODUCCIÓN

El océano y el hielo marino alrededor de la Antártida son los principales mediadores del intercambio de calor e impulso con la atmósfera. La variación del intercambio está determinada en gran medida por la interacción entre estos componentes en la zona marginal de hielo marino, que tiene efectos variables en diferentes áreas alrededor de la Antártida. La forma en que el hielo marino responde a los cambios atmosféricos y oceánicos está relacionada en gran medida con las propiedades físicas de cada componente. Las propiedades del océano cambian de acuerdo con la intensidad de diferentes procesos y estructuras como olas internas, mareas, turbulencias y mezcla diapícnal, entre otros. Estos procesos también afectan la tasa de derretimiento y desprendimiento de las plataformas de hielo. Una mejor caracterización de estos procesos es clave para comprender la circulación a escala global y el transporte de calor, nutrientes y otros trazadores climáticos y ecológicos importantes.

Un énfasis particular para la oceanografía es comprender procesos como la mezcla turbulenta a escala fina y submesoescala ($10^3 - 10^3$ m) debajo de la capa de mezcla. Este rango de escala abarca la transición desde la propagación simple de onda-onda a lo largo de los límites de masas de agua hasta una mezcla turbulenta en la que el calor y la salinidad, entre otros, se intercambian verticalmente (Sheen *et al.*, 2013). Varios estudios han resaltado la importancia de la mezcla turbulenta de las corrientes alrededor de la Península Antártica (es decir, Venables *et al.*, 2014), pero el impacto de la mezcla en áreas interiores como las bahías en el Estrecho de Gerlache (GS) sigue siendo poco estudiado. Por ello, ubicamos nuestras estaciones oceanográficas en las bahías únicas, pero de difícil acceso en el GS para obtener información detallada sobre la disipación de energía producida por la intrusión de agua no residente, así como sus propiedades y dinámica para comprender cómo impacta en el medioambiente local. Hasta donde sabemos, actualmente existe una brecha en los datos relacionados con la mezcla en esta área.

Aquí presentamos datos de microestructura de turbulencia de alta resolución recopilados durante la Quinta Expedición Antártica Colombiana 2018-2019, a bordo del *ARC 20 de Julio*. El conjunto de datos fue recopilado por un Perfilador de medición vertical (VMP) de caída libre de Rockland Scientific, en tres bahías en el GS para mapear la intensidad de la mezcla turbulenta en el área. Este trabajo tiene como objetivo caracterizar la dinámica del océano en el GS a las escalas más pequeñas, en particular, para calificar y cuantificar la

INTRODUCTION

The ocean and the sea ice around Antarctica are the major mediators of the exchange of heat and momentum with the atmosphere. The variation of the exchange is largely determined by the interaction between these components in the marginal sea-ice zone, which has varying effects in different areas around Antarctica. How sea ice responds to atmospheric and oceanic changes is largely related to the physical properties of each component. The ocean properties change according to the intensity of different processes and structures such as internal waves, tides, turbulence, and diapycnal mixing, among others. These processes also affect the rate of melting and calving of ice shelves. A better characterization of these processes is key to understanding the global-scale circulation and the transport of heat, nutrients, and other climatically and ecologically important tracers.

A particular emphasis for oceanography is to understand processes such as turbulent mixing at the fine scale, and submesoscale ($10^3 - 10^3$ m) below the wind-mixed layer. This scale-range spans the transition from simple wave-wave propagation along water masses boundaries to turbulent mixing in which heat and salinity among others are vertically exchanged (Sheen *et al.*, 2013). Several studies have highlighted the significance of turbulent mixing by the currents around the Antarctic Peninsula (i.e. Venables *et al.*, 2014), but the impact of mixing in interior areas such as the bays in the Gerlache Strait (GS) remains understudied. Therefore, we located our oceanographic stations in the unique but difficult to access bays in the GS to obtain detailed information about the energy dissipation produced by the intrusion of non-resident water, as well as its properties and dynamics to understand how it impacts the local environment. As far as we know, there is currently a gap in data related to mixing in this area.

Here we present high-resolution turbulence microstructure data collected during the Fifth Antarctic Colombian Expedition 2018-2019, on board the *ARC 20 de Julio*. The dataset was collected by a free-falling Vertical Measuring Profiler (VMP) from Rockland Scientific, across three bays in the GS to map the intensity of the turbulent mixing in the area. This work aims to characterize the ocean dynamics in the GS at the smallest scales, in particular, to qualify and quantify the diapycnal mixing and its spatial variability. Diapycnal mixing is a

mezcla diapícnal y su variabilidad espacial. La mezcla diapícnica es un proceso relevante porque controla los flujos verticales de propiedades biológicas y físicas (Masson, 2002).

El manuscrito está estructurado de la siguiente manera: En la Sección 2 presentamos el área de estudio y describimos la dinámica del océano en el GS. Los datos y la metodología se describen en la Sección 3, donde detallamos el sistema de adquisición y los métodos aplicados para estimar la difusividad diapícnal del VMP. Las propiedades de la columna de agua y los niveles de mezcla se describen en la Sección 4, y en la Sección 5 se presenta un análisis sobre cómo la entrada de aguas antárticas desde el sur influyen en la estabilidad de las bahías. Finalmente, la Sección 6 resume las principales conclusiones de este trabajo, incluyendo cómo la entrada del agua circumpolar profunda mejora la turbulencia en Bahía Flandes y crea una capa de agua bien mezclada a medida que se mueve hacia el norte hacia Bahía Charlotte.

ÁREA DE ESTUDIO

El Estrecho de Gerlache (GS) se encuentra en la Antártida más septentrional, donde separa el Archipiélago Palmer de la Península Antártica (Figura 1). Es de alrededor ~150 km de largo y ~10 km de ancho, con ~600 m de profundidad media, y contiene tres bahías interiores principales: Flandes, Andvord y Charlotte (de sur a norte respectivamente). Es un área caracterizada por una circulación principalmente de sur a norte de aguas superficiales antárticas (AASW) y aguas profundas circumpolares superiores (UCDW) en los 400 m superiores (Savidge y Amft, 2009). El AASW es una masa de agua fría y dulce afectada por la descarga de agua de deshielo continental, el deshielo estacional del hielo marino y los efectos atmosféricos, que pueden controlar el flujo de calor superficial y la formación de hielo marino (Valkonen *et al.*, 2008). Durante el calentamiento del verano, el AASW puede ocupar los 100 m superiores de la columna de agua, donde puede afectar la tasa de derretimiento y retroceso de los glaciares circundantes (Cook *et al.*, 2014). Debajo de ~100 m, el UCDW es cálida y salada e inunda el GS. Desde el norte, hay una entrada subterránea de un núcleo de aguas profundas del mar de Weddell (WSDW) (Smith *et al.*, 1999). El WSDW es más fría y salada que el UCDW; cada masa de agua tiene una firma de agua característica. La entrada de estas aguas influye en la etapa de hielo dentro del GS, una región donde la zona costera ha venido sufriendo cambios rápidos y fuertes durante las últimas décadas (Lencina-Avila *et al.* 2018).

relevant process because it controls vertical fluxes of biological and physical properties (Masson, 2002).

The manuscript is structured as follows: In Section 2 we present the study area and describe the ocean dynamics in the GS. The data and methodology are described in Section 3, where we detail the acquisition system and the methods applied to estimate the diapycnal diffusivity from the VMP. The water column properties and mixing levels are described in Section 4, and a discussion on how the entrance of Antarctic waters from the South influences the stability of the bays is presented in Section 5. Finally, Section 6 summarizes the main conclusions of this work, including how the entrance of Circumpolar Deep Water enhances the turbulence at the Flandes Bay and creates a well-mixing layer as it moves to the north to Charlotte Bay.

STUDY AREA

The Gerlache Strait (GS) is located in northernmost Antarctica, where it separates the Palmer Archipelago from the Antarctic Peninsula (Figure 1). It is around ~150 km long and ~10 km wide, with ~600 m average depth, and contains three main interior bays: Flandes, Andvord, and Charlotte (south to north respectively). It is an area characterized by a mainly south-to-north circulation of Antarctic Surface Water (AASW) and Upper Circumpolar Deep Water (UCDW) over the upper 400 m (Savidge and Amft, 2009). The AASW is a cold and fresh water mass affected by continental meltwater discharge, seasonal sea-ice melting, and atmospheric effects, which can control surface heat flux and sea-ice formation (Valkonen *et al.*, 2008). During summer warming, the AASW can occupy the upper 100 m of the water column, where it can impact the melting and retreat rate of the surrounding glaciers (Cook *et al.*, 2014). Below ~100 m, the warm and salty UCDW floods into the GS. From the north, there is a subsurface entrance of a core of Weddell Sea Deep Waters (WSDW) (Smith *et al.*, 1999). The WSDW is colder and saltier than UCDW; each water mass has a characteristic water signature. The entrance of these waters influences the ice stage inside the GS, a region where the coastal zone has been suffering rapid and strong change over recent decades (Lencina-Ávila *et al.*, 2018).

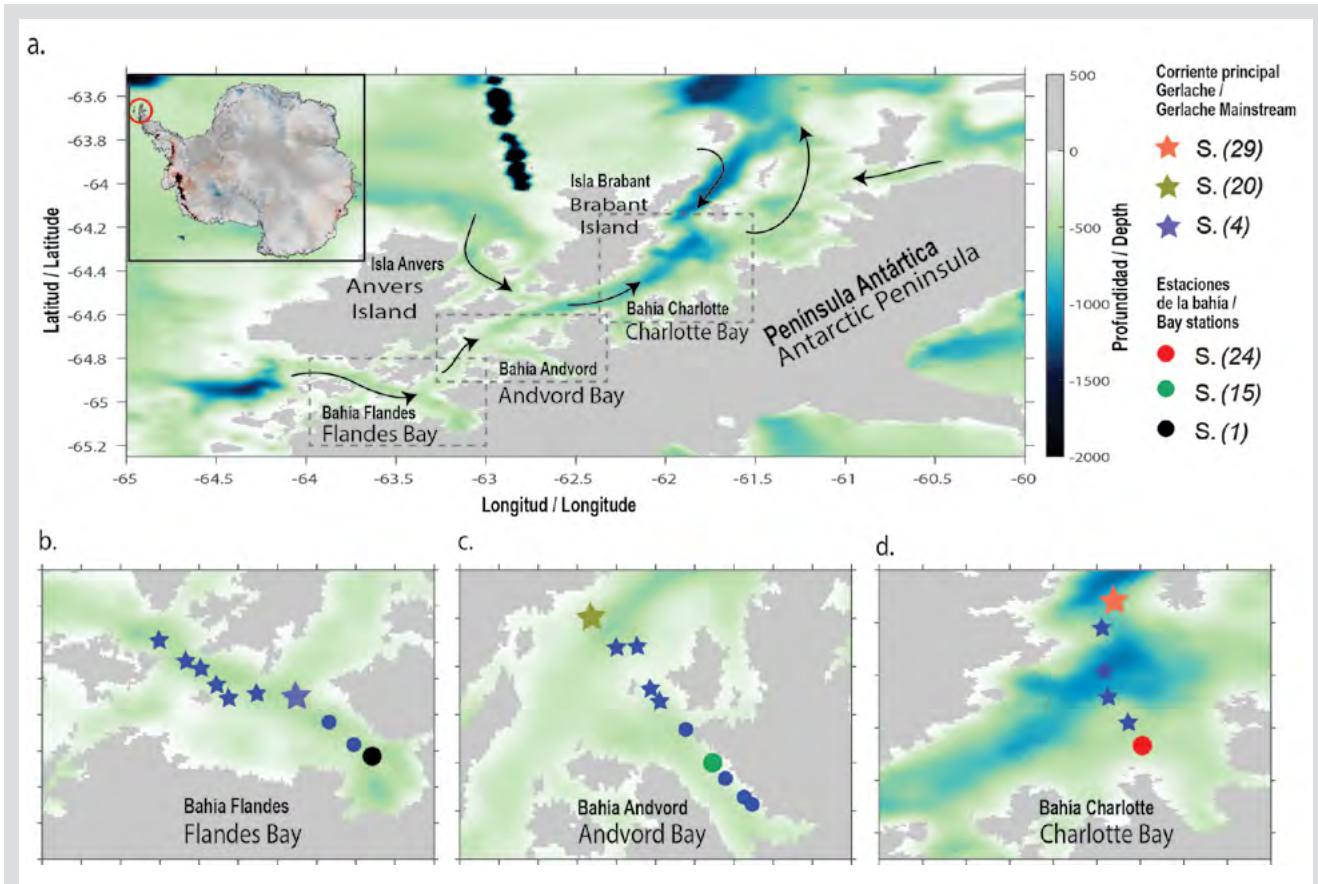


Figura 1. a. Mapa del Estrecho de Gerlache. (Entrada) ubicación en el extremo norte de la Antártida. (Flechas negras) Patrón de circulación oceánica principal hasta 400 m de profundidad, basado en Savidge y Amft (2009). (Cuadrados segmentados) Ubicación de las principales bahías de Gerlache, **b.** Bahía Flandes, **c.** Bahía Andvord, y **d.** Bahía Charlotte. (Estrellas) indican la ubicación de las estaciones oceánicas VMP en la corriente principal de Gerlache. (Puntos) ubicación de las estaciones oceánicas VMP en el interior de las bahías. La leyenda de color identifica la ubicación y el número de estación VMP seleccionado para representar los diferentes diagramas en el manuscrito.

Figure 1. a. Gerlache Strait map. (Inlet) location at the northern tip of Antarctica. (Black arrows) Main ocean circulation pattern down to 400 m depth, based on Savidge and Amft (2009). (Segmented squares) Gerlache main bays location, **b.** Flandes Bay, **c.** Andvord Bay, and **d.** Charlotte Bay. (Stars) indicate the location of the VMP ocean station in the Gerlache mainstream. (Dots) location of VMP ocean stations at the interior of the bays. The color legend identifies the location, and the VMP station number selected to represent the different diagrams in the manuscript.

METODOLOGÍA

Perfilador de microestructuras

El conjunto de datos presentado para este trabajo fue adquirido a bordo del buque de la Armada de Colombia ARC 20 de Julio y su embarcación clase defender, del 27 de diciembre de 2018 al 4 de enero de 2019, durante la Quinta Expedición Antártica Colombiana 2018-2019. Se utilizó un Perfilador de Microestructura Vertical (VMP) 250 (Figura 2a) para caracterizar la microestructura de la columna de agua. El VMP-250 tiene cinco sensores: dos sondas de corte, un termistor, uno de microconductividad y uno para presión (Figura 2b). El equipo viene con calibración de fábrica. El VMP-250 es un equipo de alta resolución con una frecuencia de muestreo de 512 Hz, que puede registrar

METHODOLOGY

Microstructure profiler

The dataset presented for this work was acquired onboard the Colombian Navy ship *ARC 20 de Julio* and its defender-class boat, from December 27, 2018, to January 4, 2019, during the Fifth Antarctic Colombian Expedition 2018-2019. A Vertical Microstructure Profiler (VMP) 250 (Figure. 2a) was used to characterize the microstructure of the water column. The VMP-250 has five sensors: two shear probes, one thermistor, one micro-conductivity, and one for pressure (Figure. 2b). The equipment comes with factory calibration. The VMP-250 is high-resolution equipment with a sampling rate of 512 Hz, that can record the micro-structure of the water column at the scale of

la microestructura de la columna de agua en la escala de centímetros durante el despliegue en caída libre. Para obtener mediciones de cizallamiento precisas, el perfilador requiere un descenso suave y libre para minimizar la contaminación por la vibración de las señales de cizallamiento medidas. Se utilizó un cabrestante de desacoplamiento de movimiento PID-2 (Figura 2a) para mantener un despliegue de caída libre proporcionando una cuerda floja para garantizar que el instrumento caiga lo más libremente posible. La velocidad media de caída en estas condiciones fue de $\sim 0,85 \text{ m s}^{-1}$. La profundidad del fondo marino en tiempo real fue registrada por el multihaz y el sonar a bordo del barco. La cuerda del cabrestante se marcó cada 10 metros, alcanzando una longitud máxima de cuerda de 400 m. Además, se utilizó una polea de medición durante las estaciones de Bahía Charlotte para controlar la cantidad de cuerda desplegada.

Para estudiar la microestructura del GS, se ocuparon tres secciones transversales a lo largo de su longitud desde la entrada principal de agua en el suroeste hasta la salida en el noreste. Cada sección comienza desde la corriente principal de Gerlache (es decir, el canal principal de profundidad de Gerlache) y atraviesa el interior de cada bahía. La primera sección termina dentro de Bahía Flandes, la segunda dentro de Bahía Andvord y la tercera en la entrada de Bahía Charlotte (Figura 1). Las tres secciones exhiben cambios suaves en la topografía. Las ubicaciones precisas de las estaciones se dan en la Tabla 1 (material complementario).

Monitoreamos 26 estaciones VMP en total, con una separación promedio de 2 km por cada sección de bahía,

centimeters during free-fall deployment. To obtain accurate shear measurements, the profiler requires a smooth and free descent to minimize contamination by the vibration of the measured shear signals. A motion decoupling winch PID-2 (Figure. 2a) was used to maintain a free-fall deployment by providing a slack of rope to ensure that the instrument is falling as freely as possible. The average fall speed under these conditions was $\sim 0.85 \text{ m s}^{-1}$. The real-time seafloor depth was recorded by the multibeam and sonar on board the boat. The winch rope was marked every 10 meters, reaching a maximum rope length of 400 m. In addition, a measuring pulley was used during the Charlotte Bay stations to control the amount of rope deployed.

To study the microstructure of the GS, three cross-sections were occupied along its length from the main water entrance in the southwest to the exit at the northeast. Each section starts from the Gerlache mainstream (i.e. main Gerlache depth channel) and traverses to the interior of each bay. The first section ends inside the Flandes Bay, the second inside the Andvord Bay, and the third at the entrance to Charlotte Bay (Figure 1). All three sections exhibit smooth changes in topography. Precise locations of the stations are given in Table 1 (supplementary material).

We monitored 26 VMP stations in total, with an average separation of 2 km for each section bay, to record the variability from the ice shelf edge to the mean stream of the GS. The *ARC 20 de Julio*, which is not an icebreaker, was used to record the Charlotte stations; just 6 of 10 proposed stations on the Charlotte Bay were



Figura 2. a. Equipo utilizado durante las estaciones oceanográficas, un VMP-250 y el cabrestante PID-02. **b.** primer plano de los sensores (temperatura, conductividad, cizallamiento, presión) utilizados durante la expedición.

Figure 2. a. Equipment used during the oceanographic stations, a VMP-250, and the PID-02 winch. **b.** close up of the sensors (temperature, conductivity, shear, pressure) used during the expedition.

para registrar la variabilidad desde el borde de la plataforma de hielo hasta la corriente media del GS. El ARC 20 de Julio, que no es un rompehielos, se utilizó para registrar las estaciones de Charlotte; solo 6 de las 10 estaciones propuestas en la bahía de Charlotte se registraron debido a la gran condición de hielo marino. Se utilizó un barco de clase defensiva para los despliegues en las otras bahías (Andvord y Flandes) para llegar a áreas con una capa de hielo marino casi completa. Las tres secciones se realizaron con alta sinóptica (~ 5 horas por sección).

El software MotoCross y RSILink, proporcionado por Rockland Scientific, se utilizó para acceder al conjunto de datos que se registró en la memoria interna de la computadora (persistor) del VMP. El procesamiento se realizó con Matlab 2018B. Convertimos el conjunto de datos a unidades físicas después de correlacionarlo con la velocidad de generación de perfiles (para estar seguros de la caída libre), luego eliminamos picos y banderas defectuosas aplicando un filtro de paso bajo a 1 Hz para identificar las vibraciones detectadas por los acelerómetros internos. Para el análisis solo se utilizaron los datos registrados durante la caída libre, para asegurar la estabilidad de la velocidad vertical, ya que en este caso no hubo perturbación de la columna de agua debido al equipo. Los valores de corte se registraron individualmente por dos sensores diferentes para identificar posibles fallas de funcionamiento o datos ruidosos. La media de las tasas de disipación se estimó a partir de las dos sondas.

3.2 Difusividad diapicna

La tasa de disipación de energía turbulenta (ε) está relacionada con la transferencia de energía cinética de escalas grandes a pequeñas en términos de fluctuaciones de la velocidad del flujo (Kolmogorov, 1941). Asumiendo la isotropía como condición, el GS puede crear remolinos de diferentes tamaños que están limitados por la estratificación del flujo. La inestabilidad de cizallamiento es un mecanismo común de transferencia de energía desde la estabilidad a la turbulencia y puede cuantificarse como una tasa de producción mediante la teoría de Reynolds:

$$-\overline{\mathbf{u}'\mathbf{w}'} (\partial U / \partial z) \quad (1)$$

dónde $(-\overline{\mathbf{u}'\mathbf{w}'})$ es el estrés de Reynolds y $(\partial U / \partial z)$ es la cizalla media. Las interacciones de remolinos producen una cascada de energía desde escalas más pequeñas hasta escalas moleculares donde la energía se transfiere de mecánica a calórica en el orden de la viscosidad molecular cinemática (ν) siguiendo:

recorded because of a heavy sea-ice condition. A defender-class boat was used for the deployments in the other bays (Andvord and Flandes) to reach areas with almost full sea-ice cover. All three sections were performed with high synopticity (~ 5 hours per section).

MotoCross and RSILink software, provided by Rockland Scientific, was used to access the dataset that was recorded in the internal computer memory (persistor) of the VMP. Processing was performed using Matlab 2018B. We converted the dataset to physical units after correlating with the profiling speed (to be sure about the free fall), then we deleted spikes and bad flags by applying a low pass filter at 1 Hz to identify vibrations detected by the internal accelerometers. Only data recorded during free fall were used for the analysis, to ensure stability of the vertical velocity, as in this case there was no perturbation of the water column due to the equipment. Shearing values were recorded individually by two different sensors to identify possible malfunction or noisy data. The mean of the dissipation rates was estimated from the two probes.

Diapycnal diffusivity

The turbulent energy dissipation rate (ε) is related to the transfer of kinetic energy from large to small scales in terms of flow velocity fluctuations (Kolmogorov, 1941). Assuming isotropy as a condition, the GS can create eddies at different sizes that are limited by the flow stratification. Shear instability is a common energy transfer mechanism from stability to turbulence and can be quantified as a production rate by the Reynolds theory:

$$-\overline{\mathbf{w}'\mathbf{w}'} (\partial U / \partial z) \quad (1)$$

where $(-\overline{\mathbf{u}'\mathbf{w}'})$ is the Reynolds stress and $(\partial U / \partial z)$ is the mean shear. The eddy interactions produce a cascade of energy from smaller scales down to molecular scales where the energy is transferred from mechanical to caloric at the order of the kinematic molecular viscosity (ν) following:

$$\varepsilon = 15 / 2 \nu \overline{(\partial U / \partial z)^2} = 15 / 2 \nu \int_0^\infty \Psi(k) dk \quad (2)$$

where (Ψ) is the spectrum of the shear (Nasmyth, 1970). Following Oakey (1982), we calculated the Nasmyth empirical spectrum. The energy spectrum was calculated via the Fast Fourier Transform (FFT) to identify the signature of the process that drives the water column dynamics. We choose an FFT length of 0.1 m to resolve the lowest wavenumber of the processes that can be developed in the area. Once this is known, we proceed to estimate the vertical mixing through the diapycnal diffusivity (k_p),

$$\varepsilon = 15 / 2 \nu \overline{(\partial U / \partial z)^2} = 15 / 2 \nu \int_0^\infty \Psi(k) dk \quad (2)$$

dónde (Ψ) es el espectro de la cizalla (Nasmyth, 1970). Siguiendo a Oakey (1982), calculamos el espectro empírico de Nasmyth. El espectro de energía se calculó mediante la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para identificar la firma del proceso que impulsa la dinámica de la columna de agua. Elegimos una longitud FFT de 0,1 m para resolver el menor número de onda de los procesos que se pueden desarrollar en la zona. Una vez conocido se procede a estimar la mezcla vertical a través de la difusividad diapícnal (k_p), que influye en la fuerza y el patrón de la circulación oceánica y determina la heterogeneidad del calor y la sal en diferentes escalas espaciales (Steward, 2008). La relación para cuantificar k_p Fue propuesta por Osborn (1980):

$$k_p = \Gamma \varepsilon / N^2 \quad (3)$$

dónde $\Gamma = 0.2$ es la eficiencia de mezcla empírica definida por Osborn y Cox, (1972), y N es la frecuencia de flotabilidad. Un promedio oceánico global para valores estimados de mezcla vertical de $k_p \approx 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, y la difusividad pelágica media viene dada por $k_p \approx 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Thorpe, 2005). Siguiendo esta metodología, podemos producir un mapa 2D en términos de mezcla que describe la dinámica general de la microestructura en el GS.

Entre los procesos que proporcionan energía a la circulación oceánica en el GS, podemos contar los icebergs rodantes, las olas internas que rompen, la convección y las intrusiones (Arneborg *et al.* 2004). Como enfoque inicial para identificar cuál de estos podría ser responsable de los niveles de mezcla medidos, calculamos el ángulo de Turner (McDougall *et al.*, 1988).

$$T_u \text{ (deg)} = \tan^{-1} (\alpha \partial \theta / \partial z - \beta \partial S / \partial z, \alpha \partial \theta / \partial z + \beta \partial S / \partial z) \quad (4)$$

Dónde β es el coeficiente de contracción de la salinidad, α es el coeficiente de expansión térmica, θ es la temperatura potencial, S es la salinidad, y z se define positivo al alza. Valores de ángulo de $-45^\circ \leq T_u \leq 45^\circ$ indican condiciones estables del océano, mientras $45^\circ \leq T_u \leq 90^\circ$ indica que la estabilidad está disminuyendo por la sal, una condición en la que pueden desarrollarse procesos de dedos de sal.

RESULTADOS

Contexto hidrográfico

Hay un cambio claro en las propiedades de la masa de agua de los 400 m superiores de la columna de agua desde la entrada sur del GS (junto a la isla Anvers sobre $63,68^\circ \text{W}$) hasta la salida norte (isla de Liege sobre $61,63^\circ \text{W}$). El AASW

which influences the strength and pattern of the ocean circulation and determines the heat and salt heterogeneity at different spatial scales (Steward, 2008). The relationship to quantify k_p was proposed by Osborn (1980):

$$k_p = \Gamma \varepsilon / N^2 \quad (3)$$

where $\Gamma = 0.2$ is the empirically mixing efficiency defined by Osborn and Cox, (1972), and N is the buoyancy frequency. An oceanic global average for vertical mixing estimates values of $k_p \approx 10^{-4} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, and the average pelagic diffusivity is given by $k_p \approx 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ (Thorpe, 2005). Following this methodology, we can produce a 2D map in terms of mixing that describes the general microstructure dynamics in the GS.

Among the processes that provide energy to ocean circulation in the GS, we can count rolling icebergs, breaking internal waves, convection, and intrusions (Arneborg *et al.*, 2004). As an initial approach to identify which of these might be responsible for the measured mixing levels, we calculate the Turner angle (McDougall *et al.*, 1988).

$$T_u \text{ (deg)} = \tan^{-1} (\alpha \partial \theta / \partial z - \beta \partial S / \partial z, \alpha \partial \theta / \partial z + \beta \partial S / \partial z) \quad (4)$$

Where β is the salinity contraction coefficient, α is the thermal expansion coefficient, θ is the potential temperature, S is the salinity, and z is defined positive upwards. Angle values of $-45^\circ \leq T_u \leq 45^\circ$ indicate stable ocean conditions, while $45^\circ \leq T_u \leq 90^\circ$ indicates that the stability is decreasing by salt, a condition in which salt fingering processes may develop.

RESULTS

Hydrographic context

There is a clear change in the water mass properties of the upper 400 m of the water column from the southern entrance of the GS (next to Anvers Island over 63.68°W) to the northern exit (Liege Island over 61.63°W). The AASW is identified at a maximum depth of ~ 100 m. The shallow water warms as it circulates to the north, where a maximum surface temperature of 2.6°C , was recorded compared to a maximum of 1.2°C in the south. There is a seasonal thermocline at around 80 m depth that works as a boundary layer between the shallow and intermediate waters. In general, there is a similar salinity range at all three sections in the top 400 m of the water column. A minimum value of 33.4 psu was recorded at the surface

se identifica a una profundidad máxima de ~ 100 m. El agua poco profunda se calienta a medida que circula hacia el norte, donde se registró una temperatura superficial máxima de $2,6$ °C, frente a una máxima de $1,2$ °C en el sur. Existe una termoclina estacional a unos 80 m de profundidad que funciona como capa límite entre las aguas poco profundas e intermedias. En general, existe un rango de salinidad similar en las tres secciones en los 400 m superiores de la columna de agua. Se registró un valor mínimo de $33,4$ psu en las aguas superficiales de la sección de Flandes, posiblemente debido al agua dulce procedente del derretimiento del hielo procedente de las regiones del sur. Una capa de interfaz separa el AASW y el uCDW, y esto se puede ver claramente en las variaciones de temperatura y densidad, producidas por la dinámica interna provocada por la mezcla de las diferentes masas de agua que ingresan al GS (Figura 3). La sección de la Bahía de Flandes se destaca porque su pequeña variabilidad de temperatura en los 400 m superiores de la columna de agua (rango $1,2 - 0,3$ °C) indica que el uCDW tiene temperaturas más altas que las registradas a profundidades menores. El uCDW se caracteriza por un núcleo de agua tibia alrededor de ~ 150 m de profundidad, donde alcanza una temperatura de $1,0$ °C y una salinidad de $34,4$ psu. Estas propiedades son típicas en las regiones donde la precipitación domina sobre la evaporación y se denomina estratificación difusa (Kelley *et al.*, 2003). Esta configuración de capas difusivas cambia en la sección de Andvord, donde se puede identificar la mezcla de uCDW y WSDW, impactando capas por debajo de 100 m, con un valor de salinidad superior de $34,5$ psu en comparación con la sección de Flandes. El agua más profunda aquí es más fría y más densa que la bahía de Flandes. La sección de Charlotte tiene el rango de temperatura más grande ($2,8$ a $-0,7$ °C). Aquí, el AASW poco profunda es más cálida y el agua más profunda es más fría con una marca clara de WSDW que influye en la dinámica del área. Los cambios de densidad son impulsados principalmente por la temperatura más que por la salinidad.

La frecuencia de flotabilidad identifica el área como débilmente estratificada, con agua estratificada poco profunda que se presenta esporádicamente (~ 100 m) en la sección de Flandes y junto a cada entrada de la bahía donde residen las aguas locales (excepto la bahía de Andvord). La N_{media} es de $0,42$ cph, mientras que la flotabilidad media del océano es de ~ 3 cph (Figura 3d). La estratificación baja indica un sistema propenso a intrusiones que puede producir agua bien mezclada. La mayoría de los perfiles se caracterizaron por valores de ángulo de Turner de $40^\circ \leq T_v \leq 55^\circ$, lo que implica la presencia potencial de dedos de sal.

waters in the Flandes section, possibly due to fresh waters from melting ice coming from southern regions. An interface layer separates the AASW and the UCDW, and this can be seen clearly in the temperature and density variations, produced by the internal dynamics caused by the mixing of the different water masses entering the GS (Figure 3). The Flandes Bay section stands out because its small temperature variability over the upper 400 m of the water column (range $1.2 - 0.3$ °C) indicates that UCDW has higher temperatures than those recorded at shallower depths. UCDW is characterized by a core of warm water around ~ 150 m depth, where it reaches a temperature of 1.0 °C and salinity of 34.4 psu. These properties are typical in regions where precipitation dominates over evaporation and is termed diffusive layering (Kelley *et al.*, 2003). This diffusive layering configuration changes at the Andvord section, where mixing of UCDW and WSDW can be identified, impacting layers below 100 m, with a higher salinity value of 34.5 psu compared to the Flandes section. The deeper water here is colder and denser than Flandes Bay. The Charlotte section has the largest temperature range (2.8 to -0.7 °C). Here the shallow AASW is warmer and the deepest water is colder with a clear signature of WSDW that influences the dynamics in the area. The density changes are principally driven by the temperature rather than salinity.

The buoyancy frequency identifies the area as weakly stratified, with sporadic shallow stratified water (~ 100 m) at the Flandes section and next to each bay entrance where the local waters reside (except for Andvord bay). The N_{mean} is 0.42 cph, while the average ocean buoyancy is ~ 3 cph (Figure 3d). Low stratification indicates a system prone to intrusions that can produce well-mixed water. Most of the profiles were characterized by Turner angle values of $40^\circ \leq T_v \leq 55^\circ$, implying the potential presence of salt fingering. At the Flandes section, strongly-stratified shallow water (< 100 m) is the only water that is not prone to develop salt fingering, a product of the cold water mainly produced by melting. The entrance of warmer shallow water from the North decreases the stability. The water transition is clear and almost constant in the Charlotte Bay (Figure 3C). From here we can identify the relevance of the bathymetry and the location (North-South) of the water stability.

Mixing measurements

The high resolution of the shear sensors installed in the VMP-250 allowed us to calculate the Nasmyth

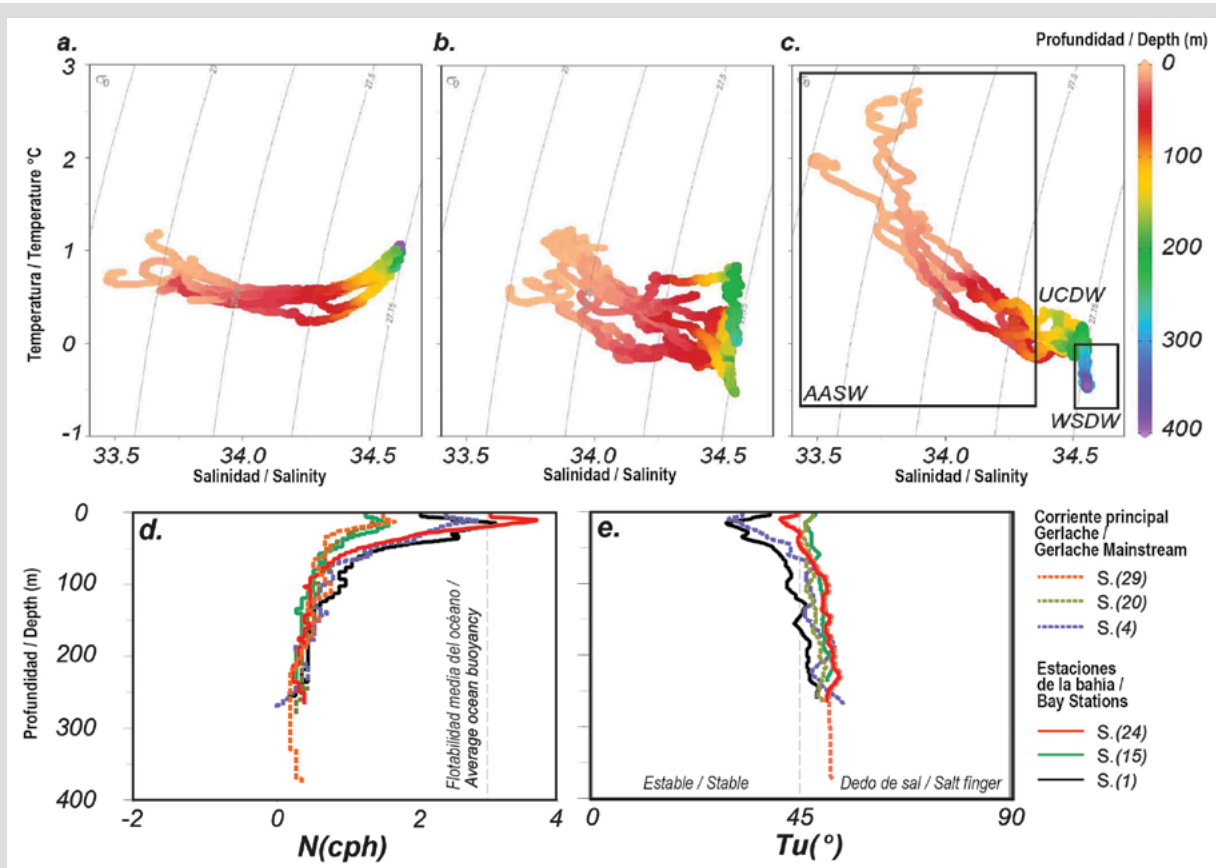


Figura 3. Diagrama T-S en Bahía **a.** Flandes, **b.** Andvord y **c.** Charlotte respectivamente, a partir de los perfiles de datos completos de VMP. **d.** frecuencia de flotabilidad, y **e.** ángulo de Turner para seis estaciones representativas, tres ubicadas sobre la corriente principal de Gerlache y tres dentro de las bahías de estudio. En **c.** ubicamos cajas con la ubicación de las principales masas de agua.

Figure 3. T-S diagram **a.** Flandes, **b.** Andvord, and **c.** Charlotte Bay respectively, from the full VMP data profiles. **d.** buoyancy frequency, and **e.** Turner angle for six representative stations, three located over the Gerlache mainstream, and three inside the study bays. In **c.** we located boxes with the location of the main water masses.

En la sección de Flandes, las aguas poco profundas están fuertemente estratificadas (< 100 m) siendo la única agua que no es propensa a desarrollar dedos de sal, producto del agua fría que se produce principalmente al derretirse. La entrada de aguas poco profundas más cálidas desde el norte decreta la estabilidad. La transición del agua es clara y casi constante en la bahía de Charlotte (Figura 3C). A partir de aquí podemos identificar la relevancia de la batimetría y la ubicación (norte-sur) de la estabilidad del agua.

Mezclar medidas

La alta resolución de los sensores de cizallamiento instalados en el VMP-250 nos permitió calcular el espectro empírico Nasmyth en el GS (Figura 4). Las altas concentraciones de energía son evidentes sobre las estaciones ubicadas en la corriente principal de Gerlache, donde circula la mayor parte del uCDW y el WSDW. Los triángulos de la Figura 4 identifican el número de onda máximo para estimar

empirical spectrum at the GS (Figure 4). High energy concentrations are evident over the stations located in the Gerlache mainstream, where most of the UCDW and the WSDW circulate. The triangles in Figure 4 identify the maximum wavenumber for estimating the dissipation rate; above this limit, the instrument noise prevails over the measurements. The maximum wavenumber to estimate the integration upper limit is 46 cpm. The ε associated with each spectrum represents the spatial energy variation for each water mass. The lowest values are associated with the stations inside the bays ($\varepsilon = 5 \times 10^{-10} \text{ Wkg}^{-1}$), while the highest value was located in the mainstream ($\varepsilon = 3 \times 10^{-8} \text{ Wkg}^{-1}$) at a depth and location associated with the UCDW. The ε associated with the presence of WSDW has the lowest energy values.

The variability of ε with depth was estimated in 3 m bins, resulting in an average value of $\varepsilon = 2 \times 10^{-8} \text{ Wkg}^{-1}$ with remarkable and sporadic peaks of $O(\varepsilon = 1 \times 10^{-10} \text{ Wkg}^{-1})$

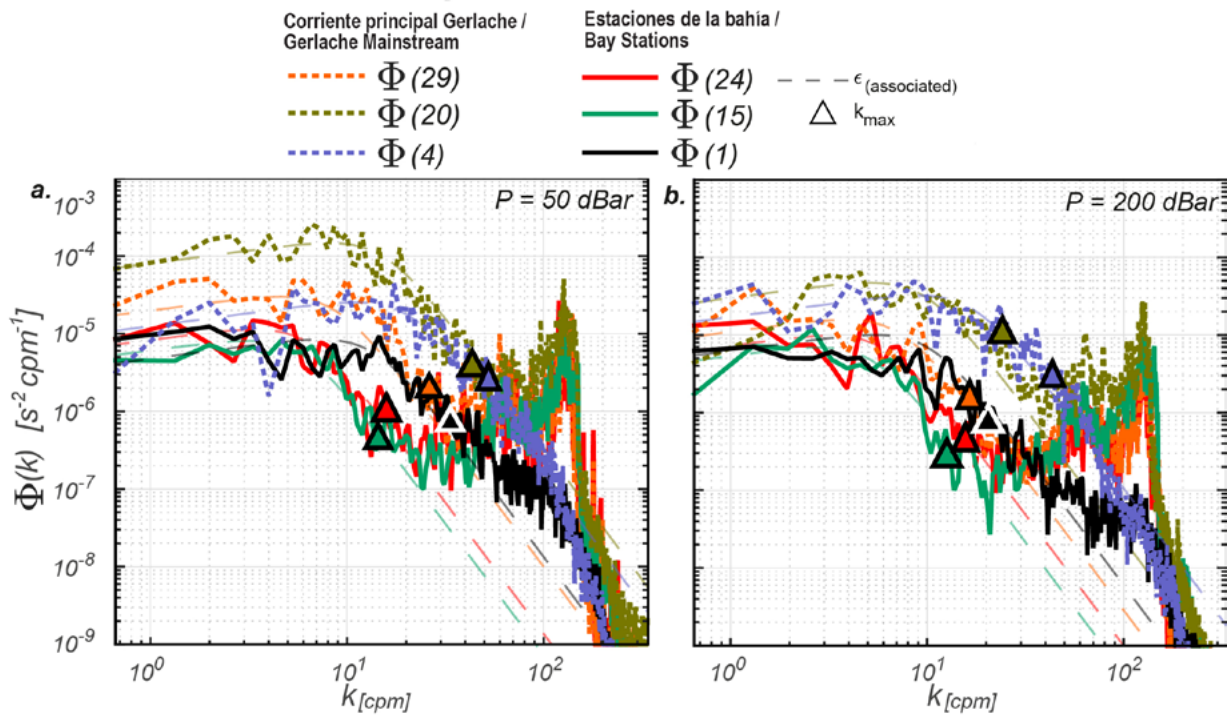


Figura 4. Espectro de energía de número de onda a **a.** 50 m y **b.** 200 metros de profundidad para tres estaciones dentro de cada bahía y tres estaciones sobre la corriente principal de Gerlache. Se eligió una profundidad de 50 y 200 m para ilustrar la influencia de los procesos convectivos directos que dominan las aguas poco profundas. Las líneas punteadas indican el espectro predicho en números de onda altos donde el ruido del instrumento domina las mediciones.

Figure 4. Wavenumber energy spectrum at **a.** 50 m and **b.** 200 meters depth for three stations inside each bay, and three stations over the Gerlache mainstream. 50 and 200 m depth was chosen to illustrate the influence of direct convective processes that dominates shallow waters. The dashed lines indicate the predicted spectrum at high wavenumbers where instrument noise dominates the measurements.

la tasa de disipación; por encima de este límite, el ruido del instrumento prevalece sobre las mediciones. El número de onda máximo para estimar el límite superior de integración es 46 cpm. La ϵ asociada con cada espectro representa la variación de energía espacial para cada masa de agua. Los valores más bajos están asociados con las estaciones dentro de las bahías. ($\epsilon = 5 \times 10^{-10} \text{ Wkg}^{-1}$), mientras que el valor más alto se ubicó en la corriente principal ($\epsilon = 3 \times 10^{-8} \text{ Wkg}^{-1}$) a una profundidad y ubicación asociadas con la uCDW. La ϵ asociada con la presencia de WSDW tiene los valores de energía más bajos.

La variabilidad de ϵ con profundidad se estimó en bins de 3 m, resultando en un valor promedio de $\epsilon = 2 \times 10^{-8} \text{ Wkg}^{-1}$ con picos notables y esporádicos de $O(\epsilon = 1 \times 10^{-10} \text{ Wkg}^{-1})$ dentro de las bahías y $O(\epsilon = 3 \times 10^{-6} \text{ Wkg}^{-1})$ en la corriente principal de Gerlache a alrededor de ~ 200 m de profundidad (Figura 5), donde se encuentra la interfaz de agua. La variabilidad en superficie y durante los primeros 100 m es mayor que en profundidad debido a la influencia del viento y la atmósfera, de acuerdo con la estratificación

inside the bays and $O(\epsilon = 3 \times 10^{-6} \text{ Wkg}^{-1})$ in the Gerlache mainstream at around ~ 200 m depth (Figure 5), where the water interface is located. The variability at the surface and over the first 100 m is higher than at depth due to the wind and atmospheric influence, in agreement with the water stratification (N). Below 100 m the stratification is essentially uniform, and ϵ at the stations located over the Gerlache mainstream is larger by one to two orders of magnitude than in the bays, largely due to bathymetry and water-shear interaction. Sections of the vertical profile of dissipation as a function of depth (Figure 5) have uniform values of dissipation (same order of magnitude). For instance, stations on the Gerlache mainstream show a large ϵ over different depths range, this indicate depth ranges over which vertical overturning of water is occurring. This occurs principally where different water masses meet and interleave and thus mix. The results are roughly in agreement with Ross and Lavery (2010) who report an average of $\epsilon = 1 \times 10^{-9} \text{ Wkg}^{-1}$ close to Anvers Island.

del agua (N). Por debajo de 100 m, la estratificación es esencialmente uniforme y ϵ en las estaciones ubicadas sobre la corriente principal de Gerlache es más grande en uno o dos órdenes de magnitud que en las bahías, en gran parte debido a la interacción batimetría y cizalladura del agua. Las secciones del perfil vertical de disipación en función de la profundidad (Figura 5) tienen valores uniformes de disipación (mismo orden de magnitud). Por ejemplo, las estaciones en la corriente principal de Gerlache muestran una gran ϵ en diferentes rangos de profundidad, esto indica rangos de profundidad sobre los cuales se está produciendo un vuelco vertical del agua. Esto ocurre principalmente donde las diferentes masas de agua se encuentran y se entrelazan y así se mezclan. Los resultados están de acuerdo con Ross y Lavery (2010) que informan un promedio de $\epsilon = 1 \times 10^{-9} \text{ Wkg}^{-1}$ cerca de la isla de Anvers.

DISCUSIÓN

Niveles más altos de disipación de energía (es decir, $\epsilon > 10^{-8} \text{ Wkg}^{-1}$) están relacionados con el intercambio de energía y la disipación turbulenta producida por la entrada de uCDW y AASW al GS. Esta suposición se evidencia en la ubicación de la profundidad del máximo de ϵ (Figura 5), dónde las masas de agua se mezclan y erosionan, así como la firma de las masas de agua originales. En la ubicación de Flandes, hay una transferencia de energía de las aguas superiores más cálidas y profundas a las más frías

DISCUSSION

Higher levels of energy dissipation (i. e. $\epsilon > 10^{-8} \text{ Wkg}^{-1}$) are related to the exchange of energy and turbulent dissipation produced by the entrance of UCDW and the AASW to the GS. This assumption is evidenced by the depth location of the maximum ϵ (Figure 5), where the water masses are mixing and thus eroding the signature of the original water masses. At the Flandes location, there is a transfer of energy from the warmest deeper to the coldest upper waters that releases potential energy from the temperature field. This compensation produces a well-mixed layer marked by density gradients, diapycnal mixing occurring in some locations is confirmed by the reduction of the deep-water vertical density gradient recorded in the interior stations. For instance, when comparing bays, once can see from Figure 3f, that the pycnocline is much more eroded in Flandes than in Anvord Bay or Charlotte Bay. The increase of the mixing values from Flandes to Andvord and Charlotte Bays is related to the reduction in the stratification of the pycnocline (Figure 3g-h); this could be produced by the dominance of the turbulent processes reflected in the lower values of both the water buoyancy and Turner angle.

High values of the buoyancy frequency are required to maintain the balance of the vertical diapycnal flux; because of this lack of stability, the system is prone to produce overturning through the full water column. A

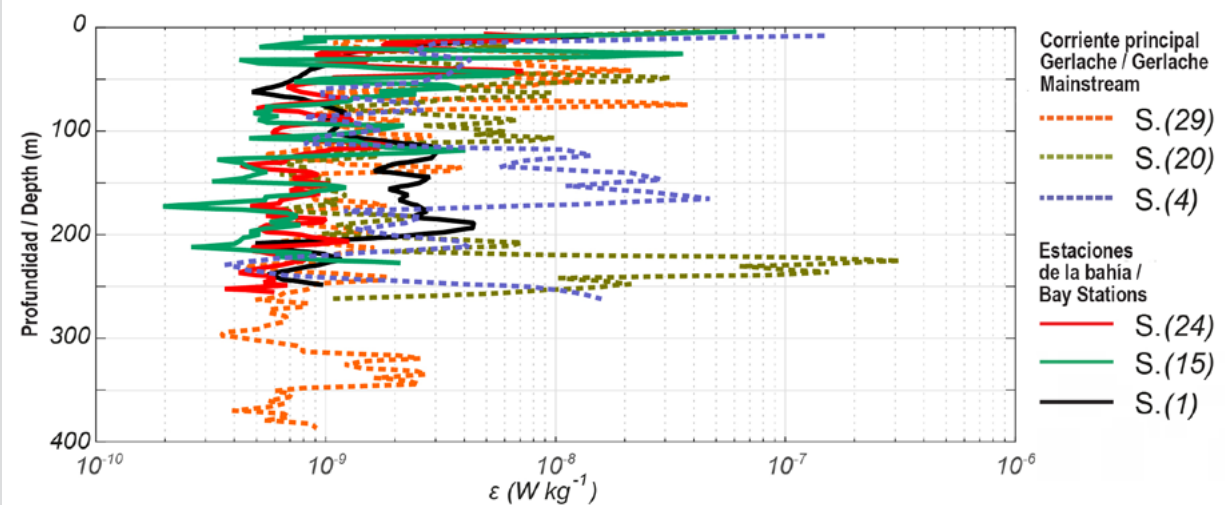


Figura 5. Tasas de disipación de estaciones VMP representativas sobre el Estrecho de Gerlache. Tamaño del bin 3 m. Estación 29 (70-80 m); Estación 20 (210-260 m) y Estación 4 (120-170 m), se encuentran los valores máximos de ϵ , dónde se encuentran las profundidades y la ubicación de las masas de agua.

Figure 5. Dissipation rates for representative VMP stations over the Gerlache Strait. Bin size 3 m. Station 29 (70-80 m); Station 20 (210-260 m), and Station 4 (120-170 m), maximum values of ϵ , where depths and location of the water masses meet.

que libera energía potencial del campo de temperatura. Esta compensación produce una capa bien mezclada marcada por gradientes de densidad. La mezcla diapycnal que ocurre en algunos lugares se confirma por la reducción del gradiente de densidad vertical de aguas profundas registrado en las estaciones interiores. Por ejemplo, al comparar bahías, se puede ver en la Figura 3f, que la pycnoclina está mucho más erosionada en Flandes que en Bahía Andvord o Bahía Charlotte. El aumento de los valores de mezcla de Bahía Flandes a Andvord y Charlotte, está relacionado con la reducción en la estratificación de la pycnoclina (Figura 3g-h); esto podría producirse por el predominio de los procesos turbulentos reflejados en los valores más bajos tanto de la flotabilidad del agua como del ángulo de Turner.

Se requieren valores altos de la frecuencia de flotabilidad para mantener el equilibrio del flujo diapycnal vertical; debido a esta falta de estabilidad, el sistema es propenso a producir un vuelco en toda la columna de agua. Una estratificación débil permite las entradas del uCDW al GS, lo que trae menores niveles de oxígeno ($220 \mu\text{mol kg}^{-1}$), y debido a procesos biológicos puede llegar a $37 \mu\text{mol kg}^{-1}$ en el área (Torres *et al.*, 2020). La mezcla y la interacción de las masas de agua pueden afectar los ciclos biológicos como la migración vertical. La estratificación más baja también afecta la estabilidad del sistema cuantificada por T_u . Hay un área donde la columna de agua completa es propensa a cambiar fácilmente su condición de estable a digitación de sal en Bahía Charlotte. La bahía de Charlotte es el primer lugar afectado por la entrada de agua más fría del norte (WSDW), que interactúa con agua relativamente más cálida del sur (uCDW); esta interacción crea un valor decreciente de la temperatura potencial y las condiciones de salinidad en profundidad para desarrollar el proceso de doble difusión. En las bahías del sur la estabilidad se ve reforzada por la notable presencia de uCDW por debajo del AASW, pero solo hasta los primeros 100 m de profundidad donde el sistema pierde la estratificación y se puede producir un proceso de doble difusión como los dedos de sal (Figura 3h).

La difusividad diapycnal calculada en el GS da un valor medio de $O(\log_{10} k_p = -4.7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ en la sección de Flandes, $O(\log_{10} k_p = -4.9 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ en la sección Andvord, y $O(\log_{10} k_p = -5.3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ en la sección de Charlotte (Figura 6). En todas las secciones los valores más altos de k_p ocurren en la superficie debido a la ventilación con la atmósfera. Esto implica un mayor nivel de energía que se puede transferir del océano a los glaciares, acelerando el retroceso de los glaciares ubicados en el área de estudio

weak stratification allows the entrances of the UCDW to the GS, which brings lower levels of oxygen ($220 \mu\text{mol kg}^{-1}$) and due by biological processes can reach $37 \mu\text{mol kg}^{-1}$ in the area (Torres *et al.*, 2020). Mixing and water masses interaction can affect biological cycles such as vertical migration. Lower stratification also affects the system stability as we quantified by the T_u . There is an area where the full water column is prone to change easily its condition from stable to salt fingering and is the Charlotte Bay. The Charlotte Bay is the first location affected by the entrance of colder northern water (WSDW), that interact with relative warmer southern water (UCDW); this interaction creates a decreasing value of potential temperature and salinity in-depth, conditions to develop double diffusion process. At the southern bays the stability is enhanced by the remarkable presence of UCDW below the AASW, but just until the first 100 m depth where the system loses the stratification and double-diffusive process such as salt fingering can be produced (Figure 3h).

Diapycnal diffusivity calculated at the GS gives a mean value of $O(\log_{10} k_p = -4.7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ at the Flandes section, $O(\log_{10} k_p = -4.9 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ at the Andvord section, and $O(\log_{10} k_p = -5.3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1})$ at the Charlotte section (Figure 6). At all sections the highest values of k_p occur at the surface due to ventilation with the atmosphere. This implies a higher level of energy that can be transferred from the ocean to the glaciers, accelerating the glacier retreatment located in the study area (Torres *et al.*, 2020). The diapycnal map is patchy, with clear hot spots at the upper mixed-layer; these are mainly located at the entrance of each bay, where there is a slight topography change. The resident waters work as a natural barrier resisting the erosion and impact of external waters with higher temperatures that could impact directly the interior glaciers bays. The location of the hot spots implies that there may be interaction with the resident waters in the bays at such depths. The bays are configured such that each southern border acts as a thermal and mechanical barrier to the main South-to-North circulation of the GS, thereby reducing the diapycnal mixing by reducing the water-mass interaction. Comparing the three sections from the southwest to the northeast, there is a clear enhancement of dissipation in the south part where the mixing was concentrated in the shallow waters (AASW – UCDW interaction). In the north part, the mixing was concentrated in the interface UCDW - WSDW.

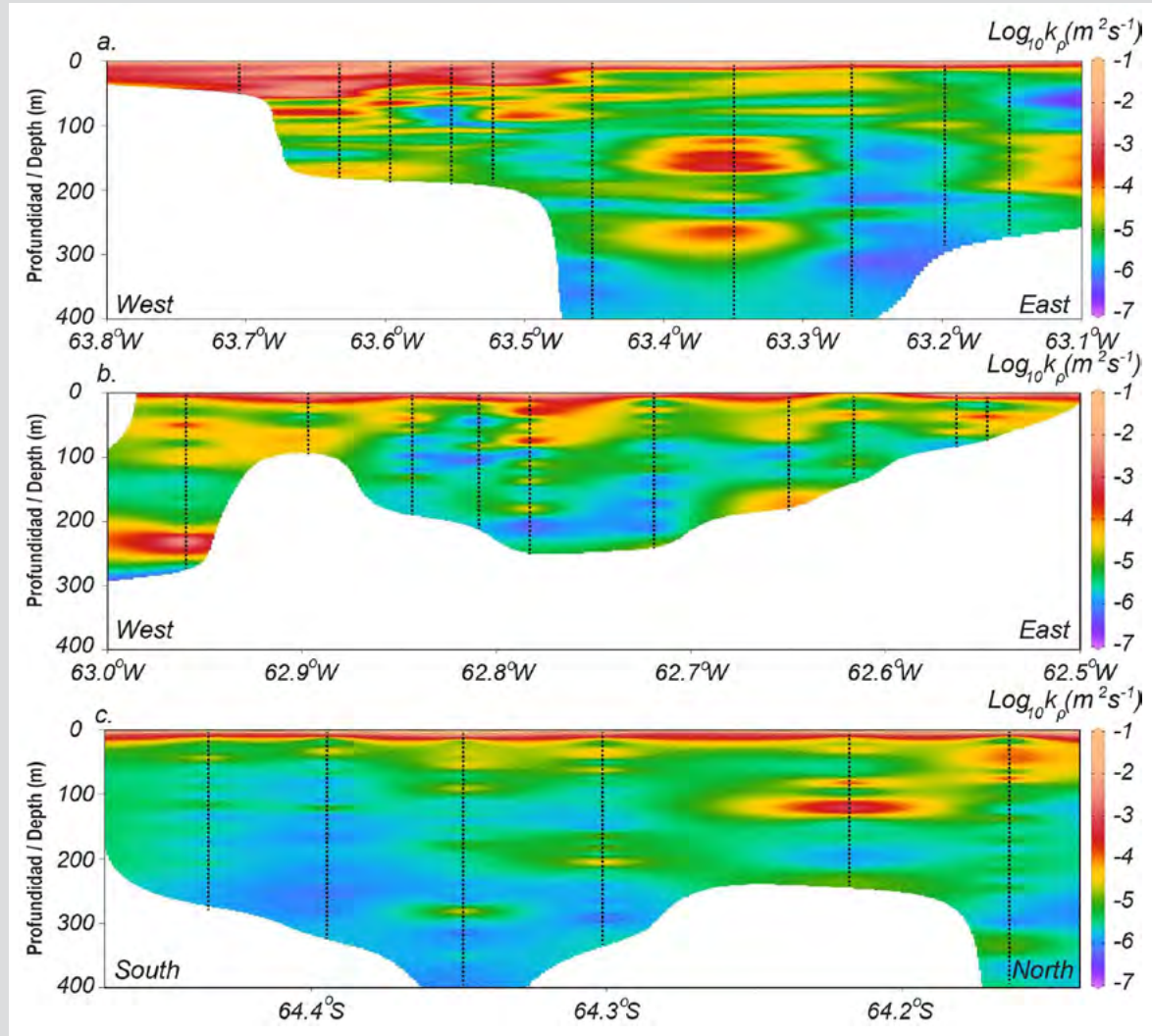


Figura 6. Secciones de difusividad diapícnal calculadas en escala logarítmica sobre Bahía **a.** Flandes, **b.** Andvord y **c.** Charlotte. Las líneas discontinuas identifican la ubicación de cada estación VMP.

Figure 6. Diapycnal diffusivity sections calculated in logarithmic scale over the **a.** Flandes, **b.** Andvord, and **c.** Charlotte Bays. Dashed lines identify the location of each VMP station.

(Torres *et al.*, 2020). El mapa diapícnal es irregular, con claros puntos activos en la capa superior mixta; estos se ubican principalmente en la entrada de cada bahía, donde hay un ligero cambio de topografía. Las aguas residentes funcionan como una barrera natural resistiendo la erosión y el impacto de aguas externas con temperaturas más altas que podrían impactar directamente las bahías de los glaciares interiores. La ubicación de los puntos calientes implica que puede haber interacción con las aguas residentes en las bahías a tales profundidades. Las bahías están configuradas de tal manera que cada borde sur actúa como una barrera térmica y mecánica a la circulación principal sur-norte del GS, reduciendo así la mezcla diapícnal al reducir la interacción agua-masa. Comparando las tres secciones de suroeste a noreste, hay un claro aumento de la disipación

To confirm if the entrance of UCDW and the AASW can provide the energy for the observed mixing, we consider if internal wave radiation is relevant in this area. This is the level of propagation of the internal waves regarding the bathymetry, current, and water stability. To do so, we calculate the steepness parameter:

$$S = (N\sqrt{2} H_{rms}) / U_0 \quad (5)$$

where H_{rms} is the RMS height of topography; we get an average peak value of 0.2. Values $S < 0.3$ indicate that 10 % or less of internal wave energy is dissipated locally, confirming a transition from a linear to an inertial oscillation regimen (Nikurashin and Ferrari, 2011). This low value indicates that most of the energy provided for the observed turbulence and mixing at intermediate layers

en la parte sur donde la mezcla se concentró en las aguas someras (interacción AASW - uCDW). En la parte norte, la mezcla se concentró en la interfaz uCDW - WSDW.

Para confirmar si la entrada de uCDW y AASW puede proporcionar la energía para la mezcla observada, consideramos si la radiación de ondas internas es relevante en esta área. Este es el nivel de propagación de las ondas internas con respecto a la batimetría, la corriente y la estabilidad del agua. Para ello, calculamos el parámetro de inclinación:

$$S = (N\sqrt{2} H_{rms}) / U_0 \quad (5)$$

dónde H_{rms} es la altura RMS de la topografía; obtenemos un valor pico medio de 0,2. Valores $S < 0.3$ indican que el 10 % o menos de la energía de las ondas internas se disipa localmente, lo que confirma una transición de un régimen de oscilación lineal a uno inercial (Nikurashin y Ferrari, 2011). Este valor bajo indica que es probable que la mayor parte de la energía proporcionada para la turbulencia y mezcla observadas en las capas intermedias sea producida por la interacción onda-onda. A partir de la distribución del espectro de energía a diferentes profundidades (Figura 4), se observa una interacción no lineal con las variaciones de energía en las interfaces de agua donde se encontraba la entrada de uCDW y AASW. Se necesitarán más estudios para confirmar esta hipótesis.

El AASW se mueve alrededor del lado oeste de la Península Antártica, impactando la parte poco profunda de las plataformas de hielo locales y sus glaciares. El impacto provoca pérdida de estabilidad de las aguas en la parte norte del GS en términos de temperatura, menor estratificación y mayores valores de mezcla vertical. Existe un claro intercambio de propiedades entre el uCDW y el ramificación del WSDW que ingresa a las aguas intermedias del GS desde el norte. Esto puede producir un proceso de entrelazado debido a la variabilidad de la temperatura y la salinidad (variación espacial diapicna). El uCDW tiene la energía más alta disponible para producir el tipo de mezcla que potencialmente puede afectar las bahías de Gerlache. Dado que la circulación principal y la capa de hielo marino protegen las propiedades del agua interior de las bahías, las aguas residentes se ven afectadas solo ligeramente por esta intrusión. Otro factor a considerar es la batimetría: la suave pendiente desde el cauce Gerlache hacia el interior de las bahías ayuda a bloquear la entrada de aguas externas. En Bahía Flandes, el flujo de agua interactúa con la batimetría, lo que sugiere la generación de ondas internas. Esta podría ser una fuente de energía para la mezcla registrada en esta área.

is likely to be produced by the wave-wave interaction. From the distribution of the energy spectrum at different depths (Figure 4), there is a non-linear interaction with energy variations at the water interfaces where the entrance of UCDW and AASW were. Further studies will need to confirm this hypothesis.

The AASW moves around the west side of the Antarctic Peninsula, impacting the shallow part of the local ice-shelves and their glaciers. The impact causes loss of stability of the waters in the northern part of the GS in terms of temperature, lower stratification, and higher vertical mixing values. There is a clear exchange of properties between the UCDW and the branch of the WSDW that enters the intermediate waters of the GS from the north. This can produce an interleaving process due to temperature, and salinity variability (diapycnal spiciness). The UCDW has the highest energy available to produce the sort of mixing that can potentially impact the Gerlache Bays. Since the main circulation and the sea-ice -cover protect the interior water properties of the bays, the resident waters are only slightly affected by this intrusion. Another factor to consider is the bathymetry: the smooth slope from the Gerlache mainstream to the interior of the bays helps to block the entrance of external waters. In Flandes Bay, the water flow interacts with the bathymetry, suggesting internal wave generation. This could be an energy source for the mixing recorded in this area.

CONCLUSIONS

For the first time, a summer-time diapycnal diffusivity map was successfully quantified in the main bays of the Gerlache Strait. The mixing and diapycnal diffusivity profiles quantified with the VMP shear sensors are consistent with the variation of the internal water properties measured by the temperature and salinity sensors on the Gerlache pathway from the southwest to the northeast and from the mainstream to the interior of the bays. Stratification is significantly weaker when we move to the northeast, due to erosion of the summer thermocline from shear and mixing developed earlier the southwest. Maximum diapycnal diffusivity values change from $\log_{10} k_p = -2.5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ at the Flandes section to $\log_{10} k_p = -3.1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ at the Charlotte section, implying well-mixed waters in the northern part of the GS. The high stability levels of the waters inside each bay combined with low values of k_p , may influence the amount of sea

CONCLUSIONES

Por primera vez, se cuantificó con éxito un mapa de difusividad diapícnal de verano en las principales bahías del Estrecho de Gerlache. Los perfiles de mezcla y difusividad diapícnal cuantificados con los sensores de cizallamiento VMP son consistentes con la variación de las propiedades internas del agua medidas por los sensores de temperatura y salinidad en la vertiente principal de Gerlache desde el suroeste hacia el noreste y desde la corriente principal hasta el interior de las bahías. La estratificación es significativamente más débil cuando nos movemos hacia el noreste, debido a la erosión de la termoclina de verano por el cizallamiento y la mezcla desarrollada antes en el suroeste. Los valores máximos de difusividad diapícnal cambian de $\log_{10} k_p = -2.5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ en la sección de Flandes para $\log_{10} k_p = -3.1 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ en la sección de Charlotte, lo que implica aguas bien mezcladas en la parte norte del GS. Los altos niveles de estabilidad de las aguas dentro de cada bahía combinados con bajos valores de k_p , puede influir en la cantidad de hielo marino producido en cada bahía. Los valores de k_p muestran que una gran cantidad de energía está potencialmente disponible para producir mezclas en la parte norte donde entra el WSDW, y aguas poco profundas en la parte sur del GS. Este resultado debería motivar más estudios para identificar los diferentes mecanismos de mezcla que pueden impactar los flujos de propiedades y nutrientes del uCDW al AASW, afectando los sistemas físicos, biológicos y químicos. Para identificar los procesos de mezcla predominantes que se originan en la zona, desplegaremos un ADCP paralelo para medir las velocidades actuales en una futura expedición.

Aquí, hemos identificado un patrón espacial que relaciona la intrusión de uCDW con el agua residente en las bahías. Esta interacción produce una variedad de aguas bien mezcladas en las bahías del estrecho de Gerlache. Este patrón coincide con la ubicación de los puntos calientes de mayores niveles de mezcla turbulenta y la variabilidad de las propiedades del agua en toda la columna de agua en Gerlache. Los procesos de entrelazado pueden estar presentes en la entrada de cada bahía. Otra consideración es qué tan rápido (espacialmente) podría cambiar la temperatura del AASW. Las bajas temperaturas en la ubicación de producción primaria son una condición para capturar el dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, condiciones que observamos en Bahía Flandes pero no en Charlotte. Estos procesos necesitan más investigación en el contexto del cambio climático, que se asemeja a variaciones

ice produced in each bay. These k_p values show that a high amount of energy is potentially available to produce mixing in the northern part where the WSDW enters, and shallow waters at the southern part of the GS. This result should motivate further studies to identify the different mixing mechanisms that can impact the fluxes of properties and nutrients from the UCDW into the AASW, affecting the physical, biological, and chemical systems. To identify the predominant mixing processes that originate in the area, we will deploy a parallel ADCP to measure the current velocities in a future expedition.

Here, we have identified a spatial pattern that relates the intrusion of UCDW to the resident water in the bays. This interaction produces a range of well-mixed waters in the Gerlache Strait Bays. This pattern matches the location of the hot spots of higher mixing turbulence levels and the variability of water properties throughout the Gerlache water column. Interleaving processes may be present at the entrance of each bay. Another consideration is how fast (spatially) the AASW temperature might change. Low temperatures in primary production location is a condition to capture atmospheric carbon dioxide (CO_2), conditions we observed in Flandes Bay but not Charlotte Bay. These processes need further research in the context of climate change, which is likely to water mass variations that may supply energy (heat) that contributes to the cycle of glacier melting in the area and oceanic sequestration zones for CO_2 . In further work, we will quantify the production, incidence, and dissipation of internal waves and tides in the area.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Center for global Sea Level Change (CSLC) of New York University Abu Dhabi (NYUAD) Research Institute (G1204) in the UAE, and the Antarctic Colombian Program (PAC). Data collected during the fifth Antarctic Colombian Expedition 2018-2019. Logistical support for this project in the Antarctic was provided by the ARC 20 de Julio through the Colombian Navy and the CCO. We thank Clare Eayrs and all colleagues at the CSLC for critical review and support

de la masa de agua que pueden suministrar energía (calor) que contribuye al ciclo de derretimiento de los glaciares en el área y las zonas de secuestro oceánico de CO₂. En un trabajo posterior, cuantificaremos la producción, incidencia y disipación de olas y mareas internas en el área.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Centro para el Cambio Global del Nivel del Mar (CSLC) del Instituto de Investigación de la Universidad de Nueva York Abu Dhabi (NYUAD) (G1204) en los EAU, y el Programa Antártico Colombiano (PAC). Datos recopilados durante la quinta Expedición Antártica Colombiana 2018-2019. El apoyo logístico para este proyecto en la Antártida fue proporcionado por el ARC 20 de Julio a través de la Armada de Colombia y la CCO. Agradecemos a Clare Eayrs y a todos los colegas del CSLC por la revisión crítica y el apoyo.

BIBLIOGRAFIA / LITERATURE CITED

- Cook, A.J., D.G. Vaughan, A.J. Luckman and T. Murray. 2014. A new Antarctic Peninsula glacier basin inventory and observed area changes since the 1940s. *Ant. Sci.*, 26(6): 614 – 624.
- Kelley, D. E., H.J.S. Fernando, A.E. Gargett, J. Tanny and E. Özsoy. 2003. The diffusive regime of double-diffusive convection. *Progr. Oceanogr.*, 56(3 - 4): 461 – 481. DOI: 10.1016/S0079-6611(03)00026-0.
- Kolmogorov, A. N. 1941. The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds numbers. *Proc. R. Soc. Lond.*, 434: 9 - 13.
- Lencina-Ávila J., C. Goyet, R. Kerr Rodrigo, I. Orselli, M. Mata and F. Touratier. 2018. Past and future evolution of the marine carbonate system in a coastal zone of the Northern Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. II*, 149: 193 - 205. DOI:10.1016/J.DRS2.2017.10.018.
- McDougall, T.J., S.A. Thorpe and C.H. Gibson. 1988. Smallscale turbulence and mixing in the ocean: 3-9. In: Nihoul, J.C.J. and B.M. Jamart (Eds.). *Small-scale turbulence and mixing in the ocean*. Elsevier, Amsterdam.
- Masson, D. 2002. Deepwater renewal in the Strait of Georgia. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 54: 115 - 126.
- Nasmyth, P. W. 1970. *Oceanic turbulence*. Univ. British Columbia. 71 p. doi: 10.14288/1.0084817.
- Nikurashin, M. and R. Ferrari. 2011. Global energy conversion rate from geostrophic flows into internal lee waves in the deep ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 38: L08610. doi: 10.1029/2011GL046576.
- Oakey, N. S. 1982. Determination of the rate of dissipation of turbulent energy from simultaneous temperature and velocity shear microstructure measurements. *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 256 – 271. DOI: 10.1175/1520-0485.
- Ross, T. and A. Lavery. 2010. Acoustic detection of oceanic double-diffusive convection: a feasibility study. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 27(3): 580 - 593.
- Savidge, D. K. and J.A. Amft. 2009. Circulation in the West Antarctica Peninsula derived from 6 years of shipboard ADCP transects. *Deep-Sea Res. I*, 56: 1633 - 1655.
- Sheen, K. L., J. Brearley, D. N. Garabato, D. Smeed, S. Waterman, J. Ledwell, M. Meredith, L. St. Laurent, A. Thurnherr, J. Toole and A. Watson. 2013. Rates and mechanisms of turbulent dissipation and mixing in the Southern Ocean: Results from the Diapycnal and Isopycnal Mixing Experiment in the Southern Ocean (DIMES). *J. Geophys. Res. Oc.*, 118: 2774 – 2792. DOI: 10.1002/jgrc.2021.
- Smith, D.A., E.E. Hofmann, J.M. Klinck and C.M. Lascara. 1999. Hydrography and circulation of the West Antarctic Peninsula continental shelf. *Deep-Sea Res. I*, 46: 925 - 949.



Stewart, R. 2008. Introduction to physical oceanography. Department of Oceanography. Texas A&M Univ. 345 p.

Thorpe, S. A. 2005. The turbulent ocean. Cambridge Univ., Cambridge. 439 p.

Torres, R., A. Caicedo and J. Iriarte. 2020. Hydrographic conditions during two austral summer situations (2015 and 2017) in the Gerlache and Bismarck straits, northern Antarctic Peninsula. Deep-Sea Res. I, doi: 10.1056/j.dsr.2020.103278

Valkonen, T., T. Vihma and B. Doble. 2008. Mesoscale modeling of the atmosphere over Antarctic sea ice: A late autumn case study. Mon. Weather Rev., 136: 1457 – 1474.

Venables, E., K. Nichols, F. Wolk, K. Makinson and P. Anker. 2014. Measuring turbulent dissipation rates beneath an Antarctic ice shelf. Mar. Tech. Soc. J., 48(5).

RECIBIDO/RECEIVED: 05/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 17/06/2020

MATERIAL SUPLEMENTARIO / SUPPLEMENTARY MATERIAL

Tabla 1. Ubicación de las estaciones oceanográficas donde se desplegó el VMP-250.

Table 1. Location of the oceanographic stations where the VMP-250 was deployed.

		VMP-250		
		Estación / Station #	Latitud / Latitude (°)	Longitud / Longitude (°)
Bahía Flandes / Flandes Bay		1	-65.0721	-63.1515
		2	-65.0506	-63.1986
		3	-65.0176	-63.2646
		4	-64.9862	-63.3494
		5	-64.9842	-63.4518
		6	-64.9678	-63.5525
		7	-64.9365	-63.6330
		8	-64.9070	-63.7051
		9	-64.9487	-63.5964
		10	-64.9896	-63.5229
Bahía Andvord / Andvord Bay		11	-64.8351	-62.5484
		12	-64.8348	-62.5637
		13	-64.8140	-62.6169
		14	-64.7982	-62.6498
		15	-64.7636	-62.7181
		16	-64.7353	-62.7831
		17	-64.7215	-62.8092
		18	-64.6794	-62.8432
		19	-64.6813	-62.8973
		20	-64.6501	-62.9600
Bahía Charlotte / Charlotte Bay		24	-64.4348	-61.7934
		25	-64.3943	-61.8276
		26	-64.3486	-61.8749
		27	-64.3017	-61.8819
		28	-64.2180	-61.8859
	29	-64.1638	-61.8603	



Estudio del glaciar Lange y su impacto debido al aumento de temperatura en la bahía Almirantazgo, isla Rey Jorge, Antártica

Study of the Lange Glacier and its impact due to temperature increase in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica

Diego F. Mojica-Moncada^{1,2,3,4,*}, Carlos Cárdenas¹, Jhon F. Mojica-Moncada^{3,4,5}, Fabian Brondi⁶, Dalia C. Barragán-Barrera^{2,3,4},

0000-0002-5570-7527

0000-0003-1011-643X

0000-0003-3317-0404

0000-0002-1582-4892

0000-0003-4023-9908

Cedomir Marangunic¹, David Holland⁵, Andrés Franco Herrera^{3,7} y Gino Casassa¹

0000-0003-1045-8499

0000-0002-5768-0866

0000-0002-9809-8151

0000-0002-7888-071X

1. Gaia Antarctica Research Center, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile. asuntosantarticos@gmail.com*, carlos.cardenas@umag.cl, cmarangunic@geoestudios.cl, gino.casassa@gmail.com
2. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe-CIOH, Dirección General Marítima, Cartagena de Indias, Colombia. daliac.barraganbarrera@gmail.com
3. Programa Antártico Colombiano, Bogotá, Colombia.
4. Association of Polar Early Career Scientists-APECS Colombia, Bogotá, Colombia.
5. Center for global Sea Level Change, New York University, Abu Dhabi, UAE. jhon.mojica@nyu.edu, dmh4@nyu.edu
6. Instituto Geográfico Nacional del Perú, Lima, Perú. fabianbrondi@hotmail.com
7. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. andres.franco@utadeo.edu.co

* Autor de correspondencia

RESUMEN

Al occidente de la Península Antártica se ha identificado una de las áreas de mayor calentamiento del hemisferio sur. Para caracterizar esta tendencia, se seleccionó el Glaciar Lange (GL) en la Isla Rey Jorge, con el fin de evaluar: 1) temperatura superficial y dinámica del GL utilizando estacas con sensores de temperatura; 2) espesor sumergido del GL y parámetros del mar a través de batimetría (BT) y 29 estaciones CTD frente al GL; 3) frente de glaciar (FG) utilizando BT y un Modelo Digital de Elevación (MDE); 4) cambio en la posición del FG usando MDE y datos históricos de su ancho; 5) flujo de Calving (QC). Los resultados mostraron que el 85 % de las temperaturas estuvieron por encima del punto de fusión de 0 °C (media = 5,0 ± 5,2 °C). Las estacas arrojaron una pérdida promedio de hielo de 9,3 ± 1,3 cm. La dinámica promedio del GL fue de 8,8 ± 1,5 m (0,40 ± 0,70 m/día), corroborado por imágenes de satélite Sentinel-1 (Offset Tracking = 0,43 ± 0,01 m/día). Se identificó una intrusión de aguas externas más cálidas que las aguas residentes en la bahía del GL, lo cual desestabiliza la columna de agua debido a procesos de convección. Nuestros hallazgos en conjunto indicaron una fusión glaciar continua que aumenta su dinámica debido al aumento de temperatura, con un aporte de agua dulce a la Bahía del Almirantazgo. Según los resultados históricos y este estudio, el retroceso del GL se estimó entre 1956 y 2019 en 2.492 m.

PALABRAS CLAVE: Glaciar Lange, Deshielo, Cambio Climático, Flujo de Calving, Antártica

ABSTRACT

In the western Antarctic Peninsula one of the areas the highest warming in the southern hemisphere has been identified. To characterize this tendency, we selected the Lange Glacier (LG) on King George Island, to evaluate: 1) LG surface temperature and dynamics using stakes with temperature data loggers; 2) LG submerged thickness and sea parameters through bathymetry (BT) and 29 CTD stations in front of LG; 3) glacier front (GF) using BT and a Digital Elevation Model (DEM); 4) change in GF position using DEM and historical data of GF width; 5) Calving flux (QC). Our findings showed 85 % of temperatures were above the 0 °C melting point (mean = 5.0 ± 5.2 °C). The stakes had an average ice loss of 9.3 ± 1.3 cm. The LG mean dynamics was 8.8 ± 1.5 m (0.40 ± 0.70 m/day), corroborated by Sentinel-1 satellite images (Offset Tracking = 0.43 ± 0.01 m/day). An intrusion of external waters warmer in the LG bay was identified, which destabilizes the water column due to convection processes. Our findings together indicated a continuous glacial melt that increases its dynamics due to the increase in temperature, with a contribution of fresh water to the Admiralty Bay. Based on historical results and this study, the LG retracement was estimated in 2,492 m between 1956 and 2019.

KEYWORDS: Lange Glacier, Melting, Climate change, Calving flux, Antarctica

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.SuplEsp.949>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

La criósfera es un integrador natural de la variabilidad del clima y proporciona algunos de los registros más visibles del cambio climático (Vaughan *et al.*, 2013; IPCC, 2014), basados en la variación del agua sólida como la nieve, el hielo de los ríos y lagos, hielo marino, glaciares, plataformas de hielo, hielo continental y suelo congelado (permafrost). En particular, la Antártica alberga la mayor parte de la criosfera del mundo; por lo tanto, su derretimiento elevaría potencialmente el nivel del mar a 61 metros, lo que afectaría sustancialmente a una gran parte de la población humana (Vaughan *et al.*, 2013; Moss *et al.*, 2010).

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cambio climático, ha alterado la composición de la atmósfera global variando el clima observado durante períodos comparables (IPCC, 2014), no se atribuye solo a la actividad humana. Sin embargo, el quinto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, AR5) indicó que el calentamiento global está inequívocamente influenciado por la actividad humana. Durante el último siglo, la temperatura media de la superficie ha aumentado de 0,60 a 0,78 °C (Vaughan *et al.*, 2003), y tanto la atmósfera como el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y el espesor del hielo han disminuido sustancialmente y el nivel del mar ha aumentado (IPCC, 2013; 2014; IPCCa, 2014).

Aunque los glaciares responden a la variación de temperatura, aumentando o disminuyendo en volumen y avanzando o retrocediendo en sus frentes (Marangunic *et al.*, 2008), casi todos los glaciares del mundo se han reducido continuamente desde finales de los 80s, mostrando como resultado balances de masa negativos debido a la pérdida de masa glaciar (por ejemplo, Kejna *et al.*, 1998; Park *et al.*, 1998; Calvet *et al.*, 1999; Simões *et al.*, 1999; Arigony-Neto *et al.*, 2004). En consecuencia, los glaciares han perdido masa y han contribuido al aumento del nivel del mar a lo largo del siglo XX (Vaughan *et al.*, 2003; Goss, 2020). Por ejemplo, en la Antártica occidental, el glaciar Thwaites en el mar de Amundsen, uno de los glaciares más grandes del continente, se está derritiendo actualmente porque el agua debajo del glaciar está actualmente dos grados por encima del punto de congelación (Goss, 2020), lo que podría elevar el nivel del mar más de medio metro (Rignot *et al.*, 2014), tema relevante a considerar debido a la relativa proximidad a la Península Antártica.

Debido a las mayores implicaciones del cambio climático relacionadas con el derretimiento de la criósfera,

INTRODUCTION

The cryosphere is a natural integrator of the variability of the climate and provides some of the most visible records of climate change (Vaughan *et al.*, 2013; IPCC, 2014), based on the variation of solid water such as snow, ice from rivers and lakes, sea ice, glaciers, ice shelves, continental ice, and frozen ground (permafrost). Particularly the Antarctic holds most cryosphere worldwide; therefore, its melting potentially will raise sea level up to 61 m, which would substantially affect a large part of the human population (Moss *et al.*, 2010; Vaughan *et al.*, 2013).

According to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), climate change, which has altered the composition of the global atmosphere varying climate observed during comparable periods (IPCC, 2014), is not attributed only by human activity. However, the fifth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, AR5) indicated global warming is unequivocally influenced by human activity. During last century average surface temperature has increased from 0.60 to 0.78 °C (Vaughan *et al.*, 2003), and both atmosphere and ocean have warmed up, snow volumes and ice thickness have decreased substantially, and sea level has risen (IPCC, 2013, 2014; IPCCa, 2014).

Although glaciers respond to temperature variation, increasing or decreasing in volume and advancing or retreating in their fronts (Marangunic *et al.*, 2008), almost all glaciers in the world have been continuously reduced since the late 80s, showing negative mass balances as a result of glacier mass loss (e.g. Kejna *et al.*, 1998; Park *et al.*, 1998; Calvet *et al.*, 1999; Simões *et al.*, 1999; Arigony-Neto *et al.*, 2004). Consequently, glaciers have lost mass and have contributed to sea-level rise throughout the twentieth century (Vaughan *et al.*, 2003; Goss, 2020). For example, at West Antarctic the Thwaites glacier in the Amundsen Sea, one of the largest glaciers on the continent, is currently melting because the water below the glacier is currently two degrees above freezing (Goss, 2020), which could raise sea levels by more than half a meter (Rignot *et al.*, 2014), relevant topic to consider due to the relative proximity to the Antarctic Peninsula.

Because of the highest climate change implications related to cryosphere melting, the Antarctic is one of the most studied areas regarding global warming (IPCC, 2013), mainly the Antarctic Peninsula, where has

la Antártica es una de las áreas más estudiadas con respecto al calentamiento global (IPCC, 2013), principalmente la Península Antártica, que ha reportado las temperaturas más altas en el hemisferio sur (Vauhghan *et al.*, 2003; Braun, 2001), mostrando un aumento de alrededor de 3 °C desde 1950 (Meredith y King, 2005). Como resultado, varios estudios han proporcionado evidencia del retroceso de los glaciares en la Península Antártica y en las Islas Shetland del Sur (Kejna *et al.*, 1998; Park *et al.*, 1998; Calvet *et al.*, 1999; Simões *et al.*, 1999; Braun, 2001; Braun y Gossmann, 2002; Arigony-Neto *et al.*, 2004).

Particularmente en la Isla Rey Jorge (IRJ), los glaciares son pequeños y templados, mostrando temperaturas cercanas al punto de fusión de 0 °C, haciendo que estas masas de hielo sean muy sensibles a los cambios de temperatura (Knap *et al.*, 1996). En la IRJ, se ha informado de un aumento significativo de la temperatura del aire, tasas de ablación más altas y retroceso de los glaciares en comparación con otros sitios de la Península Antártica (Braun, 2001). De hecho, durante los últimos 45 años, la escorrentía de la cuenca glaciar ha aumentado en la IRJ y, desde 1956, esta isla ha perdido aproximadamente el 7 % de su capa de hielo original (Simões *et al.*, 1999). Solo en la costa sur de la IRJ, la mayoría de los glaciares que fluyen como hielo continental han ido retrocediendo (Simões *et al.*, 1995; Simões *et al.*, 1999). La pérdida de hielo en la IRJ se relacionó con un aumento estimado en el promedio de la temperatura atmosférica (Ferron *et al.*, 2004), coincidiendo con el calentamiento regional en las Islas Shetland del Sur desde 1944 y en la parte norte de la Península Antártica desde 1960 (Peel *et al.*, 1988; Braun, 2001). En particular, el frente del Glaciar Lange (GL), ubicado en la Costa Sur del hielo continental, ha retrocedido 1 km en 35 años, evidenciado por registros fotográficos aéreos, mapas topográficos e imágenes de satélite obtenidas en 1956, 1988-89, y 1991 (Macheret y Moskalevsky, 1999; Simões *et al.*, 1995; Simões *et al.*, 1999).

Con el fin de obtener datos e información sobre la dinámica y el derretimiento en el GL, utilizamos una red de estacas con sensores de temperatura e imágenes satelitales Sentinel-1. Además, se desplegó equipo CTD (conductividad, temperatura y densidad) en la Bahía de Almirantazgo, para evaluar la temperatura de la superficie del agua y la salinidad en la columna de agua frente al glaciar. Además, se realizó un levantamiento batimétrico en el frente del glaciar para determinar la profundidad y el espesor del hielo y estimar su dinámica de flujo y derretimiento superficial. Todos estos datos en conjunto proporcionarán un diagnóstico actual del

been reported the highest temperatures in the Southern Hemisphere (Braun, 2001; Vauhghan *et al.*, 2003), showing an increase around 3 °C since 1950 (Meredith and King, 2005). As a result, several studies have provided evidence of glaciers retreatment on the Antarctic Peninsula and in the South Shetland Islands (Kejna *et al.*, 1998; Park *et al.*, 1998; Calvet *et al.*, 1999; Simões *et al.*, 1999; Braun, 2001; Braun and Gossmann, 2002; Arigony-Neto *et al.*, 2004).

Particularly on King George Island (KGI), glaciers are small and temperate, showing temperatures near to 0 °C melting point, doing these ice masses very sensitive to temperature changes (Knap *et al.*, 1996). In the KGI, it has been reported significant air temperature increase, higher ablation rates, and glacier retreatment in comparison to other sites on the Antarctic Peninsula (Braun, 2001). Indeed, during the last 45 years, glacier basin runoff has been increasing on KGI, and since 1956, this island has lost approximately 7 % of its original ice cover (Simões *et al.*, 1999). Only on the Southern coast in KGI, most of the glaciers that flow as continental ice has been receding (Simões *et al.*, 1995, 1999). The KGI ice loss was related to an increase in the estimated average atmospheric temperature (Ferron *et al.*, 2004), matching with regional warming in the South Shetland Islands since 1944 and in the northern part of the Antarctic Peninsula since 1960 (Peel *et al.*, 1988; Braun, 2001). Particularly, the front of the Lange Glacier (LG), located on the Southern Coast of the continental ice, has retreated 1 km over 35 years, evidenced by aerial photographic records, topographic maps, and satellite images obtained in 1956, 1988-89, and 1991 (Simões *et al.*, 1995, 1999; Macheret and Moskalevsky, 1999).

With the purpose to obtain data and information on the dynamics and melting in the LG, we used a network of stakes with temperature data loggers and Sentinel-1 satellite images. Furthermore, a CTD (conductivity, temperature, and density) equipment was deployed in the Admiralty Bay, to assess water surface temperature and salinity in the water column in the bay facing the glacier. Additionally, a bathymetric survey was carried out in the glacier front to determine the depth and ice thickness to estimate its flow dynamics and surface melting. All these data together will provide a current diagnosis of the LG in the current scenario of climate change, which influences the temperature increasing of Antarctic Peninsula and is positively related to the loss of ice and melting in this area (Vaughan *et al.*, 2013). This work provides new knowledge

GL en el escenario actual de cambio climático, que influye en el aumento de temperatura de la Península Antártica y se relaciona positivamente con la pérdida de hielo y deshielo en esta zona (Vaughan *et al.*, 2013). Este trabajo aporta nuevos conocimientos relacionados con el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 13 sobre Acción Climática del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, y se enmarca dentro de los lineamientos de investigación del Comité Científico de Investigaciones Antárticas - SCAR.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo de este estudio se realizó en el marco de los proyectos de investigación de la

related to the Sustainable Development Goal No. 13 about Climate Action of the United Nations Development Program, and it is framed within the research guidelines of the Scientific Committee on Antarctic Research - SCAR.

MATERIALS AND METHODS

The fieldwork of this study was carried out within the framework of the research projects of the Fifth Scientific Expedition of Colombia to the Antarctic “Admiral Campos” austral summer 2018 - 2019, the 55th Chilean Antarctic Scientific Expedition (ECA 55) austral summer 2018 - 2019, and 26th Peruvian Antarctic Scientific Expedition austral summer 2018 - 2019.

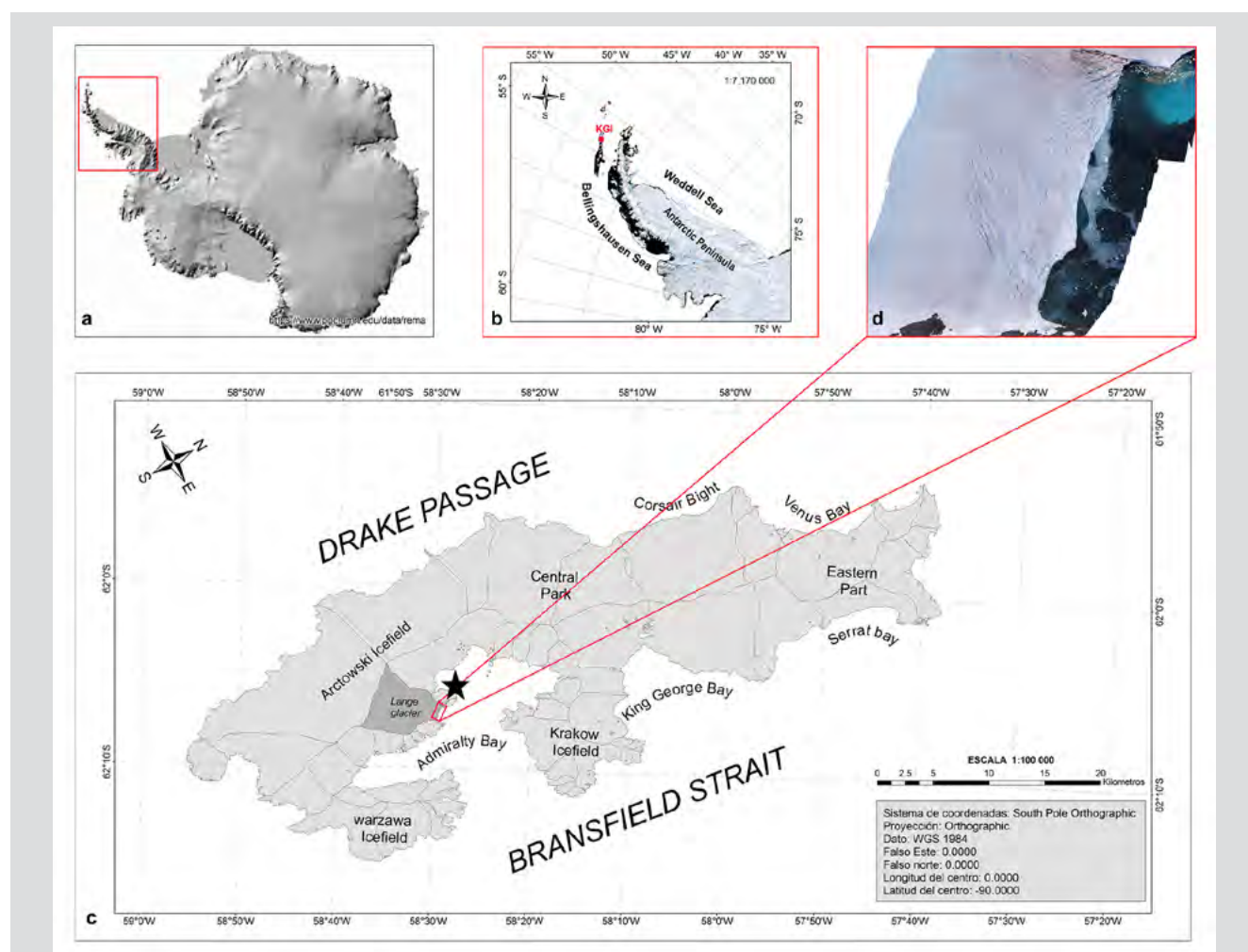


Figura 1. a. Ubicación de la Península Antártica en el continente Antártico (fuente del mapa: Howat *et al.*, 2019 www.pgc.umn.edu/data/rema). b. El mapa muestra un detalle de la Península Antártica, y c. la ubicación del Glaciar Lange (GL), en la Isla Rey Jorge. En este último mapa está marcada con una estrella negra, la Estación Científica Antártica Machu Picchu del Perú - ECAMP, que se encuentra cerca del GL y donde se ubico el mareógrafo. El mapa d. muestra una Ortofoto del GL.

Figure 1. a. Location of the Antarctic Peninsula in the Antarctic continent (map source: Howat *et al.*, 2019 www.pgc.umn.edu/data/rema). b. The map shows a detail of the Antarctic Peninsula, and c. location of the Lange Glacier (LG), in the King George Island. On this last map is marked with a black star the Scientific Antarctica station Machu Picchu of Peru - ECAMP, which is located close to the LG and where the tide-gauge was located. The map b. shows an Orthophoto of LG.

Quinta Expedición Científica de Colombia a la Antártica “Almirante Campos” verano austral 2018 - 2019, la 55a Expedición Científica Antártica Chilena (ECA 55) verano austral 2018 - 2019, y 26a Expedición Científica Antártica Peruana verano austral 2018 - 2019.

Área de estudio

La Isla Rey Jorge (IRJ) está ubicada en la parte norte de la Península Antártica en el Archipiélago de las Islas Shetland del Sur, entre $61^{\circ} 54' - 62^{\circ} 16' S$ y $57^{\circ} 35' - 59^{\circ} 02' W$ (Ferron *et al.*, 2004) (Figura 1). Ocho estaciones de investigación permanentes, varias cabañas estacionales y campamentos de investigación se encuentran en la IRJ, y aproximadamente el 90 % de la superficie de la isla (1250 km^2) está cubierta de glaciares (Rückamp *et al.*, 2011). La capa de hielo de la isla consta de varios casquetes polares conectados con glaciares de salida pronunciados. Mientras que la costa norte presenta pendientes suaves, la costa sur tiene pendientes más empinadas y ensenadas parecidas a fiordos (Rückamp *et al.*, 2011). El GL está ubicado en la parte sur de la IRJ, en la Bahía de Almirantazgo, en paralelo y cerca de la Península Antártica (Figura 1).

El GL se identifica como una de las principales salidas de hielo en la IRJ, que desemboca en la Bahía de Almirantazgo (Barboza *et al.*, 2004) (Figura 1c). Este glaciar tiene 6.2 km a lo largo del eje longitudinal, 5 km de ancho en la parte media, su frente tiene un ancho de aproximadamente 2 km y su cuenca de drenaje cubre 28.3 km^2 (Barboza *et al.*, 2004). El agua superficial frente a este glaciar es fría y dulce debido al deshielo estacional, registrando rangos de temperatura y salinidad entre -0.13 a $0.79 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 32.43 a 33.73 , respectivamente. Las mediciones en campo y la presencia de plumas de sedimentos en el frente del glaciar indican que se trata de un glaciar templado (Macheret y Moskalevsky, 1999, Pichlmaier *et al.*, 2004), cuyo lecho basal está próximo al punto de fusión permitiendo su deslizamiento y derretimiento basal. (Marangunic *et al.*, 2008). El GL ha evidenciado un alto retroceso en su frente desde 1956 (Simões *et al.*, 1999, Braun, 2001), con un retroceso de 1.4 km, perdiendo un total de 2.0 km^2 (Arigony-Neto, 2001). Frente al GL se ubica la Bahía de Almirantazgo que tiene una batimetría variable, la cual es somera cerca del frente del glaciar con profundidades entre 10 a 220 m (Figura 5), aumentando de 300 a 1,000 m en las sub bahías adyacentes. Desde la parte central de la bahía hasta la salida hacia el estrecho de Bransfield, se ubican puntos más profundos con profundidades entre 1.200 y 1.800 m.

Study area

King George Island (KGI) is located at the northern portion of the Antarctic Peninsula in the South Shetland Islands Archipelago, between $61^{\circ} 54' - 62^{\circ} 16' S$ and $57^{\circ} 35' - 59^{\circ} 02' W$ (Ferron *et al.*, 2004) (Figure 1). Eight permanent research stations, various seasonal huts, and research camps are located on KGI, and about 90 % of the island's surface ($1,250 \text{ km}^2$) is glaciated (Rückamp *et al.*, 2011). The island's ice cover consists of several connected ice caps with pronounced outlet glaciers. While the northern coast exhibits gentle slopes, the southern coastline has steeper slopes and fjord-like inlets (Rückamp *et al.*, 2011). The LG is located in the southern portion of KGI, in the Admiralty Bay, in parallel and near the Antarctic Peninsula (Figure 1).

The LG is identified as one of the main outlets of ice on KGI, which flows into Admiralty Bay (Barboza *et al.*, 2004) (Figure 1c). This glacier is 6.2 km along the longitudinal axis, 5 km wide in the middle part, its front has a width of approximately 2 km, and its drainage basin covers 28.3 km^2 (Barboza *et al.*, 2004). The surface water in front of this glacier is cold and fresh due to the seasonal ice-melting, showing temperature and salinity ranges between -0.13 to $0.79 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and 32.43 to 33.73 , respectively. The measurements in the field and the presence of sediment plumes in the glacier front indicates it is a temperate glacier (Macheret and Moskalevsky, 1999; Pichlmaier *et al.*, 2004), whose basal bed is near to fusion point allowing its glide and basal melting (Marangunic *et al.*, 2008). The LG has high retreatment on its front since 1956 (Simões *et al.*, 1999; Braun, 2001), with a 1.4 km retreat, losing a total of 2.0 km^2 (Arigony-Neto, 2001). In front of the LG is located the Admiralty Bay that has a variable bathymetry, which is shallower near to the glacier front with depths between 10 to 220 m (Figure 5), increasing from 300 to 1,000 m in adjacent sub bays. From the central portion of the bay to the output towards Bransfield Strait, are located deeper points with depths between 1,200 and 1,800 m.

Thermic gradient and glacier dynamics

In order to evaluate the thermal gradient on the surface of the glacier, an Onset HOBO temperature data logger sensor was installed in three bamboo stakes (Figure 2a) at 200 m distance each, and 200 m from the northside on the surface of the glacier, on December 24, 2018. Each stake registered temperature data every 10 min during the study period (22 days). We used a Kovacs drill



Figura 2. Metodología para instalar estacas de bambú en el Glaciar Lange (GL), IRJ, Antártica. **a.** Uso de un taladro Kovacs para la apertura de orificios sobre el glaciar y la instalación de estacas de bambú. **b.** Mediciones en la estaca para determinar el derretimiento de hielo en la zona de ablación. **c.** Sensor de temperatura instalado en la estaca. **Fotos:** **a. - b.** Jhon Mojica y **c.** Diego Mojica, 2019.

Figure 2. Methodology to install bamboo stakes on the Lange Glacier (LG), KGI, Antarctica. **a.** Use of Kovacs drill for hole opening and bamboo stake installation. **b.** Measurements of melt at ablation stake. **c.** Temperature data logger sensor installed on stake. **Photos:** **a. - b.** Jhon Mojica and **c.** Diego Mojica, 2019.

Gradiente térmico y dinámica del glaciar

Para evaluar el gradiente térmico de la superficie del glaciar, se instaló un sensor de temperatura Onset HOBO en cada una de las tres estacas de bambú (Figura 2a) a 200 m de distancia cada una, y 200 m del lado norte en la superficie del glaciar, el 24 de diciembre 2018. Cada estaca registró datos de temperatura cada 10 minutos durante el período de estudio (22 días). Se usó un taladro Kovacs para abrir un agujero sobre el glaciar e instalar una estaca (Figura 2b). Esta metodología se realizó para instalar todas las estacas, las cuales fueron georeferenciadas mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Cada estaca se midió desde la base expuesta sobre la superficie del glaciar hasta su extremo superior (Figura 2c), para posteriormente evaluar la variación en el espesor del hielo. El 14 de enero de 2019, se volvió a medir la posición de la estaca utilizando un GPS con el fin de estimar la velocidad del glaciar.

Los datos registrados a través de los sensores de temperatura fueron descargados a través del software Onset HOBO versión 3.7.13 (<https://www.onsetcomp.com/hoboware-free-download>). Para comparar y obtener una tendencia climática de las temperaturas del área en el GL, usamos algunos de los datos de temperatura registrados por la Estación Meteorológica Automática (EMA) de la Estación Científica Antártica Machu Picchu de Perú (ECAMP), ubicada cerca del GL (Figura 1). Además, se utilizaron un conjunto de datos climatológicos de temperatura de otras EMA (por ejemplo, Turner *et al.*, 2005; Ferron *et al.*, 2004;

to open a hole and install one stake (Figure 2b). This methodology was conducted to install all stakes, which were georeferenced using a Global Positioning System (GPS). Each stake was measured from the surface-exposed base until its superior end (Figure 2c), to assess variation in ice thickness posteriorly. On January 14, 2019, we re-measured the stake's position using a GPS to assess glacier velocity.

The dataset from temperature data loggers in each stake was downloaded through the Onset HOBO software version 3.7.13 (<https://www.onsetcomp.com/hoboware-free-download>). In order to compare and obtain a climatic trend of the area's temperatures on the LG, we used an Automatic Weather Station (AWS) dataset from the Scientific Antarctica station Machu Picchu of Peru (ECAMP), located close to the LG (Figure 1). Additionally, we used temperature climatological dataset from other AWS (e.g. Ferron *et al.*, 2004; Turner *et al.*, 2005; see Table 2), and the temperature dataset from Frei Station (1970 - 2015) provided by Dr. Jorge Carrasco of the University of Magallanes, Chile (Table 2).

To confirm our results of the methodology used by glacier dynamics, data obtained from the displacement of the three stakes installed was compared with data obtained from Sentinel-1 satellite images. These images were filtered through Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) of the European Space Agency. For this, we used the level-1 of Ground Range Detected (GRD)

ver Tabla 2), y una serie de datos de temperatura de la Estación Frei (1970 - 2015) proporcionado por el Dr. Jorge Carrasco de la Universidad de Magallanes, Chile (Tabla 2).

Para confirmar nuestros resultados de la metodología utilizada para estimar la dinámica del glaciar, se compararon los datos obtenidos del desplazamiento de las tres estacas instaladas con los datos obtenidos de las imágenes del satélite Sentinel-1. Estas imágenes fueron filtradas a través de Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) de la Agencia Espacial Europea. Para ello, se utilizó el nivel 1 de los productos de Rango de Tierra Detectado (GRD), que consisten en un radar de apertura sintética (SAR) enfocado. Estos datos fueron detectados y examinados de forma múltiple para proyectarse al rango terrestre utilizando el modelo de elipsoide terrestre WGS84. La proyección elipsoide de los productos GRD se corrigió utilizando la altura del terreno especificada en las características generales del producto. La altura del terreno utilizada varía en azimut pero es constante en el rango (Lu y Veci, 2016).

Trabajamos con dos imágenes satelitales del área de estudio correspondientes al GL, las cuales fueron capturadas en diferentes momentos durante el verano austral (19 de enero de 2019 y 24 de febrero de 2019). La imagen más antigua que se adquirió se seleccionó como la “imagen maestra” y la más reciente se seleccionó como la “imagen esclava” (Lu y Veci, 2016). Estas imágenes se analizaron posteriormente utilizando la herramienta SAR de Seguimiento de Desplazamiento (Offset Tracking) en la aplicación de la Plataforma de Aplicaciones de Sentinel (SNAP). El Offset Tracking es una técnica que mide el movimiento de las características entre dos imágenes mediante la optimización de la correlación cruzada de la intensidad del cuadro y se ha utilizado ampliamente en la estimación del movimiento de los glaciares (Lu y Veci, 2016).

Cálculo del ancho y área frontal del Glaciar Lange

Para evaluar la profundidad y el espesor del GL bajo el mar y mostrar sus variaciones históricas (por ejemplo, Barboza *et al.*, 2004; Braun, 2001; Arigony-Neto, 2001), utilizamos una embarcación tipo Defender, proporcionada por el buque colombiano “ARC 20 de Julio” para realizar el levantamiento batimétrico, actividad apoyada por el Programa Antártico Colombiano, a través de la Armada Nacional de Colombia y la Dirección General Marítima (Autoridad Marítima Colombiana). Se utilizó una ecosonda multihaz Kongsberg de 80 y 200 kHz para capturar datos con mayor frecuencia y cobertura espacial. Además, se utilizó un mareógrafo instalado en las cercanías del GL

products, which consist of focused Synthetic Aperture Radar (SAR). These data were detected, multi-looked, and projected to ground range using an Earth ellipsoid model such as WGS84. The ellipsoid projection of the GRD products was corrected using the terrain height specified in the product general annotation. The terrain height used varies in azimuth but is constant in range (Lu and Veci, 2016).

We work on two satellite images of the study area corresponding to the LG, which were captured at different times during the austral summer (January 19, 2019, and February 24, 2019). The image that was acquired earlier is selected as the “master image” and the other image is selected as the “slave image” (Lu and Veci, 2016). These images were subsequently analyzed using the Offset Tracking SAR in the Application of Sentinels Application Platform (SNAP). Offset Tracking is a technique that measures feature motion between two images using patch intensity cross-correlation optimization and has been widely used in glacier motion estimation (Lu and Veci, 2016).

Calculation of width and frontal area of Lange Glacier

In order to assess the depth and thickness of the LG under the sea and show historical variations (e.g. Arigony-Neto, 2001; Braun, 2001; Barboza *et al.*, 2004), we used a Defender-type boat, provided from Colombian vessel “ARC 20 de Julio” to conduct this bathymetric survey, an activity supported by the Colombian Antarctic Program, the National Navy of Colombia, and the General Maritime Directorate (Colombian Maritime Authority). We used a multibeam echo sounder Kongsberg of 80 and 200 kHz to capture data with greater spatial coverage and frequency. Also, a tide gauge installed in the vicinity of the LG was used (62° 05' 29" S, 58° 28' 06" W) (Figure 1c). The acquisition and processing of the dataset were carried out using the CARIS Easy View 4.4.1 and HYPACK software. We also used bathymetric data provided from Peruvian vessel “BAP Carrasco”, from the Navy of Peru and Peruvian Antarctic Program.

In order to estimate the current ice thickness and width of the LG front above sea level, a Digital Elevation Model (DEM) was performed using a Remotely Piloted Aircraft (RPA) technology, which was geodesically adjusted with the static method (2 hours - 1per every 5 seconds), and an orthophoto (georeferenced and scale image of the territory) was generated in ArcMap 10.3. To calculate the glacier frontal area, 10 m inwards of the

(Lat. 62° 05' 29" S Long. 58° 28' 06" W) (Figura 1c). La adquisición y el procesamiento del conjunto de datos se llevó a cabo utilizando el software CARIS Easy View 4.4.1 y HYPACK. También se utilizaron datos batimétricos proporcionados por el buque peruano "BAP Carrasco", de la Armada del Perú y Programa Antártico Peruano.

Para estimar el espesor actual del hielo y el ancho del frente del GL sobre el nivel del mar, se realizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) utilizando una tecnología de Vuelo de Piloto Remoto (RPAS), que se ajustó geodésicamente con el método estático (2 horas - 1 por cada 5 segundos), y se generó una ortofoto (imagen georreferenciada y a escala del territorio) en ArcMap 10.3. Para calcular el área frontal del glaciar, se tomaron 10 m hacia adentro del glaciar para generar curvas en el Modelo Digital de Superficie (MDS), con un intervalo de 0.5 m de equidistancia para producir una Red Triangular Irregular (TIN), y se generó un Volumen Poligonal en ArcGIS 10.3.

Cálculo del flujo de Calving

Se estimó el flujo de Calving del GL utilizando los datos obtenidos del movimiento de las estacas, el levantamiento batimétrico y el MDE, según la siguiente ecuación:

$$Q_c = S (U_T - dx/dt) \quad (1)$$

Donde Q_c es el flujo de Calving (Motyka *et al.*, 2003, Benn *et al.*, 2007). S representa el área del frente del glaciar, que se calculó sumando las áreas del frente del glaciar emergido y sumergido. Para evaluar el área emergida del frente del glaciar, usamos datos de ancho del frente del glaciar obtenidos con el MDE y ArcGIS; Para estimar el área sumergida del frente del glaciar, promediamos las profundidades obtenidas a partir del levantamiento batimétrico, y este valor se multiplicó por el valor del ancho del frente del glaciar sobre el nivel del mar. U_T corresponde a la velocidad del frente del glaciar, que se evaluó utilizando velocidades tanto superficiales como basales. La velocidad superficial se determinó a partir de las mediciones de las posiciones de las estacas al inicio y al final del periodo de estudio y la velocidad de deslizamiento basal se promedió en un 50 % debido a que este tipo de glaciares (templados) suelen mostrar velocidades entre el 40 % y el 60 % (Marangunic *et al.*, 2008). dx/dt es el cambio en la posición del frente del glaciar (por ejemplo, Sikonia, 1982; Bindschadler y Rasmusen, 1983; Siegert y Dowdeswell, 2004; Van der Veen, 2002; Vieli *et al.*, 2002), que se estimó utilizando datos históricos del ancho del frente glaciar reportado por Barboza *et al.* (2004) para compararlos con los datos actuales calculados utilizando el MDE.

glacier was taken to generate curves in the Digital Surface Model (DSM), with an interval of 0.5 m of equidistance to produce a Triangular Irregular Net (TIN), and we generated a Polygon Volume in ArcGIS 10.3.

Calculation of Calving flux

We estimated the LG calving flux using previous data from stakes movement, bathymetric survey, and DEM, following this equation:

$$Q_c = S (U_T - dx/dt) \quad (1)$$

Where Q_c is the Calving flux (Motyka *et al.*, 2003, Benn *et al.*, 2007). S represents the glacier frontal area, which was calculated adding up both emerged and submerged glacier front areas. To assess the emerged area of glacier front we used glacier front width data obtained with DEM and ArcGIS; to estimate the submerged area of glacier front, we averaged depths obtained with a bathymetric survey, and this value was multiplied with the value of glacier front width over sea level. U_T corresponds to velocity of the glacier front, which was assessed using both superficial and basal velocities. Superficial velocity was determined from measurements of stake positions at the beginning and the end of the study period and basal slip speed was averaged at 50 % because this type of glaciers (temperate) usually shows velocities between 40 % and 60 % (Marangunic *et al.*, 2008). dx/dt is the change in glacier frontal position (e.g. Sikonia, 1982; Bindschadler and Rasmusen, 1983; Van der Veen, 2002; Vieli *et al.*, 2002; Siegert and Dowdeswell, 2004), which was estimated using historical data of width glacier front reported by Barboza *et al.* (2004) to compare with current data calculated using the DEM.

Oceanographic stations

We collected all oceanographic data on December 24, 2018, recording all datasets in a short period to characterize the ocean-glacier dynamic as a quasi-steady system. The equipment used was a CastAway CTD (<https://www.sontek.com/castaway-ctd>) that provides profiles of temperature, conductivity (salinity), and sound speed at different pressure (depth). The temperature accuracy is +0.05 °C, salinity +0.1 PSU, and pressure +0.01 dBar, with a sampling rate of 5Hz determined by the manufacturer. The profiles were recorded in front of the LG, northeast and central part of the bay.

To analyze the oceanographic data, we split the CTD stations into two sections, one parallel and perpendicular regarding the glacier front (Figure 3). The

Estaciones oceanográficas

Se recopilieron los datos oceanográficos el 24 de diciembre de 2018, registrados en un período corto y caracterizando la dinámica océano-glaciar como un sistema cuasi-estable. El equipo utilizado fue un CastAway CTD (<https://www.sontek.com/castaway-ctd>) que proporciona perfiles de temperatura, conductividad (salinidad) y velocidad del sonido a diferentes presiones (profundidad). La precisión de la sonda de temperatura utilizada fue de $+ 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, salinidad $+0.1\text{ PSU}$ y presión $+ 0.01\text{dBar}$, con una frecuencia de muestreo de 5 Hz determinada por el fabricante. Los perfiles se registraron frente al GL, para la parte noreste y central de la bahía.

Para analizar los datos oceanográficos, dividimos las estaciones CTD en dos secciones, una paralela y una perpendicular frente al glaciar (Figura 3). Las estaciones posteriores se ubicaron a 1 km del frente del glaciar en dirección sureste. Debido a escombros y trozos de hielo de

further station was located at 1 km from the glacier front southeast direction. Due to ice-cover, the southern part of the glacier front was not covered by the CTD measurements. A total of 29 usable CTD profiles were included in this study, to characterize the dynamics of the water column. The dataset was processed by the manufacturer software (V1.6) and plotted using the Ocean Data View 4.4. As the dataset was recorded in the summer season, is not representative of the winter dynamics, but allows us to identify trends of the year-round water circulation.

In order to describe the ocean dynamic in front to the glacier, we calculated some derived variables, which include: 1) the Brunt Vaisala frequency, to identify the buoyancy of the waters that describes the levels of stability in the system and can help drive the thermohaline circulation in the area (Llanillo *et al.*, 2019); 2) the Turner angle, which defines the levels if the water column conditions are prone to develop unstable processes such as

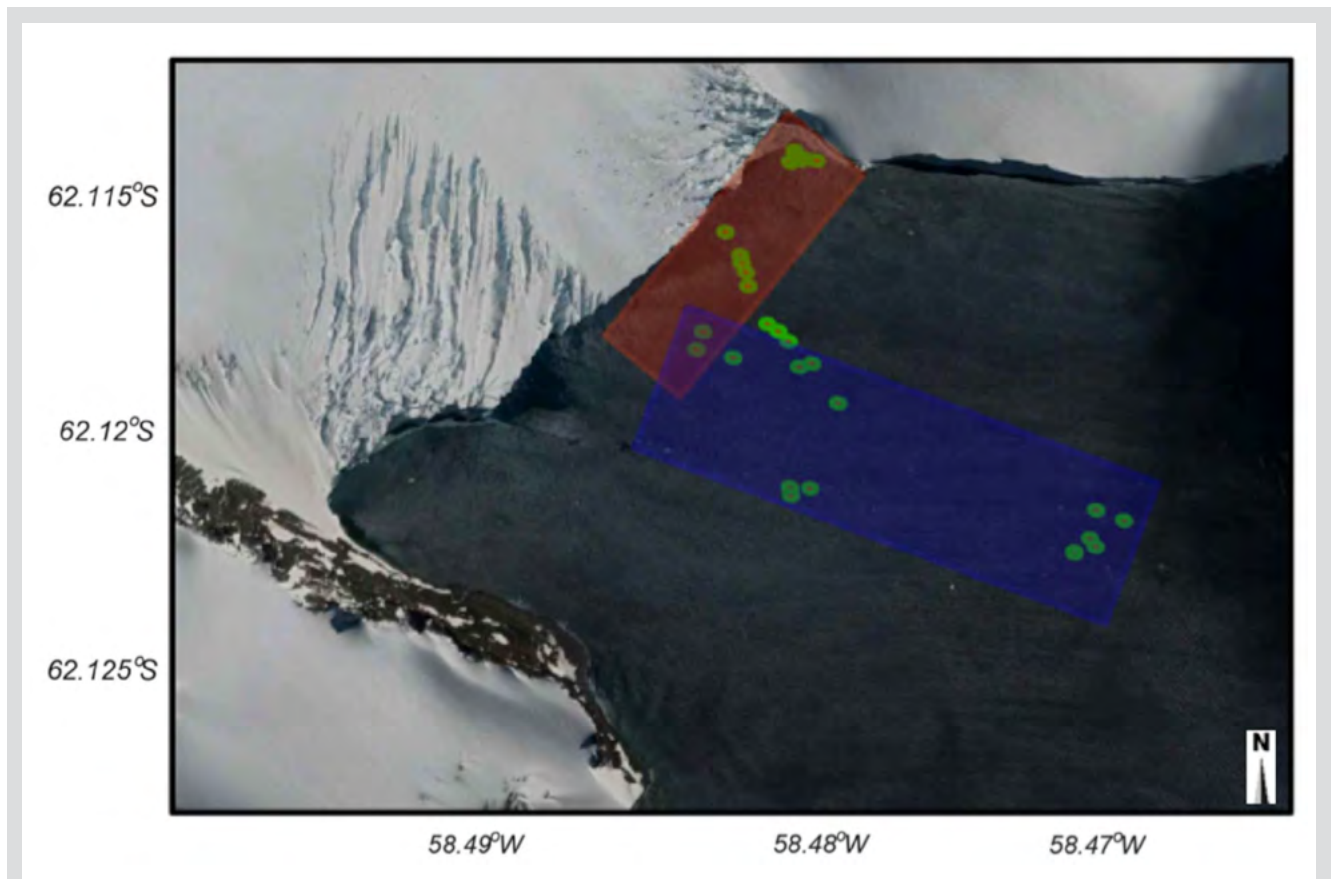


Figura 3. Ubicación de las estaciones CastAway-CTD registradas frente al Glaciar Lange (GL), Isla Rey Jorge, Antártica (puntos verdes). El rectángulo rojizo representa una sección paralela (\Rightarrow) y el rectángulo azulado indica una sección perpendicular (\square) de estaciones oceanográficas frente al glaciar.

Figure 3. Location of the CastAway-CTD stations recorded in front of the Lange Glacier (LG), King George Island, Antarctica (green dots). The reddish rectangle represents a parallel section (\Rightarrow), and the bluish rectangle indicates a perpendicular section (\square) to the glacier front.

diferente tamaño presentes en la superficie del agua, en la parte sur de la bahía del frente del glaciar no fue posible realizar la navegación en bote para las mediciones de CTD. En este estudio se incluyeron un total de 29 datos de los perfiles de CTD para caracterizar la dinámica de la columna de agua. Los datos fueron procesados en el software del fabricante (VI.6) y graficados usando Ocean Data View 4.4. Teniendo en cuenta que los datos se obtuvieron durante la temporada de verano austral, no son representativos de la dinámica invernal, no obstante nos permite identificar las tendencias de la circulación del agua durante todo el año.

Para describir la dinámica del océano frente al glaciar, calculamos algunas variables derivadas, que incluyen: 1) la frecuencia de Brunt Vaisala, para identificar la flotabilidad de las aguas la cual describe los niveles de estabilidad en el sistema y puede ayudar a impulsar la circulación termohalina en la zona (Llanillo *et al.*, 2019); 2) el ángulo de Turner, que define los niveles si las condiciones de la columna de agua son propensas a desarrollar procesos inestables como doble difusión, convección y dedos de sal; y 3) el coeficiente termobárico, que identifica la influencia de la composición del agua y la distribución de la relación entre la temperatura y la salinidad.

RESULTADOS

Gradiente térmico y dinámica del glaciar

La dinámica del glaciar se identificó a partir del desplazamiento de cada estaca en relación a su ubicación (GPS) inicial y final. La estaca 1 registró un movimiento de 10,19 m con dirección 155° sureste (SE), la estaca 2 un movimiento de 9,17 m con dirección 110° (SE) y la estaca 3 un movimiento de 7,11 m con dirección 90° (SE) (Figura 4).

La red de estacas registró un movimiento promedio de 8.8 ± 1.5 m desde el punto inicial de instalación (24 de diciembre de 2018) hasta el punto de medición final (14 de enero de 2019) en dirección SE hacia el frente del glaciar, equivalente a 0.40 ± 0.07 m/día, y el Offset Tracking arrojó una velocidad de 0.43 ± 0.01 m/día para el sector de instalación de estacas (Figura 4). Los datos de reducción de hielo detectados en la estaca uno, dos y tres mostraron una reducción de 10,5 cm, 8 cm y 9,5 cm, respectivamente, registrando una pérdida de espesor de hielo promedio de $9,3 \pm 1,3$ cm equivalente a $0,42 \pm 0,06$ cm/día (Figura 5).

Los sensores de temperatura registraron una temperatura promedio de 5.0 ± 5.2 °C, con temperaturas mínimas entre -2.3 y -2.6, y temperaturas máximas entre

double-diffusion, convection, and salt fingering; and 3) the thermobaric coefficient, which identifies the influence of the water composition and the ratio distribution between the temperature and salinity.

RESULTS

Thermic gradient and glacier dynamics

The glacier dynamics were identified with the displacement of each stake in relation to its initial and final GPS location. The stake one recorded a movement of 10.19 m with direction 155° southeast (SE), the stake two a movement of 9.17 m with direction 110° (SE), and the stake three a movement of 7.11 m with direction 90° (SE) (Figure 4).

The network of stakes registered an average movement of 8.8 ± 1.5 m from the initial point of installation (December 24, 2018) to the final measurement point (January 14, 2019) in SE direction towards the front of the glacier, equivalent to 0.40 ± 0.07 m/day, and the Offset Tracking showed a speed of 0.43 ± 0.01 m/day for the stakes installation sector (Figure 4). The detected ice reduction data on stake one, two, and three showed a reduction of 10.5 cm, 8 cm, and 9.5 cm, respectively, showing an average ice thickness loss of 9.3 ± 1.3 cm equivalent to 0.42 ± 0.06 cm/day (Figure 5).

The temperature sensors recorded an average temperature of 5.0 ± 5.2 °C, with minimum temperatures between -2.3 and -2.6, and maximum temperatures between 19.4 and 19.9 °C (Table 1). Conversely, ECAMP registered an average temperature of 1.2 ± 0.7 °C, with a minimum temperature of -1.4 °C and a maximum of 5.6 °C.

Calculation of width and frontal area of Lange Glacier and Calving flux

The bathymetry recorded in the bay in front of the LG showed depths between 10 and 220 m (Figure 6). The deepest zone is located in a small sector in the northeast (NE), at the central part of the glacier front. A shallow zone of 20 m depth is located at 1 km from the glacier front (Figure 6a - b). The orthophoto generated showed that LG front wall length is around 1.4 km (Figure 6c).

The front of the LG was estimated at 198,079 m², including both submerged and emerged areas. The submerged area of the glacier front was estimated at 137,805 m², with an average depth of 96.30 ± 53 m and a width of 1,431 m. Regarding the emerged area, it was

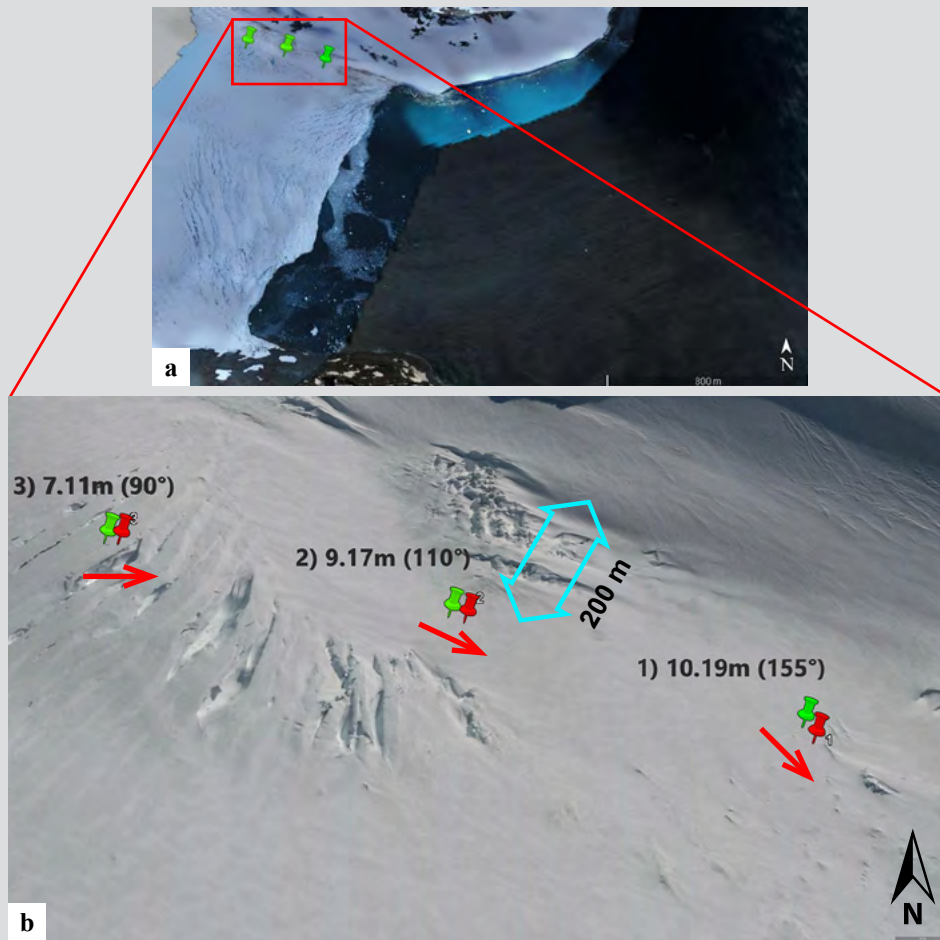


Figure 4. a - b. Dynamics of the three stakes installed on the Lange Glacier (LG), King George Island, Antarctica. Green markers show the initial position, and red markers show the final position. Blue arrow represents stakes installation distance from the north edge of the glacier. Images: a. DEM and b. Google Earth Pro, 2019.

Figure 4. a - b. Dynamics of the three stakes installed on the Lange Glacier (LG), King George Island, Antarctica. Green markers show the initial position, and red markers show the final position. Blue arrow represents stakes installation distance from the north edge of the glacier. Images: a. DEM and b. Google Earth Pro, 2019.

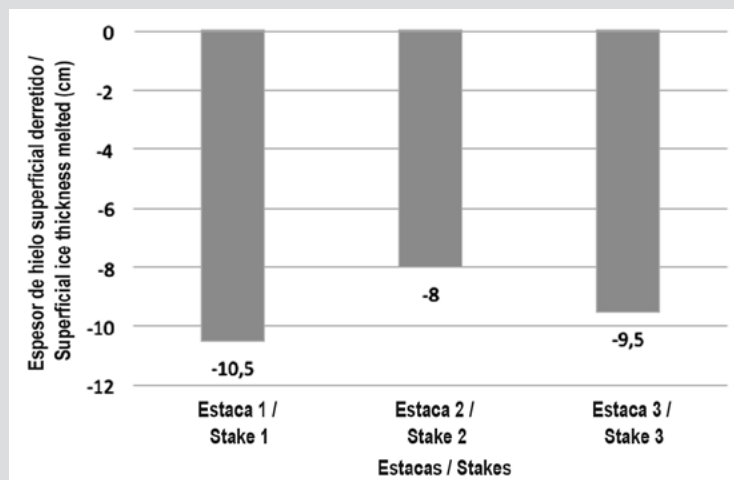


Figura 5. Disminución del espesor de hielo superficial por derretimiento a partir de las mediciones de las estacas instaladas en el Glaciar Lange (GL), Antártica, durante 22 días desde el 24 de diciembre de 2018 al 14 de enero de 2019, en el verano austral 2018 - 2019.

Figure 5. Superficial ice thickness melted from the measurements of the stakes installed in the Lange Glacier (LG), Antarctica, during 22 days from December 24, 2018, to January 14, 2019, in the austral summer 2018 - 2019.

19.4 y 19.9 °C (Tabla 1). Por el contrario, ECAMP registró una temperatura promedio de 1.2 ± 0.7 °C, con una temperatura mínima de -1.4 °C y una máxima de 5.6 °C.

estimated at 60,274 m². The estimated velocity of the glacier front was 219 m/yr and its position retreat was 48 m/yr, which showed a Calving flux (Q_c) of 33.87×10^6 m³/yr.

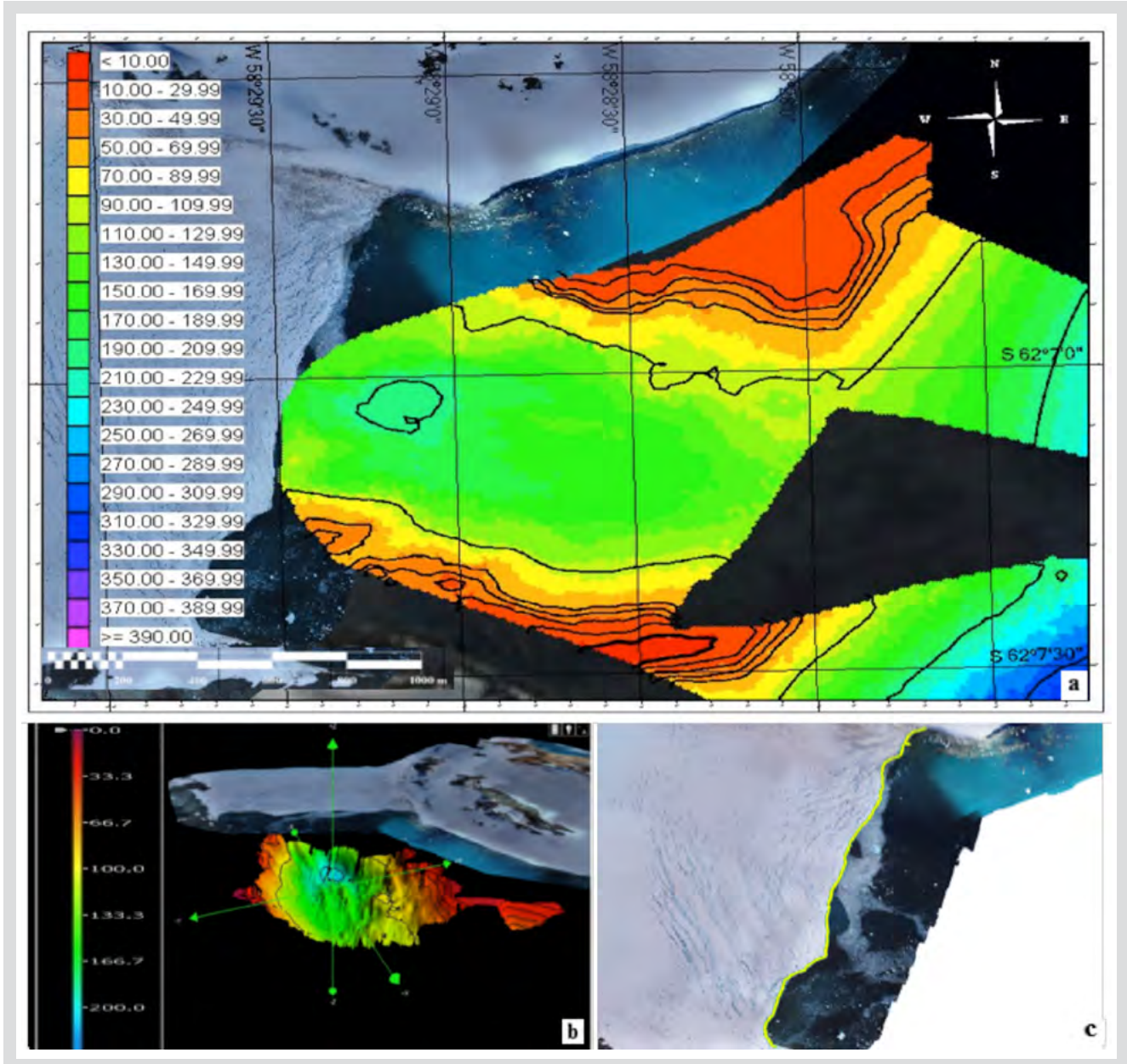


Figura 6. a. Área del levantamiento batimétrico y Modelo Digital de Elevación (MDE) frente al Glaciar Lange (GL), Bahía de Almirantazgo, Isla Rey Jorge, Antártica (Leyenda en metros). La elipse azul en el área central verde indica el punto más profundo frente a la bahía. **b.** Modelo tridimensional del GL; La leyenda se muestra en metros (Imágenes obtenidas de CARIS Easy View, Dirección General Marítima). **c.** La Ortofoto MDE es generada por ArcMap 10.3., en el cual la línea amarilla representa el frente del glaciar (Instituto Geográfico Nacional del Perú).

Figure 6. a. Area of the bathymetric survey and Digital Elevation Model (DEM) in front of the Lange Glacier (LG), Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. Legend in meters. Blue ellipse in the green central area indicates the deepest point in front of the bay. **b.** The three-dimensional model of LG; legend is showing in meters (Images obtained from CARIS Easy View, Dirección General Marítima). **c.** DEM Orthophoto generated by ArcMap 10.3., in which the yellow line represents the glacier front (Instituto Geográfico Nacional del Perú).

Tabla 1. Datos de temperatura (°C) registrados por el sensor ubicado en cada estaca sobre el Glaciar Lange (GL), así como los datos registrados por la Estación Meteorológica Automática de la Estación Científica Antártica Machu Picchu del Perú (ECAMP).

Datos de los Sensores de Temperatura en las Estacas sobre el GL y EMA ECAMP / Temperature Data Loggers Stakes LG and AWS ECAMP	Promedio ± Desviación Estándar / Average ± Standard Deviation (°C)	Temperatura Mínima / Minimum Temperature (°C)	Temperatura Máxima / Maximum Temperature (°C)
Estaca 1 GL / Stake 1 LG	5.0 ± 5.3	-2.5	19.9
Estaca 2 GL / Stake 2 LG	4.9 ± 5.2	-2.3	19.4
Estaca 3 GL / Stake 3 LG	5.2 ± 5.2	-2.6	19.9
EMA ECAMP / AWS ECAMP	1.2 ± 0.7	-1.4	5.6

Table 1. Temperature data (°C) registered by the sensor located in each stake on the Lange Glacier (LG) front, as well as the Automatic Weather Station of the Scientific Antarctica Station Machu Picchu of Peru (ECAMP).

Cálculo del ancho y área frontal del glaciar Lange y su flujo de Calving

La batimetría registrada en la bahía frente al GL arroja como resultado profundidades entre 10 y 220 m (Figura 6). La zona más profunda se ubica en un pequeño sector al noreste (NE), en la parte central del frente glaciar. Una zona poco profunda de 20 m de profundidad se encuentra a 1 km del frente del glaciar (Figura 6a - b). La ortofoto generada mostró que la longitud de la pared frontal de GL es de alrededor de 1,4 km (Figura 6c).

Oceanographic stations

The vertical structure of the LG front is presented on the T-S diagrams (Figure 7). The surface water (~7 m) is cold and fresh due to the seasonal ice-melting, recording minimum values $-0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 32.43 for temperature and salinity, respectively. Over the 40 m depth was registered the maximum temperature ($0.79\text{ }^{\circ}\text{C}$). Below the seasonal layer, the salinity range is small (33.56 - 33.73) with some variations in the potential density for selected stations.

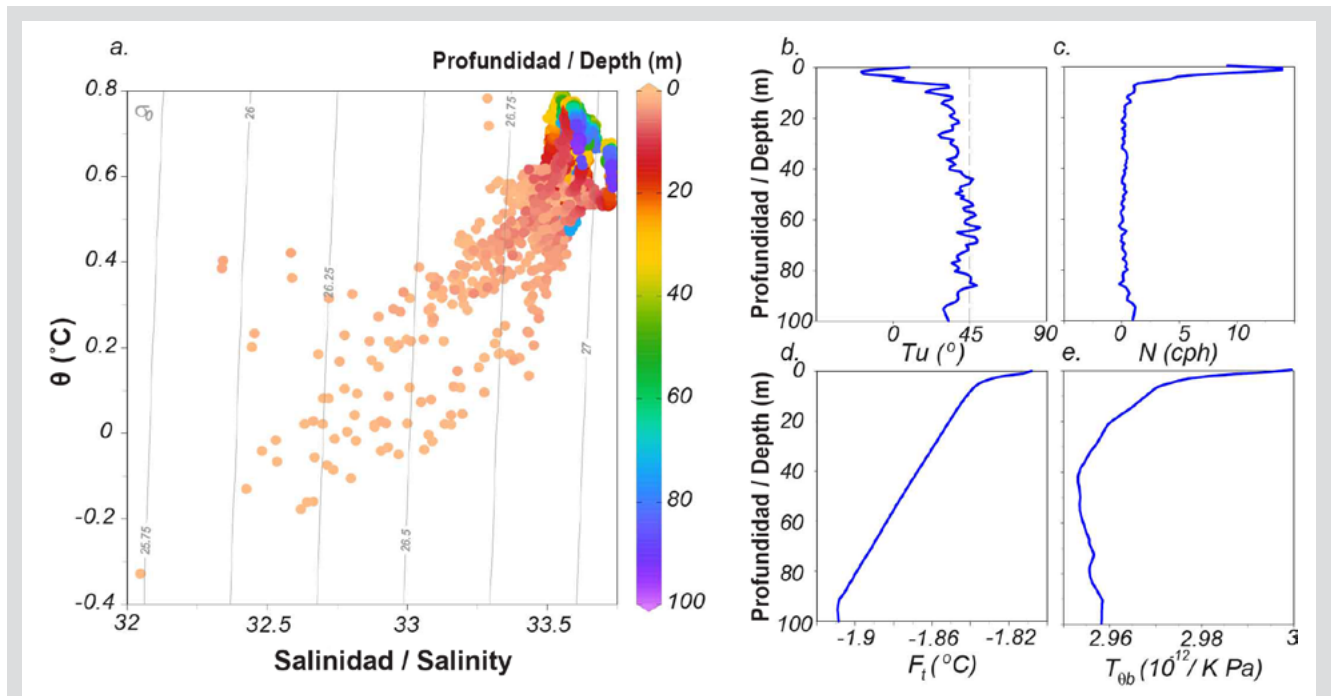


Figura 7. a. Diagramas TS, y promedio de los perfiles completos para b. Ángulo de Turner, c. frecuencia de flotación, d. temperatura de congelación y e. coeficiente termobárico, de todas las estaciones de CTD frente al Glaciar Lange (GL), Antártica.

Figure 7. a. T-S diagrams, and an average of the full profiles for b. Turner angle, c. buoyancy frequency, d. freezing temperature, and e. thermobaric coefficient, from all CTD stations in front of the Glacier Lange (LG), Antarctica.

El frente del GL se estimó en 198.079 m^2 , incluidas áreas sumergidas y emergidas. El área sumergida del frente del glaciar se estimó en $137,805 \text{ m}^2$, con una profundidad promedio de $96,30 \pm 53 \text{ m}$ y un ancho de $1,431 \text{ m}$. En cuanto al área emergida, se estimó en 60.274 m^2 . La velocidad estimada del frente del glaciar fue de 219 m/año y un retroceso de 48 m/año , lo cual arrojó como resultado un flujo de Calving (Q_c) de $33.87 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$.

Estaciones oceanográficas

La estructura vertical del frente del GL se presenta en los diagramas T-S (Figura 7). El agua de la superficie ($\sim 7 \text{ m}$) es fría y dulce debido al deshielo estacional, registrando valores mínimos de $-0,13 \text{ }^\circ\text{C}$ y $32,43$ para temperatura y salinidad, respectivamente. Sobre los 40 m de profundidad se registró la temperatura máxima ($0,79 \text{ }^\circ\text{C}$). Por debajo de la capa estacional, el rango de salinidad es bajo ($33.56 - 33.73$) con algunas variaciones en la densidad potencial para las estaciones seleccionadas.

Una columna de agua débilmente estratificada se define por los valores de frecuencia de flotabilidad más bajos, con respecto al promedio del océano ($N_{\text{average}} = 3.0 \text{ cph}$) (Garret y Munk, 1979). Esta condición se identificó debajo de la capa superficial estacional, lo que hace que la columna de agua sea propensa a perder su estabilidad, como lo muestra el ángulo de Turner en profundidades específicas por debajo de los 40 m . A esta profundidad, el coeficiente termobárico alcanzó los valores mínimos de 2.95×10^{-12} . Este valor se relaciona con la mayor expansión térmica y la menor concentración de la salinidad en la columna de agua, lo cual disminuye la estabilidad de esta. La temperatura de congelación es más baja que la del agua, sin expectativas de formación de hielo a mayor profundidad.

DISCUSIÓN

Esta investigación es el primer estudio glaciológico que realiza el Programa Antártico Colombiano, con apoyo de los Programas Antárticos de Chile y Perú, así como de instituciones estadounidenses, para brindar datos recientes sobre la dinámica del Glaciar Lange (GL), ubicado en una de las áreas más afectadas por el calentamiento global en la Península Antártica (Vaughan *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos muestran una alta dinámica del glaciar, asociada con un derretimiento continuo por las altas temperaturas registradas en el área, lo que podría tener incidencias en el aumento del nivel del mar.

A weakly stratified water column is defined by the lowest buoyancy frequency values, regarding the ocean average ($N_{\text{average}} = 3.0 \text{ cph}$) (Garret and Munk, 1979). This condition was identified below the seasonal surface layer, making the water column prone to lose its stability as it was shown by the Turner angle in specific depths below the 40 m . At this depth, the thermobaric coefficient reached the minimum values of 2.95×10^{-12} . This value relates to the highest thermal expansion and the lowest salinity contraction of the water column that decrease the water column stability. The freezing temperature is lower than the water, with no ice depth expectation.

DISCUSSION

This research is the first glaciology study conducted by the Colombian Antarctic Program, with support of Chilean and Peruvian Antarctic Programs, as well as American institutions, to provide recent data about dynamics of Lange Glacier (LG), located in one of the most affected areas by global warming in the Antarctic Peninsula (Vaughan *et al.*, 2013). Our results combined show a high glacier dynamic, associated with a continuous melting by higher temperatures, which could have implications in sea level rise.

Thermic gradient and glacier dynamics

The LG, which has been described as a temperate glacier (Braun, 2001), showed an average superficial movement of $8.8 \text{ m} \pm 1.5 \text{ m}$ per 22 days (equivalent to $0.40 \pm 0.07 \text{ m/day}$), indicating a displacement of 146 m per year, which is consistent with maximum velocities reported for temperate glaciers (between 10 and until more of 100 m per year; e.g. Llibouty, 1956). Particularly, glaciers that come from an extensive ice mass and flows into the sea show higher velocities than glaciers inside the Antarctic (Llibouty, 1956). For instance, the dynamic reported for the Union Glacier in the inside Antarctica showed a slower dynamic between 0.06 and 0.10 m per day, with a mean value of 22.6 m per year (Rivera *et al.*, 2010, 2018). Variations in glacier velocities between exterior and the interior Antarctic could be related to higher temperatures recorded in the Antarctic Peninsula and the South Shetland Islands (Vaughan *et al.*, 2013), differences in dynamic also be related to glacier characteristics, showing higher velocities in the glacier center than the glacier edge (Tarbuck *et al.*, 2005; Marangunic *et al.*, 2008).

Gradiente térmico y dinámica del glaciar

El -GL, que ha sido descrito como un glaciar templado (Braun, 2001), mostró un movimiento superficial promedio de $8.8 \text{ m} \pm 1.5 \text{ m}$ durante 22 días (equivalente a $0.40 \pm 0.07 \text{ m/día}$), indicando un desplazamiento de 146 m por año, lo cual es consistente con las velocidades máximas reportadas para glaciares templados (entre 10 y hasta más de 100 m por año; por ejemplo, Lliboutry, 1956). En particular, los glaciares que provienen de una extensa masa de hielo y fluyen hacia el mar muestran velocidades más altas que los glaciares dentro de la Antártica (Lliboutry, 1956). Por ejemplo, la dinámica reportada para el Glaciar Unión en el interior de la Antártica registró una dinámica más lenta, entre 0.06 y 0.10 m por día, con un promedio de 22,6 m por año (Rivera *et al.*, 2010; 2018). Las variaciones en las velocidades de los glaciares entre el exterior y el interior de la Antártica podrían estar relacionadas con las temperaturas más altas registradas en la Península Antártica y las Islas Shetland del Sur (Vaughan *et al.*, 2013), las diferencias en la dinámica también pueden estar relacionadas con las características de los glaciares, que muestran velocidades más altas en el centro del glaciar que el borde del glaciar (Marangunic *et al.*, 2008; Tarbuck *et al.*, 2005).

Aunque en nuestro estudio las estacas se ubicaron en inmediaciones del borde del glaciar (Figura 4b), la dinámica registrada fue levemente mayor que en el centro. De acuerdo con los datos obtenidos de offset tracking, las imágenes de satélite reportaron una velocidad de $0.30 \pm 0.03 \text{ m/día}$ en el centro del glaciar, mientras que en el borde del glaciar reportaron una velocidad de $0.43 \pm 0.01 \text{ m/día}$ (Figura 8), corroborando los resultados obtenidos con las estacas instaladas de $0.40 \pm 0.07 \text{ m/día}$. Estas pequeñas diferencias registradas entre el centro y el borde del glaciar pueden deberse a variaciones a pequeña escala de la profundidad de la nieve inducidas por patrones de grietas, efectos topográficos en el área que varían entre el centro o borde de un glaciar (Braun y Hock, 2004), y también por el cambio de cota e inclinación más pronunciada en los lugares de instalación de las estacas (Wang *et al.*, 2017).

El GL mostró una pérdida de hielo promedio de 0.42 cm/día , que es menor a la reportada por Braun y Hock (2004) en la parte occidental de la capa de hielo en la IRJ (promedio = 0.62 cm/día), quienes usaron un total de 15 estacas para monitorear la ablación en varios glaciares del área incluido el GL. Aunque estos autores no instalaron las estacas en la misma área del GL donde se instalaron para este estudio, nuestros hallazgos sugieren que el deshielo del

Although in our study the stakes were located around the glacier edge (Figure 4b), the dynamic registered was slightly higher than in the center. According to data obtained from offset tracking, satellite images reported a velocity at $0.30 \pm 0.03 \text{ m/day}$ in the glacier center, while in the glacier edge reported a velocity at $0.43 \pm 0.01 \text{ m/day}$ (Figure 8), corroborating the results obtained with the installed stakes of $0.40 \pm 0.07 \text{ m/day}$. These small differences registered between glacier center and edge may be due to small-scale variations of snow depth induced by crevasse patterns, topographic effects in the area, which vary between center or edge of a glacier (Braun and Hock, 2004), and also due to the change in elevation and more pronounced inclination in the places of installation of the stakes (Wang *et al.*, 2017).

The LG showed an average ice loss of 0.42 cm/day , which is lower than reported by Braun and Hock (2004) in the western part of the ice cap on KGI (average = 0.62 cm/day), who used a total of 15 stakes to monitor ablation in several glaciers including the LG. Although these authors did not install the stakes on LG in the same area of this study, our findings suggest that glacier melting has decreased in recent years. However, melting values reported in this study were higher than reported inside Antarctic (0.04 cm/day in the Union Glacier) (Rivera *et al.*, 2010). The LG is a drainage glacier with an outlet that emerges from a partially drained ice cap (Simões *et al.*, 1999); therefore, and due to global temperature increase tendency, velocity in this glacier may increase in comparison to ice masses inside the Antarctic.

The high temperatures recorded by sensors in the stakes on the LG, which 85 % were above the 0 °C melting point, may increase glacier velocity in the long term. However, this temperature dataset was higher than the data recorded by the AWS of ECAMP during the same season. Comparing the temperature recorded with the stakes with the one obtained from the ECAMP, results showed differences in terms of minimum, maximum, and average temperatures (Table 1). These differences could be attributed to sensor exposition since ECAMP uses a temperature sensor ventilated with a rotor that sucks air to have the most real data of the place, while sensors on stakes can be affected by a local greenhouse effect in the plastic shells that cover them. In other words, sensors on the stakes may be affected by the strong effect of albedo by glacier exposure. Nevertheless, despite these differences between sensor types, both showed most temperatures above 0 °C melting point.

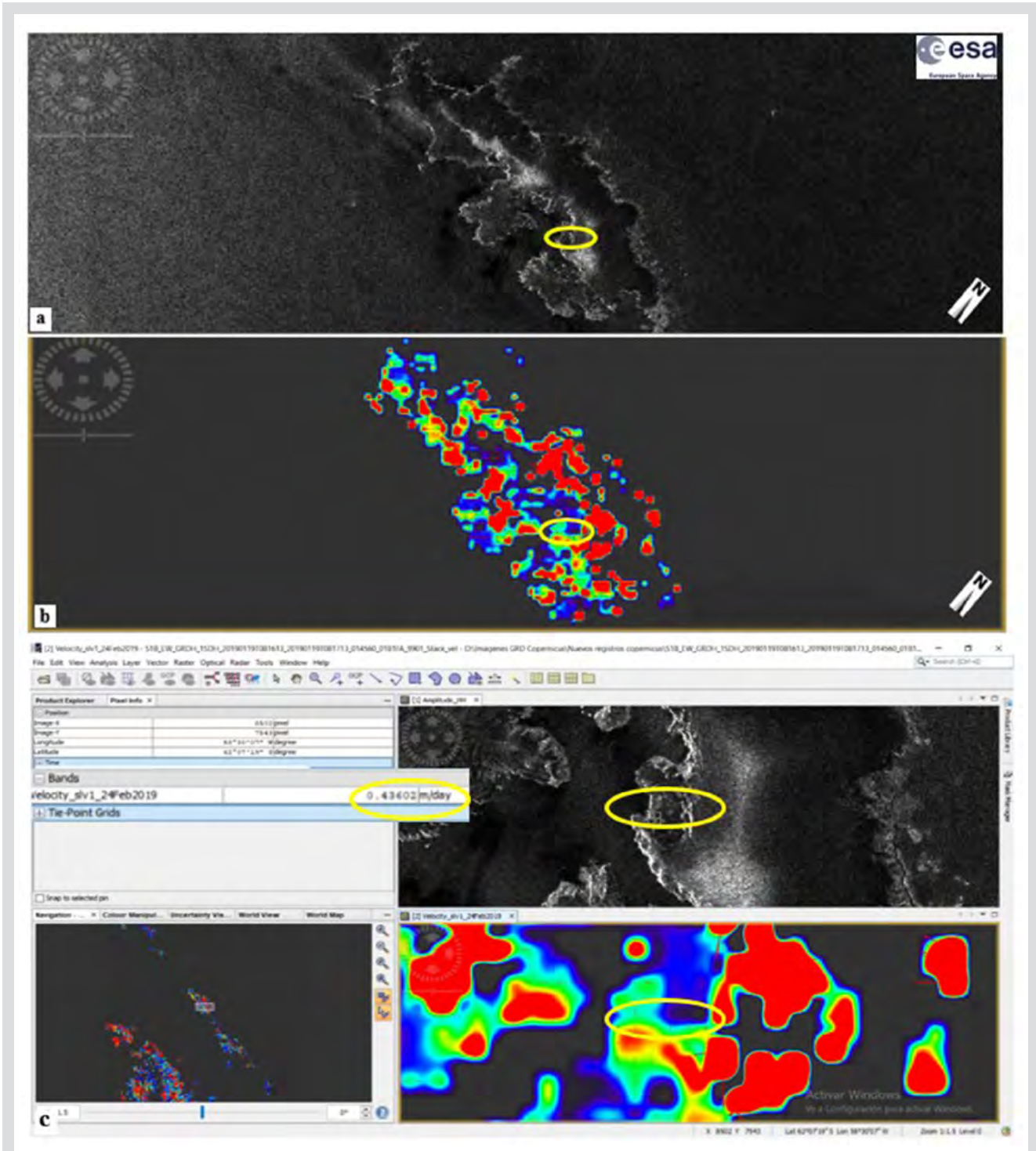


Figura 8. a. “Imagen maestra satelital” de la Isla Rey Jorge (IRJ), Antártica capturada el 19 de enero de 2019 por la Misión Sentinel-1 y descargada desde Copernicus Open Access Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA). **b.** La imagen resultante a través del Radar de Apertura Sintética (SAR) Offset Tracking en la plataforma de aplicaciones Sentinel (SNAP). **c.** Ventana SNAP, para el procesamiento de las imágenes de satélite adquiridas (01192019 “imagen maestra” y 24022019 “imagen esclava”) para el GL en la IRJ. El óvalo amarillo corresponde al área y velocidad m/día registrados en el lugar donde se instalaron las estacas.

Figure 8. a. King George Island (KGI) satellite “master image”, Antarctica captured on January 19, 2019 by the Sentinel-1 - Mission, and download from Copernicus Open Access Hub by European Space Agency (ESA). **b.** The image resulting from the Synthetic Aperture Radar (SAR) Application Offset Tracking in Sentinel Application Platform (SNAP). **c.** SNAP window, for the processing of the acquired satellite images (01192019 “master image” and 24022019 “slave image”) for the LG in KGI. Yellow oval corresponds to the area and velocity m/day recorded in the place where the stakes were installed.

glaciar ha disminuido en los últimos años. Sin embargo, los valores de deshielo registrados en este estudio fueron más altos que los reportados dentro de la Antártica (0.04 cm/día en el Glaciar Unión) (Rivera *et al.*, 2010). El GL es un glaciar de drenaje con una salida que emerge de una capa de hielo parcialmente drenada (Simões *et al.*, 1999); por lo tanto, y debido a la tendencia al aumento de la temperatura global, la velocidad en este glaciar puede aumentar en comparación con las masas de hielo dentro de la Antártica.

Las altas temperaturas registradas por los sensores instalados en las estacas sobre el GL, estuvieron el 85 % por encima del punto de fusión de 0 °C, lo cual puede incrementar la velocidad del glaciar a largo plazo. Sin embargo, los datos de temperatura obtenidos fueron más altos que los datos registrados por la EMA de ECAMP durante la misma temporada. Comparando las temperaturas registradas con los sensores de las estacas y la obtenida por la EMA de ECAMP, los resultados mostraron diferencias en términos de temperaturas mínima, máxima y promedio (Tabla 1). Estas diferencias podrían atribuirse a la exposición del sensor, ya que ECAMP utiliza un sensor de temperatura ventilado con un rotor que succiona aire para tener los datos más reales del lugar, mientras que los sensores en las estacas pueden verse afectados por un efecto invernadero local en las carcasas plásticas que los cubren. En otras palabras, los sensores en las estacas pueden verse afectados por el fuerte efecto del albedo del glaciar. Sin embargo, a pesar de estas diferencias entre los tipos de sensores utilizados, ambos registraron que la mayoría de las temperaturas estuvieron por encima del punto de fusión de 0 °C.

Estos hallazgos de temperatura están en concordancia con los promedios anuales de temperatura del verano austral reportados por estaciones ubicadas en la Península Antártica como Bellinghausen, Comandante Ferraz, Esperanza y Frei entre 1944 y 2015 (por ejemplo, Marshall *et al.*, 2002; Ferron *et al.*, 2004; Turner *et al.*, 2005), que están todos por encima del punto de fusión de 0 °C (ver Tabla 2). En general, los datos históricos de temperatura anual entre 1957 y 1982 de la Antártica muestran una tendencia de calentamiento de aproximadamente 1,45 °C (Raper *et al.*, 1984), particularmente en la Península Antártica (Ferron *et al.*, 2004). De hecho, la IRJ muestra la tendencia más cálida de aproximadamente 2 °C entre 1947 y 1997 (50 años) (King y Harangozo, 1998; Smith *et al.*, 1996).

These temperature findings are in concordance with austral summer annual temperature averages reported by stations located in the Antarctic Peninsula such as Bellinghausen, Comandante Ferraz, Esperanza, and Frei between 1944 and 2015 (e.g. Marshall *et al.*, 2002; Ferron *et al.*, 2004; Turner *et al.*, 2005), which are all above 0 °C melting point (see Table 2). In general, historical annual temperature data between 1957 and 1982 from Antarctica shows a warming trend of approximately 1.45 °C (Raper *et al.*, 1984), particularly in the Antarctic Peninsula (Ferron *et al.*, 2004). Indeed, The KGI shows the warmest trend of approximately 2 °C between 1947 and 1997 (50 years) (Smith *et al.*, 1996; King and Harangozo, 1998).

Tabla 2. Promedios de temperatura anual y estacional (°C) por década para las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) ubicadas en la isla Rey Jorge y cerca de la Península Antártica.

Table 2. Annual and seasonal temperature averages (°C) by decade for Automatic Weather Stations (AWS) located on King George Island and near Antarctic Peninsula.

Estación científica - base / Scientific station - base	Promedio de temperatura (°C/decadal) / Average temperature (°C/decadal)					Periodo de tiempo / Time frame	Tiempo (años/días) / Time (years/days)
	Annual / Annual	Primavera / Spring	Verano / Summer	Otoño / Autumn	Invierno / Winter		
Bellingshausen-bell. Turner et al. (2005)	0.35	-0.1	0.3 ± 0.20	0.51	0.58	1969-2000	31
Esperanza. Turner et al. (2005)	0.41	-0.07	0.43 ± 0.34	0.82	0.51	1961-2000	39
Rothera-Vernadsky-Bellinghausen-O'Higgins-Esperanza y Marambio. Turner et al. (2016) (pc/wp)	0.32	0.18	0.51	0.33	0.04	1979-1997	18
Rothera-Vernadsky-Bellinghausen-O'Higgins-Esperanza y Marambio. Turner et al. (2016) (pe/cp)	-0.47	-0.39	-0.72	-0.36	-0.09	1999-2014	16
Bellinghausen. Oliva et al. (2017) (pc/wp)	-2.3	-2.7	1.1	-1.6	-6.1	1968-2015	47
Bellinghausen. Oliva et al. (2017) (pe/cp)	-2.3	-2.8	0.9	-1.4	-6.0	2006-2015	10
King Sejong. Oliva et al. (2017) (pc/wp)	-1.8	-2.2	1.5	-1.2	-5.3	1986-2015	30
King Sejong. Oliva et al. (2017) (pe/cp)	-2.1	-2.5	1.2	-1.2	-5.8	2006-2015	10
Frei - Dr. Jorge Carrasco, Universidad de Magallanes (2017)	-2.3	-2.8	1.1	-1.6	-6.1	1970-2015	45
Bahía Almirantazgo [//antartica.cptec.inpe.br/ PROANTAR - Brasil (julio/july, 2019)]	-2.1 ± 1.0	--	1.6 ± 0.7	--	--	1944-2013*	69
Ferraz - EACF [//antartica.cptec.inpe.br/ PROANTAR - Brasil (julio/july, 2019)]	-1.8 ± 3.5	--	1.6	--	-5.3	1986-2013	28
Frei / Deception (DI) / Bellinghausen (Bell) / Ferraz (EACF)** Ferron et al. (2004)	--	-3.0	0.9	-2.2	-7.0	1987-1992 (Bell) / 1992-1995 (EACF)	6 / 4
EMA Machu Picchu (ECAMP) – Perú / AWS Machu Picchu (ECAMP) – Peru	--	--	1.2 ± 0.7	--	--	Dic/Dec 31/2018 – Ene/Jan. 15/2019	16 Días
Glaciar Lange***, este estudio / Lange Glacier***, this study	--	--	5.0 ± 5.2***	--	--	Dic/Dec. 24/2018 – Ene/Jan 15/2019	22 Días
Esperanza - Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2020) Región VII (Antártica e islas adyacentes) / Esperanza - World Meteorological Organization (WMO, 2020) VII Region (Antarctica and adjacent islands)	Temperatura más alta registrada en la antártica 18.3 °C en la Base Esperanza, Península Antártica el 06 de febrero de 2020 (verano austral) / Highest temperature recorded in Antarctica 18.3 °C at Esperanza Base, Antarctic Peninsula on February 6, 2020 (austral summer)						

(pc) periodo de calentamiento, (pe) periodo de enfriamiento

* A excepción de 1946, los datos se tomaron de Deception Island (1944-1945, 1947, 1959-1967), Base "G" (1948-1960), Bellinghausen (1968-1976), Arctowski (1977-1985, 1988-1989), Ferraz (1986-1987, 1990-2013) Fuente: Datos tomados de <http://antartica.cptec.inpe.br/> EMA PROANTAR - Brasil.

** La distancia entre DI y BELL es de 123 km y BELL y EACF son 31,5 km.

*** Temperatura promedio para el periodo descrito en la tabla.

(wp) warm-up period, (cp) cooling period

* Except for 1946, data were taken from Deception Island (1944-1945, 1947, 1959-1967), Base "G" (1948-1960), Bellinghausen (1968-1976), Arctowski (1977-1985, 1988-1989), Ferraz (1986-1987, 1990-2013) Source: Data taken from <http://antartica.cptec.inpe.br/> Antarctic meteorological PROANTAR - Brazil.

** Distance between DI and BELL is 123 km and BELL and EACF are 31.5 km.

*** Average temperature for the period described in the table.

No obstante, se debe mencionar que estudios más recientes como los de Carrasco (2013), reportan un período de ligero enfriamiento en la parte norte de la Península Antártica. Particularmente Oliva *et al.* (2017) reportan para la IRJ en verano una media anual en la temperatura del aire (diciembre

However, more recent studies such as those of Carrasco (2013), report a period of slight cooling in the northern part of the Antarctic Peninsula. Oliva *et al.* (2017), report for the KGI in austral summer an annual mean in air temperature (December to February) lower by 0.3 °C in the

a febrero) menor en $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la década de 2006–2015 que en el período 1986–2015, del mismo modo Turner *et al.* (2016) reportó para la Península Antártica posterior al período de calentamiento entre 1979–1997, un período de enfriamiento entre 1999–2014 consistente con la variabilidad natural. Sin embargo, hay que añadir que recientemente la Organización Meteorológica Mundial (2020), reportó el 06 de febrero de 2020, la temperatura más alta registrada en la Antártica: $18,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la Base Esperanza (parte norte de la península Antártica - inmediaciones de la IRJ) (Tabla 2). Todos estos valores históricos de temperatura en el área junto con los resultados de las mediciones de este estudio indican una tendencia de aumento de temperatura con un ligero período de enfriamiento durante aproximadamente 10 a 15 años, que según últimos registros podría retomar la tendencia de aumento de temperatura en la porción norte de la Península Antártica. Esta tendencia más cálida en las temperaturas tiene implicaciones directas en el derretimiento actual del GL, que puede continuar retrocediendo si aumentan las tendencias de aumento de temperatura actuales, contribuyendo con el aporte de agua dulce a la Bahía del Almirantazgo con incidencias en el aumento del nivel del mar y todas sus repercusiones en las zonas costeras del planeta.

Estaciones oceanográficas

El agua superficial se evidenció fría y dulce, por los procesos de Calving y deshielo. En las estaciones del sur, identificamos una alta salinidad y baja temperatura como producto de la salmuera producida por la formación de hielo, en concordancia con las observaciones visuales y la falta de datos en esta área debido a la presencia de escombros de hielo (Figura 9). En las estaciones ubicadas en paralelo, se observó una notable zona de alta temperatura ($0,78\text{ }^{\circ}\text{C}$) entre los 20 y 60 m en la parte central de la bahía, asociada a una baja salinidad (33,52). Comparando con la sección de las estaciones ubicadas en perpendicular (registros de temperatura y densidad, Figura 9e-f), podemos interpretar que este núcleo de agua dulce y cálida proviene de aguas fuera de la bahía del frente del Glaciar. Comparando el agua entrante con la residente, hay un pico de $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ de variabilidad que puede impactar directamente el frente del glaciar. Esta afirmación es relevante para las condiciones de estabilidad del glaciar porque la entrada de este núcleo de aguas puede producir un proceso de derretimiento bajo la superficie del glaciar, aumentando el retroceso del glaciar, como se presentó en secciones anteriores.

Las aguas frías sobre aguas cálidas, en un sistema estratificado débil, se conocen como parte de las condiciones

decade 2006 - 2015 than in the period 1986 - 2015, in the same way Turner *et al.* (2016) reported for the Antarctic Peninsula after the warming period between 1979 - 1997, a cooling period, between 1999 - 2014 consistent with natural variability. However, recently the World Meteorological Organization (2020), reported on February 6, 2020, the highest temperature recorded in Antarctica: $18.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ at the Esperanza Base (northern part of the Antarctic Peninsula - vicinity of the KGI) (Table 2). All these historical values of temperature in the area together with the results of the measurements of this study indicate a trend of temperature increase with a slight cooling period for approximately 10 to 15 years, according to the latest records could resume the trend of increase of temperature in the Northern portion of the Antarctic Peninsula. This warmer trend in temperatures has direct implications on the current melting of the LG, may continue to retreat if current temperature increase trends increment, contributing to the fresh water inlet to the Admiralty Bay with incidences in the increase of the sea level and all its repercussions in the Coastal zones of the planet.

Oceanographic stations

The surface water was cold and fresh, by Calving and melting processes. At the southern stations, we identified a high salinity and low temperature as a product of the brine produced by the ice formation, in agreement with the visual observations and the lack of data in this area because of the ice-cover (Figure 9). From the parallel section, there was a remarkable area of high temperature ($0.78\text{ }^{\circ}\text{C}$) between 20 and 60 m in the bay central part, associated with low salinity (33.52). Comparing with the perpendicular section (temperature and density signature, Figure 9e-f), we can interpret that this core of warm and freshwater coming from waters outside the Glacier Bay. Comparing the incoming water with the resident, there is a peak of $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ of variability that can impact directly the glacier front. This statement is relevant for the stability conditions of the glacier because the entrance of this core of waters can produce a subsurface melting process increasing the glacier retreatment, as was presented in previous sections.

Cold waters over warm waters, in a weak stratified system, is known as part of the preconditions of convection processes. Consequently, the ocean circulation transport oceanic heat through a weakly stratified water column increasing the surface ventilation (Schmitt, 1994). From this assumption and the Turner angle values and

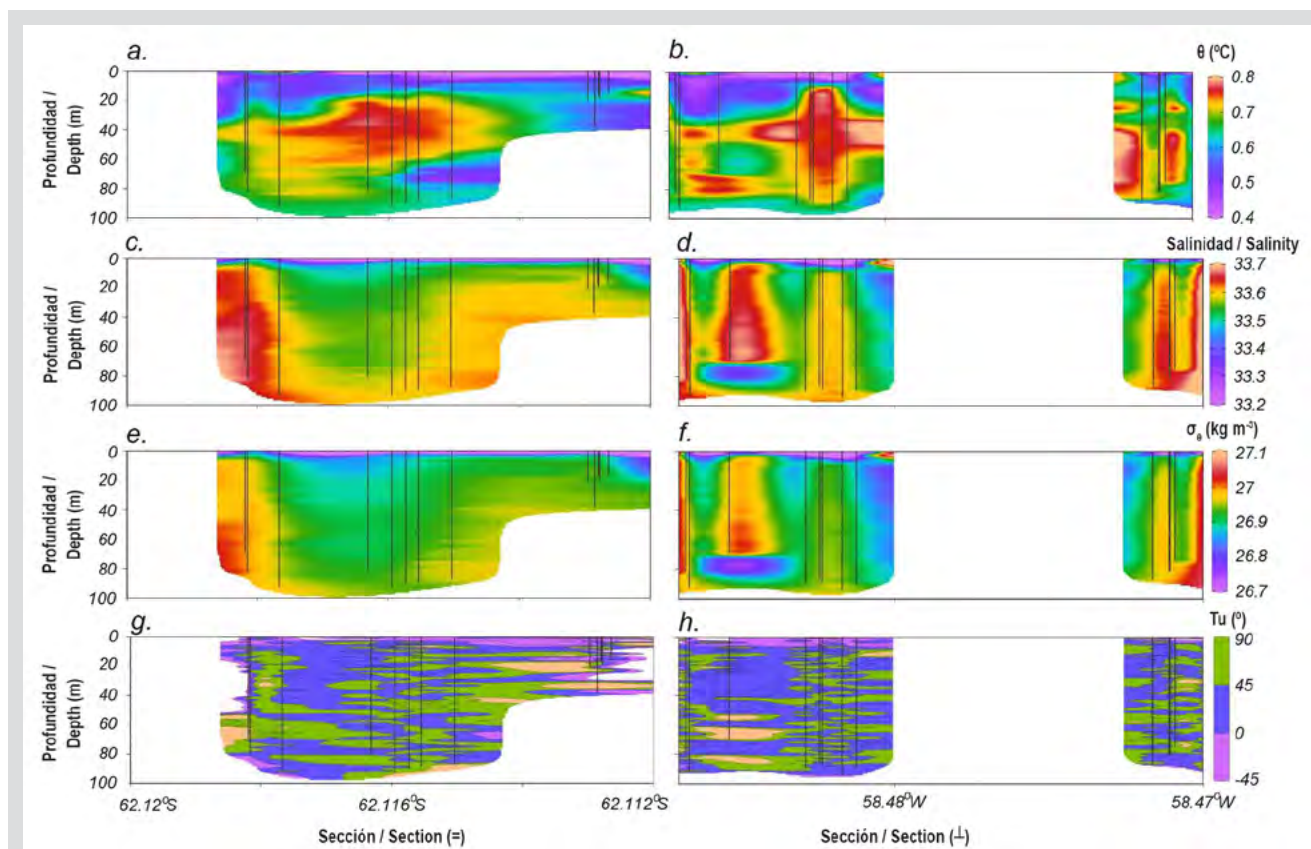


Figura 9. a. - b. Secciones de temperatura potencial, c. - d. salinidad, e. - f. densidad potencial y g. - h. Ángulo de Turner para las estaciones en la Bahía de Almirantazgo, Antártica dentro de cada sección paralela y perpendicular, respectivamente.

Figure 9. a. - b. Sections of potential temperature, c. - d. salinity, e. - f. potential density, and g. - h. Turner angle for the stations in Admiralty Bay, Antarctica inside each parallel and perpendicular section, respectively.

previas para los procesos de convección. En consecuencia, la circulación oceánica transporta el calor oceánico a través de una columna de agua débilmente estratificada que aumenta la ventilación de la superficie (Schmitt, 1994). A partir de esta suposición y los valores del ángulo de Turner y puntos calientes identificados sobre la columna de agua (Figura 9), podemos confirmar la entrada de aguas externas provocando una pérdida de estabilidad del sistema en la columna de agua. El proceso como formación de dedos de sal puede aumentar la mezcla de la columna de agua en el área y los procesos de convección, afectando el intercambio de energía que impacta los procesos océano-glaciar. No obstante, se necesitan más estudios para confirmar esta dinámica.

La Corriente Circumpolar Antártica es una corriente oceánica que fluye de oeste a este alrededor de la Antártica, desempeñando un papel importante en el transporte y distribución de calor y sal, que tienen efectos sobre la dinámica del hielo oceánico, afectando las tasas de derretimiento basal y retroceso de los glaciares (Nitsche *et al.*, 2007; Depoorter *et al.*, 2013). La cantidad de deshielo

hotspots identificados sobre la columna de agua (Figura 9), we can confirm the entrance of external water making a loss the stability of the water column system. The process as salt fingering can increase the convection mixing in the area, affecting the energy exchange that impacts the ocean-glacier processes, but further studies are needed to confirm the dynamics.

The Antarctic Circumpolar Current is an ocean current that flows from west to east around Antarctica, playing an important role transporting and distributing heat and salt, which have effects on the dynamics of ocean ice, affecting the rates of basal melting and retreat of glaciers (Nitsche *et al.*, 2007; Depoorter *et al.*, 2013). The amount of melting produced by the ocean depends on ocean water temperature, which is controlled by the combination of the surrounding ocean thermal structure and the local circulation of the ocean that is determined by winds and bathymetry. As the climate warms and the atmospheric circulation changes, there will be subsequent changes in the circulation and temperature of the ocean,

producido por el océano depende de la temperatura del agua del océano, que está controlada por la combinación de la estructura térmica del océano circundante y la circulación local del océano que a su vez está determinada por los vientos y la batimetría. A medida que el clima se calienta y la circulación atmosférica cambia, habrá cambios posteriores en la circulación y la temperatura del océano, particularmente en la circulación de una masa de agua más cálida (Circumpolar Deep Water - CDW), que es más densa debido a la mayor cantidad de sal contenida y se encuentran a profundidades por debajo de las aguas superficiales, alrededor de los 500 m (Holland *et al.*, 2020). Esta CDW está afectando el retroceso frontal de los glaciares, particularmente en el oeste de la Península Antártica (Cook *et al.*, 2016; Depoorter *et al.*, 2013; Jacobs *et al.*, 2012). Por lo tanto, la CDW cálida, salada y poco oxigenada se mezcla con el agua de alta salinidad recientemente ventilada y modificada, que es relativamente fría, dulce se forma en el mar de Weddell para ser direccionado hacia el sur a lo largo de las cuencas profundas del Estrecho de Bransfield (Torres *et al.*, 2020), quizás invadiendo las aguas dulces y cálidas de la Bahía del Almirantazgo.

Batimetría y Modelo Digital de Elevación (MDE)

El levantamiento batimétrico en la bahía frente al GL mostró una forma de valle, en cuyo centro están las áreas más profundas con 220 m y mayor espesor del hielo (Figura 6a-b). Se evidenció un área de plumas de sedimentos en la bahía del frente del glaciar, lo que indica que este frente está en contacto con el lecho basal, en concordancia con estudios previos en el área (p. Ej., Pichlmaier *et al.*, 2004; Barboza *et al.*, 2004). Asimismo, se observó a 1 km del frente del glaciar algunas áreas someras de 20 m de profundidad en el suroeste (SW) y noreste (NE) de la bahía (Figura 6a-b), que pueden corresponder a morrenas por el arrastre de rocas glaciales, sedimentos y detritos depositados en la bahía. Estos hallazgos sugieren que en el pasado allí estuvo ubicado el frente del glaciar. De hecho, la longitud actual del frente GL mostró una notable disminución de 600 m en comparación con las mediciones de la longitud frontal del GL obtenidas hace 20 años por Barboza *et al.* (2004).

Según descripciones históricas del retroceso de GL, la primera fase de retroceso (440 m) se registró para el período entre 1956 y 1975, y la segunda fase de retroceso se registró en un corto período entre 1975 y 1979, retrocediendo unos 880 m de acantilado de hielo y perdiendo aproximadamente 1,1 km² (Braun, 2001). Este proceso continuó posteriormente entre 1979 y 1988, cuando el glaciar retrocedió 280 m

particularmente en la circulación de una capa más cálida de agua (Circumpolar Deep Water – CDW), que es más densa debido a su mayor contenido de sal y se encuentra a profundidades por debajo de las aguas superficiales, alrededor de 500 m (Holland *et al.*, 2020). Esta CDW está afectando el retroceso frontal de los glaciares, particularmente en la Península Antártica occidental (Jacobs *et al.*, 2012; Depoorter *et al.*, 2013; Cook *et al.*, 2016). Por lo tanto, la CDW cálida, salada y poco oxigenada que se mezcla con el agua de alta salinidad recientemente ventilada y modificada, que es relativamente fría, dulce se forma en el mar de Weddell para ser direccionado hacia el sur a lo largo de las cuencas profundas del Estrecho de Bransfield (Torres *et al.*, 2020), quizás invadiendo las aguas dulces y cálidas de la Bahía del Almirantazgo.

Bathymetry and Digital Elevation Model (DEM)

The bathymetric survey in the bay facing the LG showed a valley shape, in the center of which are the deepest points with 220 m and the thickest ice (Figure 6a-b). We found an area of sediment plumes in the bay in the front of the glacier, which indicates that the glacier front is in contact with the basal bed, in agreement with previous studies in the area (e.g. Barboza *et al.*, 2004; Pichlmaier *et al.*, 2004). Likewise, it was observed 1 km from the front of the glacier some shallow areas of 20 m depth in the southwest (SW) and northeast (NE) of the bay (Figure 6a-b), which may correspond to moraines by the glacial rock drag, sediments, and detritus deposited in the bay. These findings suggest that the front glacier has retreated from the past location. Indeed, the current LG front length showed a notable 600 m retreat in comparison to observations of Barboza *et al.* (2004) on LG front length 20 years ago.

According to historical descriptions of LG retreatment, the first phase of retreat (440 m) was recorded for the period between 1956 and 1975, and the second retreatment phase was recorded in a short period between 1975 and 1979, retreating about 880 m of ice cliff and losing approximately 1.1 km² (Braun, 2001). This process continued posteriorly between 1979 and 1988, when the glacier retreated an additional 280 m, losing another 0.56 km². Between 1988 and 1995, the glacier retreated 180 m, with an area loss of 0.13 km². In total, the glacier retreated about 1,780 m from 1956 to 1995, thus losing approximately 1.7 km² (Braun, 2001). Similarly, Arigony-Neto (2001) recorded a glacier retreatment of 1.4 km², losing a total of 2.0 km². Based on these historical data, we estimated a retreatment average of 28 m/year for the period in which there was no data of retreatment records between 1995 and 1999, with glacier retreatment estimated

adicionales, perdiendo otros 0,56 km². Entre 1988 y 1995, el glaciar retrocedió 180 m, con una pérdida de superficie de 0,13 km². En total, el glaciar retrocedió alrededor de 1.780 m entre 1956 y 1995, perdiendo así aproximadamente 1,7 km² (Braun, 2001). De manera similar, Arigony-Neto (2001) registró un retroceso del glaciar de 1.4 km², perdiendo un total de 2.0 km². Con base en estos datos históricos, estimamos un retroceso promedio de 28 m/año para el período en el que no hubo registro de datos de su retroceso, entre 1995 y 1999, equivalente a 112 m. Según los anteriores datos y registros e incluyendo los resultados de este estudio, el retroceso del GL se estimó entre 1956 y 2019 en aproximadamente 2.492 m.

Consideraciones sobre el cambio climático

Nuestros resultados sugieren un balance de masa negativo para el GL según el flujo de Calving, la temperatura registrada en este estudio y el aumento de temperatura en la zona durante las últimas décadas. Los datos históricos en el área indican que el deshielo en GL está aumentando en forma continua (0.42 ± 0.06 cm/día) debido al aumento de la temperatura atmosférica con un aporte de agua dulce a la Bahía del Almirantazgo. A partir de los datos de las estaciones oceanográficas, hay indicios de una intrusión de aguas externas a la bahía frente al GL. Además, se evidenció un núcleo de aguas calientes externas, que desestabilizan la columna de agua y generan procesos de convección. Esa entrada de aguas externas puede producir niveles más altos de mezcla y energía, transferidos del océano al glaciar, impulsando su retroceso y deshielo basal debajo de la superficie del mar. Combinando la información de la dinámica del glaciar a partir de los datos de las imágenes satelitales, batimetría, topografía que evidenciaron el retroceso del glaciar e indicaciones de un balance de masa negativo, el GL es un muy buen indicador del efecto acelerado del cambio climático en la Península Antártica. Se requiere un estudio completo de toda la cuenca glaciar y un monitoreo continuo para establecer la contribución y aporte agua al aumento del nivel del mar debido al derretimiento de GL, que puede acelerarse por el cambio climático si aumentan las tendencias actuales de temperatura.

AGRADECIMIENTOS

Estamos en deuda con todas las instituciones que apoyaron y fueron parte de esta investigación, que incluyen a las siguientes instituciones colombianas: Dirección General Marítima, Comisión Colombiana del Océano, Programa Antártico Colombiano, Armada Nacional de Colombia y

at 112 m. Thus, with all these estimations and including data of this study, the LG retreatment estimated between 1956 and 2019 was approximately 2,492 m.

Climate change considerations

Our results suggest a negative mass balance according to the Calving flux, the temperature registered in this study, and the temperature increase in the area in the last decades. The historical data in the area indicate the LG is increasing continuous fusion (0.42 ± 0.06 cm/day) due to the increase in atmospheric temperature with a freshwater contribution to the Admiralty Bay. From the oceanographic station's data, there are indications of water external intrusion to the bay in front of the LG. Furthermore, there is a core of external warm water, which destabilizes the water column and generates convection processes. That external water entrance can produce higher levels of mixing and energy, transferred from the ocean to the glacier, driving its retreatment and basal melting below the sea surface. Combining the information of the glacier dynamics from satellite image data, bathymetry, topography that showed the already detectable glacier retreatment and indications for a negative mass balance, the LG is a very good indicator of accelerated climatic change effect in the Antarctic Peninsula. A complete study of the entire glacier basin and continuous monitoring is required to establish the water contribution to sea-level rise due to melting of LG, which may be accelerated by climate change if increase current temperature trends.

ACKNOWLEDGMENTS

We are in debt with all institutions that supported and were part of this research, which include following Colombian institutions: General Maritime Directorate, Colombian Ocean Commission, Colombian Antarctic Program, Colombian National Navy and its vessel the "ARC 20 de Julio" and crew; Chilean institutions: University of Magallanes, Chilean National Antarctic Institute, Chilean Navy and its vessel "AP-41 Aquiles" and crew; Peruvian institutions: National Antarctic Program of Peru, Peruvian Navy and its vessel "BAP Carrasco" and crew, personnel of the Machu Picchu Antarctic Scientific Station of Peru austral summer 2018-2019, National Geographic Institute of Peru; and the Center for Global Sea Level Change (CSLC) of New York University Abu Dhabi (NYUAD) research institute (G1204) in the UAE. The synergy between these institutions allowed the achievement of our



su buque “ARC 20 de Julio” y tripulación; Instituciones chilenas: Universidad de Magallanes, Instituto Nacional Antártico Chileno, Armada de Chile y su embarcación “AP-41 Aquiles” y tripulación; Instituciones peruanas: Programa Nacional Antártico del Perú, Armada del Perú y su embarcación “BAP Carrasco” y tripulación, personal de la Estación Científica Antártica Machu Picchu del Perú, verano austral 2018-2019, Instituto Geográfico Nacional del Perú; y el Center for global Sea Level Change (CSLC) of New York University Abu Dhabi (NYUAD) instituto de investigación (G1204) en los Emiratos Árabes Unidos. La sinergia entre estas instituciones permitió el logro de nuestros objetivos y exaltó el espíritu de cooperación internacional del Sistema del Tratado Antártico (STA). GC recibió apoyo financiero del Instituto Nacional Antártico Chileno (INACH) a través del XXII Concurso Nacional de Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica Antártica 2016, proyecto “*Calving y balance de masa estudiado por teledetección, métodos in-situ y modelización en la Isla Rey Jorge (CAMB-KGI)*”, para realizar el trabajo de campo. DFMM y DCBB recibieron una donación de la Fundación Malpelo y Otros Ecosistemas Marinos y la Fundación AVIATUR para participar en la V Expedición Científica de Colombia a la Antártica “Almirante Campos” (2018-2019). Un agradecimiento especial al Vicealmirante Juan Manuel Soltau Ospina, Director General Marítimo, Capitán de Navío Alex Ferrero y al Dr. Pedro Cid-Aguero. Agradecemos a Octavio Martínez por su apoyo en los análisis batimétricos y a Christian Bermúdez por su apoyo en las estaciones oceanográficas. Gracias al Dr. Jorge Carrasco por proporcionar la serie de datos de temperaturas de la estación Antártica chilena Frei y al Dr. Javier Díaz por sus sugerencias para mejorar este manuscrito. Finalmente, un agradecimiento especial a la Dra. Ellen Schwalbe, el Dr. Robert Koschitzki, Dr. Benjamin Schröeter y Alfredo Soto por su valioso apoyo durante el trabajo de campo en la Antártica, y a Doña Erta Alvarez por su apoyo en Punta Arenas, Chile.

goals and exalted the spirit of international cooperation of the Antarctic Treaty System. GC received financial support by the Chilean National Antarctic Institute through XXII National Competition of Antarctic Scientific and Technological Research Projects 2016, project “*Calving and mass balance studied by remote sensing, in situ methods and modeling at King George Island (CAMB-KGI)*”, to conduct fieldwork. DFMM and DCBB received a donation provided by Fundación Malpelo y Otros Ecosistemas Marinos and AVIATUR Foundation to participate in V Scientific Expedition of Colombia to the Antarctic “Admiral Campos” (2018-2019). Special thanks to Vice Admiral Juan Manuel Soltau Ospina, Maritime General Director, Captain Alex Ferrero, and Dr. Pedro Cid-Aguero. We thank Octavio Martínez for his support in bathymetric analyses, and Christian Bermúdez for his support in the oceanographic stations. Thanks to Dr. Jorge Carrasco for providing temperature dataset from Chilean Frei station, to Dr. Javier Díaz for his suggestions to improve this manuscript. Special thanks to Dra. Ellen Schwalbe, Dr. Robert Koschitzki, Benjamin Schröeter, and Alfredo Soto for their valuable support during fieldwork in Antarctica, and Erta Alvarez for her support in Punta Arenas, Chile.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Arigony-Neto, J. 2001. Determinação e interpretação de características glaciológicas e geográficas com sistema de informações geográficas na Área Antártica Especialmente Gerenciada Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. Unpublished M.Sc. tesis, Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 84 p.
- Arigony-Neto, J., J. Simões and U. Bremer. 2004. Implementation of the Admiralty Bay Geographic Information System, King George Island, Antarctica. *Pesqui. Antart. Bras.*, 4: 187-190.
- Barboza, H., A. De Bortoli, J. Simoes, R. Da Cunha and M. Braun. 2004. Bidimensional numerical simulation of the Lange Glacier, King George Island, Antarctica: preliminary results. *Pesqui. Antart. Bras.*, 4: 67-76.
- Benn, D., C. Warren and R. Mottram. 2007. Calving processes and the dynamics of calving glaciers. *Earth-Sci. Rev.*, 82: 143-179
- Bennett, M. and N. Glasser. 2009. *Glacial geology: Ice sheets and landforms*. 2nd. Ed. Wiley-Blackwell Publication. 385 p.
- Bindschadler, R.A. and L.A. Rasmussen. 1983. Finite difference model predictions of the drastic retreat of Columbia Glacier, Alaska. *US Geol. Surv. Profes. Pap.*, 1258-D.
- Braun, M. 2001. Ablation on the ice CAP OF King George Island (Antarctica) an approach from field measurements, modelling and remote sensing. Doctoral thesis Earth Sciences, Albert-Ludwigs-Univ., Freiburg i.191 p.
- Braun, M. and H. Gossmann. 2002. Glacial changes in the area of Admiralty Bay and Potter Cove, King George Island, Antarctica: 75-89. In: Beyer, M. and M. Boelter (Eds.). *GeoEcology of Terrestrial Antarctic Oases*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Braun, M. and R. Hock. 2004. Spatially distributed surface energy balance and ablation modelling on the ice cap of King George Island (Antarctica). *Glob. Planet. Change*, 42: 45-58.
- Calvet, J., D. García Sellés y J. Corbera. 1999. Fluctuaciones de la extensión del casquete glacial de la Isla Livingston (Shetland del Sur) desde 1956 hasta 1996. *Acta Geol. Hisp.*, 34: 365-374.
- Cook, A.J., P.R. Holland, M.P. Meredith, T. Murray, A. Luckman and D.G. Vaughan. 2016. Ocean forcing of glacier retreat in the western Antarctic Peninsula. *Science* 353, 283-286. <https://doi.org/10.1126/science.aae0017>
- Departamento Nacional de Planeación. 2012. Plan nacional de adaptación al cambio climático. DNP, Bogotá. 74 p.
- Depoorter, M.A., J.L. Bamber, J.A. Griggs, J.T.M. Lenaerts, S.R.M. Ligtenberg, M.R. Van Den Broeke and G. Moholdt. 2013. Calving fluxes and basal melt rates of Antarctic ice shelves. *Nature*, 502: 89 – 93 p.
- Ferron, F., J. Simoes, F. Aquino and A. Setzer. 2004. Air temperature time series for King George Island, Antarctica. *Pesqui. Antart. Bras.*, 4: 155 – 169.
- Garret C. and W. Munk. 1979. Internal waves in the ocean. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 11: 339-369
- Goss, H. 2020. The threat at Thwaites, *Eos*, 101, <https://doi.org/10.1029/2020EO140232>
- Hansen, J., R. Ruedy, J. Glascoe and M. Sato. 1999. GISS analysis of surface temperature change. *J. Geophys. Res-Atmos.*, 104: 30997– 31022.
- Holland, D., K.W. Nicholls and A. Basinski. 2020. The Southern Ocean and its interaction with Antarctic Ice Sheet. *Science*, 367(6484): 1326-1330. DOI: 10.1126/science.aaz5491.
- Howat, I.M., C. Porter, B.E. Smith, M.J. Noh and P. Morin. 2019. REMA. *Cryosphere* 13: 665-674. <https://doi.org/10.5194/tc-13-665-2019>
- IPCC. 2013. Climate change the physical science basis. In: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.) Working Group I Contr. Fifth Asses. Rep. Intergovern. Panel Clim. Change. Cambridge Univ., Cambridge, UK and New York. 1535 p.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. In: Pachauri R.K. and L.A. Meyer (Eds.). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra. 157 p.
- IPCC. 2014a. Anexo II: Glosario: 127-141. In: Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (Eds.). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra.
- Jacobs, S., A. Jenkins, H. Hellmer, C. Giulivi, F. Nitsche, B. Huber and R. Guerrero. 2012. The Amundsen Sea and the Antarctic Ice Sheet. *Oceanography*, 25(3): 154-163. <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2012.90>.
- Kejna, M., K. Láska and Z. Caputa. 1998. Recession of the Ecology Glacier (King George Island) in the period 1961–1996: 121-128. In: Glowacki P. and J. Bednarek (Eds.). *Internat. Polar Symp.*, 25. Warsaw: Polish Academy of Sciences, Warsaw.



- King, J.C. and S.A. Harangozo. 1998. Climate change in the western Antarctic Peninsula since 1945: observations and possible causes. *Ann. Glaciol.*, 27: 571-575.
- Knap, W.H., J. Oerlemans and M. Cadée. 1996. Climate sensitivity of the ice cap of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Ann. Glaciol.*, 23: 154-159.
- Llanillo, P.J., C.M. Aiken, R.R. Cordero, A. Damiani, E. Sepúlveda and B. Fernández-Gómez. 2019. Oceanographic variability induced by tides, the intraseasonal cycle and warm subsurface water intrusions in Maxwell Bay, King George Island (West-Antarctica). *Nat. Sci. Rep.*, 9: 18571 doi:10.1038/s41598-019-54875-8.
- Lliboutry, L. 1956. Nieves y glaciares de Chile. *Fundamentos de glaciología*. Univ. Chile, Santiago. 471 p.
- Lu, J. and L. Veci. 2016. Sentinel-1 Toolbox. Offset Tracking Tutorial, Eur. Spat. Ag. Array Syst. Comp. <http://www.array.ca/> <http://step.esa.int>
- Macheret, Y. Y. and M. Y. Moskalevsky. 1999. Study of Lange Glacier on King George Island, Antarctica. *Ann. Glaciol.*, 29: 202-206 doi:10.3189/172756499781820941.
- Marangunic, C., P. Marangunic y P. González. 2008. *Manual de glaciología*. Vol. 2. Min. Obras Públ., Dir. Gen. Aguas, Santiago. 341 p.
- Marshall, G.J., V. Lagun and T.A. Lachlan-Cope. 2002. Changes in Antarctic Peninsula tropospheric temperatures from 1956 to 1999: a synthesis of observations and reanalysis data. *Int. J. Climatol.*, 22: 291-310.
- Meredith, M. P. and J. C. King. 2005. Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century. *Geophys. Res. Lett.*, 32(19).
- Moss, R., J. A., Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant and T. J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463: 747–756.
- Motyka, R.J., L. Hunter, K. Echelmeyer and C. Connor. 2003. Submarine melting at the terminus of a temperate tidewater glacier, LeConte Glacier, Alaska, U.S.A. *Ann. Glaciol.*, 36: 57– 65.
- Nitsche, F. O., S. S. Jacobs, R. D. Larter, and K. Gohl. 2007. Bathymetry of the Amundsen Sea continental shelf: Implications for geology, oceanography, and glaciology. *GGG.*, 8 (Q10009).
- Oliva, M., F. Navarro, F. Hrbáček, A. Hernández, D. Nývlt and P. Pereira. 2017. Recent regional climate cooling on the Antarctic Peninsula and associated impacts on the cryosphere. *Sci. Total Environ.*, 580: 210–223.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2020. Región VII, Antártica e islas adyacentes. <https://wmo.asu.edu/content/antarctica-highest-temperature-continent-06/06/2020>.
- Park, B.K., S-K. Chang, H.I. Yoo and H. Chung. 1998. Recent retreat of ice cliffs, King George Island, South Shetland Islands, Antarctic Peninsula. *Ann. Glaciol.*, 27:633-635.
- Peel, D.A., R. Mulvaney and B.M. Davison. 1988. Stable-isotope/air-temperature relationships in ice cores from Dolleman Island and the Palmer Land plateau, Antarctic Peninsula. *Ann. Glaciol.*, 10: 130-136.
- Pichlmaier, M., FE. Aquino, C. Santos da Silva and M. Braun. 2004. Suspended sediments in Admiralty Bay, King George Island (Antarctica). *Pesq. Antart. Bras.*, 4: 77-85.
- Raper, S.C.B., J.M.L. Wigley, P.R. Mayes, P.D. Jones and M.J. Salinger. 1984. Variations in surface air temperatures; part 3, the Antarctica, 1957-1982. *Mon. Weather Rev.*, 112: 1341-1353.
- Rignot, E., J. Mouginot, M. Morlighem, H. Seroussi and B. Scheuchi. 2014. Widespread, rapid grounding line retreat of Pine Island, Thwaites, Smith and Kohler glaciers, West Antarctica, from 1992 to 2011. *Geophys. Res. Lett.*, 41: 3502-3509, doi: 10.1002/2014GL60140.
- Rivera, A., R. Zamora, C. Rada, J. Walton and S. Proctor. 2010. Glaciological investigations on Union Glacier, Ellsworth Mountains, West Antarctica. *Ann. Glaciol.*, 51(55): 91 – 95.
- Rivera, A., R. Zamora and J. Uribe. 2018. Recent glaciological studies in the interior of West Antarctica: Discovery of Subglacial “Lake CECs”. *Ilaia*, 4: 19 – 21.
- Riveros, N., L. Euillades, P. Euillades, S. Moreiras and S. Balbarani. 2013. Offset tracking procedure applied to high resolution SAR data on Viedma Glacier, Patagonian Andes, Argentina. *Adv. Geosci.*, 35: 7-13.
- Ruckamp, M., M. Braun, S. Suckro and N. Blindow. 2011. Observed glacial changes on the King George Island ice cap, Antártica, in the last decade. *Global Planet. Change*, 100-106.

- Schmitt, R.W. 1994. Double diffusion in oceanography. *An. Rev. Fluid Mech.*, 26: 255-285.
- Siegert, M.J. and J.A. Dowdeswell. 2004. Numerical reconstructions of the Eurasian Ice Sheet and climate during the Late Weichselian. *Quat. Sci. Rev.*, 23: 1273–1283
- Sikonia, W.G. 1982. Finite element glacier dynamics model applied to Columbia Glacier, Alaska. *US Geol. Surv. Profes. Pap.*, 1258-B.
- Simões, J.C., U.F. Bremer, N. Dani, F.E. Aquino y N.L.S Gruber. 1995. Resultados preliminares do programa glaciológico brasileiro. *Simp. Nal Geogr. Apl. Anais Geogr. Apl.*, 2: 244-249.
- Simões, J. C., U. F. Bremer, F.E. Aquino and F.A. Ferron. 1999. Morphology and variations of glacial drainage basins in the King George Island ice field, Antarctica. *Ann. Glaciol.*, 29: 220– 224.
- Simoës, J.C., N. Dani, U. Bremer, F. Aquino and J. Arigony-Neto. 2004. Small cirque glaciers retreat on Keller Peninsula, Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Pesq. Antart. Bras.*, 4: 49-56.
- Smith, R.C., S.E. Stammerjohn and K. Baker. 1996. Surface air temperature variations in the Western Antarctic Peninsula region: 105-121. In: Ross, R.M., E.E. Hofmann and L.B. Quetin (Eds.) *Foundations for ecological research west of the Antarctic Peninsula. Am. Geophys. Un., Antarct. Res. Book. Ser.*, 70.
- Tarback, E.J., F.K. Lutgens and D. Tasa. 2005. *Earth sciences an introduction to physical geology. Eighth edition. Pearson, Madrid.* 736 p.
- Torres., R., A.L. Caicedo and J.D. Iriarte. 2020. Hydrographic conditions during two austral summer situations (2015 and 2017) in the Gerlache and Bismarck straits, northern Antarctic Peninsula. *Sci. Dir.*, 161. <https://doi.org/10.1016//j.dsr.2020.103278>
- Turner, J., S. Colwell, G. Marshall, T. Lachlan-Cope, A. Carleton, P. Jones, V. Lagun, P. Reid and S. Iagovkina. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *Internat. J. Climatol.*, 25: 279 – 294.
- Turner, J., H. Lu, I. White, J.C. King, T. Phillips, J.S. Hosking, T.J. Bracegirdle, G.J. Marshall, R. Mulvaney and P. Deb. 2016. Absence of 21st century warming on Antarctic Peninsula consistent with natural variability. *Nature*, 535: 411–423.
- Van der Veen, C.J. 2002. Calving glaciers. *Progr. Phys. Geogr.*, 26: 96–122.
- Vaughan, D. G., G. J. Marshall, W. M. Connolley, C. Parkinson, R. Mulvaney, D. A. Hodgson and J. Turner. 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Clim. Change*, 60(3): 243-274.
- Vaughan, D.G., J.C. Comiso, I. Allison, J. Carrasco, G. Kaser, R. Kwok, P. Mote, T. Murray, F. Paul, J. Ren, E. Rignot, O. Solomina, K. Steffen and T. Zhang. 2013. Observations: cryosphere. In: *Climate change 2013: The Physical Sciences Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Vieli, S.K., A. Jania and J. Kolondra. 2002. The retreat of a tidewater glacier: observations and model calculations on Hansbreen, Spitsbergen. *J. Glaciol.*, 48(163): 592-600.
- Wang, Q., W. Zhou, J. Fan, W. Yuan, H. Li, J. Sousa and Z. Guo. 2017. Estimation of Shie Glacier surface movement using offset tracking technique with cosmo-skymed images. *ISPRS An. Photogr., Rem. Sens. Spat. Inf. Sci.*, IV-2/W4: 493-497.

RECIBIDO/RECEIVED: 30/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 15/07/2020



Lista anotada e ilustrada de los equinodermos recolectados durante las expediciones científicas colombianas a la Antártica (2016-2019)

Annotated and illustrated list of echinoderms collected during the Colombian scientific expeditions to the Antarctica (2016-2019)

Giomar H. Borrero-Pérez^{1*} y Daniela Yepes-Gaurisas^{1,2}

0000-0001-5976-2577

0000-0002-5800-8887

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar, Museo de Historia Natural Marina de Colombia – MHNMC, El Rodadero, Santa Marta, Colombia. giomar.borrero@invemar.org.co

2. Grupo de Ecología Béntica, Departamento de Oceanografía e Ecología, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil.

* Autor de correspondencia.

RESUMEN

Con el objetivo de aportar a la línea base de conocimiento que se está construyendo del estrecho de Gerlache y las zonas adyacentes, se presentan los equinodermos recolectados durante las Expediciones Científicas de Colombia a la Antártica realizadas entre 2016 y 2019, en el marco del proyecto "Biodiversidad y condiciones oceanográficas del Estrecho de Gerlache, Biogerlache-Antártica". Se muestrearon once estaciones entre 54 y 523 m de profundidad, utilizando dragas de sedimentos que capturaron de forma incidental algunos individuos de la mega y la macro-epifauna, los cuales fueron separados, revisados e identificados. Se obtuvieron 29 individuos en cinco de las estaciones muestreadas, pertenecientes a 13 morfotipos. Ophiuroidea fue la clase con mayor riqueza (cinco morfotipos), seguida por Holothuroidea (cuatro), Asteroidea (dos) y Crinoidea (dos). Se presentan comentarios morfológicos y de distribución, así como imágenes generales y detalles de cada morfotipo identificado. Entre los aportes al inventario de los equinodermos del área se destaca el género de pepino de mar *Taeniogyrus* Semper, 1867 que se registra por primera vez para la península Antártica y la especie de crinoideo *Anthometrina adriani* (Bell, 1908) que amplía su distribución geográfica, confinada a la plataforma antártica alta, hasta el estrecho de Gerlache (64° 39' S).

PALABRAS CLAVE: Crinoidea, Asteroidea, Ophiuroidea, Holothuroidea, Proyecto Biogerlache.

ABSTRACT

In order to contribute to the base line of knowledge that is being built of the Gerlache Strait and the adjacent areas, the echinoderms collected during the Scientific Expeditions from Colombia to Antarctica carried out between 2016 and 2019 as part of the project "Biodiversity and oceanographic conditions of the Gerlache Strait, Biogerlache-Antártica" are presented. Eleven stations between 54 and 523 m deep were sampled, using sediment dredgers that captured incidentally some individuals from the mega and macro-epifauna, which were separated, reviewed and identified. Twenty-nine (29) individuals were obtained in five of the sampled stations, belonging to 13 morphotypes. Ophiuroidea was the richest class (five morphotypes), followed by Holothuroidea (four), Asteroidea (two) and Crinoidea (two). Morphological and distribution comments are presented, as well as general and detailed images of each morphotype. Among the contributions to the inventory of echinoderms in the area, it is highlighted the sea cucumber genus *Taeniogyrus* Semper, 1867 that is registered for the first time for the Antarctic peninsula and the crinoid species *Anthometrina adriani* (Bell, 1908) that extends its geographical distribution, confined to the high-Antarctic shelf, up to the Gerlache Strait (64° 39' S).

KEYWORDS: Crinoidea, Asteroidea, Ophiuroidea, Holothuroidea, Biogerlache project.

INTRODUCCIÓN

El filo Echinodermata es el taxón de la megafauna dominante en las comunidades de fondos duros y blandos de la región Antártica y Subantártica en términos de abundancia, biomasa y diversidad (Moles *et al.*, 2015). Así mismo, su variedad de hábitos tróficos hace que estos invertebrados desempeñen un papel importante en la transferencia de energía trófica y por lo tanto en la estructura de las comunidades en los sistemas bentónicos antárticos (McClintock, 1994; Moles *et al.*, 2015). El océano Antártico es actualmente foco de muchas investigaciones en las cuales se ha mostrado que el cambio climático y las influencias antropogénicas han afectado el medio ambiente en esta región y por lo tanto estas alteraciones son relevantes para comprender la evolución y las estructuras biológicas actuales de la comunidad que allí habita y, por consiguiente, su conectividad con la biota fuera del Frente Polar (Vaughan *et al.*, 2003; Barboza *et al.*, 2011). Los equinodermos han sido un buen componente para estos estudios, dadas sus características evolutivas, su gran dispersión y su variedad de hábitos, siendo estudiados no solo en investigaciones de conectividad y endemismo, sino también de acidificación oceánica y redes tróficas (McClintock, 1994; Dahm, 1999; Barboza *et al.*, 2011; Duquette *et al.*, 2018). En cuanto a su diversidad, se sabe actualmente que alrededor de 10 % de las especies macrozoobentónicas conocidas en la Antártica son equinodermos (Moles *et al.*, 2015). Se cuenta con inventarios de las clases Asteroidea (299 especies, Moreau *et al.*, 2018), Ophiuroidea (126 especies, Stöhr *et al.*, 2012), Echinoidea (201 especies, Fabri-Ruiz *et al.*, 2017) y Holothuroidea (187 especies, O'Loughlin *et al.*, 2011). La clase Crinoidea aunque está bien representada (Eléaume *et al.*, 2014) no cuenta con un inventario de especies compilado. Específicamente alrededor de la península Antártica, los estudios se han centrado principalmente en las islas Shetland del Sur y el mar de Weddell (Gutt and Piepenburg, 1991; Massin 1992; Piepenburg *et al.*, 1997; Martínez *et al.*, 2015; Moles *et al.*, 2015;), y en muchos estudios la información se registra de forma general para la península sin detallar localidades. Pocos trabajos incluyen de manera específica información sobre el archipiélago Palmer o la isla Trinidad que forman el estrecho de Gerlache (Greig, 1929; Manjón-Cabeza *et al.*, 2001; Manjón-Cabeza and Ramos, 2003). Teniendo en cuenta la diversidad y la importancia ecológica de los equinodermos en las comunidades antárticas y sub-antárticas, así como la poca información específica para el estrecho de Gerlache y las islas adyacentes, el presente trabajo hace un aporte al

INTRODUCTION

The phylum Echinodermata is the dominant megafauna taxon in hard and soft bottom communities of the Antarctic and sub-Antarctic regions in terms of abundance, biomass, and diversity (Moles *et al.*, 2015). Likewise, their variety of feeding habits makes these invertebrates play an important role in the trophic energy transfer and therefore, in the communities structure in Antarctic benthic systems (McClintock, 1994; Moles *et al.*, 2015). The Antarctic Ocean is currently the focus of many investigations in which it has been shown that climate change and anthropogenic influences have affected the environment in this region and therefore these alterations are relevant to understand the evolution and current biological structures of the community that inhabits there, and consequently, its connectivity with the biota outside the Polar Front (Vaughan *et al.*, 2003; Barboza *et al.*, 2011). Echinoderms have been a good component for these studies, given their evolutionary characteristics, great dispersion, and variety of habits, being studied not only in connectivity and endemism research, but also in ocean acidification and trophic networks (McClintock, 1994; Dahm, 1999; Barboza *et al.*, 2011; Duquette *et al.*, 2018). Regarding their diversity, it is currently known that around 10 % of the macrozoobenthic species known in Antarctica are echinoderms (Moles *et al.*, 2015). There are inventories of the classes Asteroidea (299 species, Moreau *et al.*, 2018), Ophiuroidea (126 species, Stöhr *et al.*, 2012), Echinoidea (201 species, Fabri-Ruiz *et al.*, 2017) and Holothuroidea (187 species, O'Loughlin *et al.*, 2011). The Crinoidea class, although well represented (Eléaume *et al.*, 2014) does not have a compiled inventory of species. Specifically, around the Antarctic peninsula, studies have focused primarily on the South Shetland Islands and the Weddell Sea (Gutt and Piepenburg, 1991; Massin 1992; Piepenburg *et al.*, 1997; Moles *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2015), and in many studies, the information is generally recorded for the peninsula without detailing localities. Few studies specifically include information on the Palmer Archipelago or Trinidad Island that form the Gerlache Strait (Greig, 1929; Manjón-Cabeza *et al.*, 2001; Manjón-Cabeza and Ramos, 2003). Taking into account the diversity and ecological importance of echinoderms in Antarctic and sub-Antarctic communities, as well as the little specific information for the Gerlache Strait and adjacent islands, this work contributes to the inventory of echinoderms in this area of the Antarctic Peninsula, expanding the

inventario de los equinodermos presentes en esta área de la península Antártica, ampliando el conocimiento de las especies especialmente en cuanto a su distribución geográfica y batimétrica. Se aprovechan muestras recolectadas de forma incidental con el fin de aportar a la línea base que se está construyendo para generar nuevos aportes a los inventarios y a la información biológica del estrecho de Gerlache, con el fin de definir posibles áreas de conservación en esta región. Estos resultados hacen parte del proyecto “Biodiversidad y Condiciones Oceanográficas del Estrecho de Gerlache, Biogerlache-Antártica”, que está incluido en la agenda científica Antártica del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, que inició en 2014 con tres frentes de trabajo enfocados a cambio climático, conservación y biodiversidad.

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

El estrecho de Gerlache, se encuentra ubicado al oeste de la península Antártica, separando ésta del archipiélago Palmer, extendiéndose en dirección suroeste a noreste incluyendo la isla Trinidad, posee una profundidad entre los 270 y 1100 m, con pendientes de 20° (Figura 1) (Anderson, 1999). Este, junto con el estrecho de Bransfield (Figura 1), de 220 km de largo y 120 km de ancho entre la península Antártica y las numerosas islas que conforman el archipiélago islas Shetland del Sur, constituyen sitios de interés para la comunidad científica; dado que ofrecen la oportunidad de estudiar la composición, estructura y dinámica de varias comunidades marinas, especialmente de la fauna bentónica (Secretariat of the Antarctic Treaty, 2009).

Recolección de muestras

Durante las expediciones científicas colombianas a la Antártica realizadas entre 2016 y 2019 (III - Expedición Almirante Padilla y V - Expedición Almirante Campos) se muestrearon 11 estaciones con el fin de caracterizar la comunidad bentónica de fondos blandos (Tabla 1). Los muestreos se hicieron utilizando muestreadores de sedimentos: una draga Shipek (0,04 m³) durante la III Expedición y una draga Van Veen (0,066 m³) durante la V Expedición. Una vez lanzadas y recuperadas las dragas, antes de tamizar y preservar el sedimento, la mega-epifauna y el material de la capa superior del dragado fue separado manualmente (restos vegetales, rocas pequeñas, entre otros), con el fin de aprovechar estas recolectas incidentales. La mega-epifauna fue anestesiada en una solución de agua de

knowledge of the species, especially in terms of their geographical and bathymetric distribution. Incidentally collected samples contribute to the baseline that is being developed to generate new contributions to the inventories and biological information of the Gerlache Strait, in order to define possible conservation areas in this region. These results are part of the “Biodiversity and oceanographic conditions of the Gerlache Strait, Biogerlache-Antarctica” project, which is included in the Antarctic scientific agenda of the Marine and Coastal Research Institute- Invemar, which began in 2014 with three working approaches on climate change, conservation, and biodiversity.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The Gerlache Strait is located to the west of the Antarctic Peninsula, separating it from the Palmer Archipelago, extending in a southwest to northeast direction including Trinidad Island, it has a depth between 270 and 1100 m, with slopes of 20 ° (Figure 1) (Anderson, 1999). Together with the Bransfield Strait (Figure 1), 220 km long and 120 km wide between the Antarctic Peninsula and the numerous islands that make up the South Shetland Islands archipelago, they constitute sites of interest to the scientific community; since they offer the opportunity to study the composition, structure, and dynamics of various marine communities, particularly benthic fauna (Secretariat of the Antarctic Treaty, 2009).

Sampling

During the Colombian scientific expeditions to Antarctica carried out between 2016 and 2019 (III - Admiral Padilla Expedition and V - Admiral Campos Expedition), 11 stations were sampled to characterize the soft bottom benthic community (Table 1). The samplings were carried out using sediment grab samplers: a Shipek dredge (0.04 m³) during the III Expedition and a Van Veen grab (0.066 m³) during the V Expedition. Once the grab samplers were deployed and recovered, before sieving and preserving the sediment, the mega-epifauna and the material of the dredging upper layer were manually separated (plant remains, small rocks, among others), to take advantage of these incidentally collecting. The mega-epifauna was anesthetized in a solution of filtered seawater with 10 % magnesium chloride in the dark, and later fixed and preserved in 96 % alcohol. The upper layer material was directly preserved in 96 % alcohol.

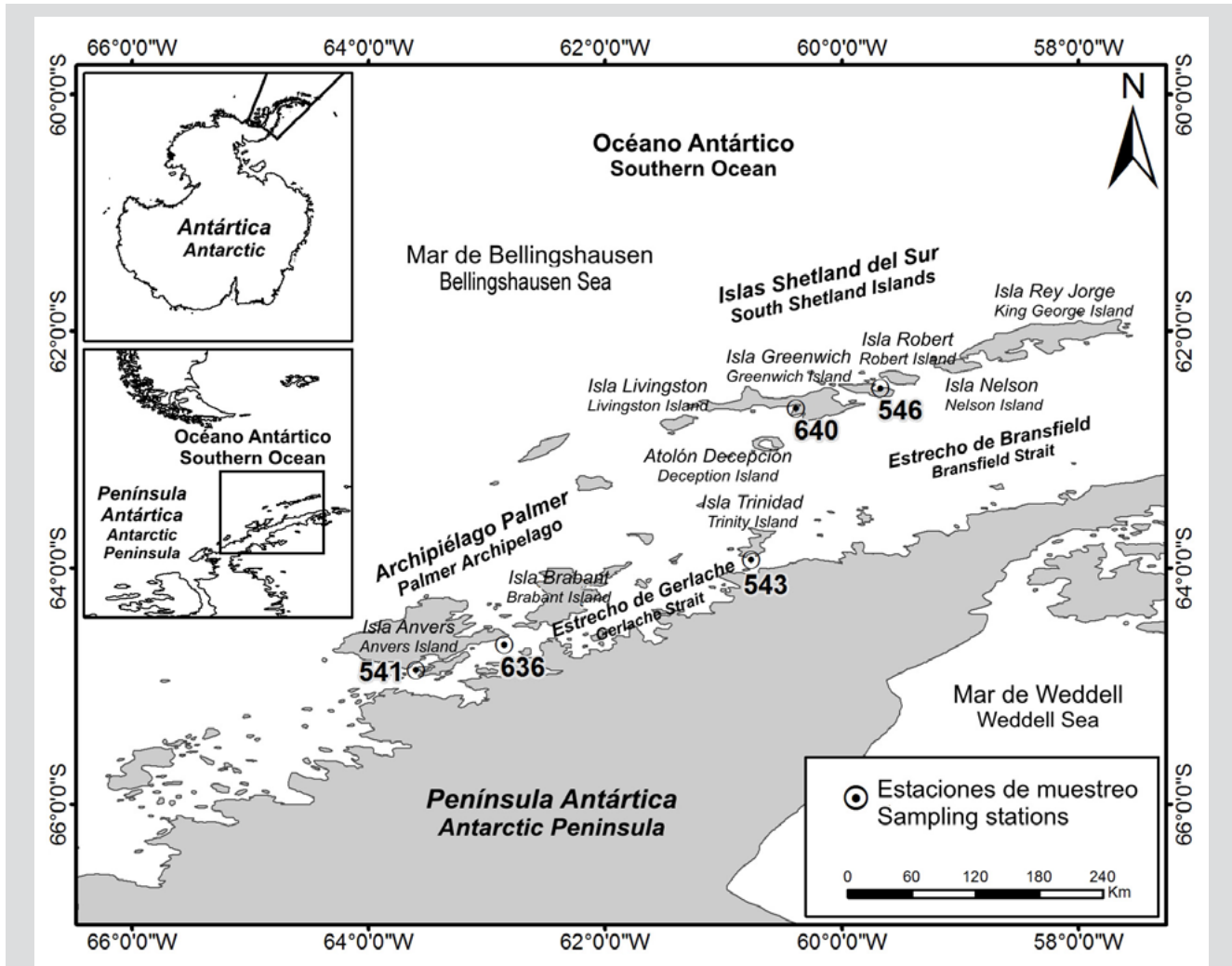


Figura 1. Área de estudio presentando la ubicación de las estaciones en las que se recolectaron equinodermos durante las expediciones científicas colombianas a la Antártica: III Expedición Almirante Padilla (2016-2017) –Estaciones 541, 543 y 546 y V Expedición Almirante Campos (2018-2019) – Estaciones 636 y 640.

Figure 1. Study area showing the location of the stations where echinoderms were collected during the Colombian scientific expeditions to Antarctica: III Admiral Padilla Expedition (2016-2017) –Stations 541, 543, and 546 and V Admiral Campos Expedition (2018 -2019) - Stations 636 and 640.

mar filtrada con cloruro de magnesio a 10 % en oscuridad y posteriormente fijada y preservada en etanol al 96 %. El material de la capa superior fue preservado directamente en etanol al 96 %.

Los ejemplares y las muestras fueron almacenados en bolsas o recipientes rotulados y transportados al Invemar. En el laboratorio los equinodermos mega-epifaunales se revisaron y se separaron por morfotipos. Así mismo, la macro-epifauna presente en el material de la capa superior de los sedimentos se revisó utilizando estereoscopios y se separaron los ejemplares observados organizándolos por morfotipos. Todos los morfotipos encontrados se identificaron y se les realizó el registro fotográfico de acuerdo a las características morfológicas de interés de

The specimens and samples were stored in labeled bags or containers and transported to Invemar. In laboratory, the mega-epifaunal echinoderms were reviewed and separated by morphotypes. Likewise, the macro-epifauna present in the sediments upper layer was reviewed using stereo microscopes and the observed specimens were separated by morphotypes. All the morphotypes found were identified and the photographic record was made according to the morphological characteristics of interest of each one. For taxonomic identification, the following references were used for each class: Crinoidea: Messing (2019, 2020a, b, c, d), Antarctic Underwater Field Guide (2019); Asteroidea: Clark and Downey (1992), Janosik and Halanych (2010), Peck *et al.* (2018);



cada uno. Para la identificación taxonómica se utilizaron las siguientes referencias para cada clase: Crinoidea: Messing (2019, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d), Antarctic Underwater Field Guide (2019); Asteroidea: Clark y Downey (1992), Janosik y Halanych (2010), Peck *et al.* (2018); Ophiuroidea: Bell (1902), Koehler (1912), Matsumoto (1915, 1917), Mortensen (1927, 1936), Fell (1960), A.M. Clark (1970); y Holothuroidea: Miller y Pawson (1984), O’Loughlin y VandenSpiegel (2010), O’Loughlin *et al.* (2010, 2015), Thandar (2013), Martínez (2014) and Moura *et al.* (2015). Los ejemplares recolectados fueron depositados en la colección de equinodermos del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) del Inveemar (INV EQU) enriqueciendo las colecciones biológicas y generando la posibilidad de participar en trabajos taxonómicos comparativos.

Ophiuroidea: Bell (1902), Koehler (1912), Matsumoto (1915, 1917), Mortensen (1936), Fell (1960), A.M. Clark (1970), Mortensen (1927) and Holothuroidea: Miller and Pawson (1984), O’Loughlin and VandenSpiegel (2010), O’Loughlin *et al.* (2010), Thandar (2013), Martínez (2014), Moura *et al.* (2015), O’Loughlin *et al.* (2015). The collected specimens were deposited in the echinoderms collection of the Marine Natural History Museum of Colombia (MHNMC) of Inveemar (INV EQU) enriching the biological collections and generating the possibility of participating in comparative taxonomic works.

Tabla 1. Estaciones muestreadas durante las expediciones científicas colombianas a la Antártica: III Expedición Almirante Padilla (2016-2017) y V Expedición Almirante Campos (2018-2019). En las estaciones indicadas en negrita y con asterisco se recolectaron equinodermos.

Table 1. Stations sampled during the Colombian scientific expeditions to Antarctica: III Admiral Padilla Expedition (2016-2017) and V Admiral Campos Expedition (2018-2019). Echinoderms were collected at the stations indicated in bold and with an asterisk.

Expedición / Expedition	Estación / Station	Localidad / Location	Fecha / Date	Profundidad / Depth	Latitud / Latitude	Longitud / Longitude
III	540	Isla Livingston, Islas Shetland del Sur / Livingston Island, South Shetland Islands	13/01/2017	49 m	62°39'23.3"S	60°23'50.2"W
III	541*	Base Yelcho, Estrecho de Gerlache / Base Yelcho, Strait of Gerlache	15/01/2017	54 m	64°52'14.3" S	63°36'5-8" W
III	542	Isla Anvers, Estrecho de Gerlache / Anvers Island, Gerlache Strait	17/01/2017	30 m	64°46'09.5"S	64°03'30.2"W
III	543*	Puerto Mikelsen, Isla Trinidad, Estrecho de Gerlache / Mikelsen Port, Trinidad Island, Gerlache Strait	17/01/2017	98 m	63°56'8.9" S	60°46'6.0" W
III	544	Isla Trinidad, Estrecho de Gerlache / Trinidad Island, Gerlache Strait	25/01/2017	187 m	63°55'47.6" S	60°47'28.4" W
III	545	Atolón Decepción, Islas Shetland del Sur / Deception Atoll, South Shetland Islands	26/01/2017	89 m	62°59'03.7" S	60°33'42.4" W
III	546*	Isla Greenwich, Islas Shetland del Sur / Greenwich Island, South Shetland Islands	27/01/2017	29 m	62°29'6.3" S	59°40'41.1" W
V	633	Estrecho de Gerlache, cerca de Isla Brabant / Gerlache Strait, near Brabant Island	31/12/2108	200 m	64°25'35.2"S	62° 4'2.9"W
V	636*	Estrecho de Gerlache, cerca de Isla Anvers / Gerlache Strait, near Anvers Island	03/01/2019	523 m	64°39'14.6" S	62°51'5.3" W
V	640*	Isla Livingston, Islas Shetland del Sur / Livingston Island, South Shetland Islands	14/01/2019	57 m	62°39'19.1" S	60°23'17.5" W
V	641	Bahía Guillermina, Estrecho de Gerlache / Guillermina Bay, Strait of Gerlache	13/01/2019	50 m	64°34' 47.5"S	62°12' 05.1"W

RESULTADOS

De las once estaciones muestreadas solo se encontraron equinodermos en cinco de ellas (Figura 1, Tabla 1), recolectando un total de 29 individuos los cuales se identificaron en 13 morfotipos que pertenecieron a las clases Ophiuroidea (cinco morfotipos), Holothuroidea (cuatro), Asteroidea (dos) y Crinoidea (dos) (Tabla 2). En la estación 541, ubicada en la Base Yelcho en el estrecho de Gerlache, se encontró la mayor cantidad de morfotipos (nueve en total), en las otras estaciones del estrecho se encontraron dos morfotipos en la 543 (isla Trinidad) y uno en la 636 (isla Anvers) (Figura 1, Tabla 2). En las estaciones muestreadas en las islas Shetland del Sur se recolectaron tres morfotipos, dos en la estación 640 (isla Livingston) y uno en la 546 (isla Greenwich) (Figura 1, Tabla 2). Seis de los morfotipos identificados son organismos de la mega-epifauna que fueron separados directamente en campo, los siete morfotipos restantes se encontraron después de hacer la revisión con estereoscopios del material de la capa superior de los dragados (Tabla 2). A continuación se describen las principales características morfológicas, así como la distribución geográfica y batimétrica de las especies recolectadas y algunos comentarios.

Tabla 2. Listado de los equinodermos recolectados. Expediciones: III - Expedición Almirante Padilla (2016-2017); V - Expedición Almirante Campos (2018-2019); Estaciones: 541, 543 y 636 Estrecho de Gerlache; 546 y 640 Islas Shetland del Sur (Figura 1, Tabla 1); G-Mega-epifauna; C-Macro-epifauna.

Taxa	Figura / Figure	No. Catalogo / No. Catalog (MHNMC)	No. Ind. (G, C)	Expedición - Estación - Profundidad / Expedition - Station - Depth (m)
Clase Crinoidea				
Orden Comatulida				
Familia Antedonidae				
<i>Promachocrinus kerguelensis</i> Carpenter, 1879	2a, b	INV EQU4722	1 (G)	III / 541 / 54
<i>Anthometrina adriani</i> (Bell, 1908)	2c-e	INV EQU4735	1 (G)	V / 636 / 523
Clase Asteroidea				
Orden Valvatida				
Familia Asteroidea				
Asteroidea sp. indet.	3a, b	INV EQU4723	1 (C)	III / 543 / 98
Familia Odontasteridae				
<i>Odontaster validus</i> Koehler, 1906	3c-f	INV EQU4736	1 (G)	V / 640 / 57

RESULTS

Of the eleven stations sampled, only in five of them echinoderms were found (Figure 1, Table 1), collecting a total of 29 individuals, identified in 13 morphotypes belonged to the classes Ophiuroidea (5 morphotypes), Holothuroidea (4), Asteroidea (2) and Crinoidea (2) (Table 2). The largest number of morphotypes (9 in total) was found at Station 541, located at Yelcho Base in the Gerlache Strait, while at station 543 (Trinidad Island) two morphotypes were found, and one morphotype in the station 636 (Anvers Island) (Figure 1, Table 2). At the South Shetland Islands sampled stations, three morphotypes were collected, two at station 640 (Livingston Island) and one at 546 (Greenwich Island) (Figure 1, Table 2). Six of the identified morphotypes are mega-epifauna organisms that were separated directly in the field, the remaining seven morphotypes were found after reviewing the dredges upper layer material using stereo microscopes (Table 2). The main morphological characteristics, as well as the geographical and bathymetric distribution of the species collected and some comments, are described below.

Table 2. List of collected echinoderms. Expeditions: III - Admiral Padilla Expedition (2016-2017); V - Admiral Campos Expedition (2018-2019); Stations: 541, 543, and 636 Gerlache Strait; 546 and 640 South Shetland Islands (Figure 1, Table 1); G-Mega-epifauna; C-Macro-epifauna.



Taxa	Figura / Figure	No. Catalogo / No. Catalog (MHNMC)	No. Ind. (G, C)	Expedición - Estación - Profundidad / Expedition - Station - Depth (m)
Clase Ophiuroidea				
Orden Amphilepidida				
Familia Amphilepididae				
Amphilepididae sp. indet.	4i, j	INV EQU4726	1 (C)	III / 541 / 54
Familia Amphiuridae				
<i>Amphiura</i> cf. <i>joubini</i> Koehler, 1912	4a, b	INV EQU4724	4 (C)	III / 541 / 54
<i>Amphiura</i> cf. <i>microplax</i> Mortensen, 1936	4c, d	INV EQU4730	1 (C)	III / 541 / 54
Orden Ophiurida				
Familia Ophiopyrgidae				
<i>Amphiophiura</i> sp.	4e, f	INV EQU4725 INV EQU4728	9 (C)	III / 541, 543 / 54, 98
Familia Ophiuridae				
<i>Ophionotus victoriae</i> Bell, 1902	4g, h	INV EQU4729	5 (G)	III / 546 / 29
Clase Holothuroidea				
Orden Apodida				
Familia Chiridotidae				
<i>Taeniogyrus</i> cf. <i>prydzii</i> O'Loughlin & VandenSpiegel, 2010	5a-c	INV EQU4734	2 (C)	III / 541 / 54
Orden Dendrochirotida				
Familia Cucumariidae				
<i>Trachythione</i> cf. <i>parva</i> (Ludwig, 1875)	6a-e	INV EQU4732	1 (G)	III / 541 / 54
Familia Psolidae				
<i>Psolus</i> sp.	6f, g	INV EQU4733	1 (C)	III / 541 / 54
Orden Molpadida				
Familia Molpadiidae				
<i>Molpadia violacea</i> Studer, 1876	5d-f	INV EQU4737	1 (G)	V / 640 / 57

Clase Crinoidea

Se recolectaron dos individuos identificados como *Promachocrinus kerguelensis* Carpenter, 1879 y *Anthometrina adriani* (Bell, 1908) (Figura 2, Tabla 2). *Promachocrinus kerguelensis* se recolectó en el estrecho de Gerlache a 54 m de profundidad. Se caracteriza por presentar 20 brazos que surgen a partir de diez oscículos radiales (Figura 2a, b). Su distribución es circumpolar entre 65 y 1162 m de profundidad y es una especie común

Class Crinoidea

Two individuals identified as *Promachocrinus kerguelensis* Carpenter, 1879 and *Anthometrina adriani* (Bell, 1908) were collected (Figure 2, Table 2). *Promachocrinus kerguelensis* was collected in the Gerlache Strait at 54 m depth. It is characterized by presenting 20 arms that arise from ten radial ossicles (Figure 2a, b). Its distribution is circumpolar between 65 and 1162 m depth and it is a common species in the Antarctic peninsula, registered in

en la península Antártica, registrada en las islas Shetland del Sur (Hemery *et al.*, 2012; Eléaume *et al.*, 2014). Se considera la especie de crinoideo más abundante y la más variable morfológicamente en el océano Austral (Hemery *et al.*, 2013). Actualmente es la única especie aceptada en el género, varias especies descritas previamente se han

the South Shetland Islands (Hemery *et al.*, 2012; Eléaume *et al.*, 2014). It is considered the most abundant and morphologically variable crinoid species in the Southern Ocean (Hemery *et al.*, 2013). It is currently the only accepted species in the genus, several previously described species have been synonymized (Messing, 2019; Messing, 2020a,



Figura 2. Clase Crinoidea. *Promachocrinus kerguelensis* a. Vista oral y b. Vista lateral; *Anthometrina adriani* c. Vista general y d. - e. Detalle de los brazos, el centrodorsal y los cirros.

Figure 2. Class Crinoidea. *Promachocrinus kerguelensis* a. Oral view and b. Lateral view; *Anthometrina adriani* c. General view and d. - e. Detail of the arms, centrodorsal, and cirri.

sinonimizado (Messing, 2019, 2020a, 2020b). Sin embargo, con base en datos moleculares (ADN mitocondrial) se han encontrado siete linajes simpátricos en la Antártica (Hemery *et al.*, 2012; Eléaume *et al.*, 2014).

Anthometrina adriani también se recolectó en el estrecho de Gerlache a 523 m de profundidad. Se caracteriza por presentar 10 brazos que surgen a partir de cinco osículos radiales, segmentos distales de las pínulas orales con una estructura en forma de peine, centro dorsal cónico con numerosos cirros que lo cubren en su mayor parte, y tubérculos “sinartriales” bien desarrollados (Figura 2d-e) (Messing, 2019, 2020d). Al igual que *P. kerguelensis*, es una especie circumpolar, aunque se encuentra en la península Antártica sus poblaciones en esta área presentan pocos individuos en comparación con las de la Antártica oriental (Eléaume *et al.*, 2014). Además, es una especie confinada a la plataforma antártica alta (aproximadamente por encima de 67 °S), que no se ha registrado en las islas Shetland del Sur, en el arco de Escocia, ni en las islas subantárticas (Eléaume *et al.*, 2014), por lo que este registro extiende su distribución geográfica hasta 64° 39' S.

Clase Asteroidea

Se recolectaron dos individuos, uno se identificó como *Odontaster validus* Koehler, 1906 y el otro se identificó hasta el nivel taxonómico de familia (Asteroidea) (Figura 3, Tabla 2). El ejemplar identificado en la familia Asteroidea se recolectó en Puerto Mikelsen (isla Trinidad, estrecho de Gerlache) a 98 m de profundidad. Podría ser un juvenil considerando su talla (R=4 mm), sin embargo, la distribución de las espinas del área abactinal, en dos hileras laterales y una central (Figura 3a, b) es una característica con base en la cual podría hacerse una identificación hasta un nivel taxonómico más bajo. Asteroidea es una de las familias más diversas en la Antártica, en algunos trabajos se ha registrado con el mayor número de especies, superior a Astropectinidae y Goniasteridae (Majón-Cabeza *et al.*, 2001).

Odontaster validus se recolectó en la isla Livingston (islas Shetland del Sur) a 57 m de profundidad. Esta estrella se caracteriza por presentar las paxilas del área abactinal radial con aproximadamente 12 espinas pequeñas, lisas, delgadas y cónicas (Figura 3e), placas marginales cubiertas por espinas, no gránulos (Figura 3c), placas actinales cubiertas por hasta siete espinas pequeñas delgadas, y dos o tres espinas del surco (Figura 3d, f). Janosik y Halanych (2010) describieron dos especies estrechamente relacionadas *O. roseus* y *O. pearsei* las cuales se han confirmado

b). However, based on molecular data (mitochondrial DNA), seven sympatric lineages have been found in Antarctica (Hemery *et al.*, 2012; Eléaume *et al.*, 2014).

Anthometrina adriani was also collected in the Gerlache Strait at 523 m depth. It is characterized by presenting 10 arms that arise from 5 radial ossicles, distal segments of the oral pinnules with a comb-shaped structure, conical centrodorsal covered by numerous cirri, and well-developed “synarthrial” tubercles. (Figure 2d-e) (Messing, 2019; Messing, 2020d). Like *P. kerguelensis*, it is a circumpolar species, although it is found in the Antarctic peninsula, its populations in this area have few individuals compared to those in eastern Antarctica (Eléaume *et al.*, 2014). Furthermore, it is a species confined to the high Antarctic shelf (approximately above 67 ° S), which has not been recorded from the South Shetland Islands, the Scottish arc, or the sub-Antarctic islands (Eléaume *et al.*, 2014), so this record extends its geographic distribution to 64 ° 39 'S.

Class Asteroidea

Two individuals were collected, one was identified as *Odontaster validus* Koehler, 1906, and the other was identified to the taxonomic level of Family (Asteroidea) (Figure 3, Table 2). The specimen identified in the Family Asteroidea was collected in Puerto Mikelsen (Trinidad Island, Gerlache Strait) at 98 m depth. It could be a juvenile considering its size (R = 4 mm), however, the distribution of the abactinal spines, in two lateral rows and a central one (Figure 3a, b) is a characteristic on the basis of which identification could be made to a lower taxonomic level. Asteroidea is one of the most diverse families in Antarctica, in some works it has been recorded with the largest number of species, overcoming Astropectinidae and Goniasteridae (Majón-Cabeza *et al.*, 2001).

Odontaster validus was collected on Livingston Island (South Shetland Islands) at 57 m depth. This starfish is characterized by having the paxilas of the radial abactinal area with approximately 12 small, smooth, thin, and conical spines (Figure 3e), marginal plates covered by spines, without granules (Figure 3c), actinal plates covered by up to seven small thin spines, and two or three furrow spines (Figure 3d, f). Janosik and Halanych (2010) described two closely related species, *O. roseus* and *O. pearsei* which have been confirmed using DNA barcodes, however, Peck *et al.* (2018) have registered a high variability in some of the morphological characteristics that distinguish the three

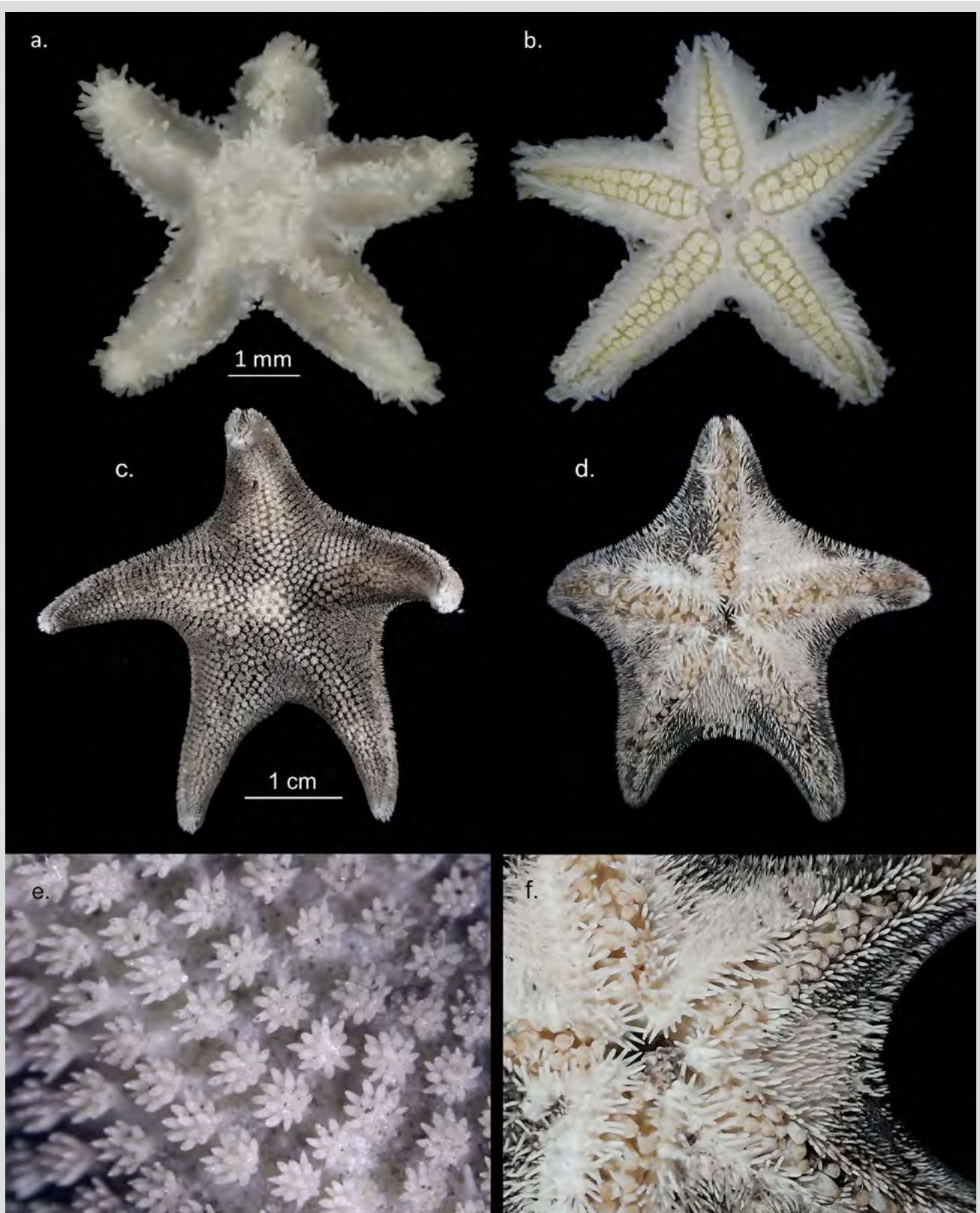


Figura 3. Clase Asteroidea. Asteriidae sp. **a.** Vista dorsal y **b.** Vista ventral; *Odontaster validus* **c.** Vista dorsal, **d.** Vista ventral, **e.** Detalle de las paxilas, **f.** Detalle de las áreas interradiales.

Figure 3. Class Asteroidea. Asteriidae sp. **a.** Dorsal view and **b.** Ventral view; *Odontaster validus* **c.** Dorsal view, **d.** Ventral view, **e.** Detail of the paxilas, **f.** Detail of the interradial areas.

utilizando códigos de barras del ADN; sin embargo, Peck *et al.* (2018) han registrado una alta variabilidad en algunas de las características morfológicas que distinguen a las tres especies. *Odontaster validus* es la especie de estrella de mar más común y abundante en los ambientes poco profundos del continente antártico (Dearborn, 1977; Neill *et al.*, 2016), su distribución es circumpolar, incluyendo la isla Georgia del Sur y la isla Bouvet (Janosik y Halanych, 2010). Moles *et al.* (2015) la registran en el atolón Decepción (islas Shetland del Sur) y en el mar de Weddell.

Clase Ophiuroidea

Se recolectaron 20 ejemplares de esta clase que pertenecieron a cinco morfotipos, uno de ellos se identificó hasta familia (Amphilepididae), otro hasta género (*Amphiophiura*) y los demás se identificaron hasta especie: *Ophionotus victoriae* Bell, 1902, *Amphiura* cf. *joubini* Koehler, 1912 y *Amphiura* cf. *microplax* Mortensen, 1936, aunque dos de ellos están por confirmar (Figura 4, Tabla 2). *Ophionotus victoriae* se recolectó en la isla Greenwich (islas Shetland del sur) a 29 m de profundidad; los otros cuatro morfotipos se recolectaron en la Base Yelcho en el estrecho de Gerlache a 54 m de profundidad. Entre ellos *Amphiophiura* sp. fue el único morfotipo que se encontró en más de una estación, en Puerto Mikelsen-Isla Trinidad, también en el Estrecho a 98 m; además es el morfotipo con el mayor número de individuos en los muestreos.

Amphiura joubini (Figura 4a, b) se caracteriza por presentar un disco cubierto de escamas pequeñas y finas, siendo más pequeñas en la superficie ventral; escudos radiales alargados y estrechos (cuatro veces más largos que anchos); escudos orales pequeños, triangulares, tan largos como anchos; papilas orales proximales gruesas en forma de bloque y papilas orales distales espiniformes; escama bucal grande; placas braquiales dorsales grandes y pentagonales, más anchas que altas; seis espinas braquiales y dos escamas tentaculares pequeñas, de las cuales, la externa es más grande. Los ejemplares recolectados concuerdan con todas las características mencionadas, sin embargo, poseen cuatro espinas braquiales y toda la superficie ventral del disco está cubierta por escamas pequeñas (Figura 4a, b), lo que difiere con la diagnosis y con algunas descripciones de esta especie donde se menciona que la zona cerca al escudo oral es “parcialmente desnuda” (Koehler, 1912; Brogger y O’Hara, 2015). *Amphiura joubini* es una especie común en la Antártica, siendo registrada en grava y arena de 15 a 2345 m de profundidad en la península Antártica, mar Bellingshausen y el mar de Weddell e islas adyacentes

species. *O. validus* is the most common and abundant starfish species in the shallow environments of the Antarctic continent (Dearborn, 1977; Neill *et al.*, 2016), its distribution is circumpolar, including South Georgia Island and Bouvet Island (Janosik and Halanych, 2010). Moles *et al.* (2015) record it in Deception Atoll (South Shetland Islands) and in the Weddell Sea.

Class Ophiuroidea

Twenty specimens of this class were collected belonged to five morphotypes, one of them was identified to family (Amphilepididae), another to genus (*Amphiophiura*), and the others were identified to species: *Ophionotus victoriae* Bell, 1902, *Amphiura* cf. *joubini* Koehler, 1912 and *Amphiura* cf. *microplax* Mortensen, 1936, although two of them have not yet confirmed (Figure 4, Table 2). *O. victoriae* was collected on Greenwich Island (South Shetland Islands) at 29 m depth; the other four morphotypes were collected at Base Yelcho in the Gerlache Strait at 54 m depth. Among them, *Amphiophiura* sp. was the only morphotype found in more than one station, in Mikelsen Port-Trinidad Island, and also in the Strait at 98 m depth; furthermore it is the morphotype with the highest number of individuals in the samplings.

Amphiura joubini (Figure 4a, b) is characterized by presenting a disc covered with small and fine scales, being smaller on the ventral surface; elongated and narrow radial shields (four times as long as wide); small and triangular oral shields, as long as wide; block-shaped thick proximal oral papillae and spiniform distal oral papillae; large oral scale; large and pentagonal dorsal brachial plates, wider than long; six brachial spines and two small tentacular scales, of which the outer one is larger. The specimens collected agree with all mentioned characteristics, however, they have four brachial spines and the entire ventral surface of the disc is covered by small scales (Figure 4a, b), which differs with the diagnosis and with some descriptions of this species where it is mentioned that the area near the oral shield is “partially bare” (Koehler, 1912; Brogger and O’Hara, 2015). *A. joubini* is a common species in Antarctica, being recorded in gravel and sand from 15 to 2345 m depth in the Antarctic Peninsula, the Bellingshausen Sea, and the Weddell Sea and adjacent islands (Koehler, 1912; Moles *et al.*, 2015). It is frequently confused with *A. princeps* Koehler, 1907 due to its great morphological similarity, however, the latest has rounded distal oral papillae (Brogger and O’Hara, 2015) and seems to have a shallower bathymetric distribution in the Southern

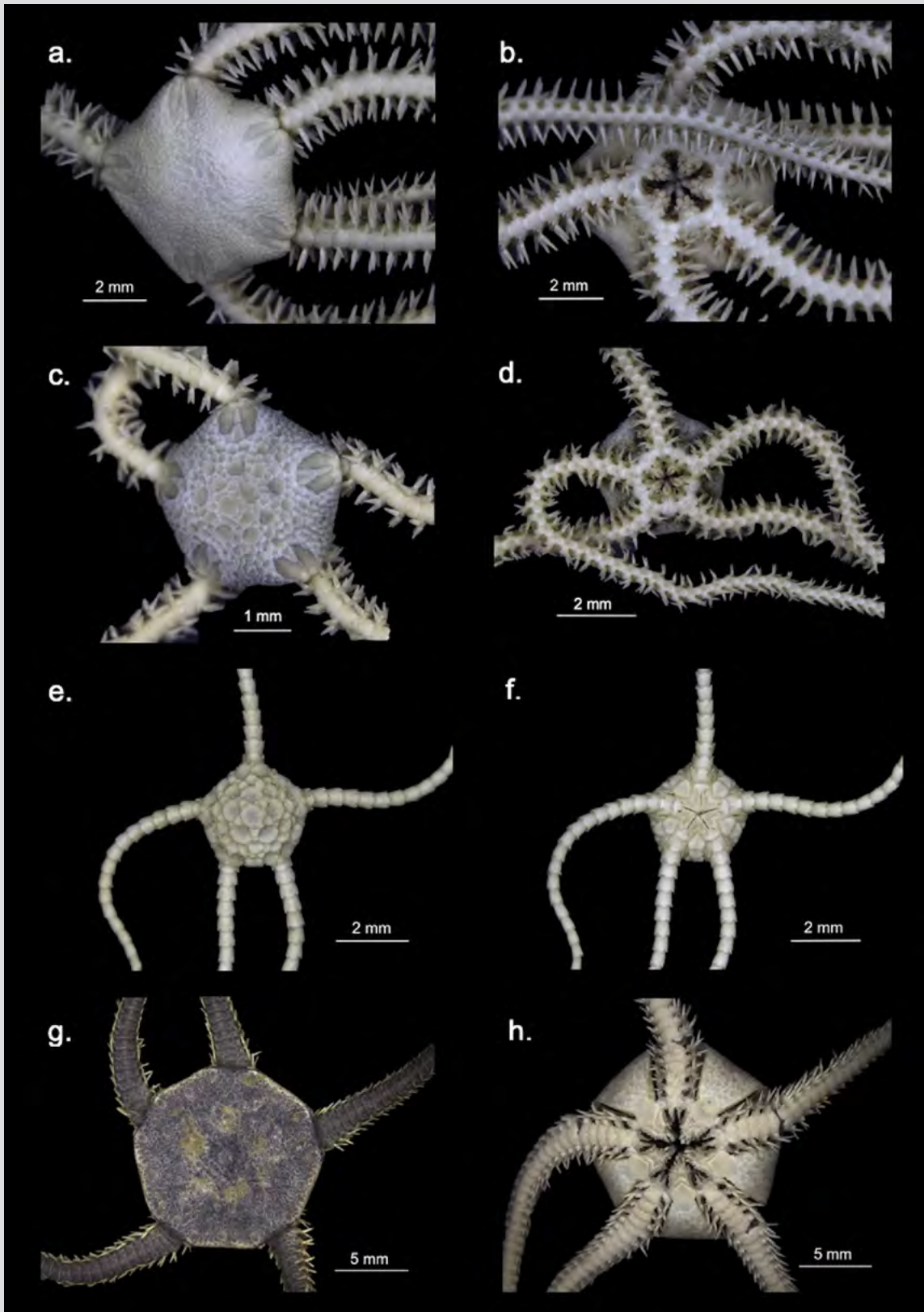


Figura 4. Clase Ophiuroidea. *Amphiura* cf. *joubini* **a.** Vista dorsal y **b.** Vista ventral; *Amphiura* cf. *microplax* **c.** Vista dorsal y **d.** Vista ventral; *Amphiophiura* sp. **e.** Vista dorsal y **f.** Vista ventral; *Ophionotus victoriae* **g.** Vista dorsal y **h.** Vista ventral; Amphilepididae **i.** Vista dorsal y **j.** Vista ventral.

Figure 4. Class Ophiuroidea. *Amphiura* cf. *joubini* **a.** Dorsal view, **b.** Ventral view; *Amphiura* cf. *microplax* **c.** Dorsal view, **d.** Ventral view; *Amphiophiura* sp. **e.** Dorsal view, **f.** Ventral view; *Ophionotus victoriae* **g.** Dorsal view, **h.** Ventral view; Amphilepididae **i.** Dorsal view, **j.** Ventral view.

(Koehler, 1912; Moles *et al.*, 2015). Frecuentemente es confundida con *A. princeps* Koehler, 1907 debido a su gran similitud morfológica; sin embargo, esta última presenta papilas orales distales redondeadas (Brogger y O'Hara, 2015) y parece tener una distribución batimétrica más somera en el hemisferio sur (Alitto *et al.*, 2018). No obstante, Brogger y O'Hara (2015) enfatizan en la necesidad de revisar los registros de estas especies a fin de establecer correctamente sus distribuciones geográficas y batimétricas.

Amphiura microplax (Figura 4c, d) se caracteriza por presentar un disco pentagonal cubierto de escamas medianas, entre las que se destacan las seis placas primarias (roseta); escudos radiales cortos, separados en su parte proximal; superficie ventral del disco cubierto de escamas pequeñas; escudos orales pentagonales; escudos adorales triangulares y grandes, tocándose en su extremo proximal; placas braquiales ventrales cuadradas; placas braquiales dorsales romboidales; cinco espinas braquiales cortas y cónicas en los segmentos basales y una escama tentacular pequeña, el tamaño de esta escama diferencia a *A. microplax* de las demás especies del género con una sola escama tentacular que están registradas para aguas Antárticas (Mortensen, 1936). Los ejemplares recolectados concuerdan con esta diagnosis; sin embargo, al no contar con fotografías y bibliografía suficiente para comparar, aún no se ha confirmado su identificación (Figura 4c, d). Esta especie es vivípara y partenogénica (Mortensen, 1936), siendo registrada en la península Antártica, el mar de Weddell, la planicie Enderby, las islas Georgias del Sur, las islas Orkney del Sur, islas Shetland del Sur y las islas Sandwich del Sur, entre 96 y 486 m de profundidad (Dahm, 1999; Moles *et al.*, 2015). Una vez confirmada esta identificación, el presente registro correspondería al más somero de *A. microplax* (54 m).

Las especies del género *Amphiophiura* se caracterizan por presentar un disco abultado, cubierto de escamas y placas, entre las cuales, las primarias son muy prominentes, al igual que los escudos radiales; peines de los brazos y papilas genitales presentes; segundo poro tentacular por fuera de la hendidura oral y bordeado por varias escamas tentaculares; brazos no muy largos y con terminación roma; placas braquiales dorsales y ventrales bien desarrolladas; placas braquiales laterales altas, con espinas cortas y poros tentaculares grandes con numerosas escamas (Matsumoto, 1915). Los ejemplares recolectados presentan los caracteres diagnósticos del género y corresponden a un mismo morfotipo aún sin determinar hasta el nivel taxonómico de especie; por lo cual, se presenta como *Amphiophiura* sp.

hemisphere (Alitto *et al.*, 2018). However, Brogger and O'Hara (2015) emphasized the need to review the records of these species to correctly establish their geographic and bathymetric distributions.

Amphiura microplax (Figure 4c, d) is characterized by presenting a pentagonal disc covered with medium scales, among which the six primary plates (rosette) stand out; short radial shields, separated in its proximal part; ventral surface of the disc covered with small scales; pentagonal oral shields; large triangular adoral shields, touching at their proximal end; square ventral brachial plates; rhomboidal dorsal brachial plates; five short and conical brachial spines in the basal segments and a small tentacular scale, the size of this scale differentiates *A. microplax* from the other species of the genus with a single tentacular scale that are recorded for Antarctic waters (Mortensen, 1936). The specimens collected agree with this diagnosis, however, as there are not enough photographs and bibliography to compare, their identification has not yet been confirmed (Figure 4c, d). This species is viviparous and parthenogenic (Mortensen, 1936), has been recorded in the Antarctic Peninsula, Weddell Sea, Enderby Plain, South Georgia Island, South Orkney Islands, South Shetland Islands, and the South Sandwich Islands, between 96 and 486 m depth (Dahm, 1999; Moles *et al.*, 2015). Once this identification has been confirmed, this record would correspond to the shallower record of *A. microplax* (54 m).

The species of the genus *Amphiophiura* are characterized by presenting a swollen disc, covered with scales and plates, among which the primaries are very prominent, as are the radial shields; arm combs and genital papillae present; second tentacular pore outside the oral cleft and bordered by several tentacular scales; arms not very long and with blunt termination; dorsal and ventral brachial plates well developed; long lateral brachial plates, with short spines and large tentacular pores with numerous scales (Matsumoto, 1915). The collected specimens present the diagnostic characters of the genus and correspond to the same morphotype still undetermined up to a taxonomic level of species; whereby, it is presented as *Amphiophiura* sp. (Figure 4e, f). This genus contains scavengers and predators (Frensen *et al.*, 2010), of which there are four recorded species for Antarctic waters at depths between 66 and 4773 m (Frensen *et al.*, 2010; Moles *et al.*, 2015).

Ophionotus victoriae (Figure 4g, h) is characterized by presenting a disc covered by several small and fine scales;

(Figura 4e, f). Este género contiene especies carroñeras y depredadoras (Frensen *et al.*, 2010), de las cuales, hay cuatro registradas para aguas antárticas a profundidades entre 66 y 4773 m (Frensen *et al.*, 2010; Moles *et al.*, 2015).

Ophionotus victoriae (Figura 4g, h) se caracteriza por presentar un disco cubierto por varias escamas pequeñas y finas; cinco brazos; segundo poro tentacular por fuera de la cavidad oral y bordeado por varias escamas tentaculares; placas braquiales laterales pequeñas, placas braquiales dorsales fragmentadas en una placa central con tres a cuatro placas pequeñas a los lados y papilas genitales a lo largo de las hendiduras genitales, las cuales alcanzan el borde del disco (Bell, 1902; Koehler, 1912) (Figura 4g, h). *Ophionotus victoriae* es circumpolar y posiblemente el ofiuroideo más abundante y común en el bentos antártico, contando con una amplia distribución en la parte alta de la Antártica, en las islas Shetland del Sur, las islas Georgias del Sur, islas Orkney del Sur, islas Sandwich del Sur, la península Antártica, el estrecho de Gerlache, el mar de Ross, el mar de Wedell, el mar de Amundsen, isla Bouvet y en la planicie Enderby (Dahm, 1999; Moya *et al.*, 2003; Moles *et al.*, 2015). Habita una variedad de sustratos, siendo encontrada en fondos blandos (lodo y grava) y fondos rocosos; entre 0 y 1704 m de profundidad (Grange *et al.*, 2004; Moles *et al.*, 2015). Su dieta es muy variada, ya que, al ser oportunista, se alimenta de gran variedad de invertebrados como esponjas, poliquetos, bivalvos, copépodos, diatomeas, asteroideos, entre otros; también es carroñero y caníbal de juveniles de su misma especie (Fratt y Dearborn, 1984; Dahm, 1996; Grange *et al.*, 2004); incluso, si es necesario, consume material orgánico particulado depositado sobre el fondo como la materia fecal, incluyendo sus propios desechos. Esta plasticidad en la estrategia alimentaria le ha proporcionado ciertas ventajas como el crecimiento acelerado en los primeros años (Dahm, 1996).

Los familia Amphilepididae se caracteriza por presentar un disco cubierto de escamas intercaladas, entre las cuales, las primarias son muy evidentes; los escudos radiales a diferencia de su grupo hermano la familia Amphiuridae, son amplios y bien desarrollados; presenta papilas orales triangulares, las papilas infradentales no están dispuestas en bloque y presenta una papila apical, además, el segundo poro tentacular se encuentra fuera de la cavidad oral (Matsumoto, 1915, 1917; Mortensen, 1927). El ejemplar recolectado presenta los caracteres diagnósticos de la familia (Figura 4i, j); sin embargo, debido a la dificultad taxonómica de las especies dentro de la superfamilia Amphiuroidae aún no se llegado a una categoría taxonómica más baja. Desde que Matsumoto (1915)

five arms; second tentacular pore outside the oral cavity and bordered by several tentacular scales; small lateral brachial plates, dorsal brachial plates fragmented into a central plate with three to four small plates on the sides; and genital papillae along the genital clefts, which reach the disc edge (Bell, 1902; Koehler, 1912) (Figure 4g, h). *O. victoriae* is circumpolar and possibly the most abundant and common ophiuroid in the Antarctic benthos, with a wide distribution in upper Antarctica, in the South Shetland Islands, South Georgia Island, South Orkney Islands, South Sandwich Islands, the Antarctic Peninsula, Gerlache Strait, Ross Sea, Wedell Sea, Amundsen Sea, Bouvet Island, and the Enderby Plain (Dahm, 1999; Moya *et al.*, 2003; Moles *et al.*, 2015). It inhabits a variety of substrates, has been found in soft bottoms (mud and gravel) and rocky bottoms; between 0 and 1704 m depth (Grange *et al.*, 2004; Moles *et al.*, 2015). Its diet is very varied, since, being an opportunist, it feeds on a great variety of invertebrates such as sponges, polychaetes, bivalves, copepods, diatoms, asteroids, among others; it is also a scavenger and cannibal of juveniles of the same species (Fratt and Dearborn, 1984; Dahm, 1996; Grange *et al.*, 2004); it even consumes, if necessary, organic particulate material deposited on the bottom such as fecal matter, including its waste. This plasticity in the feeding strategy has provided certain advantages such as accelerated growth in the first years (Dahm, 1996).

The family Amphilepididae is characterized by presenting a disc covered with interspersed scales, among which the primaries are very evident; the radial shields, unlike its sister group the family Amphiuroidae, are broad and well developed; it presents triangular oral papillae, the infradental papillae are not block-shaped and it presents an apical papilla, also, the second tentacular pore is outside the oral cavity (Matsumoto, 1915, 1917; Mortensen, 1927). The specimen collected presents the diagnostic characters of the family (Figure 4i, j), however, due to the taxonomic difficulty of the species within the superfamilia Amphiuroidae, a lower taxonomic category has not yet been reached. Since Matsumoto (1915) erected the family Amphilepididae based on jaw characters to differentiate it from the Family Amphiuroidae, it has presented numerous taxonomic changes throughout history, which has made it difficult to correctly identify the genera and species that compose it (Koehler, 1922; AM Clark, 1970). Even, due to its great similarity with specimens of the genera *Histampica*, *Amphiura*, and *Amphioplus*, some authors such as A.M. Clark (1970) have proposed treating Amphilepididae as a subfamily of Amphiuroidae.

erigió la familia Amphilepididae basándose en caracteres de la mandíbula para diferenciarla de la familia Amphiuridae, ha presentado numerosos cambios taxonómicos a lo largo de la historia, lo que ha dificultado la correcta identificación de los géneros y especies que la componen (Koehler, 1922; A.M. Clark, 1970). Incluso, debido a su gran similitud con ejemplares de los géneros *Histampica*, *Amphiura* y *Amphioplus*, algunos autores como A.M. Clark (1970) han propuesto tratar a Amphilepididae como una subfamilia de Amphiuridae. Sin embargo, actualmente Amphilepididae se considera una familia válida con dos géneros aceptados: *Amphilepis* Ljungman, 1867 y *Ophiomonas* Djakonov, 1952 (Stöhr *et al.*, 2018), distribuyéndose principalmente en el hemisferio norte, pero con algunos registros en el hemisferio sur, incluyendo América del Sur, Madagascar y la Antártica (Mills y O'Hara, 2010). El individuo recolectado presenta el disco pentagonal cubierto por escamas; escudos radiales abultados y triangulares; escudos orales triangulares; dos papilas orales en cada lado de la mandíbula, la proximal es triangular y presenta también una papila apical o diente ventral; brazos delgados, insertados ventralmente al disco; poros tentaculares grandes, el segundo poro tentacular se encuentra por fuera de la boca y está provisto de una escama tentacular grande, los siguientes poros tentaculares no presentan escamas (Figura 4i, j).

Clase Holothuroidea

Se recolectaron cuatro ejemplares de esta clase los cuales se identificaron como *Taeniogyrus* cf. *prydzi* O'Loughlin y VandenSpiegel, 2010, *Trachythyone* cf. *parva* (Ludwig, 1875), *Psolus* sp. y *Molpadia violacea* Studer, 1876 (Figura 5, 6, Tabla 2). *Molpadia violacea* se recolectó en la isla Livingston (islas Shetland del Sur) a 29 m de profundidad; los otros tres morfotipos se recolectaron en la Base Yelcho en el estrecho de Gerlache a 54 m de profundidad.

Moura *et al.* (2015) describieron la nueva especie *Taeniogyrus yvonnae* Moura, Campos y Esteves, 2015,; como parte de ese trabajo presentaron una revisión del género, el cual se distribuye principalmente en el Indo-Pacífico, con algunas especies en la Antártica, el Mediterráneo y el Atlántico. El género incluye 24 especies, de las cuales dos se distribuyen en la Antártica: *T. prydzi* O'Loughlin y VandenSpiegel, 2010 y *T. antarcticus* Heding, 1931. Otras dos especies distribuidas en la Antártica, según O'Loughlin *et al.* (2010), actualmente son aceptadas como especies del género *Sigmodonta* Studer, 1876 (WoRMS, 2020). Los ejemplares recolectados en el estrecho de Gerlache a 54 m de profundidad coinciden con *T. prydzi* en la longitud del cuerpo (máximo 50 mm) (Figura

However, Amphilepididae is currently a valid family with two accepted genera: *Amphilepis* Ljungman, 1867, and *Ophiomonas* Djakonov, 1952 (Stöhr *et al.*, 2018), distributing mainly in the northern hemisphere, but with some records in the southern hemisphere, including South America, Madagascar, and Antarctica (Mills and O'Hara, 2010). The individual collected presents a pentagonal disc covered by scales; swollen and triangular radial shields; triangular oral shields; two oral papillae on each side of the mandible, the proximal one is triangular, and also has an apical papilla or ventral tooth; arms thin, inserted ventrally to disc; large tentacular pores, the second tentacular pore is outside the mouth and is provided with a large tentacular scale, the following tentacular pores without scales (Figure 4i, j).

Class Holothuroidea

Four specimens of this class were collected, identified as *Taeniogyrus* cf. *prydzi* O'Loughlin and VandenSpiegel, 2010, *Trachythyone* cf. *parva* (Ludwig, 1875), *Psolus* sp. and *Molpadia violacea* Studer, 1876 (Figure 5, 6, Table 2). *M. violacea* was collected on Livingston Island (South Shetland Islands) at 29 m depth; the other three morphotypes were collected at the Yelcho Base in the Gerlache Strait at 54 m depth.

Moura *et al.* (2015) described the new species *Taeniogyrus yvonnae* Moura, Campos and Esteves, 2015; as part of their work they presented a review of the genus, which is distributed mainly in the Indo-Pacific, with some species in the Antarctic, the Mediterranean, and the Atlantic Ocean. The genus includes 24 species, of which two are distributed in Antarctica *T. prydzi* O'Loughlin and VandenSpiegel, 2010 and *T. antarcticus* Heding, 1931. Two other species distributed in Antarctica according to O'Loughlin *et al.* (2010) are currently accepted as species of the genus *Sigmodonta* Studer, 1876 (WoRMS, 2020). Specimens collected in the Gerlache Strait at 54 m depth coincide with *T. prydzi* in body length (maximum 50 mm) (Figure 5a), sigmoid hooks size (232–272 μm) and wheels size (90 μm) (Figure 5c), however, they present tentacles with 3 to 4 pairs of digits, differing from *T. prydzi* which has 6 pairs (Figure 5b). *T. prydzi* is distributed in East Antarctica on the MacRobertson shelf between 109 and 830 m depth, so this would be the first record of the species for West Antarctica, specifically for the Antarctic Peninsula. For the genus, this record is the first in the peninsula considering that *T. antarcticus* Heding, 1931 is distributed in the South Georgia Islands, the Scotia Sea,

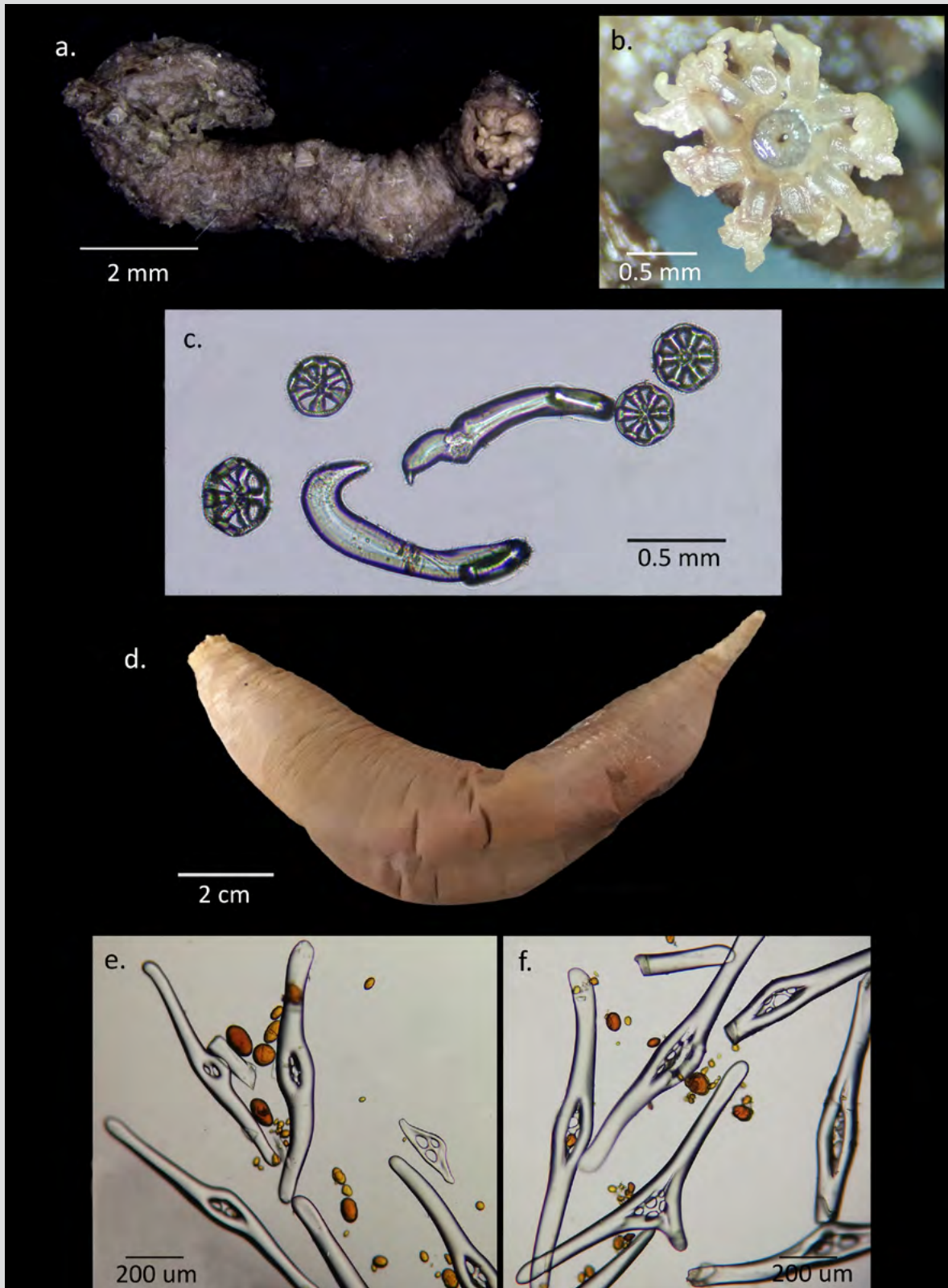


Figura 5. Clase Holothuroidea. *Taeniogyrus* cf. *prydzi*. **a.** Vista general (Individuo 1), **b.** Detalle de la boca y los tentáculos (Individuo 2), **c.** Osículos de la pared corporal en forma de ganchos sigmoideos y ruedas; *Molpadia violacea* **d.** Vista general, **e.** Osículos de la pared corporal anterior, **f.** Osículos de la pared corporal posterior, en las dos imágenes se observan cuerpos fosfáticos.

Figure 5. Class Holothuroidea. *Taeniogyrus* cf. *prydzi*. **a.** General view (Specimen 1), **b.** Detail of the mouth and tentacles (Specimen 2), **c.** Body wall ossicles shaped like sigmoid hooks and wheels; *Molpadia violacea* **d.** General view, **e.** Ossicles of the anterior body wall, **f.** Ossicles of the posterior body wall, in both images phosphatic bodies are observed.

5a) y en el tamaño de los ganchos sigmoideos (232–272 μm) y las ruedas (90 μm) (Figura 5c), sin embargo, presentan de tres a cuatro pares de dígitos en los tentáculos, difiriendo de *T. prydzi* que presenta seis pares (Figura 5b). *Taeniogyrus prydzi* se distribuye en la Antártica oriental en la plataforma MacRobertson entre 109 y 830 m de profundidad, por lo que este sería el primer registro de la especie para la Antártica occidental y específicamente para la península Antártica. Para el género este registro es el primero en la península considerando que *T. antarcticus* Heding, 1931 se distribuye en las islas Georgias del Sur, el mar de Scotia, las islas Orkney del Sur y en las islas Aurora (Moura *et al.*, 2015). Además, la profundidad a la que fueron recolectados los ejemplares incrementaría el intervalo de distribución batimétrica de la especie de 109 m de profundidad, registrado por Moura *et al.* (2015) hasta 54 m.

Molpadia violacea era considerada sinónimo de *M. musculus* Risso, 1826, la cual es una especie de distribución cosmopolita, que incluía la Antártica, y con un amplio intervalo batimétrico de 35 a 5205 m (Pawson, 1977; O'Loughlin *et al.*, 2010). Sin embargo, O'Loughlin *et al.* (2015) establecieron nuevamente a *M. violacea* como una especie válida para referirse a los ejemplares del género *Molpadia* de la Antártica previamente referidos a *M. musculus*. Esta decisión se basó en evidencias moleculares presentadas por O'Loughlin *et al.* (2010) y a características morfológicas que incluyen el color del cuerpo, con los extremos oral y caudal blanquecino (Figura 5d), la ausencia de espiras en los barrotos fusiformes de la región caudal (Figura 5f) y la presencia de cuerpos fosfáticos en la pared del cuerpo (Figura 5e, f). En el ejemplar recolectado se observan muy pocos osículos en la parte media del cuerpo, coincidiendo con lo descrito por O'Loughlin *et al.* (2015) sobre la fosfatización y desaparición de los osículos en esta especie. *Molpadia violacea* se distribuye entre 112 y 628 m de profundidad en el océano del Sur y en la Antártica donde se ha registrado en la bahía Prydz, el mar de Ross, cerca de la isla Orkney del Sur y en las islas Shetland del Sur (O'Loughlin *et al.*, 2015), en donde se recolectó el ejemplar que se registra en este trabajo. El presente es uno de los pocos registros de la especie después de haber sido separada de *M. musculus* y además amplía su distribución batimétrica de 112 m de profundidad hasta 57 m.

Trachythyone parva se caracteriza por presentar el cuerpo en forma de U, pies ambulacrales restringidos a los ambulacros aunque pueden estar presentes en los inter ambulacros al menos en la parte dorsal (Figura 6a-c); pared

the South Orkney Islands and the Aurora Islands (Moura *et al.*, 2015). Also, the depth at which the specimens were collected would widen the bathymetric distribution range of the species from 109 m depth, previously recorded by Moura *et al.* (2015), up to 54 m.

Molpadia violacea was considered synonym of *M. musculus* Risso, 1826, a species of cosmopolitan distribution, which included Antarctica, and with a wide bathymetric distribution range from 35 to 5205 m depth (Pawson, 1977; O'Loughlin *et al.*, 2010). However, O'Loughlin *et al.* (2015) established once again *M. violacea* as a valid species to refer to *Molpadia* specimens from Antarctica previously referred to *M. musculus*. This decision was based on molecular evidence presented by O'Loughlin *et al.* (2010), and morphological characteristics that include the body color, with the oral and caudal ends whitish (Figure 5d), the absence of spires in the caudal fusiform rods (Figure 5f) and the presence of phosphatic bodies in the body wall (Figure 5e, f). Very few ossicles are observed in the middle of the body of the collected specimen, coinciding with O'Loughlin *et al.* (2015) on the phosphatizing and disappearance of ossicles in this species. *M. violacea* is distributed between 112 and 628 m depth in the Southern Ocean and in Antarctica where it has been recorded in Prydz Bay, the Ross Sea, near South Orkney Island and in the South Shetland Islands (O'Loughlin *et al.*, 2015), where the specimen recorded in this work was collected. This is one of the few records of the species after having been separated from *M. musculus*, and also extends its bathymetric distribution from 112 m up to 57 m depth.

Trachythyone parva is characterized by presenting a U-shaped body, tube feet restricted to ambulacra, although they may be present in the inter-ambulacra at least in dorsal part (Figure 6a-c); body wall with basket-shaped ossicles developed as curved bowls, edge with short spiny projections (Figure 6d); crosses present, sometimes excluding baskets (Figure 6d); small plates (up to 1.5 mm), smooth, with numerous small holes in usually double series (Thandar, 2013; Martínez, 2014). Although most of these characteristics have been found in the collected specimen, differences in the plates are observed, in which the holes are irregularly distributed (Figure 6d). Also, the plates have projections at the ends, which are not mentioned in the diagnosis of *T. parva*. O'Loughlin *et al.* (2010) list nine species of the genus *Trachythyone* in Antarctica, two of them found in that work and not yet described, one

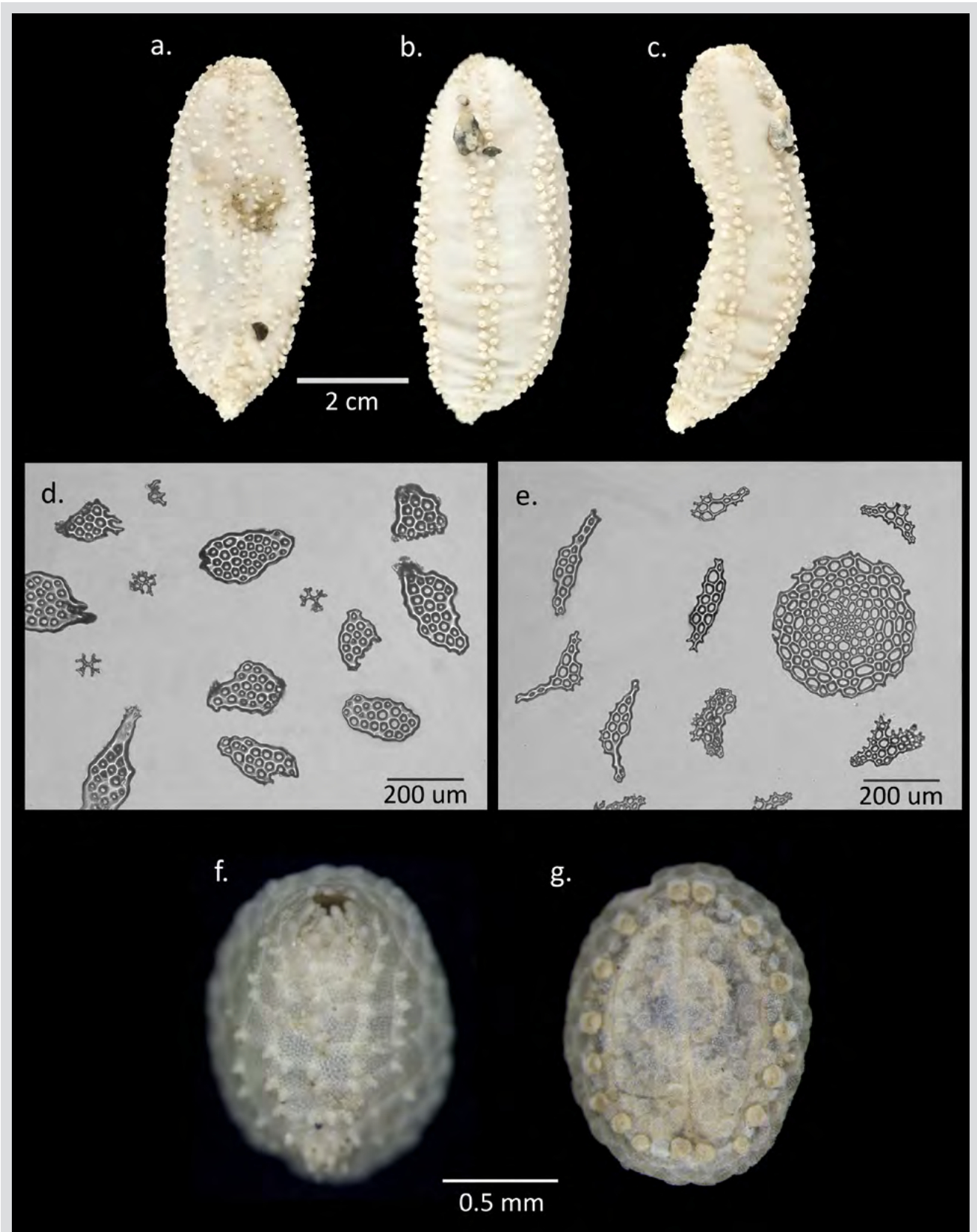


Figura 6. Clase Holothuroidea. *Trachythyone* cf. *parva* **a.** Vista dorsal, **b.** Vista ventral, **c.** Vista lateral, **d.** Osículos de la pared corporal (placas y rosetas), **e.** Osículos de los pies ambulacrales (placa terminal y barrotes); *Psolus* sp. **f.** Vista dorsal y **g.** Vista ventral.

Figure 6. Class Holothuroidea. *Trachythyone* cf. *parva* **a.** Dorsal view, **b.** Ventral view, **c.** Lateral view, **d.** Body wall ossicles (plates and rosettes), **e.** Tube feet ossicles (end plate and rods); *Psolus* sp. **f.** Dorsal view, **g.** Ventral view.

corporal con osículos en forma de canastas desarrolladas como cuencos curvos, borde con proyecciones espinosas cortas (Figura 6d); cruces presentes, a veces excluyendo las canastas (Figura 6d); placas pequeñas (hasta 1,5 mm), lisas, con numerosos agujeros pequeños en series usualmente dobles (Thandar, 2013; Martínez, 2014). Aunque la mayoría de estas características se han encontrado en el ejemplar recolectado, se observan diferencias en las placas, en las cuales los agujeros se distribuyen de forma irregular (Figura 6d). Además, las placas presentan proyecciones en los extremos, las cuales no se mencionan en la diagnosis de *T. parva*. O'Loughlin *et al.* (2010) listan nueve especies del género *Trachythyone* en la Antártica, dos de ellas encontradas en ese trabajo y aun no descritas, una de ellas "*Trachythyone species 1*" se distribuye en las islas Shetland del Sur, cerca al estrecho de Gerlache donde fue recolectado el ejemplar que se describe en este trabajo. Sin embargo, si la especie fuera confirmada como *T. parva*, este sería el primer registro para la península Antártica, los registros anteriores son de Tierra del Fuego, islas Malvinas hasta 38°S (Martínez, 2014), el mar de Weddell y otras localidades de la Antártida oriental (GBIF, 2020).

El ejemplar identificado como *Psolus* sp. tiene una longitud de 2 mm, por lo que podría ser un juvenil (Figura 6f, g), la revisión de características morfológicas como la forma de las espículas, necesarias para identificar la especie, implicaría su destrucción. De acuerdo con O'Loughlin *et al.* (2010) existen 21 especies del género *Psolus* en la Antártica. Se necesitan más ejemplares para revisar su morfología con más detalle y hacer una identificación más precisa.

DISCUSIÓN

Los estudios e inventarios sobre los equinodermos de la Antártica han mostrado a este grupo como uno de los más diversos en las comunidades de fondos someros y profundos de esta región (O'Loughlin *et al.*, 2010; Stöhr *et al.*, 2012; Eléaume *et al.*, 2014; Martín-Ledo y López-González, 2014; Fabri-Ruiz *et al.*, 2017; Moreau *et al.*, 2018). En el caso de los pepinos de mar, O'Loughlin *et al.* (2010) propusieron la región Antártica como un "*hotspot*" de biodiversidad para la clase Holothuroidea, las cifras que presentan equivalen a 4 % de la diversidad marina documentada en la Antártica y 10 % de la diversidad de la clase Holothuroidea en el mundo. Asimismo, la clase Asteroidea en la región Antártica y Sub-Antártica está bien representada, con 12 % de la riqueza total de especies de los grupos bénticos en esta área (Moreau *et al.*, 2018).

of them "*Trachythyone species 1*" is distributed in the South Shetland Islands, near the Gerlache Strait, where the specimen described in present work was collected. However, if the species were confirmed as *T. parva*, this would be the first record for the Antarctic Peninsula, the previous ones are from Tierra del Fuego, the Falkland Islands up to 38°S (Martínez, 2014), the Weddell Sea, and other locations of East Antarctica (GBIF, 2020).

The specimen identified as *Psolus* sp. has a length of 2 mm, so it could be a juvenile (Figure 6f, g), the review of morphological characteristics such as the shape of the spicules, necessary to identify the species, would involve its destruction. According to O'Loughlin *et al.* (2010) there are 21 species of the genus *Psolus* in Antarctica. More specimens are needed in order to review their morphology with more detail and make an accurate identification.

DISCUSSION

Studies and inventories on Antarctic echinoderms have shown this group as one of the most diverse in the shallow and deep seabed communities in this region (O'Loughlin *et al.*, 2010; Stöhr *et al.*, 2012; Eléaume *et al.*, 2014; Martín-Ledo and López-González, 2014; Fabri-Ruiz *et al.*, 2017; Moreau *et al.*, 2018). In the case of sea cucumbers, O'Loughlin *et al.* (2010) proposed the Antarctic region as a biodiversity "*hotspot*" for the class Holothuroidea, presenting numbers that are equivalent to 4 % of the marine diversity documented in Antarctica and 10 % of the diversity of Holothuroidea in the world. Likewise, the class Asteroidea in the Antarctic and Sub-Antarctic region is well represented, with 12 % of the total species richness of the benthic groups in this area (Moreau *et al.*, 2018).

The number of identified morphotypes, 13 in total, based on 29 specimens collected in five stations confirms the high richness of this group in Antarctica, however, this is a low number of species compared to other works that include information on areas close to the Gerlache Strait, such as the South Shetland Islands, and even if it is taken into account that no echinoderms were collected in six of the eleven stations sampled and no representatives of the class Echinoidea were found. This result is due to the fact that the samplings carried out were aimed at characterizing the benthic macrofauna and not the mega and macroepifauna. Martínez *et al.* (2015) based on 13 stations in the South Shetland Islands, four in the extreme south of the

El número de morfotipos identificados, 13 en total, con base en 29 ejemplares recolectados en cinco estaciones confirma la alta riqueza de este grupo en la Antártica; sin embargo, este es un número bajo de especies en comparación con otros trabajos que incluyen información de áreas cercanas al estrecho de Gerlache, como las islas Shetland del Sur, e incluso si se tiene en cuenta que no se recolectaron equinodermos en seis de las once estaciones muestreadas y no se encontraron representantes de la clase Echinoidea. Este resultado se debe a que los muestreos realizados estaban dirigidos a caracterizar la macrofauna bentónica y no la mega y la macro-epifauna. Martínez *et al.* (2015) con base en 13 estaciones en las islas Shetland del Sur, cuatro en el extremo sur de la península Antártica, y dos en las islas Orkney del Sur (Campaña CAV-III), registran equinodermos en todas las estaciones, siendo Ophiuroidea la clase mejor representada encontrándose en 100 % de las estaciones, seguida de Asteroidea con 90,5 %, Holothuroidea con 81 %, Crinoidea con 66,7 % y por último Echinoidea con el porcentaje más bajo, recolectándose en el 62,4 % de las estaciones.

Sin embargo, desde otra perspectiva, si se tiene en cuenta que la información presentada en este trabajo proviene de cinco estaciones y a partir de un muestreo que no estaba dirigido a estos organismos, es de destacar el alto número de morfotipos encontrados y la importancia de estos registros para el conocimiento de algunas de las especies, así como para la elaboración del inventario de especies del estrecho de Gerlache. El presente registro del crinoideo *Anthometrina adriani* amplía su distribución geográfica hasta los 64° 39' S. En el caso del pepino de mar *Taeniogyrus cf. prydzi* este es el primer registro del género para el estrecho de Gerlache y para la península Antártica, y en caso de confirmarse la especie este sería su primer registro para la Antártica occidental. En algunos casos como el de la especie *Amphiura cf. microplax* este podría ser su primer registro para el estrecho de Gerlache; sin embargo, a veces es difícil establecer estos primeros registros porque en la distribución de muchas especies se incluye la península Antártica sin especificar las localidades. Además, no hay muchos inventarios específicos para el estrecho de Gerlache o las islas adyacentes, como si los hay para otras áreas de la Antártica. En cuanto a la distribución batimétrica de *Promachocrinus kerguelensis*, *Amphiura cf. microplax*, *Taeniogyrus cf. prydzi* y *Molpadia violacea* los registros que se presentan en este trabajo amplían su intervalo de profundidad, siendo los más someros para estas especies (Estación 541: 54 m de profundidad y 640: 57 m). Estos resultados resaltan la necesidad e importancia de

Antarctic peninsula, and two in the South Orkney Islands (Campaign CAV-III), recorded echinoderms in all the sampled stations, being Ophiuroidea the best represented class being found in 100 % of the stations, followed by Asteroidea with 90.5 %, Holothuroidea with 81 %, Crinoidea with 66.7 %, and lastly Echinoidea with the lowest percentage, being collected in 62.4 % of stations.

However, from another perspective, considering that the information presented in this work comes from five stations and from a sampling that was not addressed to these organisms, it is important to highlight the high number of morphotypes found and the relevance of these records for the knowledge of some species, as well as for the elaboration of the species inventory of the Gerlache Strait. The present record of the crinoid *Anthometrina adriani* extends its geographic distribution to 64° 39' S. In the case of the sea cucumber *Taeniogyrus cf. prydzi* this is the first record of the genus for the Gerlache Strait and the Antarctic Peninsula, and if the species is confirmed, this would be its first record for West Antarctica. In some cases such as *Amphiura cf. microplax* this could be the first record for the Gerlache Strait, however, it is sometimes difficult to establish these first records because the Antarctic Peninsula is included in the distribution of many species but without specifying the locations. Furthermore, there are not as many specific inventories for the Gerlache Strait or the adjacent islands, comparing to other areas of Antarctica. Regarding the bathymetric distribution of *Promachocrinus kerguelensis*, *Amphiura cf. microplax*, *Taeniogyrus cf. prydzi*, and *Molpadia violacea*, the records presented in this work extend their depth range, being the shallower for these species (Station 541: 54 m depth and 640: 57 m depth). These results highlight the need and importance of carrying out samplings in future expeditions focused on the characterization of the mega and macro-epifauna of the Gerlache Strait and the adjacent islands, being one of the least studied areas in the Antarctic peninsula, especially compared to other locations such as the South Shetland Islands.

Some of the species that have been identified so far are also among the most common and abundant in shallow ecosystems of this region, in particular the crinoid *Promachocrinus kerguelensis*, the starfish *Odontaster validus*, and the brittle star *Ophionotus victoriae* of which ecological, reproductive, biogeographic, among others aspects, are known, as was mentioned in the comments presented in the results section. In the expeditions carried

realizar en próximas expediciones muestreos enfocados en la caracterización de la mega y la macro-epifauna del estrecho de Gerlache y las islas adyacentes, siendo una de las áreas menos estudiadas en la península Antártica, sobretodo en comparación con otras localidades como las islas Shetland del Sur.

Algunas de las especies que se han identificado hasta ahora también son de las más comunes y abundantes en los ecosistemas someros de esta región, especialmente el crinoideo *P. kerguelensis*, la estrella de mar *Odontaster validus* y el ofiuro *Ophionotus victoriae* de las cuales se conocen aspectos ecológicos, reproductivos, biogeográficos, entre otros, como se ha mencionado en los comentarios presentados en los resultados. En las expediciones realizadas *O. victoriae* sólo se recolectó en las islas Shetland del Sur, donde al parecer la estructura comunitaria de la clase ofiuroidea es heterogénea y claramente determinada por la variación de la abundancia de *O. victoriae*, que al ser una especie con hábitos oportunistas, exhibe un dominio evidente en el archipiélago (Manjón-Cabeza y Ramos, 2003; Moya *et al.*, 2003). No obstante, en otras zonas antárticas y subantárticas esta especie presenta una abundancia similar a representantes de los géneros *Ophioplinthus* y *Ophiacantha* (Manjón-Cabeza y Ramos, 2003). A pesar de que la metodología de muestreo no permite hacer inferencias sobre la abundancia de los ofiuros, vale la pena resaltar estudios anteriores, donde la estructura comunitaria de la clase Ophiuroidea en la península Antártica difiere de las islas Shetland del Sur (Manjón-Cabeza y Ramos, 2003; Moya *et al.*, 2003).

En varios casos no ha sido posible la identificación taxonómica hasta especie debido a varias razones, entre ellas que los ejemplares posiblemente son juveniles o a que no se han podido confirmar algunas características por falta de referencias para comparar o por el tamaño de algunos ejemplares únicos. En el caso de los pepinos de mar, O'Loughlin *et al.* (2010) con base en datos moleculares utilizando la secuencia del gen mitocondrial COI, revelaron la existencia de 57 especies crípticas, de las 187 especies que registraron. Algunas de estas especies ya fueron estudiadas aclarando su taxonomía como es el caso de *Molpadia violacea* Studer, 1876 (O'Loughlin y VandenSpiegel, 2010), o describiendo nuevas especies como ocurre con *Taeniogyrus prydzi* O'Loughlin & VandenSpiegel, 2010. Sin embargo, en el caso del género *Trachythyone* las especies crípticas encontradas no se han descrito como nuevas especies, o las referencias no fueron localizadas para incluirlas en este trabajo. Los resultados que se presentan constituyen un aporte relevante al proyecto "Biogerlache – Antártica" y

O. victoriae was collected only in the South Shetland Islands, where apparently the community structure of the class Ophiuroidea is heterogeneous and clearly determined by the variation in the abundance of *O. victoriae*, which, being a species of opportunistic habits, exhibits an evident dominance in the archipelago (Manjón-Cabeza and Ramos, 2003; Moya *et al.*, 2003). However, in the other Antarctic and sub-Antarctic areas, this species presents a similar abundance to representatives of the genera *Ophioplinthus* and *Ophiacantha* (Manjón-Cabeza and Ramos, 2003). Although the sampling methodology does not allow to make inferences about the ophiuroids abundance, it is worth highlighting previous studies, where the community structure of the class Ophiuroidea in the Antarctic peninsula differs from the South Shetland Islands (Manjón-Cabeza and Ramos, 2003; Moya *et al.*, 2003).

In several cases, taxonomic identification to species level has not been possible due to several reasons, including that some specimens are possibly juveniles or that some characteristics could not be confirmed due to lack of references to compare, or because the small size of some unique specimens. In the case of sea cucumbers, O'Loughlin *et al.* (2010), based on molecular data using the COI mitochondrial gene sequence, revealed the existence of 57 cryptic species of the 187 species they registered. Some of these species have already been studied clarifying their taxonomy, such as *Molpadia violacea* Studer, 1876 (O'Loughlin and VandenSpiegel, 2010), or describing new species, such as *Taeniogyrus prydzi* O'Loughlin & VandenSpiegel, 2010. However, in relation to the genus *Trachythyone*, the cryptic species found have not been described as new species, or the references were not located to include them in this work.

The results presented constitute a relevant contribution to the "Biogerlache - Antarctic" project and the continued work of the Colombian Expeditions to Antarctica, confirming a high richness of echinoderms in the Gerlache Strait and adjacent areas and generating updated information for the elaboration of the taxonomic inventories of this area and the establishment of a baseline of biological knowledge, which contribute to the definition of possible conservation areas.

al trabajo continuado de las Expediciones de Colombia a la Antártica, confirmando una alta riqueza de equinodermos en el estrecho de Gerlache y zonas adyacentes y generando información para la elaboración de los inventarios taxonómicos de esta área y la creación de una línea base de conocimiento biológico, que contribuyan en la definición de posibles áreas de conservación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la tripulación científica y de la Armada durante las expediciones científicas Colombianas a la Antártica: III - Expedición Almirante Padilla (2016-2017) y V - Expedición Almirante Campos (2018-2019). A la Dirección General Marítima de Colombia (DIMAR). A la Comisión Colombiana del Océano (CCO) por su gestión en el Programa Antártico Colombiano (PAC). A Manuel Garrido Linares, Cristina Cedeño Posso y Héctor Fabián Bustos (Invemar) y Andrés Franco Herrera (Universidad Jorge Tadeo Lozano), quienes realizaron el muestreo de sedimentos y fijación de las muestras durante las expediciones. A Laura Moreno y Fernando Dorado por la colaboración con algunas de las fotografías. Agradecemos también al –Invemar por el financiamiento y apoyo durante el análisis de las muestras. Este trabajo fue financiado por el Invemar y el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia Resolución 0092 de 2016, Código BPIN 2014011000405 (III Expedición) y Resolución 0129 de 2018, Código BPIN 2017011000113 (V Expedición). Contribución del Invemar N° 1301.

ACKNOWLEDGEMENT

Thanks to the scientific crew and the Navy during the Colombian scientific expeditions to Antarctica: III - Admiral Padilla Expedition (2016-2017) and V - Admiral Campos Expedition (2018-2019). To the Dirección General Marítima de Colombia (DIMAR). To the Colombian Ocean Commission (CCO) for its management in the Colombian Antarctic Program (PAC). To Manuel Garrido Linares, Cristina Cedeño Posso, and Héctor Fabián Bustos, Invemar researchers, and Andrés Franco Herrera, professor at the Jorge Tadeo Lozano University, who carried out the sediment sampling and samples fixation during the expeditions. To Laura Moreno and Fernando Dorado for their collaboration with some of the photographs. We also thank the Marine and Coastal Research Institute - Invemar for the funding and support during the analysis of the samples. This work was funded by Invemar and the Ministry of Environment and Sustainable Development of Colombia Resolution 0092 of 2016, BPIN Code 2014011000405 (III Expedition), and Resolution 0129 of 2018, BPIN Code 2017011000113 (V Expedition). Invemar N ° 1301 contribution.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Alitto, R.A.S, M.L. Bueno, P.D.B. Guilherme, M. DiDomenico, A.B. Christensen and M. Borges. 2018. Shallow-water brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) from Araçá Bay (Southeastern Brazil), with spatial distribution considerations. *Zootaxa*, 4405 (1): 001–066. doi: 10.11646/zootaxa.4405.1.1.
- Anderson, J.B. 1999. Antarctic marine geology. Cambridge University Press, Cambridge. 289 p. doi: 10.1017/CBO9780511759376.
- Antarctic Underwater Field Guide. 2019. <http://www.oikonos.org/apfieldguide/album/index.html>. 01/09/2019.
- Barboza, C.A., R. de Moura, A. Lanna, T. Oackes and L.S. Campos. 2011. Echinoderms as clues to Antarctic ~ South American connectivity. *Oecologia Australis*, 15 (1): 86–110.
- Bell, F.J. 1902. VIII. Echinoderma: 214–220. In: British Museum and E. Ray Lankester (Eds.). Reports on the collections of natural history made in the Antarctic regions during the voyage of the “Southern Cross”. Smithsonian, London. 344 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.12292>
- Brogger, M.I. and T.D. O’Hara. 2015. Revision of some ophiuroid records (Echinodermata: Ophiuroidea) from Argentina. *Zootaxa*, 3972 (3): 432–440.
- Clark, A.M. 1970. Notes on the family Amphiuridae (Ophiuroidea). *Bull. etin British Mus. Nat. Hist.*, 19: 1–81.
- Clark, A.M and M.E. Downey. 1992. Starfishes of the Atlantic. *Nat. Hist. Mus. Publ.*. Chapman & Hall, London. 794 p.
- Dahm, C. 1996. Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata). *Berichte zur Polarforschung, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven*. 194 p.
- Dahm, C. 1999. Ophiuroids (Echinodermata) of southern Chile and the Antarctic: Taxonomy, biomass, diet and growth of dominant species. *Scientia Mar.*, 63 (1): 427–432.



- Dearborn, J.H. 1977. Foods and feeding characteristics of Antarctic asteroids and ophiuroids; 293–326. In: Llano, G.A. (Ed.). Adaptations within Antarctic Ecosystems, Proc. Of the 3rd SCAR Symposium on Antarctic Biology. Smithsonian Institution. Gulf Publishing Company, Houston. 1252 p.
- Duquette, A., K.M. Halanych, R.A. Angus and J.B. McClintock. 2018. Inter and intraspecific comparisons of the skeletal Mg/Ca ratios of high latitude Antarctic echinoderms. *Antarctic Sci.*, 30(3): 160–169.
- Eléaume, M., L.G. Hemery, N. Améziane and M. Roux. 2014. Phylogeographic patterns of the Southern Ocean crinoids; 448–455. In: De Broyer, C., P. Koubbi, H. J. Griffiths, B. Raymond, C. d' Udekem d'Acoz, a.P. Van de Putte, B. Danis, B. David, S. Grant, J. Gutt, C. Held, G. Hosie, F. Huettmann, A. Post and Y. Ropert-Coudert. (Eds.). Biogeographic atlas of the Southern Ocean. *Scient. Com. Antarctic Res.*, Cambridge. 498 p.
- Fabri-Ruiz, S, T. Saucède, B. Danis, B. David. 2017. Southern Ocean Echinoids database – An updated version of Antarctic, Sub-Antarctic and cold temperate echinoid database. *ZooKeys* 697: 1–20. <https://doi.org/10.3897/zookeys.697.14746>
- Fell, H.B. 1960. Synoptic keys to the genera of Ophiuroidea. *Zool. Publ. Victoria Univ. Wellington, New Zealand*, 26: 1–44.
- Fratt, D.B. and J.H. Dearborn. 1984. Feeding biology of the Antarctic brittle star *Ophionotus victoriae* (Echinodermata: Ophiuroidea). *Polar Biol.*, 3: 127–139.
- Frensen, R., C.A.M. Barboza, R.B. Moura and L.S. Campos. 2010. Southwest Atlantic deep-sea brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) from Campos Basin, Brazil: 173–180. In: Durham – Harris, L.G., S.A. Boetger, M.P. Lesser and C.W. Walker (Eds.). *Echinoderms*. Taylor & Francis Group, London. 700 p.
- GBIF. 2020. GBIF Occurrence Download. Available from <https://doi.org/10.15468/dl.pgk6uz>. 28/06/2020.
- Grange, L.J., P.A. Tyler, L.S. Peck and N. Cornelius. 2004. Long-term interannual cycles of the gametogenic ecology of the Antarctic brittle star *Ophionotus victoriae*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 278: 141–155.
- Grieg, J.A. 1929. Echinodermata from the Palmer Archipelago, South Shetlands, South Georgia, and the Bouvet Island. With description of a new species of the molluscan genus *Montacuta*. *Sci. Res. Norweg. Antarctic Exp.*, 1(2): 1–16.
- Gutt, J. and D. Piepenburg. 1991. Dense aggregations of three deep-sea holothurians in the southern Weddell Sea, Antarctica. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 68: 277–285
- Hemery, L.G., M. Eléaume, V. Roussel, N. Améziane, C. Gallut, D. Steinke, C. Cruaud, A. Couloux and N.G. Wilson. 2012. Comprehensive sampling reveals circumpolarity and sympatry in seven mitochondrial lineages of the Southern Ocean crinoid species *Promachocrinus kerguelensis* (Echinodermata). *Mol. Ecol.*, 21: 2502–2518. doi: 10.1111/j.1365-294X.2012.05512.x
- Hemery, L.G., N. Améziane and M. Eléaume. 2013. Circumpolar dataset of sequenced specimens of *Promachocrinus kerguelensis* (Echinodermata, Crinoidea). *ZooKeys*, 315: 55–64. doi: 10.3897/zookeys.315.5673 Resource ID: GBIF key: <http://gbrds.gbif.org/browse/agent?uuid=9dae1fa0-5800-4f18-8f4e-a87f05c73eb1>.
- Janosik, A.M. and K.M. Halanych. 2010. Unrecognized Antarctic biodiversity: a case study of the genus *Odontaster* (Odontasteridae; Asteroidea). *Integr. Comp. Biol.*, 50(6): 981–992. doi:10.1093/icb/icq119.
- Koehler, R. 1907. Revision of the Ophiures collection at the Museum of Natural History Paris. *Scient. Bull. France Belgium*, 41: 279–351.
- Koehler, R. 1912. Echinoderms (Astera, Ophides and Echinoids). Second French Antarctic Exp. (1908-1910): 1–270.
- Koehler, R. 1922. Contributions to the biology of the Philippine Archipelago and adjacent regions. Ophiurans of the Philippine seas and adjacent waters. *Bull. US Nat. Mus.*, 100: 1–486.
- Manjón-Cabeza, M.E. and A. Ramos. 2003. Ophiuroid community structure of the South Shetland Islands and Antarctic Peninsula region. *Polar Biol.*, 26: 691–699.
- Manjón-Cabeza, M.E., Y. Lirio and A. Ramos. 2001. Distribution of asteroid genera (Echinodermata) off South Shetland Islands and the Antarctic Peninsula. *Bol. Inst. Esp. Oceanografía*, 17 (3 y 4): 263–270.
- Martínez, M.I. 2014. Diversity of Dendrochirotida in the Argentine Sea (Echinodermata: Holothuroidea); taxonomic, phylogenetic, ecological and biogeographic aspects. Faculty Exact Natural Sciences, Univ. Buenos Aires. 150 p.
- Martínez, M.I., L.P. Arribas, J.J. Berecochea, M.I. Brogger and P.E. Penchaszadeh. 2015. Echinoderm diversity in the Southwestern Atlantic. *Rev. Biol. Trop.*, 63(2): 115–120.
- Martín-Ledo, R. and P.J. López-González. 2014. Brittle stars from Southern Ocean (Echinodermata: Ophiuroidea). *Polar Biol.*, 37: 73–88.
- Massin, C. 1992. Three new species of Dendrochirotida (Holothuroidea, Echinodermata) from the Weddell Sea (Antarctica). *Bull. l'Institut roy. Sci. nat. Belg. Biol.*, 62: 179–191.
- Matsumoto, H. 1915. A new classification of the Ophiuroidea: with description of new genera and species. *Proc. Acad. Nat. Sci. Phila.*, 68: 43–92.
- Matsumoto, H. 1917. A monograph of Japanese Ophiuroidea, arranged according to a new classification. *J. Coll. Sci., Imperial Univ., Tokyo*, 38: 1–408.
- McClintock, J.B. 1994. Trophic biology of Antarctic shallow-water echinoderms. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 111: 191–202.
- Messing, C. 2019. Artificial key to the families of living crinoids. https://cnso.nova.edu/messing/crinoids/artificial_key_crinoids.pdf. 10/09/2018.
- Messing, C. 2020a. World list of Crinoidea. *Promachocrinus* Carpenter, 1879. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=173828> on 2020-03-16.

- Messing, C. 2020b. World list of Crinoidea. *Promachocrinus kerguelensis* Carpenter, 1879. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=173830> 16/03/2020.
- Messing, C. 2020c. World list of Crinoidea. *Anthometrina* Eléaume, Hess & Messing, 2011. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=710747> 16/03/2020.
- Messing, C. 2020d. World list of Crinoidea. *Anthometrina adriani* (Bell, 1908). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=710749> 16/03/2020.
- Miller, J.E. and D.L. Pawson. 1984. Holothurians (Echinodermata: Holothuroidea). Mem. Hourglass Cruis., 7(1): 1–79.
- Mills, V.S. and T. O’Hara. 2013. Ophiuroids (Echinodermata; Ophiuroidea) of biogenic habitats on the continental shelf of New Zealand. Zootaxa, 3613 (5): 401–444. doi: 10.11646/zootaxa.3613.5.1.
- Mills, V.S. and T. O’Hara. 2010. *Amphilepis neozelandica* sp. nov., the first record of the Amphilepididae in New Zealand waters (Echinodermata: Ophiuroidea). Zootaxa, 2514: 47–54.
- Moles, J., B. Figuerola, N. Campaña-Llovet, T. Monleón-Getino, S. Taboada and C. Avila. 2015. Distribution patterns in Antarctic and Subantarctic echinoderms. Polar Biol., 38 (6): 799–813. doi: 10.1007/s00300-014-1640-5.
- Moreau, C., C. Mah, A. Agüera, N. Améziane, D. Barnes, G. Crokaert, M. Eléaume, H. Griffiths, C. Guillaumot, L.G. Hemery, A. Jazdzewska, Q. Jossart, V. Laptikhovsky, K. Linse, K. Neill, C. Sands, T. Saucède, S. Schiaparelli, J. Siciński, N. Vasset and B. Danis. 2018. Antarctic and Sub-Antarctic Asteroidea database. ZooKeys, 747: 141–156. doi: 10.3897/zookeys.747.22751.
- Mortensen, T. 1927. Handbook of the echinoderms of the British Isles. Oxford University Press, London, 471 p.
- Mortensen, T. 1936. Echinoidea and Ophiuroidea. Discov. Rep., 12: 199–348.
- Moura, R.B.D., L.D.S. Campo and A.M. Esteves. 2015. Hooked from the deep: a rare new species of *Taeniogyrus* (Holothuroidea, Chiridotidae) from the continental slope of Brazil, southwestern Atlantic. Zootaxa, 3972 (4): 535–548.
- Moya, F., A. Ramos and M.E. Manjón-Cabeza. 2003. Distribution and ecology of *Ophionotus victoriae* Bell, 1902 (Ophiuroidea, Echinodermata) in the South Shetland Islands area (Antarctica). Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 19: 49–55.
- Neill, K., M. Kelly and B. Herr. 2016. Amazing Antarctic asteroids, a guide to the starfish of the Ross Sea. NIWA, 49 p.
- O’Loughlin, P.M. and D. VandenSpiegel. 2010. A revision of Antarctic and some Indo-Pacific apodid sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea: Apodida). Mem. Mus. Victoria, 67: 61–95.
- O’Loughlin, P.M., G. Paulay, N. Davey and F. Michonneau. 2010. The Antarctic region as a marine biodiversity hotspot for echinoderms: Diversity and diversification of sea cucumbers. Deep Sea Res. Part II, Top. Stud. Oceanogr., 58 (1-2): 264–275. doi: 10.1016/j.dsr2.2010.10.011.
- O’Loughlin, P.M., J. Skarbnik-López, M. Mackenzie and D. VandenSpiegel. 2015. Sea cucumbers of the Kerguelen Plateau, with descriptions of new genus and species (Echinodermata: Holothuroidea). Mem. Mus. Victoria, 73: 59–93.
- Pawson, D.L. 1977. Molpadiid sea cucumbers (Echinodermata: Holothuroidea) of the southern Atlantic, Pacific and Indian Oceans. Biology of the Antarctic Seas VI. Antarctic Res. Ser., 3(26): 97–123.
- Peck, L., M. Clark and N. Dunn. 2018. Morphological variation in taxonomic characters of the Antarctic starfish *Odontaster validus*. Polar Biol., 41 (10): 2159–2165. doi: 10.1007/s00300-018-2344-z.
- Piepenburg, D., J. Vo and J. Gutt. 1997. Assemblages of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) and brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea) in the Weddell Sea (Antarctica) and off Northeast Greenland (Arctic): a comparison of diversity and abundance. Polar Biol., 17: 305–322.
- Secretariat of Antarctic Treaty. 2009. Management Plan for Antarctic Specially Protected Area No. 149. ATCM XXXII Final Report: Measure 10.
- Stöhr, S., T. O’Hara and B. Thuy. 2018. World Ophiuroidea database. Amphilepididae Matsumoto, 1915. Accessed at: <http://www.marinespecies.org/ophiuroidea/aphia.php?p=taxdetails&id=123205> 24/03/2020.
- Stöhr, S., T.D. O’Hara and B. Thuy. 2012. Global diversity of brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea). PLoS One 7:e31940.
- Thandar, A.S. 2013. *Trachythyone flaccida*, a new sea cucumber species from southern Angola (Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Cucumariidae) with a key to the genus. Zootaxa, 3693(3): 395–400.
- Vaughan, D.G., G.J. Marshall, W.M. Connolley, C. Parkinson, R. Mulvaney, D.A. Hodgson, J.C. King, C.J. Pudsey and J. Turner. 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. Clim. Change, 60: 243–274.
- WoRMS. 2020. *Taeniogyrus* Semper, 1867. Available from <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=174000>. 29/06/2020.



Caracterización de radionúclidos en los sedimentos marinos del monte submarino Orca, bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar

Characterization of radionuclides in the marine sediments of Orca Seamount, Admiralty Bay, and Mackellar Cove

Víctor Raul Poma-Llantoy¹, Pablo Antonio Mendoza-Hidalgo¹ y Constanza Ricaurte-Villota^{2*}

0000-0003-2500-1301

0000-0002-6029-8705

0000-0003-1554-4994

1. Instituto Peruano de Energía Nuclear, Avenida Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú. vpoma@ipen.gob.pe; pmendoza@ipen.gob.pe

2. Programa de Geociencias Marinas y Costeras, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" (Invemar), Calle 25 #2-55, Playa Salguero, Rodadero. Santa Marta, Colombia. constanza.ricaurte@invemar.org.co

* Autor de correspondencia.

RESUMEN

La contaminación por elementos radioactivos y su transferencia a través de la cadena trófica puede llegar a tener efectos nocivos en los ecosistemas y la salud humana siendo por ello importante su monitoreo continuo. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar la concentración de radionúclidos de origen natural y antropogénico en sedimentos marinos de tres áreas en el noroccidente de la Antártica, monte submarino Orca, bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar, con el fin de evaluar posibles niveles de riesgo, fuentes y rutas de transporte. Las mediciones se realizaron usando un espectrómetro Canberra de alta resolución y la precisión y exactitud metodológica fue evaluada mediante el análisis de materiales de referencia certificada del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), SOIL-6 y Moss SOIL-447. Los resultados mostraron una baja concentración de actividad del ¹³⁷Cs en los sedimentos marinos, disminuyendo hacia la zona profunda, validando la vía atmosférica como ruta principal de transporte de este radionúclido de origen antrópico. La concentración de actividad de los radionúclidos de origen natural ²²⁶Ra y ⁴⁰K, confirman el origen volcánico de la región, corroborando las etapas de evolución geológica del sector, y los cambios en la fuente de material al manto. Los índices de peligro de radiación calculados mostraron que las concentraciones de actividad actuales de los elementos radioactivos no representan un riesgo para la salud. Resulta importante a futuro mejorar el entendimiento de la relación del hidrotermalismo en la zona con la concentración de actividad de radionúclidos de origen natural.

PALABRAS CLAVE: ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, Antártica, contaminación radioactiva, vigilancia radiológica

ABSTRACT

Contamination by radioactive elements and their transfer through the trophic chain can have harmful effects on ecosystems and human health, therefore its continuous monitoring is important. The present study aimed to characterize the concentration of radionuclides of natural and anthropogenic origin in marine sediments from three areas in the northwest of Antarctica, Orca Seamount, Admiralty Bay and Mackellar Inlet, in order to evaluate possible risk levels, sources and transportation routes. Measurements were made using a high-resolution Canberra spectrometer and methodological precision and accuracy was assessed by analyzing reference materials certified by the International Atomic Energy Agency (IAEA), SOIL-6 and Moss SOIL-447. The results showed a low concentration of ¹³⁷Cs activity in the marine sediments, decreasing towards the deep zone, validating the atmospheric pathway as the main transport route for this radionuclide of anthropic origin. The activity concentration of radionuclides of natural origin ²²⁶Ra and ⁴⁰K, confirm the volcanic origin of the region, corroborating the geological evolution stages of the sector, and the changes in the source of material to the mantle. The calculated radiation hazard indexes showed that current activity concentrations of radioactive elements do not pose a health risk. It is important in the future to improve the understanding of the relationship between hydrothermalism in the area and the activity concentration of radionuclides of natural origin.

KEYWORDS: ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, Antarctic, Radioactive contamination, Radiation monitoring

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.SuplEsp.960>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

El continente Antártico ha sido considerado una de las regiones más prístinas y vírgenes del planeta, además de encontrarse geográficamente aislado de otros continentes (Cary *et al.*, 2010). A pesar de estar alejada de las mayores fuentes de elementos radioactivos como el hemisferio norte y el Pacífico occidental (Friedlander *et al.*, 2005), la atmósfera y el medio marino de la región polar ya ha sido afectado por las actividades humanas (Focardi *et al.*, 1993; Legrand y Mayewski, 1997; Bargagli, 2000). Adicionalmente, debido al aumento de las actividades del hombre en los continentes y al impacto del cambio climático, las condiciones ambientales en esta zona están cambiando apresuradamente, siendo las huellas antrópicas en la Antártica pequeñas en comparación al tamaño total del continente, sin embargo, los impactos no se distribuyen de manera uniforme (Bhardwaj *et al.*, 2018).

A lo largo del mundo se han realizado grandes esfuerzos para la caracterización y monitoreo de elementos radioactivos (Friedlander *et al.*, 2005), debido a su impacto en los ecosistemas y en la salud humana, ya que estos pueden ser transferidos a través de la cadena trófica, resultando en una concentración generalmente más alta dentro de los organismos de los niveles superiores de la cadena, lo que es conocido como biomagnificación (Connell, 1989). Los radionúclidos pueden ser de origen natural como el ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{208}Tl , ^{214}Bi , ^{228}Ac y ^{40}K , pero también pueden proceder exclusivamente de procesos antropogénicos, principalmente derivados de explosiones nucleares, como el ^{137}Cs (Ferreira *et al.*, 2013). Aunque el cese de pruebas nucleares atmosféricas en la década de los 80s, y el decaimiento asociado a su periodo de semidesintegración y dilución, han producido una reducción en las concentraciones de ^{137}Cs en las últimas décadas (Friedlander *et al.*, 2005), aún existe la señal de este radionúclido en el ambiente marino. Adicionalmente, accidentes nucleares como los de Chernobyl y Fukushima, han liberado nuevamente grandes cantidades de radionúclidos al medio ambiente (Marzano y Triulzi, 1994; Matisoff *et al.*, 2011).

Para la región Antártica, islas Shetland del Sur y la bahía Almirantazgo, existen varios estudios de radionúclidos, los cuales se han enfocado en una variedad de matrices como material biológico terrestre y marino, suelos superficiales y sedimentos marinos (Ross *et al.*, 1994; Godoy *et al.*, 1998; Mietelski *et al.*, 2008; Sanders *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2013). La mayoría de los cuales se han

INTRODUCTION

The Antarctic continent has been considered one of the most pristine and unspoiled regions on the planet, in addition to being geographically isolated from other continents (Cary *et al.*, 2010). Despite being an area far from the major sources of radioactive elements such as the northern hemisphere and the western Pacific (Friedlander *et al.*, 2005), the atmosphere and the marine environment of the polar region have already been affected by human activities (Focardi *et al.*, 1993; Legrand and Mayewski, 1997; Bargagli, 2000). Additionally, due to the increase in human activities on the continents and the impact of climate change, the environmental conditions in this area are rapidly changing, with anthropic footprints in Antarctica being small compared to the total size of the continent, however, the impacts are not uniformly distributed (Bhardwaj *et al.*, 2018).

Throughout the world, great efforts have been made for the characterization and monitoring of radioactive elements (Friedlander *et al.*, 2005), due to their impact on ecosystems and human health, since these can be transferred through the trophic chain, resulting in a generally higher concentration within the higher levels organisms of the chain, which is known as Biomagnification (Connell, 1989). Radionuclides can be of natural origins such as ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{208}Tl , ^{214}Bi , ^{228}Ac , and ^{40}K , but they can also come exclusively from anthropogenic processes, mainly derived from nuclear explosions, such as ^{137}Cs (Ferreira *et al.*, 2013). Although the cessation of atmospheric nuclear tests in the 1980s, and the decay associated with its half-life and dilution, have produced a reduction in ^{137}Cs concentrations in recent decades (Friedlander *et al.*, 2005), the signal of this radionuclide still exist in the marine environment. Additionally, nuclear accidents like those of Chernobyl and Fukushima, have again released large amounts of radionuclides into the environment (Marzano and Triulzi, 1994; Matisoff *et al.*, 2011).

For the Antarctic region, in the South Shetland Islands and Admiralty Bay, there are several studies of radionuclides, which have focused on a variety of matrices such as terrestrial and marine biological material, surface soils, and marine sediments (Ross *et al.*, 1994; Godoy *et al.*, 1998; Mietelski *et al.*, 2008; Sanders *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2013). Most of which have focused on the concentration of radioactive elements and their spatial

enfocado en la concentración de elementos radioactivos y sus cambios espaciales y temporales, pero pocos trabajos se han enfocado en analizar el riesgo radiológico, con excepción de Godoy *et al.* (1998).

Aunque parece ser claro que la principal fuente de transporte de los radionúclidos de origen antrópico, como el ^{137}Cs , es a través de la circulación atmosférica (Godoy *et al.*, 1998), poco se conoce de su transporte hacia las zonas profundas del océano. Así mismo, existe menos conocimiento de las fuentes y principales rutas de transporte de los radionúclidos de origen natural. Teniendo en cuenta que los sedimentos marinos registran materiales provenientes de las zonas continentales adyacentes, las cuencas oceánicas, así como elementos transportados por las corrientes o depositados en la superficie del mar y posteriormente llevados al fondo del océano, estos pueden ser útiles en el estudio de la concentración de radionúclidos.

Este estudio tuvo como objetivo caracterizar la concentración de radionúclidos de origen natural y antropogénico en sedimentos marinos de localidades con influencias contrastantes, en la isla Rey Jorge y estrecho de Bransfield (Antártica), con el fin de establecer una línea base para definir el nivel de riesgo radiológico para el ambiente y la salud humana en las zonas de muestreo. De igual manera, a partir de la distribución de las concentraciones definir las posibles fuentes y rutas de transporte de los elementos radioactivos estudiados.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la zona noroccidental del continente antártico, en donde se visitaron tres localidades, el monte Submarino Orca (estrecho de Bransfield), la bahía Almirantazgo y la ensenada MacKellar (islas Shetland del Sur) (figura 1). El monte submarino Orca, ubicado aproximadamente entre la latitud 62,20 a 62,30° S y la longitud 58,14 a 58,42° W, corresponde a un emplazamiento volcánico directamente asociado a la depresión tectónica de la zona de rift en un ambiente de trasarco, resultado de procesos de subducción entre las placas Fenix y Antártica (Lawver *et al.*, 1996). Aún se desconoce si es un área con actividad hidrotermal, pero en el área del estrecho de Bransfield si se ha identificado hidrotermalismo activo, asociado a la presencia de centros volcánicos, siendo el más importante el que se encuentra en isla Decepción. Las profundidades en Orca van entre 600 m en la cúspide de las paredes del monte y 1600 m en los fondos externos adyacentes a la falda del mismo.

and temporal changes, but few works have focused on analyzing radiological risk, except for Godoy *et al.* (1998).

Although it seems to be clear that the main source of transport of radionuclides of anthropic origin, such as ^{137}Cs , is through atmospheric circulation (Godoy *et al.*, 1998), little is known about their transport to the deep areas of the ocean. Likewise, there is less knowledge of the sources and main transport routes of radionuclides of natural origin. Taking into account that marine sediments record materials from adjacent continental areas, ocean basins, as well as elements transported by currents or deposited on the sea surface and subsequently carried to the ocean floor, these can be useful in the study of the concentration of radionuclides.

This study aimed to characterize the concentration of radionuclides of natural and anthropogenic origin in marine sediments from localities with contrasting influences, on King George Island and Bransfield Strait (Antarctica), to establish a baseline to define the level of radiological risk for the environment and human health in the sampling areas. In the same way, from the distribution of the concentrations, the possible sources and transport routes of the radioactive elements studied were defined.

STUDY AREA

The study area corresponds to the northwestern part of the Antarctic continent, where 3 locations were visited, the Orca Submarine Mount (Bransfield Strait), Admiralty Bay, and MacKellar Inlet (South Shetland Islands) (figure 1). Mount Submarine Orca, located approximately between Latitude 62.20 to 62.30° S and Longitude 58.14 to 58.42° W, which corresponds to a volcanic site directly associated with the tectonic depression of the rift zone in a post-arc environment, the result of subduction processes between the Fenix and Antarctic plates (Lawver *et al.*, 1996). It is still unknown if it is an area with hydrothermal activity, but in the Bransfield Strait área, active hydrothermalism has been identified, associated with the presence of volcanic centers, the most important being the one on Deception Island. The depths in Orca range between 600 m at the top of the mountain walls and 1600 m at the external bottoms adjacent to the slope of the mountain.

Admiralty Bay is located on King George Island, being the largest bay in the South Shetland Islands (Ferreira *et al.*, 2012). The Bay in nature is similar to a

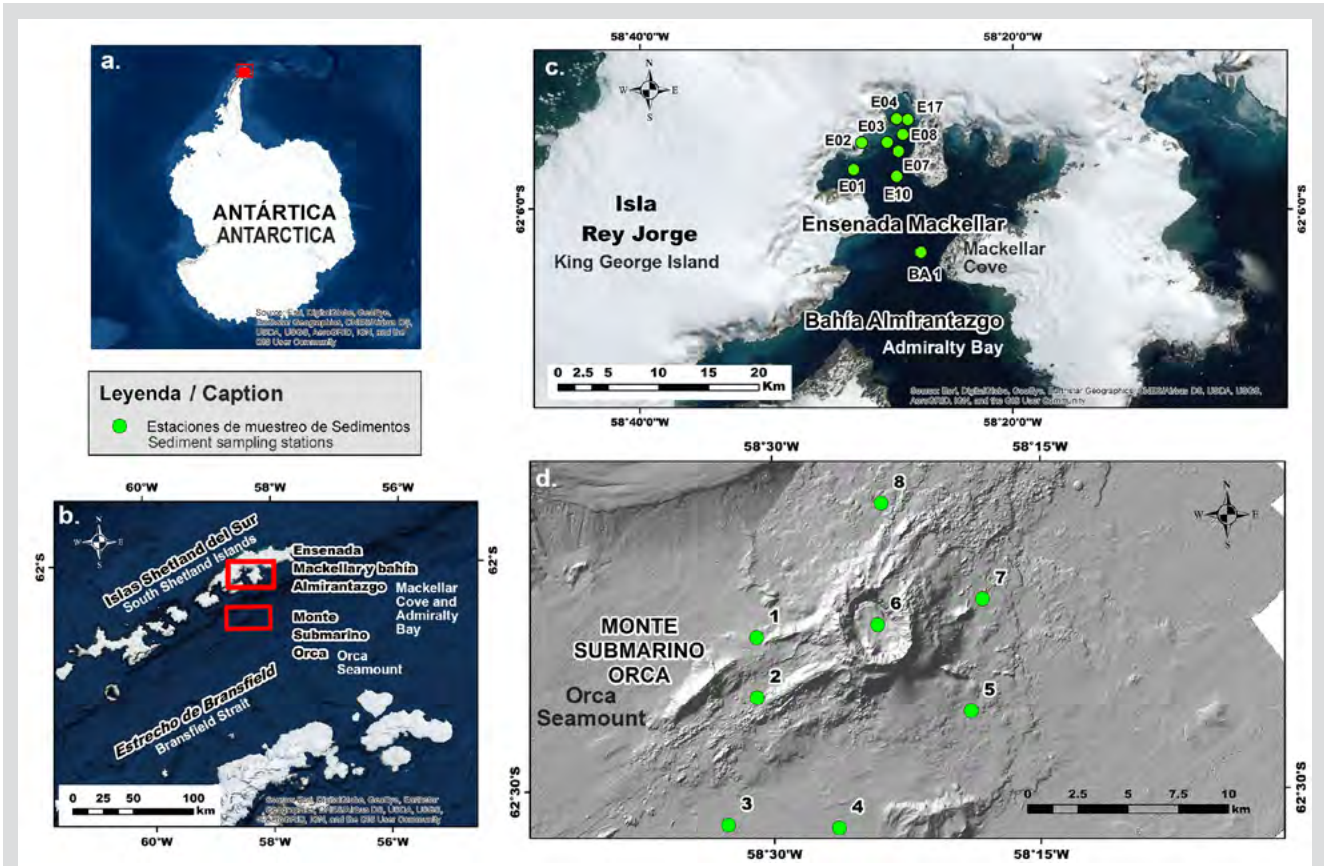


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio en el continente Antártico; **a.** mostrando la ubicación del monte submarino Orca, bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar; **b.** y el detalle de las estaciones de colecta de sedimentos marinos en cada una de las localidades; **c.** y **d.** Imágenes tomadas de Google Earth.

Figure 1. Geographic location of the study area on the Antarctic continent; **a.** showing the location of the Orca Seamount, Admiralty Bay, and Mackellar Cove; **b.** and details of the marine sediment collection stations in each of the locations; **c.** and **d.** Images were taken from Google Earth.

La bahía Almirantazgo se encuentra ubicada en la isla Rey Jorge, siendo la bahía más grande en las islas Shetland del Sur (Ferreira *et al.*, 2012). La bahía en su naturaleza es parecida a un fiordo, con tres ramas: ensenada Ezcurra al sudoeste, Mackellar al norte y Martel al noreste (Rakusa-Suszczewski, 1980; 1995). Tiene una superficie que cubre 122,08 km², de los cuales el cuerpo principal es 52,3 %, además una profundidad promedio de 198,6 m, pero el punto más profundo puede alcanzar 535 m (Rakusa-Suszczewski, 1995).

Por su parte, la ensenada Mackellar, como se dijo anteriormente, se encuentra dentro de la bahía Almirantazgo, hacia el norte, y en ella se encuentra localizada la Estación Científica Antártica Machu Picchu, que pertenece a Perú. Mackellar y las otras ensenadas de la bahía son más someras que el cuerpo principal (Rakusa-Suszczewski, 1995) y se encuentra más influenciada por los aportes de los glaciares, los cuales han modelado su morfología. Las

fiord, with three branches: Inlet Ezcurra to the southwest, Mackellar to the north, and Martel to the northeast (Rakusa-Suszczewski, 1980; 1995). It has a surface that covers 122.08 km², of which the main body is 52.3 %, and an average depth of 198.6 m, but the deepest area can reach 535 m (Rakusa-Suszczewski, 1995).

For its part, the Mackellar Cove, as mentioned above, is located within the Admiralty Bay, to the north, and the Machu Picchu Antarctic Scientific Station, which belongs to Peru, is located there. Mackellar and the other inlets of the bay are shallower than the main body (Rakusa-Suszczewski, 1995) and are more influenced by the contributions of glaciers, which have shaped their morphology. The hydrological and also hydrochemical conditions of the Inlet are very different from those of the main body of the bay, as well as the suspended material, which has higher concentrations in this area (Rakusa-Suszczewski, 1995), possibly contributed by icebergs.

condiciones hidrológicas y también hidroquímicas de la ensenada son muy diferentes de las del cuerpo principal de la bahía, así como el material suspendido, que tiene mayores concentraciones en esta zona (Rakusa-Suszczewski, 1995), posiblemente aportado por los icebergs.

MATERIALES Y MÉTODOS

Colección y tratamiento de muestras

La recolección de muestras de sedimento marino se llevó a cabo durante el segundo crucero de la Vigésimo Sexta Campaña Científica del Perú a la Antártida - ANTAR XXVI, realizado entre 24 de enero y 19 de febrero de 2019, en el marco del proyecto “Caracterización radiológica de los sedimentos extraídos de la profundidad del mar en el estrecho de Bransfield y muestras ambientales en la ECAMP”. Las muestras recolectadas correspondieron de la siguiente manera: siete muestras de sedimento en el monte submarino Orca, una muestra de sedimento en la bahía Almirantazgo y siete muestras en los alrededores de la ensenada Mackellar (Figura 1). Adicionalmente, se obtuvieron datos de mediciones radiométricas en muestras de sedimentos marinos recolectadas en la ensenada Mackellar entre 1997 y 2001 y de calicatas recolectadas alrededor de la estación peruana de Macchu Pichu situada en Punta Crepin. Las muestras fueron recolectadas mediante draga Van Veen a profundidades de fondo entre 15 m y 30 m en la ensenada Mackellar, 423 m en la bahía almirantazgo, y entre 1080 m y 1636 m en el monte submarino Orca. Posterior a su colecta las muestras fueron depositadas en bolsas de polietileno precintadas y refrigeradas a 4 °C por dos meses, para luego ser secadas a 105 °C por toda la noche, tamizadas a un diámetro inferior a 0,5 mm y llevadas al laboratorio para su acondicionamiento y medición.

En la Tabla 1 se muestran los detalles de los puntos de muestreo de sedimentos extraídos alrededor del monte submarino Orca. Se planificaron ocho puntos de los cuales el punto 2 (MOS2_sed) no se recolectó debido a tres lances fallidos de la draga. Para cada muestra se recolectó 2 kg de masa aproximadamente y se midió la tasa de dosis, siendo en algunos casos menores al fondo natural (0,01 μSv/h).

MATERIALS AND METHODS

Collection and treatment of samples

The collection of marine sediment samples was carried out during the second cruise of the Twenty-sixth Scientific Campaign of Peru to Antarctica - ANTAR XXVI, carried out between January 24 and February 19, 2019, within the framework of the project “Characterization radiological analysis of the sediments extracted from the depth of the sea in the Bransfield Strait and environmental samples in the ECAMP”. The collected samples corresponded as follows: 7 sediment samples in the Orca seamount, 1 sediment sample in Admiralty Bay, and 7 samples in the surroundings of Mackellar Inlet (Figure 1). Additionally, data from radiometric measurements were obtained from marine sediment samples collected from Mackellar Inlet between 1997 and 2001 and from pits around the Peruvian station of Macchu Pichu located in Punta Crepin. The samples were collected by Van Veen dredge at bottom depths between 15 m and 30 m in Mackellar Inlet, 423 m in Admiralty Bay, and between 1080 m and 1636 m in Seamount Orca. After their collection, the samples were placed in sealed polyethylene bags and refrigerated at 4 °C for two months, and then dried at 105 °C overnight, sieved to a diameter of less than 0.5 mm, and taken to the laboratory for its conditioning and measurement.

Table 1 shows the details of the sediment sampling points extracted around the Orca seamount. 08 points were planned of which point 2 (MOS2_sed) was not collected due to 03 unsuccessful dredge sets. Approximately 2 kg of mass was collected for each sample and the dose rate was measured, in some cases being less than the natural background (0.01 μSv/h).

Tabla 1. Datos de los puntos de muestreo de sedimentos recolectados alrededor del monte submarino Orca.

Estación / Station	Código de muestra / Sample code	Coordenadas geográficas / Coordinates Geographic		Fecha de muestreo / Date Sampling	Profundidad / Depth (m)	Tasa de dosis / Dose rate ($\mu\text{Sv/h}$)
		Latitud / Latitude	Longitud / Longitude			
1	MOS1_Sed	S62° 26.053'	W58° 30.920'	03/02/2019	1249	0.02
3	MOS3_Sed	S62° 30.925'	W58° 32.578'	03/02/2019	1628	< 0.01
4	MOS4_Sed	S62° 31.021'	W58° 26.348'	04/02/2019	1636	< 0.01
5	MOS5_Sed	S62° 27.997'	W58° 18.900'	04/02/2019	1553	0.02
6	MOS6_Sed	S62° 25.745'	W58° 24.114'	04/02/2019	1080	0.02
7	MOS7_Sed	S62° 25.539'	W58° 18.14'	04/02/2019	1605	0.02
8	MOS8_Sed	S62° 22.590'	W58° 23.880'	04/02/2019	1392	< 0.01

Table 1. Data from sediment sampling points collected around Orca Seamount.

Los detalles de los puntos de muestreo de los sedimentos extraídos en la bahía de Almirantazgo y alrededores de la ensenada Mackellar se describen la Tabla 2. Para cada muestra se recolectó entre 0,5 y 1 kg de masa aproximadamente y se midió la tasa de dosis, siendo en todos los casos ligeramente mayor al fondo natural ($0,01\mu\text{Sv/h}$).

The details of the sampling points of the sediments extracted in the Admiralty Bay and the surroundings of the Mackellar Inlet are described in Table 2. For each sample between 0.5 kg and 1 Kg of mass approximately was collected and the dose rate measured, being in all cases slightly higher than the natural background ($0.01\mu\text{Sv/h}$).

Tabla 2. Datos de los puntos de muestreo de sedimentos recolectados en bahía de Almirantazgo e interiores de la ensenada Mackellar (estaciones 2-17).

Estación / Station	Código de muestra / Sample code	Coordenadas geográficas / Coordinates Geographic		Fecha de muestreo / Date Sampling	Profundidad / Depth (m)	Tasa de dosis / Dose rate ($\mu\text{Sv/h}$)
		Latitud / Latitude	Longitud / Longitude			
Bahía de Almirantazgo / Admiralty Bay	BA1	S62°7'39"	W58°25'18"	12/02/2019	423	0.02
2	E02	N62°08'071"	E58°46'372"	05/02/2019	37	0.02
3	E03	N62°07'289"	E58°44'242"	05/02/2019	27	0.02
4	E04	N62°06'672"	E58°42'397"	02/02/2019	37	0.02
7	E07	N62°08'237"	E58°43'169"	05/02/2019	41	0.02
8	E08	N62°07'596"	E58°42'579"	02/02/2019	40	0.02
10	E10	N62°09'664"	E58°43'375"	05/02/2019	102	0.02
17	E17	N62°06'361"	E58°42'306"	05/02/2019	46	0.02

Table 2. Data from sediment sampling points collected in Admiralty Bay and interior of Mackellar Cove (Station 2-17).

Análisis de muestras

Para la medición de los radionúclidos de interés: ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{208}Tl , ^{214}Bi , ^{228}Ac y ^{40}K se acondicionó entre 180 a 380 g de muestra seca, en envases de polipropileno de 300 cm³ de volumen (diámetro 8,2 cm, altura 5 cm), los cuales fueron sellados herméticamente, pesados en balanza de 1 mg de precisión y almacenados por un mes para alcanzar equilibrio secular entre ^{226}Ra y ^{222}Rn (Ibrahiem *et al.*, 1993).

Todas las mediciones fueron realizadas usando un detector p-HPGe con una eficiencia relativa de 70 %, y una resolución de 1,9 keV para el pico de 1332,5 keV del ^{60}Co y una relación pico/Compton de 70. El detector se encuentra acoplado a un sistema intercambiador automático de muestras, Tema Sinergie modelo SC 100/20, con un blindaje de Pb de 100 mm de espesor forrado con una lámina de Cu electrolítico y otra de Cd de 1 mm cada una. Para la adquisición y tratamiento espectral se utilizó el programa Genie 2K versión 2.0 (Canberra) corrigiendo tanto la contribución del fondo natural como la interferencia espectral de ^{214}Bi en el pico de 661,65 keV del ^{137}Cs .

El tiempo de conteo varió desde 65000 s a 120000 s con un tiempo muerto < 1 %, previamente se calibró el sistema de medición en energía mediante una fuente patrón de ^{152}Eu , y en eficiencia absoluta mediante una cantidad de masa conocida de una solución estándar múltiple de Eckert & Ziegler, código UA591, con fecha de calibración 01 de abril de 2012 conteniendo ^{133}Ba , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{65}Zn , ^{88}Y , ^{54}Mn depositada en una muestra de suelo debidamente secada y tamizada. Considerando el tiempo de decaimiento transcurrido hasta la fecha de medición de las muestras, sólo los picos gamma de ^{133}Ba (276,38 keV, 302,85 keV, 356,013 keV, 383,848 keV) y ^{137}Cs (661,65 keV) fueron factibles de ser empleados.

Para una óptima estadística de conteo se estableció como geometría de medición una distancia de 18 mm entre la muestra y el detector, considerando posible efecto de suma por coincidencia en los picos gamma de interés (Talavera *et al.*, 2001; Haluk *et al.*, 2010). Dada la diferencia de densidad observada en las muestras, desde 0.6 g cm⁻³ a 1.3 g cm⁻³, se corrigió el efecto de atenuación gamma aplicando el método de transmitancia (Cutshall, 1981), empleando una fuente calibrada de ^{152}Eu .

La concentración de actividad de los radionúclidos encontrados en las muestras de sedimento marino fue calculada usando la ecuación 1, según Reza *et al.* (2012).

$$C_A = A_{\text{neto}} / (\epsilon \times B_r \times T_v \times W) [1]$$

Sample Analysis

For the measurement of the radionuclides of interest: ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{208}Tl , ^{214}Bi , ^{228}Ac y ^{40}K It was conditioned between 180 g to 380 g of dry sample, in polypropylene containers of 300 cm³ volume (diameter = 8.2 cm and height = 5 cm), which were hermetically sealed, weighed in a 1 mg precision balance and stored by a month to achieve a secular balance between ^{226}Ra y ^{222}Rn (Ibrahiem *et al.*, 1993).

All measurements were performed using a p-HPGe detector with a relative efficiency of 70 %, and a resolution of 1.9 keV for the 1332.5 keV peak of the ^{60}Co and a peak/Compton ratio of 70. The detector is coupled to an automatic sample exchanger system, Tema Sinergie model SC 100/20, with a 100 mm thick Pb shield lined with a sheet of electrolytic Cu and another of Cd of 1 mm each. For the acquisition and spectral treatment, the Genie 2K version 2.0 program (Canberra) was used, correcting both the contribution of the natural background and the spectral interference of ^{214}Bi at the 661.65 keV peak of the ^{137}Cs .

The counting time ranged from 65000 s to 120000 s with a dead time < 1 %, previously the measurement system was calibrated in energy using a standard source of ^{152}Eu , and in absolute efficiency using a known mass quantity of multiple standard solutions of Eckert & Ziegler, Code UA591, with calibration date April 1, 2012, containing ^{133}Ba , ^{57}Co , ^{139}Ce , ^{85}Sr , ^{137}Cs , ^{65}Zn , ^{88}Y , ^{54}Mn deposited in a properly dried and sieved soil sample. Considering the decay time elapsed up to the date of measurement of the samples, only the gamma peaks of ^{133}Ba (276.38 keV, 302.85 keV, 356.013 keV, 383.848 keV) and ^{137}Cs (661.65 keV) were feasible to be used.

For optimal counting statistics, a distance of 18 mm between the sample and the detector was established as the measurement geometry, considering a possible effect of coincidence in the gamma peaks of interest (Talavera *et al.*, 2001; Haluk *et al.*, 2010). Given the difference in density observed in the samples, from 0.6 g cm⁻³ a 1.3 g cm⁻³, the gamma attenuation effect was corrected applying the transmittance method (Cutshall, 1981), using a calibrated source of ^{152}Eu .

The activity concentration of the radionuclides found in the marine sediment samples was calculated using equation 1, according to Reza *et al.*, 2012.

$$C_A = A_{\text{neto}} / (\epsilon \times B_r \times T_v \times W) [1]$$

Donde C_A está expresado como $Bq\ kg^{-1}$, ε es la eficiencia absoluta para picos gamma de energía específica, T_V es el tiempo vivo de conteo en segundos, W es la cantidad de masa expresada en Kg, B_i es la fracción de partículas que se desintegran por un modo de desintegración definida para cada energía, de acuerdo a bases de datos de LNHB (Laboratoire National Henri Becquerel) y A_{neta} es el área neta de los picos gamma evaluados de: 186,21 keV (^{226}Ra), 238,63 keV (^{212}Pb), 661,6 keV (^{137}Cs), 351,93 keV (^{214}Pb), 583,18 keV (^{208}Tl), 609,316 keV (^{214}Bi) y 1460,82 keV (^{40}K), calculándose la incertidumbre de C_A mediante propagación de errores. Todos los resultados, tanto de muestras como de referencia, están dados en peso seco.

Determinación de índices de peligro de radiación

El riesgo radiológico de los radionúclidos presentes en las muestras de sedimento se estimó mediante los siguientes índices basados en la determinación de concentración de actividad de ^{40}K , ^{226}Ra (por ^{214}Bi) y ^{232}Th (por ^{228}Ac): el índice de concentración de actividad equivalente de radio (Ra_{eq}) (ecuación 2), el índice de riesgo de radiación gamma (I_γ), la tasa de dosis absorbida externamente a 1 m sobre el nivel del suelo (D) y la dosis de radiación efectiva anual correspondiente (DEA)

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43 C_{Th} + 0.077 C_K [2]$$

Donde C_{Ra} , C_{Th} y C_K son las concentraciones de actividad de ^{226}Ra , ^{228}Ac y ^{40}K en $Bq\ kg^{-1}$ respectivamente.

El valor del índice de riesgo de radiación I_γ se estimó mediante la ecuación 3

$$I_\gamma = C_{Ra} / 370 + C_{Th} / 259 + C_K / 4810 [3]$$

La tasa de dosis absorbida de radiación gamma externa en el aire a 1 m de nivel del suelo se calculó de acuerdo con la ecuación 4 (Unsear, 1988)

$$D = 0,462 C_{Ra} + 0,604 C_{Th} + 0,042 C_K [4]$$

Donde D es la tasa de dosis en $nGy\ h^{-1}$ y C_{Ra} , C_{Th} y C_K tienen el mismo significado que la ecuación 1.

Para la evaluación de los efectos en la salud de las dosis absorbidas de radiación gamma, se calculó la dosis efectiva anual mediante la ecuación 5, empleando la conversión de la dosis absorbida a la dosis efectiva mediante coeficiente de conversión ($0,7\ Sv\ Gy^{-1}$) y factor de ocupación exterior (0,2) (Unsear, 1988),

$$DEA\ (mSv/a) = D\ (nGy/h) \times 24 \times 365\ (h/a) \times 0,2 \times 0,7\ (Sv/Gy) \times 10^6 [5]$$

Where C_A is expressed as $Bq\ kg^{-1}$, ε is the absolute efficiency for gamma peaks of specific energy, T_V is the counting live time in seconds, W is the amount of mass expressed in Kg, B_i is the fraction of particles that disintegrate by a defined disintegration mode for each energy, according to LNHB databases (Laboratoire National Henri Becquerel) and A_{neta} is the net area of the evaluated gamma peaks of 186,21 keV (^{226}Ra), 238.63 keV (^{212}Pb), 661.6 keV (^{137}Cs), 351.93 keV (^{214}Pb), 583.18 keV (^{208}Tl), 609.316 keV (^{214}Bi) and 1460.82 keV (^{40}K), calculating the uncertainty of C_A by propagating errors. All results reports, both samples and references are given in dry weight.

Determination of radiation hazard indices

The radiological risk of the radionuclides present in the sediment samples was estimated using the following indices based on the determination of activity concentration of ^{40}K , ^{226}Ra (by ^{214}Bi), and ^{232}Th (by ^{228}Ac): the radium equivalent activity concentration index (Ra_{eq}) (equation 2), the gamma radiation hazard index (I_γ), the externally absorbed dose rate at 1 m above ground level (D) and the corresponding annual effective radiation dose (AED)

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43 C_{Th} + 0.077 C_K [2]$$

Where C_{Ra} , C_{Th} , and C_K are the activity concentrations of ^{226}Ra , ^{228}Ac , and ^{40}K in $Bq\ kg^{-1}$ respectively.

The value of the radiation hazard index I_γ was estimated by equation 3

$$I_\gamma = C_{Ra} / 370 + C_{Th} / 259 + C_K / 4810 [3]$$

The absorbed dose rate of external gamma radiation in the air at 1 m ground level was calculated according to equation 4 (UNSCEAR, 1988)

$$D = 0,462 C_{Ra} + 0,604 C_{Th} + 0,042 C_K [4]$$

Where D is the dose rate in $nGy\ h^{-1}$ and C_{Ra} , C_{Th} and C_K have the same meaning as equation 1.

For the evaluation of the health effects of the absorbed doses of gamma radiation, the annual effective dose was calculated using equation 5, using the conversion of the absorbed dose to the effective dose through the conversion coefficient ($0.7\ Sv\ Gy^{-1}$) and external load factor (0.2) (UNSCEAR, 1988),

$$DEA\ (mSv/a) = D\ (nGy/h) \times 24 \times 365\ (h/a) \times 0,2 \times 0,7\ (Sv/Gy) \times 10^6 [5]$$

Aseguramiento de la calidad y evaluación estadística

Para asegurar la calidad de las mediciones obtenidas en la presente investigación se analizaron las muestras de referencia: CRM IAEA Soil 6 y CRM IAEA Moss Soil 447 proveídas por la Agencia Internacional de Energía Atómica. En tabla 3 se muestra los valores obtenidos expresados como Bq kg⁻¹ y su incertidumbre combinada calculada mediante propagación de errores con factor de cobertura k = 1.

Los valores registrados indicaron que la metodología analítica estuvo bajo control estadístico. La discrepancia respecto a la concentración de actividad de ²²⁶Ra en CRM IAEA Moss Soil-447 se explica por la presencia de ²³⁵U (Shakhashiro *et al.*, 2012), cuyo pico de 185,72 keV y 57 % de emisión gamma, interfiere en el análisis de ²²⁶Ra (pico de 186,21 keV) por espectrometría gamma. Tal superposición de picos gamma no puede ser resuelta por el sistema de medición, derivando en una contribución adicional de 50 % en el valor de ²²⁶Ra.

Tabla 3. Concentración de actividad expresado en Bq kg⁻¹ en masa seca de radionúclidos en muestras de referencia, incertidumbre combinada con factor de cobertura k = 1.

Núclido / Nuclide	CMR IAEA Soil-6 (N = 3)		IC	CMR IAEA Moss Soil-447 (N = 2)	
	Valor medido / Measured value	Valor referencia / Valor reference*		Valor medido / Measured value	Valor referencia / Valor reference**
²²⁶ Ra	70.1 ± 3.5	79.9	69.6 - 93.4	38.3 ± 5.1	25.1 ± 2.0
²¹⁴ Pb	54.5 ± 3.0	---	---	21.4 ± 3.7	26.0 ± 2.0
²⁰⁸ Tl	10.6 ± 0.6	---	---	12.9 ± 0.8	13.0 ± 0.5
²¹⁴ Bi	60.2 ± 2.4	---	---	24.3 ± 4.0	24.8 ± 2.0
²²⁸ Ac	31.5 ± 2.2	---	---	39.4 ± 0.4	37.0 ± 2.0
⁴⁰ K	367 ± 16	---	---	577 ± 4	550 ± 20
¹³⁷ Cs	50.8 ± 1.4	53.65	51.43 -57.91	422 ± 15	425 ± 10

(*) (Pszonicki *et al.*, 1984). (**) (Shakhashiro *et al.*, 2012). IC = intervalo de confianza al 95 %

Quality Assurance and Statistical Evaluation

To ensure the quality of the measurements obtained in this investigation, the reference samples were analyzed: CRM IAEA Soil 6 and CRM IAEA Moss Soil 447 provided by the International Atomic Energy Agency. Table 3 shows the values obtained expressed as Bq kg⁻¹ and their combined uncertainty calculated by the propagation of errors with coverage factor k = 1.

The reported values indicated that the analytical methodology was under statistical control. The discrepancy regarding the activity concentration of ²²⁶Ra in CRM IAEA Moss Soil-447 is explained by the presence of ²³⁵U (Shakhashiro *et al.*, 2012), whose peak of 185.72 keV and 57 % gamma emission interferes in the analysis of ²²⁶Ra (186.21 keV peak) by gamma spectrometry. Such overlapping of gamma peaks cannot be resolved by the measurement system, resulting in an additional 50 % contribution in the value of ²²⁶Ra.

Table 3. Activity concentration expressed in Bq kg⁻¹ in dry mass of radionuclides in reference samples, uncertainty combined with coverage factor k = 1.

La actividad mínima detectable (MDA) se determinó según Curie (1968). Los valores calculados se muestran en tabla 4, variando por tiempo de conteo, masa de muestra, eficiencia del detector y fondo de pico gamma evaluado.

The minimal detectable activity (MDA) was determined according to Curie (1968). The calculated values are shown in table 4, varying by counting time, sample mass, detector efficiency, and the evaluated gamma peak background.

Tabla 4. Valores de MDA en Bq kg⁻¹ para muestras de ensenada Mackellar, Monte Submarino Orca y de referencia empleadas.

	Ensenada Mackellar / Mackellar Cove	Monte submarino Orca / Orca Seamount	CRM IAEA Soil-6	CRM IAEA Moss Soil-447
²²⁶ Ra	11 - 12	14 - 16	12.4	24.0
²¹² Pb	0.8 - 1.0	1.1 - 1.3	----	1.9
²¹⁴ Pb	1.0 - 1.2	1.8 - 2.1	----	2.1
²⁰⁸ Tl	0.5 - 0.6	0.6 - 0.8	----	0.9
²¹⁴ Bi	0.8 - 1.0	1.3 - 1.4	----	1.4
²²⁸ Ac	1.3 - 2.1	2.0 - 3.0	----	2.1
⁴⁰ K	3.4 - 3.8	4 - 7	----	5.3
¹³⁷ Cs	0.3 - 0.4	0.4	0.4	0.9

Table 4. MDA values in Bq kg⁻¹ for Mackellar Cove, Orca Seamount, and reference samples used.

La variabilidad entre las muestras de Ensenada Mackellar y del Monte submarino Orca fue estudiada a fin de establecer posibles vías de transporte de radionúclidos en ambas zonas. Para ello, se procesaron los resultados analíticos de: ²²⁶Ra, ²¹²Pb, ²¹⁴Pb, ²⁰⁸Tl, ²¹⁴Bi, ²²⁸Ac y ⁴⁰K mediante métodos de estadística multivariada de extracción de componentes principales (ACP) y clasificación jerárquica empleando el programa estadístico SPSS.

Para evaluar si era factible aplicar el análisis factorial (ACP) al conjunto de datos obtenidos, se realizó el test KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) y prueba de esfericidad de Bartlett obteniendo un valor de 0,718 > 0,5 y una significancia = 0, respectivamente, mostrando que la matriz de datos (15x7) es adecuada para llevar a cabo el ACP. De igual manera, se realizó una correlación simple entre la profundidad y la concentración de los radioisótopos, con el fin de evaluar si la ruta de llegada a los sedimentos marinos era desde continente o desde el fondo oceánico.

RESULTADOS

Los resultados de concentración de actividad de los radionúclidos de interés calculados para las muestras de ensenada Mackellar, bahía Almirantazgo y monte submarino Orca, mostraron la presencia de ¹³⁷Cs en el área de la ensenada Mackellar a niveles de actividad superior al valor de MDA, con excepción de las muestras de las estaciones BA1, E02, E03 y E08 (tabla 5). Por lo contrario, en las muestras de sedimentos de la zona del monte submarino Orca, no se detectó ¹³⁷Cs, a excepción de la muestra de la estación MOS4, que presentó una alta incertidumbre de medición.

The variability between the Mackellar Inlet and Seamount Orca samples was studied to establish possible transport pathways for radionuclides in both areas. To do this, the analytical results of ²²⁶Ra, ²¹²Pb, ²¹⁴Pb, ²⁰⁸Tl, ²¹⁴Bi, ²²⁸Ac, and ⁴⁰K were processed utilizing multivariate main component extraction (PCA) and hierarchical classification methods using the SPSS statistical program.

To evaluate whether it was feasible to apply factor analysis (PCA) to the data set obtained, the KMO test (Kaiser-Meyer-Olkin) and Bartlett's sphericity test were performed, obtaining a value of 0.718 > 0.5 and a significance = 0, respectively, showing that the data matrix (15x7) is adequate to carry out the PCA. Similarly, a simple correlation between Depth and radioisotope concentration was carried out, to assess whether the route of arrival to marine sediments was from the continent or the ocean floor.

RESULTS

The activity concentration results of the radionuclides of interest calculated for the samples from Mackellar Inlet, Admiralty Bay, and Orca Seamount, showed the presence of ¹³⁷Cs in the Mackellar Inlet area at activity levels higher than the MDA value, except for the samples from stations BA1, E02, E03 and E08 (Table 5). On the contrary, in the sediment samples from the Orca seamount area, ¹³⁷Cs were not detected, except for the sample from Station MOS4, which presented a high measurement uncertainty.



Tabla 5. Resultados de mediciones radiométricas en sedimento marino extraídos de la Ensenada Mackellar (E), Bahía Almirantazgo (BA) y Monte submarino Orca (MOS).

Table 5. Results of radiometric measurements in marine sediment extracted from Mackellar Inlet (E), Admiralty Bay (BA), and Orca Seamount (MOS).

M*	Estación / Station	Radionúclidos Bq kg ⁻¹ / RadioNuclides Bq kg ⁻¹							
		²²⁶ Ra	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	²⁰⁸ Tl	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
1	BA1	19.2 ± 2.2	7.1 ± 1.4	10.0 ± 1.4	4.5 ± 0.5	11.0 ± 1.1	11.5 ± 1.2	383 ± 37	< MDA
2	E02	22.2 ± 2.7	9.2 ± 2.0	13.1 ± 2.2	4.9 ± 0.5	14.6 ± 1.6	13.4 ± 1.5	409 ± 42	< MDA
3	E03	18.5 ± 1.6	8.2 ± 1.6	11.8 ± 1.6	4.7 ± 0.4	13.5 ± 1.2	14.4 ± 1.1	406 ± 32	< MDA
4	E04	23.5 ± 3.5	10.2 ± 2.5	14.8 ± 2.7	5.9 ± 0.7	16.3 ± 2.2	16.9 ± 2.2	571 ± 69	0.5 ± 0.1
5	E07	18.6 ± 3.1	9.8 ± 1.9	13.4 ± 2.0	5.1 ± 0.6	14.6 ± 1.7	15.8 ± 1.7	554 ± 56	0.9 ± 0.2
6	E08	19.3 ± 2.3	11.2 ± 2.2	14.6 ± 2.1	6.5 ± 0.7	16.6 ± 1.7	18.7 ± 1.8	562 ± 53	< MDA
7	E10	24.8 ± 4.7	9.2 ± 1.9	13.2 ± 2.3	5.2 ± 0.6	14.1 ± 2.1	14.6 ± 2.0	526 ± 66	0.4 ± 0.1
8	E17	21.5 ± 1.0	10.4 ± 2.1	12.7 ± 1.8	6.2 ± 0.6	13.9 ± 1.3	16.6 ± 1.4	597 ± 49	0.7 ± 0.2
9	MOS1	34.0 ± 6.0	10.8 ± 2.4	18.6 ± 2.8	6.3 ± 0.8	20.3 ± 2.3	15.6 ± 1.8	372 ± 39	< MDA
10	MOS3	33.5 ± 5.1	11.5 ± 2.5	18.8 ± 2.9	6.4 ± 0.8	19.8 ± 2.3	17.7 ± 2.0	396 ± 42	< MDA
11	MOS4	37.7 ± 5.7	13.2 ± 2.9	25.2 ± 3.9	7.4 ± 0.9	26.0 ± 3.0	18.8 ± 2.2	466 ± 49	0.5 ± 0.3
12	MOS5	33.5 ± 5.4	11.9 ± 2.6	21.0 ± 3.2	5.4 ± 0.7	23.7 ± 2.7	19.5 ± 2.2	447 ± 54	< MDA
13	MOS6	38.8 ± 5.8	11.4 ± 2.5	23.0 ± 3.5	6.4 ± 0.8	23.4 ± 2.7	17.2 ± 2.0	445 ± 47	< MDA
14	MOS7	29.6 ± 4.5	9.6 ± 2.1	17.8 ± 2.7	5.7 ± 0.7	19.7 ± 2.3	15.9 ± 1.8	374 ± 40	< MDA
15	MOS8	32.8 ± 5.1	10.1 ± 2.3	20.1 ± 3.2	5.4 ± 0.7	21.3 ± 2.5	13.9 ± 1.7	385 ± 41	< MDA

M* = Identificación de muestra en dendrograma

M* = Identification of sample in dendrogram

Los resultados históricos (diferentes años de colecta) para muestras de sedimento extraídas en un mismo punto en la Ensenada Mackellar (tabla 6), que fueron medidos en el presente estudio, estuvieron en general en niveles superiores al MDA para el ¹³⁷Cs, exceptuando el correspondiente al año 1999, con un descenso paulatino del valor de concentración de actividad.

The historical results (different collection years) for sediment samples extracted from the same point in Mackellar Inlet (table 6), which were measured in the present study, were in general at levels above the MDA for ¹³⁷Cs, except for those corresponding to 1999, with a gradual decrease in the activity concentration value.

Tabla 6. Resultados de mediciones radiométricas en sedimento marino extraídos de un mismo punto de muestreo en la Ensenada Mackellar, coordenadas: 62° 05' 29" S, 58° 28' 10" O, en diferentes años.

Table 6. Results of radiometric measurements in marine sediment extracted from the same sampling point in Mackellar Cove, Coordinates: 62°05'29 "S, 58°28'10" W, in different years.

Año / Year	Radionúclidos Bq kg ⁻¹ / RadioNuclides Bq kg ⁻¹							
	²²⁶ Ra	²¹² Pb	²¹⁴ Pb	²⁰⁸ Tl	²¹⁴ Bi	²²⁸ Ac	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs
1996	15.7 ± 2.4	9.0 ± 1.7	12.0 ± 1.6	4.8 ± 0.5	12.8 ± 1.2	15.3 ± 1.3	355 ± 32	1.5 ± 0.2
1997	15.1 ± 2.9	9.0 ± 1.7	11.9 ± 1.6	4.8 ± 0.5	12.8 ± 1.3	15.6 ± 1.5	363 ± 36	1.3 ± 0.2
1998	13.5 ± 2.8	9.0 ± 1.5	12.6 ± 1.6	4.9 ± 0.4	13.1 ± 1.1	16.6 ± 1.3	382 ± 40	0.9 ± 0.1
1999	13.5 ± 2.5	8.3 ± 1.8	12.1 ± 1.7	4.4 ± 0.5	12.7 ± 1.3	14.8 ± 1.4	435 ± 42	< MDA
2001	15.5 ± 5.7	9.3 ± 1.9	12.3 ± 2.1	4.7 ± 0.6	13.0 ± 1.8	15.3 ± 1.9	465 ± 60	1.1 ± 0.1

El análisis de correlación a partir de un análisis factorial (ACP), para las muestras de ensenada Mackellar (N = 7), bahía Almirantazgo (N = 1) y monte submarino Orca (N = 7), mostró una alta relación de ^{226}Ra , ^{214}Pb y ^{214}Bi pertenecientes a la serie radiactiva de ^{238}U . Asimismo, una alta correlación lineal entre ^{212}Pb , ^{208}Tl y ^{228}Ac pertenecientes a la serie radiactiva de ^{232}Th y mínima relación con ^{40}K . No obstante, se observó una relación inversa entre el ^{40}K y los radionúclidos de la serie radiactiva de ^{238}U . La clasificación jerárquica empleando el método de enlace promedio entre grupos, se muestra en figura 2, donde se observa una agrupación de las estaciones 4 a 8 de ensenada Mackellar y un segundo grupo con el resto de estaciones.

Según el ACP, la varianza total en la matriz de datos evaluada puede ser explicada por un primer componente constituido por los radionúclidos de la serie radiactiva del ^{238}U (^{226}Ra , ^{214}Pb y ^{214}Bi) con un 69,19% de varianza. En tanto,

The correlation analysis from a factor analysis (PCA), for the samples from Mackellar Cove (N = 7), Admiralty Bay (N = 1), and Orca Seamount (N = 7), showed a high ratio of ^{226}Ra , ^{214}Pb , and ^{214}Bi belonging to the ^{238}U radioactive series. Likewise, a high linear correlation between ^{212}Pb , ^{208}Tl , and ^{228}Ac belonging to the radioactive series of ^{232}Th and a minimum relation with ^{40}K . However, an inverse relationship was observed between ^{40}K and radionuclides of the ^{238}U radioactive series. The hierarchical classification using the average link method between groups is shown in figure 2, where a grouping of stations 4 to 8 of Mackellar Inlet is observed and a second group with the rest of the stations.

According to the PCA, the total variance in the evaluated data matrix can be explained by the first component constituted by the radionuclides of the radioactive series of ^{238}U (^{226}Ra , ^{214}Pb , and ^{214}Bi) with

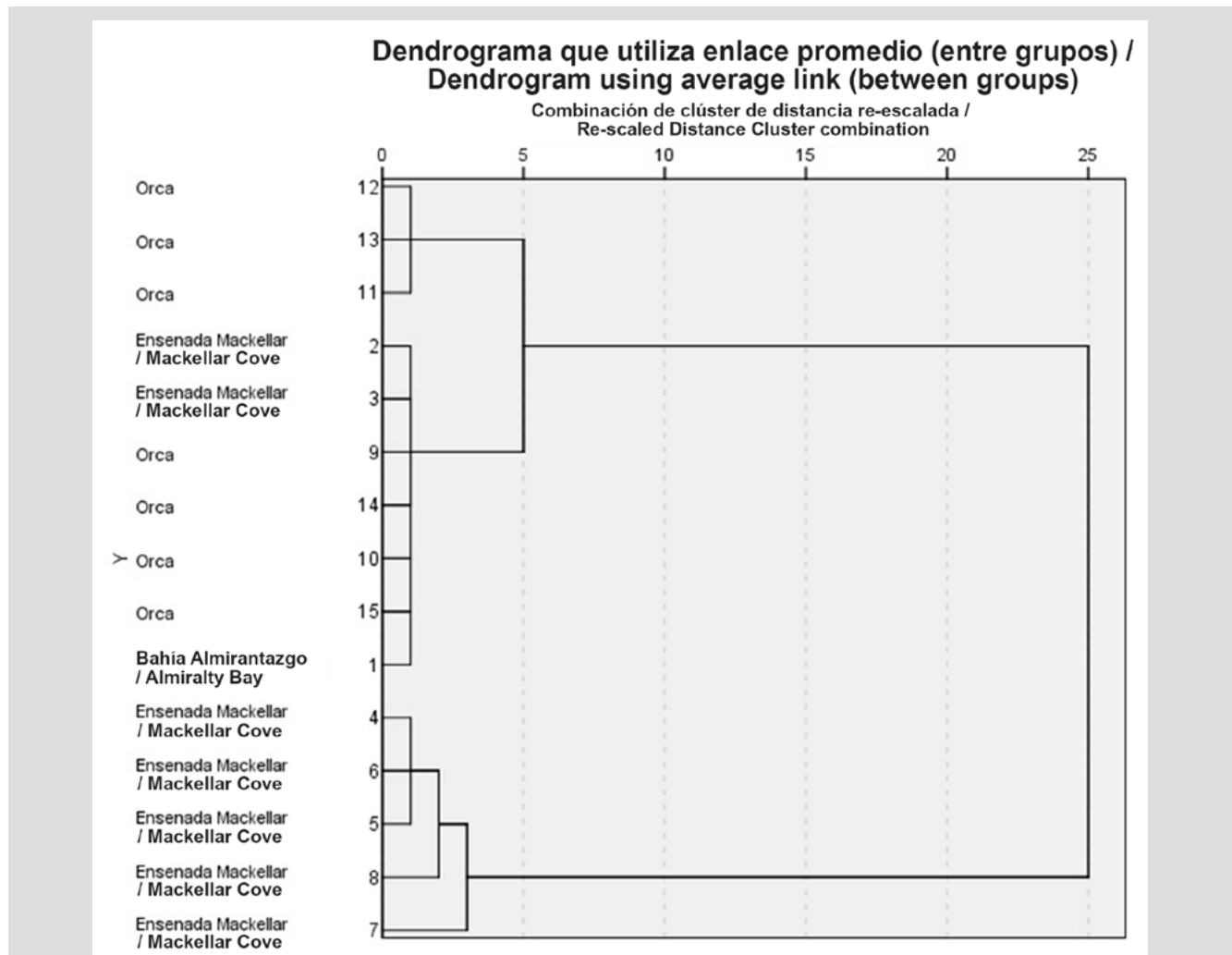


Figura 2. Análisis de conglomerado de datos de la matriz (15x7).

Figure 2. Cluster analysis of matrix data (15x7).

un segundo componente correspondiente al ^{40}K explica un 23,27 % de la varianza haciendo en conjunto una varianza total explicada de 92,46 %. El análisis de la relación entre la profundidad y la concentración de actividad los elementos (figura 3), mostró una relación directa entre la variación

a 69.19 % variance. Meanwhile, a second component corresponding to ^{40}K explains 23.27 % of the variance, making together a total explained variance of 92.46 %. The analysis of the relationship between Depth and the concentration of activity of the elements (figure 3), showed

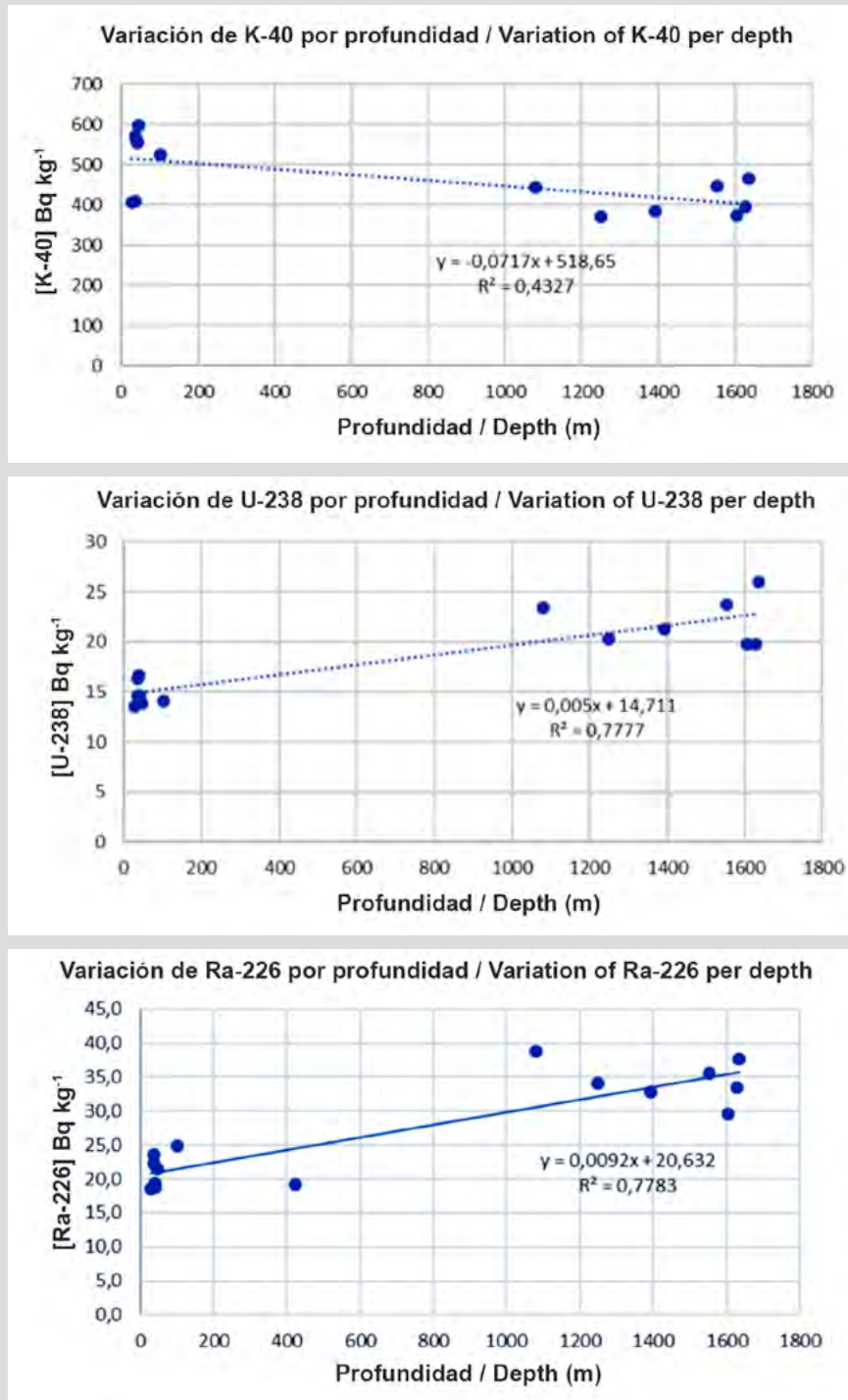


Figura 3. Relación de la profundidad con la concentración de ^{40}K , ^{226}Ra y ^{238}U en las muestras de sedimentos de las diferentes estaciones de colecta del estudio.

Figure 3. Relationship of Depth with a concentration of ^{40}K , ^{226}Ra , and ^{238}U in the sediment samples from the different collection stations of the study.

de ^{238}U y ^{226}Ra en función de la profundidad, mientras que para el ^{40}K la relación es inversa, aunque con un bajo nivel de correlación. Para el ^{137}Cs no fue posible establecer una relación numérica, pero se observó un mayor número de eventos de concentración mayor al MDA en ensenada Mackellar (tabla 5).

En los valores de los parámetros de peligro de radiación en bahía Almirantazgo, ensenada Mackellar y monte submarino Orca (tabla 7), se observó el nivel más bajo para la estación en bahía Almirantazgo (BA1) y el valor más alto para la estación 4 en el monte submarino Orca (MOS-4). Para el índice de concentración de actividad equivalente de radio ($R_{a_{eq}}$), se observó una variación de 56,9 a 88,8 Bq kg^{-1} . Para el índice de riesgo de radiación (I_r), los niveles variaron entre 0,18 y 0,27. Así mismo se obtuvo los valores de la tasa de dosis (D), que variaron entre 31,89 y 48,35 nGy h^{-1} , y los valores de la Dosis Efectiva Anual (DEA), que variaron entre 0,04 y 0,05 mSv a^{-1} .

a relationship directly between the variation of ^{238}U and ^{226}Ra as a function of Depth, while for ^{40}K the relationship is inverse, although with a low level of correlation. For ^{137}Cs it was not possible to establish a numerical relationship, but a greater number of events with a concentration greater than MDA was observed in Mackellar Inlet (table 5).

In the values of the radiation hazard parameters in Admiralty Bay, Mackellar Inlet, and Orca Seamount (Table 7), the lowest level was observed for Station in Admiralty Bay (BA1) and the highest value for Station 4 in Orca Seamount (MOS-4). For the radium equivalent activity concentration index ($R_{a_{eq}}$), a variation from 56.9 to 88.8 Bq kg^{-1} was observed. For the radiation hazard index (I_r), the levels varied between 0.18 and 0.27. Likewise, the values of the dose rate (D) were obtained, which varied between 31.89 and 48.35 nGy h^{-1} , and the values of the Annual Effective Dose (AED), which varied between 0.04 and 0.05 mSv a^{-1} .

Tabla 7. Valores de los parámetros de peligro de radiación en bahía Almirantazgo, ensenada Mackellar y monte submarino Orca.

Estación / Station	$R_{a_{eq}}$	I_r	D	DEA
BAHIA	56.9	0.18	31.9	0.039
E-02	65.2	0.20	35.5	0.044
E-03	65.3	0.19	34.3	0.042
E-04	84.4	0.25	45.0	0.055
E-07	79.8	0.23	41.4	0.051
E-08	86.6	0.24	43.9	0.054
E-10	75.5	0.23	42.3	0.052
E-17	83.6	0.25	45.0	0.055
MOS-1	71.2	0.23	40.7	0.050
MOS-3	75.6	0.24	42.8	0.052
MOS-4	88.8	0.27	48.3	0.059
MOS-5	85.9	0.26	46.9	0.058
MOS-6	82.2	0.26	47.0	0.058
MOS-7	71.3	0.22	39.0	0.048
MOS-8	70.9	0.22	39.8	0.049

Límites Máximos Permisibles (LMP): $R_{a_{eq}} = 370 \text{ Bq kg}^{-1}$; $I_r < 1$; $D = 55 \text{ nGy h}^{-1}$; $DEA = 0.067 \text{ mSv a}^{-1}$

Table 7. Radiation hazard parameter values at Admiralty Bay, Mackellar Inlet, and Orca Seamount.

Maximum Allowable Limits (LMP): $R_{a_{eq}} = 370 \text{ Bq kg}^{-1}$; $I_r < 1$; $D = 55 \text{ nGy h}^{-1}$; $DEA = 0.067 \text{ mSv a}^{-1}$

DISCUSIÓN

La concentración de actividad de radionúclidos en las muestras de sedimentos marinos indicó un nivel de radiactividad significativamente menor para el ^{137}Cs , en comparación a otras áreas a nivel mundial (tabla 8), lo cual puede ser explicado por la distancia que hay entre el continente Antártico y las zonas fuente de este elemento (Friedlander *et al.*, 2005). Mientras que el ^{40}K y el ^{226}Ra mostraron estar dentro de los rangos observados en sedimentos marinos de varias localidades alrededor del mundo, con excepción de los reportados para ^{40}K por Lambrechts *et al.* (1992) y Kurnaza *et al.* (2007), quienes mostraron rangos cuyo límite superior está por encima de 1000 Bq kg^{-1} , así mismo Abdel-Halim y Saleh (2016) citan para las costas de Alejandría concentraciones de ^{226}Ra hasta de $499,2 \text{ Bq kg}^{-1}$.

Las concentraciones de ^{137}Cs que se reportan para algunas estaciones de ensenada Mackellar corresponden con los niveles de actividad históricamente observados según la tabla 6, considerando el factor de decaimiento natural. Una probable explicación a la presencia de mayores concentraciones de actividad del ^{137}Cs en sedimentos marinos de áreas someras (ensenada Mackellar) con respecto a la más profunda (monte submarino Orca) del área de estudio, se fundamenta en que el transporte de este radioisótopo es principalmente por vía atmosférica (Godoy *et al.*, 1998), acumulándose posteriormente en la nieve, hielo marino, suelos y vegetación terrestre, lo cuál ha sido corroborado con los resultados de Mietelski *et al.* (2008), quienes encontraron más bajos niveles de contaminación en las muestras del ambiente marino que en las de los ecosistemas terrestres. Posteriormente, este material es aportado a los sedimentos marinos a través de la escorrentía terrestre y la deriva de hielo hacia mar abierto.

Tabla 8. Comparación de radioactividad (expresado como Bq kg^{-1}) en sedimentos marinos de la zona de estudio con otras áreas a nivel mundial.

País / Country	Ubicación / Location	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	Referencia / Reference
Antártica / Antarctica	Ensenada Mackellar, bahía Almirantazgo y monte submarino Orca / Mackellar Cove, Admiralty Bay and Orca Seamount	13.5 - 38.8	----	355 - 597	< 1.5	Este estudio / This studio
Egipto / Egypt	Costas de Alejandría / Coasts of Alexandria	12.6 - 499.2	----	12.6 - 499.2	0.1 - 3.22	Abdel-Halim and Saleh, 2016
Egipto / Egypt	Costas sureste-Mar rojo / Southeast coasts-Red Sea	3.35 - 61.1	1.39 - 24.3	132.5 - 531.2	0.67 - 2.52	Arafat <i>et al.</i> , 2017

DISCUSSION

The concentration of radionuclide activity in the marine sediment samples indicated a significantly lower level of radioactivity for ^{137}Cs , compared to other areas worldwide (Table 8), which can be explained by the distance between the Antarctic continent and the source areas of this element (Friedlander *et al.*, 2005). While ^{40}K and ^{226}Ra showed to be within the ranges observed in marine sediments from various locations around the world, with the exception of those reported for ^{40}K by Lambrechts *et al.* (1992) and Kurnaza *et al.* (2007), who showed ranges whose upper limit is above 1000 Bq kg^{-1} , likewise Abdel-Halim and Saleh (2016) report concentrations of ^{226}Ra up to 499.2 Bq kg^{-1} for the Alexandria coasts.

The concentrations of ^{137}Cs that are reported for some stations in Mackellar Inlet correspond to the levels of activity historically observed according to Table 6, considering the natural decay factor. A probable explanation for the presence of higher concentrations of ^{137}Cs activity in shallow marine sediments (Mackellar Inlet) with respect to the deeper zone (Orca seamount) of the study area, is based on the fact that the transport of this radioisotope is mainly by atmospheric route (Godoy *et al.*, 1998), subsequently accumulating in snow, sea ice, soils and terrestrial vegetation, which has been corroborated with the results of Mietelski *et al.* (2008), who found lower levels of contamination in samples from the marine environment than those from terrestrial ecosystems. Subsequently, this material is contributed to marine sediments through land runoff and ice drift into the open sea.

Table 8. Comparison of radioactivity (expressed as Bq kg^{-1}) in marine sediments in the study area with other areas worldwide.

País / Country	Ubicación / Location	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	Referencia / Reference
India	Bahía del puerto de Mumbai / Mumbai Harbor Bay	13.6 - 26.7	----	437.5 - 653	48.3 - 221	Kumar <i>et al.</i> , 2013
Francia		9 - 62	16 - 55	120 - 1026		Lambrechts <i>et al.</i> , 1992
Omán	Costa norte del mar de Omán / North coast of the sea of Oman	----	10.7 - 25.0	222.9 - 535.1	0.1 - 3.0	Zare <i>et al.</i> , 2012
Pakistán	Costa de Karachi / Karachi Coast	18.4 - 53.8	----	125 - 780.4	< 1.6	Qureshi, 1999
Portugal	Rio Tejo / Tejo River	42 - 57	54 - 76			Carreira and Sequeira, 1988
Turquía / Turkey	Rio Firtina / Firtina River	15 - 116	17 - 87	51 - 1605		Kurnaza <i>et al.</i> , 2007
Kuwait	Costa sur y norte / South and north coast	8.1 - 72	1.6 - 17	40.5 - 492	0.35 - 4.24	Saad and Al-Azmi, 2002
Bangladesh	Chittagong	18 - 85	51 - 88	217 - 320	1.7 - 2.7	Chowdhury <i>et al.</i> , 1999

La variabilidad de los radionúclidos de origen natural tanto en la ensenada Mackellar como en monte submarino Orca está definida principalmente por los radionúclidos de la serie radiactiva de ²³⁸U (²²⁶Ra, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi) y por ⁴⁰K, en tanto, aquellos de la serie radiactiva de ²³²Th (²¹²Pb, ²⁰⁸Tl, ²²⁸Ac) muestran homogeneidad a nivel general en ambas zonas. Según el análisis de cluster, las estaciones MOS4, MOS5 y MOS6 se agrupan convenientemente considerando la ubicación de tales estaciones en esa localidad (figura 1d).

La concentración de actividad del ²³⁸U y ²²⁶Ra encontrada, sugiere un origen asociado a la actividad volcánica en el área de estudio, los valores de ²²⁶Ra coinciden con lo reportado por Iyengar (1990), para diferentes tipos de rocas con este origen. La relación directa de las concentraciones de ²²⁶Ra con la profundidad confirma la evolución geológica del área propuesta por varios autores (Schreider *et al.*, 2015; Kozlenko y Kozlenko, 2019) y los cambios temporales de fuente de material al manto, que altera la geoquímica de las rocas volcánicas de las diferentes zonas de las islas Shetland del Sur (Fretzdorff *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2008). Los mayores valores ²²⁶Ra (29.6-38.8 Bq kg⁻¹) se encontraron en la zona más profunda y de actividad más reciente, monte submarino Orca, en el cual se encuentran rocas ígneas volcánicas o magmáticas alcalinas (Fretzdorff *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2008), las cuales tienen concentración de ²²⁶Ra entre 11.1 y 48.1 Bq kg⁻¹ según Iyengar (1990), y menor concentración (18.5-24.8 Bq kg⁻¹) en el área menos profunda (bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar) en donde Birkenmajer (1980) identificó lavas

The variability of naturally occurring radionuclides both in Mackellar Inlet and Orca Seamount is defined mainly by radionuclides of the radioactive series of ²³⁸U (²²⁶Ra, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi) and by ⁴⁰K, meanwhile, those of the radioactive series of ²³²Th (²¹²Pb, ²⁰⁸Tl, ²²⁸Ac) show general homogeneity in both zones. According to the cluster analysis, the MOS4, MOS5 and MOS6 stations are conveniently grouped considering the Location of such stations in that locality (figure 1d).

The activity concentration of ²³⁸U and ²²⁶Ra found, suggests an origin associated with volcanic activity in the study area, the values of ²²⁶Ra coincide with that reported by Iyengar (1990), for different types of rocks with this origin. The direct relationship of ²²⁶Ra concentrations with Depth confirming the geological evolution of the area proposed by several authors (Schreider *et al.*, 2015; Kozlenko and Kozlenko, 2019) and the temporal changes from the source of material to the mantle, which alters the geochemistry of volcanic rocks from different areas of the South Shetland Islands (Fretzdorff *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2008). The highest ²²⁶Ra values (29.6-38.8 Bq kg⁻¹) were found in the deepest and most recently active zone, Orca seamount, in which alkaline magmatic or volcanic igneous rocks are found (Fretzdorff *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2008), which have a concentration of ²²⁶Ra between 11.1 and 48.1 Bq kg⁻¹ according to Iyengar (1990), and a lower concentration (18.5-24.8 Bq kg⁻¹) in the shallower zone (Admiralty Bay and Mackellar Cove) in Where Birkenmajer (1980) identified andesitic and rhyolitic lavas considered intermediate volcanic rocks, for which Iyengar (1990) reported ²²⁶Ra values of 18.5 Bq kg⁻¹.

andesíticas y riolíticas consideradas rocas volcánicas intermedias, para las cuales Iyengar (1990) reportó valores de ^{226}Ra de $18,5 \text{ Bq kg}^{-1}$.

Por su parte, las concentraciones de actividad del ^{40}K encontradas en este estudio en bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar, coinciden con las presentadas por Godoy *et al.* (1998), quienes registraron valores entre 402 y 607 Bq kg^{-1} . El ^{40}K como el ^{232}Th , y el ^{238}U está disponible en el magma y entra así en la estructura cristalina de los minerales, debido a que durante su proceso de transporte después de la desintegración de la roca no sufre enriquecimiento o agotamiento significativo, proporciona una especie de etiqueta radiactiva de la roca fuente (Anjos *et al.*, 2007). La relación inversa entre el ^{40}K y la profundidad sugiere como fuente de este elemento la zona continental, posiblemente asociado al tipo de rocas volcánicas que conforman la isla Rey Jorge, las cuales son diferentes de las del monte submarino Orca, como se dijo anteriormente. Teniendo en cuenta que el monte submarino Orca no evidencia actividad volcánica e hidrotermal actual, partiendo de las exploraciones realizadas en la zona en los cruceros ANTAR XXVI y XXVII, y los registros de Klinkhammer *et al.* (1996, 2001), se hace necesario explorar en trabajos futuros la concentración de actividad de radionúclidos de origen natural en otras zonas del estrecho con hidrotermalismo activo, con el fin de definir si existen cambios espaciales derivados de esta condición.

En cuanto a los índices utilizados para evaluar peligro de radiación, se encontró que todas las concentraciones de radionúclidos estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles (LMP) sugeridos por Unsear (1988), lo cual indica que aunque hay presencia de estos radionúclidos todavía no representan un peligro para la salud. Para el índice de concentración de actividad equivalente de radio (Ra_{eq}), los valores estuvieron por debajo del límite fijado en 370 Bq kg^{-1} , para el índice de riesgo de radiación (I), los valores fueron menores a la unidad. Así mismo, los valores de la tasa de dosis (D) estuvieron por debajo de 55 nGy h^{-1} y los valores de la Dosis Efectiva Anual (DEA) no superaron el valor máximo de $0,067 \text{ mSv a}^{-1}$ de acuerdo a lo sugerido por Unsear (1993).

Teniendo en cuenta la extensión del continente Antártico y la acumulación en el hielo del ^{137}Cs , así como su posterior contribución al océano adyacente y los sedimentos, es posible pensar que Antártica puede ser considerado un gran reservorio de elementos radioactivos de origen antrópico. Pourchet *et al.* (2003) fijaron en 760

For their part, the ^{40}K activity concentrations found in this study in Admiralty Bay and Mackellar Inlet, coincide with those reported by Godoy *et al.* (1998), who registered values between 402 and 607 Bq kg^{-1} . The ^{40}K as the ^{232}Th and the ^{238}U is available in magma and thus enters the crystalline structure of minerals, because during its transport process after the disintegration of the rock it does not undergo significant enrichment or depletion, it provides a species radioactive label of the source rock (Anjos *et al.*, 2007). The inverse relationship between ^{40}K and Depth suggests the continental zone as a source of this element, possibly associated with the type of volcanic rocks that make up King George Island, which are different from the Orca Seamount, as stated above. Taking into account that the Orca seamount does not show current volcanic and hydrothermal activity, based on the explorations carried out in the area on the ANTAR XXVI and XXVII cruises, and the records of Klinkhammer *et al.* (1996) and Klinkhammer *et al.* (2001), it is necessary to explore in future works the concentration of activity of naturally occurring radionuclides in other areas of the Strait with active hydrothermalism, to define whether there are spatial changes derived from this condition.

Regarding the indices used to evaluate radiation hazard, it was found that all concentrations of radionuclides were below the maximum permissible limits (MPL) suggested by UNSCEAR (1988), which indicates that although there is the presence of these radionuclides, they are not yet present, represents a health hazard. For the radium equivalent activity concentration index (Ra_{eq}), the values were below the limit set at 370 Bq kg^{-1} , for the radiation risk index (I) the values were less than unity. Likewise, the dose rate values (D) were below 55 nGy h^{-1} and the Annual Effective Dose (AED) values did not exceed the maximum value of 0.067 mSv a^{-1} as suggested by UNSCEAR (1993).

Taking into account the extension of the Antarctic continent and the accumulation of ^{137}Cs in the ice, as well as its subsequent contribution to the adjacent ocean and sediments, it is possible to think that Antarctica can be considered a large reservoir of radioactive elements of anthropic origin. Pourchet *et al.* (2003) set the activity of ^{137}Cs deposited throughout Antarctica at 760 TBq (terabecquerels), this is equivalent to around 20,000 Ci, although it is a very large amount of activity, it only represents 0.08 % of the deposited ^{137}Cs worldwide according to the same reference. Derived from the

TBq (terabequerelios) la actividad de ^{137}Cs depositada en toda la antártica, esto equivale alrededor de 20000 Ci, si bien es una cantidad muy grande de actividad solo representa el 0,08 % de lo depositado de ^{137}Cs a nivel mundial según la misma referencia. Derivado de lo anterior se puede decir que el derretimiento y liberación de estos elementos debido al cambio climático, puede representar un peligro para los organismos de esta región y la humanidad, por lo cual mediciones en núcleos de sedimentos pueden ser útiles para evaluar el aporte de estos radionúclidos a lo largo del tiempo y su relación con los cambios del clima en la región, y con esto aportar a los modelos predictivos.

AGRADECIMIENTOS

A la tripulación del BAP Carrasco e investigadores de la segunda expedición de la campaña Antar XXVI (2018 – 2019) por su apoyo abordo en la colecta de las muestras de este estudio. De igual manera, a la dirección de Soberanía Límites y Asuntos Antárticos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Perú, por el apoyo logístico y económico para participar en la expedición. Así como al Inveimar por el apoyo económico de la investigadora colombiana. Finalmente, los autores agradecen al investigador Oswaldo Coca Domínguez por su colaboración en el componente cartográfico y a la Universidad Científica del Sur por la entrega de muestras de ensenada de Mackellar.

above, it can be said that the melting and release of these elements due to climate change may represent a danger for the organisms of this region and humanity, therefore measurements in sediment cores can be useful in evaluating the contribution of these radionuclides over time and their relationship with climate changes in the region, to predictive models.

ACKNOWLEDGEMENT

Special thanks to the BAP Carrasco crew and researchers from the second expedition of the Antar XXVI campaign (2018 - 2019) for their support on board in the collection of the samples for this study. Similarly, to the Directorate of Limits Sovereignty and Antarctic Affairs of the Ministry of Foreign Affairs of Peru, for the logistical and financial support to participate in the expedition. As well as Inveimar for the financial support of the researcher Constanza Ricaurte-Villota. Finally, the authors thank the researcher Oswaldo Coca Domínguez for his collaboration in the cartographic component and the Universidad Científica del Sur for the delivery of samples from the Mackellar Inlet.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Abdel-Halim, A.A. and I.H. Saleh. 2016. Radiological characterization of beach sediments along the Alexandria–Rosetta coasts of Egypt. *J. Taibah Univ. Sci.*, 10(2), 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2015.02.016>
- Anjos, R.M., R. Veiga, C. Carvalho, K.D. Macario and P.R.S. Gomes. 2007. Geological provenance of Quaternary deposits from the southeastern Brazilian coast. *Nucl. Phys. A*, 787: 642c–647c.
- Arafat, A.A., M.H.M. Salama, S.A. El-Sayed and A.A. Elfeel. 2017. Distribution of natural radionuclides and assessment of the associated hazards in the environment of Marsa Alam-Shalateen area, Red Sea coast, Egypt. *J. Rad. Res. Appl. Sci.*, 10 (3): 219-232, DOI: 10.1016/j.jrras.2016.11.006
- Bargagli, R. 2000. Trace metals in Antarctica relate to climate change and increasing human impact. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 166: 129–173.
- Bhardwaj, L., A. Chauhan, A. Ranjan and T. Jindal. 2018. Persistent organic pollutants in biotic and abiotic components of Antarctic pristine environment. *Earth Syst. Environ.*, doi.org/10.1007/s41748-017-0032-8
- Birkenmajer, K. 1980. Geology of Admiralty Bay, King George Island (South Shetland Islands): an outline. *Polish Polar Res.*, 1(1): 29-54.
- Cary, S.C., I.R. McDonald, J.E. Barrett and D.A. Cowan. 2010. On the rocks: the microbiology of Antarctic Dry Valley soils. *Nat. Rev. Microbiol.*, 8:129–138.
- Chowdhury, M.I., M.N. Alam and S.K.S. Hazari. 1999. Distribution of radionuclides in the river sediments and coastal soils of Chittagong, Bangladesh and evaluation of the radiation hazard. *Appl. Rad. Isot.*, 51(6), 747–755. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(99\)00098-6](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(99)00098-6)
- Connell, D.W. 1989. Biomagnification by aquatic organisms—a proposal. *Chemosphere*, 19: 1573-1584.
- Currie L.A. 1968. Limits for qualitative detection and quantitative determination. *Anal. Chem.*, 40 (3): 586-593.
- Cutshall, N.H., I.L. Larsen and C.R. Olsen. 1983 Direct analysis of ^{210}Pb in sediment samples: self-absorption corrections. *Nucl. Inst. Meth.*, 206: 309-312.



- Ferreira, P.A.L., A.P. Ribeiro, M.G. do Nascimento, C.C. Martins, M.M. Mahiques, R. C. Montone and R.C.L. Figueira. 2013. ^{137}Cs in marine sediments of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Sci. Total Environ.*, 443: 505–510.
- Focardi, S., R. Bargagli and S. Corsolini. 1993. Organochlorines in the Antarctic marine food chain at Terranova Bay (Ross Sea). *Korean J. Polar Res.*, 4 (2): 73–77.
- Fretzdorff, S., T.J. Worthington, K.M. Haase, R. Hékinian, L. Franz, R. A. Keller and P. Stoffers. 2004. Magmatism in the Bransfield Basin: Rifting of the South Shetland Arc? *J. Geophys. Res.*, 109: B12208, doi:10.1029/2004JB003046.
- Friedlander, B.R., M. Gochfeld, J. Burger and C.W. Powers. 2005. Radionuclides in the marine environment. A CRESP Science Review. Consortium for Risk Evaluation with Stakeholder Participation.
- García Talavera M., J.P. Laedermann and B. Quintana. 2001. Coincidence summing corrections for the natural decay series in γ ray spectrometry. *J. Rad. Iso.*, 54:769-776.
- Godoy, J.M., L.A. Schuch, D.J.R. Nordermann, V.R.G. Reis, M. Ramalho, J.C. Recio, R.R.A. Brito and M.A. Olech. 1998. ^{137}Cs , $^{226,228}\text{Ra}$, ^{210}Pb , and ^{40}K concentrations in Antarctic soil, sediment, and selected moss and lichen samples. *J. Environ. Radioact.*, 41: 33–45.
- http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm
- Ibrahiem, N. M., A.H. Abdel Ghana, S.M. Shawky, E.M. Ashraf and M.A. Farouk. 1993. Measurement of radioactivity levels in soil in Nile Delta and Middle Egypt. *Health Phys.*, 64: 620–627.
- Iyengar, M.A.R. 1990. The natural distribution of radium. *The Environmental Behavior of Radium. Technical Reports Series No. 310. International Atomic Energy Agency, Vienna*, 59-128
- Klinkhammer, G.P., C.S. Chin and C. Wilson. 1996. Hydrothermal and hydrographic surveys of the Bransfield Strait: Results from cruise NBP95-07. *Ant. J. Rev.*, 31: 92 – 94.
- Klinkhammer, G.P., C.S. Chin, R.A. Keller, A. Dähmann, H. Sahling, G. Sarthou, S. Petersen, F. Smith and C. Wilson. 2001. Discovery of new hydrothermal vent sites in Bransfield Strait, Antarctica. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 193: 395-407.
- Kozlenko, Y. and M. Kozlenko. 2019. Earth crust of the Bransfield strait between the Antarctic peninsula and King George Island. *Geol. Min. Res. World Oc.*, 15(1): 3-73
- Kumar, A., R. Karpe, S. Rout, V. Joshi, R.K. Singhal and P.M Ravi. 2013. Spatial distribution and accumulation of ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{40}K , and ^{137}Cs in bottom sediments of Mumbai Harbour Bay. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 295(2): 835–839. <https://doi.org/10.1007/s10967-012-2166-3>
- Lawver L.A., B.J. Sloan, D.H.N. Barker, M. Ghidella, R.P. von Herzen, R.A. Keller, G.P. Klinkhammer and C.S. Chin. 1996. Distributed, active extension in Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Evidence from multibeam bathymetry. *GSA Today*, 6(1): 2-5.
- Lee, M.J., J.I. Lee, W.H. Choe and C.H. Park. 2008. Trace element and isotopic evidence for temporal changes of the mantle sources in the South Shetland Islands, Antarctic. *Geochem. J.*, 42: 207-219.
- Legrand, M. and P. Mayewski. 1997. Glaciochemistry of polar ice cores: a review. *Rev Geophys*, 35: 219–243.
- Marzano, F.N. and C. Triulzi. 1994. A radioecological survey of the Northern and Middle Adriatic Sea before and after the Chernobyl event. *Mar. Pollut. Bull.*, 28(4): 244–253.
- Matisoff, G., M.E. Ketterer, K. Rosén, J.W. Mietelski, L.F. Vitko, H. Persson and E. Lokas. 2011. Downward migration of Chernobyl-derived radionuclides in soils in Poland and Sweden. *Appl. Geochem.*, 26: 105–115.
- Mietelski, J.W., M.A. Olech, K. Sobiech-Matura, B.J. Howard, P. Gaca, M. Zwolak, S. Błażej and E. Tomankiewicz. 2008. ^{137}Cs , ^{40}K , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{90}Sr in biological samples from King George Island (Southern Shetlands) in Antarctica. *Polar Biol.*, 31(9): 1081-1089.
- Pourchet, M., O. Magand, M. Frezzotti, A. Ekaykin and J.G. Winther. 2003. Radionuclides deposition over Antarctica. *J. Environ. Radioact.*, 68: 137–158.
- Pszonicki, L., A.N. Hanna and O. Suschny. 1984. Report on intercomparison IAEA/Soil-6 of the determination of Cs-137, Pu-239, Ra-226, and Sr-90 in soil. Vienna, 31 p.
- Qureshi, R.M. Qureshi, A. Mashiatullah, M Akram, M.I Sajjad, M. Shafiq, T. Javed and M. Aslam. 1999. Radiological assessment of coastal marine sediment and water samples, Karachi coast, Pakistan. *Techn. Rep.*, Pakistan, 28 p.
- Rakusa-Suszczewski, S. 1980. Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay (South Shetland Islands) as part of the nearshore Antarctic ecosystem. *Polish Polar Res.*, 1(1): 11–27.
- Rakusa-Suszczewski, S. 1995. The hydrography of Admiralty Bay and its inlets, coves and lagoons (King George Island, Antarctica). *Polish Polar Res.*, 16(1): 61–70.

- Roos, P.E., R.B.R. Holm, A.A. Persson and S.P. Nielsen. 1994. Deposition of ^{210}Pb , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu , and ^{241}Am in the Antarctic Peninsula area. *J. Environ. Radioact.*, 24(3): 235-251.
- Saad, H. R. and D. Al-Azmi. 2002. Radioactivity concentrations in sediments and their correlation to the coastal structure in Kuwait. *Appl. Rad. Isot.*, 56(6), 991–997. [https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(02\)00061-1](https://doi.org/10.1016/S0969-8043(02)00061-1)
- Sanders, C.J., I.R. Santos, S.R. Patchineelam, C. Schaefer and E.V. Silva-Filho. 2010. Recent ^{137}Cs deposition in sediments of Admiralty Bay, Antarctica. *J. Environ. Radioact.*, 101(5): 421-424.
- Shakhashiro, A., S. Tarjan, A. Ceccatelli, G. Kis-Benedek and M. Betti, 2012. IAEA-447: A new certified reference material for environmental radioactivity measurements. *Appl. Rad. Isot.*, 70: 1632-1643.
- Schreider, A.A., A.A. Schreider, J. Galindo-Zaldivar, A. Maldonado, L. Gamboa, Y. Martos, F. Lobo and E.I. Evsenko. 2015. Structure of the Bransfield Strait Crust. *Oceanology*, 55 (1): 112–123.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1988. Report to the General Assembly, UNSCEAR, United Nations, New York, Anexo A, 26-80 p.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1993. Report to the General Assembly, UNSCEAR, United Nations, New York, Anexo A, 39-44 p.
- Yücel, H., A.N. Solmaz, E. Köse and D. Bor. 2010. A semi-empirical method for calculation of true coincidence corrections for the case of a close-in detection in γ -ray spectrometry. *J. Nucl. Chem.*, 283: 305-312. doi.10.1007/s10967-009-0360-8.
- Zare, M.R., M. Mostajaboddavati, M. Kamali, M.R. Abdi and M.S. Mortazavi. 2012. ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs activity concentrations in marine sediments along the northern coast of Oman Sea using high-resolution gamma-ray spectrometry. *Mar. Poll. Bull.*, 64(9): 1956–1961. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.00>

RECIBIDO/RECEIVED: 30/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 02/09/2020



Ensamblaje de eufáusidos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (península Antártica) durante enero 2015

Epipelagic euphausiids assemblage in the Gerlache Strait (Antarctic Peninsula) during January 2015

Marisol Rivera-Gómez^{1*}, Alan Giraldo^{1,2} y Diego F. Mojica-Moncada^{2,3}

0000-0003-3466-7180

0000-0001-9182-888X

0000-0002-5570-7527

1. Universidad del Valle, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Ciencias Oceanográficas, Cali, Colombia. marisol.rivera.gomez@correounivalle.edu.co; alan.giraldo@correounivalle.edu.co

2. Programa Antártico Colombiano, Bogotá, Colombia.

3. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Dirección General Marítima. Cartagena de Indias, Colombia. dmojica@dimar.mil.co asuntosantarticos@gmail.com

* Autor de correspondencia.

RESUMEN

La distribución espacial de los eufáusidos en la zona epipelágica del estrecho Gerlache, Antártica capturados durante el verano austral de 2015, fue investigada durante la "Expedición Caldas", primera expedición científica de Colombia a la Antártica. En 20 estaciones de muestreo oceanográfico se realizaron arrastres superficiales para recolectar zooplancton utilizando una red cónica simple de 0,6 m de diámetro y 200 μm de luz de malla. Cuatro especies de eufáusidos fueron recolectados en 70 % de las estaciones: *Euphausia crystallorophias* Holt y Tattersall 1906, *Euphausia superba* Dana 1850, *Thysanoessa* sp. y *Thysanoessa macrura* Sars 1883. La especie más abundante fue *E. crystallorophias* con abundancia máxima de 818 ind 1000 m^{-3} asociada a la entrada de la bahía Wilhelmina, en la zona central del estrecho Gerlache. Los sectores norte y sur del estrecho mostraron diferencias significativas en la temperatura y salinidad superficial y variaciones en la composición de los conjuntos de eufáusidos entre estos dos sectores. Aunque, *E. crystallorophias* fue la especie numéricamente dominante en todo el estrecho Gerlache, *E. superba* se distribuyó principalmente en el sector norte mientras que *Thysanoessa* sp. sólo en el sur.

PALABRAS CLAVE: Euphausiacea, Kril antártico, Temperatura, Salinidad, Verano austral.

ABSTRACT

The spatial distribution of the epipelagic Euphausiids was investigated during the first Colombian Scientific Expedition to Antarctica "Expedición Caldas" in the Gerlache Strait during the austral summer of 2015. Surface zooplankton was collected at 20 oceanographic stations with a simple conical net of 0.6 m in diameter mouth and 200 μm of mesh net. Four euphausiid species were collected in 70 % of the sampling stations: *Euphausia crystallorophias* Holt and Tattersall 1906, *Euphausia superba* Dana 1850, *Thysanoessa* sp. and *Thysanoessa macrura* Sars 1883. *Euphausia crystallorophias* was the most abundant species with maximum density of 818 ind 1000 m^{-3} associated with the entrance of the Wilhelmina Bay, in the central area of the Gerlache Strait. The northern and southern sectors of the strait had significant differences in surface temperature and salinity associated with significant differences in the composition of the euphausiid species assemblages between both sectors. Although *E. crystallorophias* was the numerically dominant euphausiid species in the Gerlache Strait, *E. superba* was mostly distributed in the northern sector while *Thysanoessa* sp. was only distributed in the southern sector.

KEYWORDS: Euphausiacea, Temperature, Salinity, Antarctic Ocean, Austral summer.

INTRODUCCIÓN

Los eufáusidos son crustáceos exclusivamente marinos que se alimentan de material particulado, fitoplancton y microzooplancton (Cleary *et al.*, 2018; Kohlbach *et al.*, 2019). Algunas de las especies que conforman este grupo taxonómico cumplen una función ecológica relevante en la trama trófica pelágica antártica debido a que son presas de peces (Hudson *et al.*, 2014), aves marinas (Rogers *et al.*, 2012; Rombolá *et al.*, 2012; Santora *et al.*, 2017), lobos marinos (Yamanaka, 1983) y ballenas Balaenopteridae (Stone y Hamner, 1988; Murase *et al.*, 2002; Nowacek *et al.*, 2011), acortando el proceso de transferencia de energía de la producción primaria a los niveles tróficos superiores. Además, estos organismos realizan amplios desplazamientos verticales en la columna de agua, por lo que son considerados elementos claves en la bomba biológica e incluso un elemento fundamental en el proceso de acoplamiento bento-pelágico en la región Antártica (Schmidt *et al.*, 2011; Conroy *et al.*, 2020).

En la Península Antártica, los eufáusidos en sus etapas larvares y juveniles junto con los copépodos y las salpas son uno de los tres grupos principales que componen el zooplancton (Schnack-Schiel y Mujica, 1994), aunque algunas especies de eufáusidos durante su etapa adulta son considerados organismos micronectónicos. Este es un grupo taxonómico que ha sido ampliamente estudiado en la región antártica, particularmente *Euphausia superba* debido a su elevada abundancia en la zona (Piatkowski, 1985; Hosie *et al.*, 1988; Cavan *et al.*, 2019). Para el estrecho de Gerlache, el conocimiento de los eufáusidos incluye: distribución geográfica, comportamiento migratorio vertical, estructura de tallas de la población (Nordhausen, 1994a; Zhou *et al.*, 1994; Lawson *et al.*, 2008; Wiebe *et al.*, 2011; Cleary *et al.*, 2016), tasas metabólicas de herbívora y respiración, su aporte al flujo de carbono (Huntley y Brinton, 1991; Hernández-León *et al.*, 2000, 2001, 2013; Reiss *et al.*, 2017) así como la relación entre las tasas de reclutamiento y abundancia con los eventos ENOS de origen en el Pacífico tropical (Loeb *et al.*, 2009).

El estrecho de Gerlache, ubicado en la zona noroccidental de la Península Antártica, presenta una geomorfología y batimetría que promueve el desarrollo de patrones de circulación particulares en las zonas norte y sur, que traen como consecuencia condiciones hidrográficas diferentes (Rodríguez *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002, 2006; Torres-Parra *et al.*, 2020). Considerando que las condiciones

INTRODUCTION

Euphausiids are exclusively marine crustaceans that feed on particulate matter, phytoplankton and microzooplankton (Cleary *et al.*, 2018; Kohlbach *et al.*, 2019). Some of the species that make up this taxonomic group fulfill a relevant ecological function in the Antarctic pelagic food web because they are prey for fish (Hudson *et al.*, 2014), seabirds (Rogers *et al.*, 2012; Rombolá *et al.*, 2012; Santora *et al.*, 2017), sea lions (Yamanaka, 1983) and *Balaenopteridae* whales (Stone and Hamner, 1988; Nowacek *et al.*, 2011; Murase *et al.*, 2002), shortening the energy transfer process from primary production to higher trophic levels. Also, these organisms make large vertical displacements in the water column, for which they are considered key elements in the biological pump and even a fundamental element in the benthopelagic coupling process in the Antarctic region (Schmidt *et al.*, 2011; Conroy *et al.*, 2020).

In the Antarctic Peninsula, euphausiids in their larval and juvenile stages together with copepods and salps are one of the three main groups that make up zooplankton (Schnack-Schiel and Mujica, 1994), although some species of euphausiids during their adult stage are considered micronektonic organisms. This is a taxonomic group that has been widely studied in the Antarctic region, particularly *Euphausia superba* due to its high abundance in the area (Piatkowski, 1985; Hosie *et al.*, 1988; Cavan *et al.*, 2019). For the Gerlache Strait, knowledge of euphausiids includes geographical distribution, vertical migratory behavior, population size structure (Nordhausen, 1994a; Zhou *et al.*, 1994; Lawson *et al.*, 2008; Wiebe *et al.*, 2011; Cleary *et al.*, 2016), herbivore and respiration metabolic rates, their contribution to carbon flux (Huntley and Brinton, 1991; Hernández-León *et al.*, 2000, 2001, 2013; Reiss *et al.*, 2017) as well as the relationship between the rates of recruitment and abundance with ENSO events of origin in the tropical Pacific (Loeb *et al.*, 2009).

The Gerlache Strait, located in the northwestern part of the Antarctic Peninsula, presents geomorphology and bathymetry that promotes the development of particular circulation patterns in the north and south, which result in different hydrographic conditions (Rodríguez *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002, 2006; Torres-Parra *et al.*, 2020). Considering that the conditions of temperature and salinity largely determine the structure and composition of the planktonic community in a locality (Rodríguez

de temperatura y salinidad determinan en gran medida la estructura y composición de la comunidad planctónica en una localidad (Rodríguez *et al.*, 2002; Leonori *et al.*, 2017), es de esperar que las especies que conforman el conjunto de eufáusidos epipelágicos en el estrecho Gerlache exhiban una tendencia particular de variación espacial, la cual estaría relacionada con las condiciones térmicas y salinas propias de cada sector del estrecho, de tal manera que la estructura del conjunto de eufáusidos será diferente entre estos sectores.

Para poner a prueba esta hipótesis, se evaluaron aspectos relacionados con la ecología espacial del conjunto de eufáusidos epipelágicos en el estrecho Gerlache durante el verano austral de 2015 en el marco de la primera expedición científica de Colombia a la Antártica – “Expedición Caldas”. Se abordaron las siguientes preguntas de investigación: 1. ¿Es similar la composición taxonómica del conjunto de eufáusidos presente en la zona epipelágica en el sector norte y sur del Estrecho Gerlache? y 2. ¿Es homogénea la distribución espacial de la abundancia de eufáusidos en la zona epipelágica del estrecho Gerlache durante el periodo de estudio?

ÁREA DE ESTUDIO

El Estrecho de Gerlache se encuentra ubicado en el sector noroccidental de la Península Antártica, delimitado por el archipiélago Palmer en el que destacan dos formaciones insulares, las islas de Amberes y Brabante (Figura 1).

El estrecho tiene una longitud de 180 km y entre 8 y 60 km de ancho, con profundidad de 300 m en el extremo sur y 1000 m en el extremo norte (García *et al.*, 2002). La circulación superficial en el Estrecho de Gerlache fluye hacia el nororiente con velocidades superiores a 30 cm s⁻¹ alimentando la Corriente del Estrecho de Bransfield (Zhou *et al.*, 2002). En esta región se desarrolla un dinámico sistema de giros anticiclónicos costeros debido a la gran cantidad de bahías someras a lo largo del estrecho (Zhou *et al.*, 2002). Durante el verano austral de 2015, la estructura térmica y salina en la parte superficial de la columna de agua mostró condiciones distintas en cada una de las entradas del estrecho, en la entrada del norte prevalecieron condiciones de estratificación térmica con salinidad homogénea, mientras que la entrada sur mostró mayor mezcla y baja salinidad en los primeros 30 m (Giraldo *et al.*, 2019; Torres-Parra *et al.*, 2020).

et al., 2002; Leonori *et al.*, 2017), it is expected that the species that make up the set of Epipelagic euphausiids in the Gerlache Strait exhibit a particular trend of spatial variation, which would be related to the thermal and saline conditions of each sector of the Strait, in such a way that the structure of the set of euphausiids will be different between these sectors.

To test this hypothesis, aspects related to the spatial ecology of the set of epipelagic euphausiids in the Gerlache Strait were evaluated during the austral summer of 2015 within the framework of the first scientific expedition from Colombia to the Antarctic - “Caldas Expedition”, addressing the following research questions: 1. Is the taxonomic composition of the group of euphausiids present in the epipelagic zone in the north and south of the Gerlache Strait similar? and 2. Is the spatial distribution of the abundance of euphausiids homogeneous in the epipelagic zone of the Gerlache Strait during the study period?

STUDY AREA

The Gerlache Strait is located in the northwestern sector of the Antarctic Peninsula, delimited by the Palmer Archipelago in which two island formations stand out, the islands of Antwerp and Brabant (Figure 1).

The strait is 180 km long and between 8 and 60 km wide, with a depth of 300 m in the extreme south and 1000 m in the extreme north (García *et al.*, 2002). The surface circulation in the Gerlache Strait flows to the northeast with velocities greater than 30 cm s⁻¹ feeding the Bransfield Strait Current (Zhou *et al.*, 2002). A dynamic coastal anticyclonic gyre system develops in this region due to a large number of shallow bays along the strait (Zhou *et al.*, 2002). During the austral summer of 2015, the thermal and saline structure in the superficial part of the water column showed different conditions in each of the entrances to the strait, at the entrance to the north, thermal stratification conditions prevailed with homogeneous salinity, while the South entrance showed greater mixing and low salinity in the first 30 m (Giraldo *et al.*, 2019; Torres-Parra *et al.*, 2020).

MATERIALS AND METHODS

The zooplankton samples were obtained during the Caldas Expedition aboard the ship “ARC 20 de Julio”

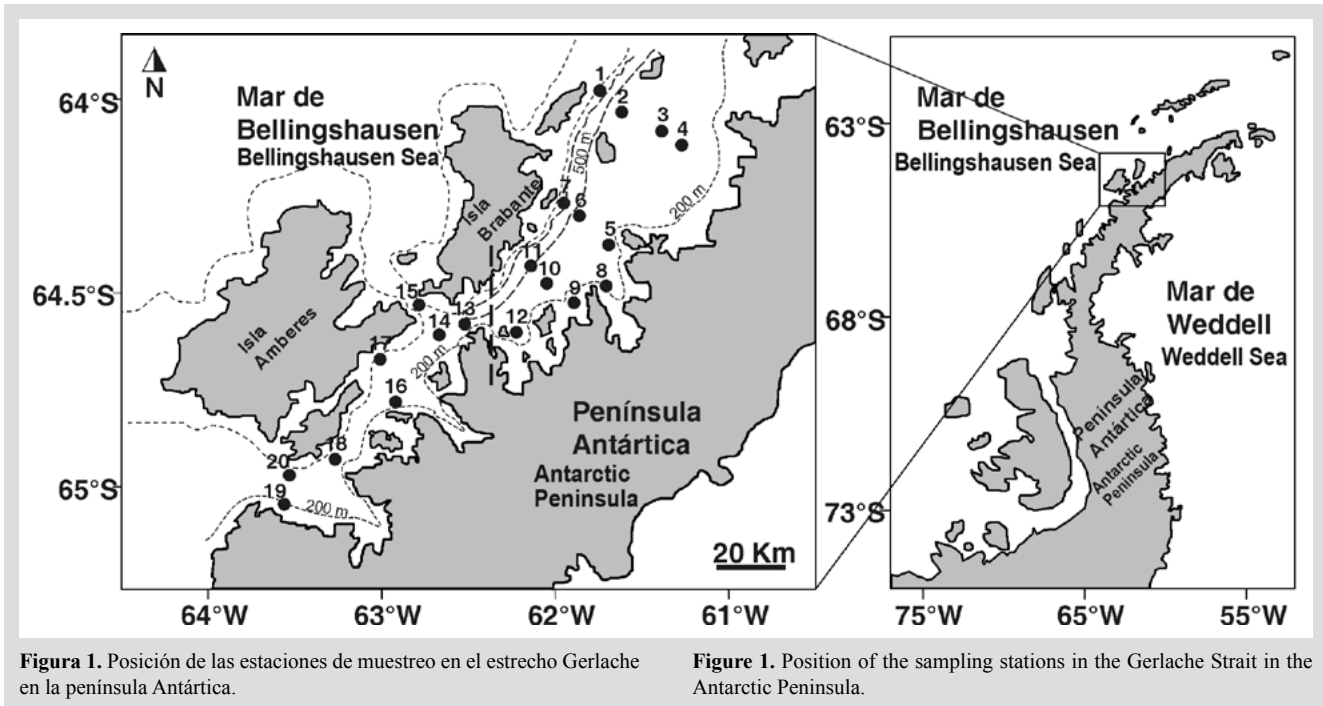


Figura 1. Posición de las estaciones de muestreo en el estrecho Gerlache en la península Antártica.

Figure 1. Position of the sampling stations in the Gerlache Strait in the Antarctic Peninsula.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de zooplancton fueron obtenidas durante la Expedición Caldas a bordo del buque “ARC 20 de Julio” de la Armada Nacional de Colombia. El muestreo se realizó del 17 al 22 de enero de 2015, en 20 estaciones oceanográficas (Figura 1). En cada estación se realizó el registro vertical continuo de temperatura, conductividad y profundidad utilizando un perfilador Seabird® CTD (SBE 19plus SeaCat profiler CTD y SBE 25plus Sealogger CTD). La distribución horizontal de la temperatura y la salinidad fue analizada a profundidades estándar (1, 10, 50 y 100 m) para inferir las condiciones termohalinas en la zona de estudio, utilizando el método de interpolación kriging del programa Surfer®.

Se realizaron arrastres superficiales para recolectar zooplancton en cada estación de muestreo utilizando una red cónica simple de 0,6 m de diámetro y 200 µm de luz de malla con un flujómetro Hydrobios® instalado en el centro de la boca, para estimar el volumen de agua filtrado. Las muestras fueron fijadas en formol al 4 % de concentración buferizado con borato de sodio a saturación. Todos los arrastres se realizaron bajo condiciones de luz de día. Las muestras fueron etiquetadas y analizadas en el laboratorio del grupo de Investigación en Ciencias Oceanográficas de la Universidad del Valle. En el laboratorio, se fraccionó la muestra en cuatro partes iguales utilizando

of the Colombian National Navy. Sampling was carried out from January 17 to 22, 2015, at 20 oceanographic stations (Figure 1). Continuous vertical recording of temperature, conductivity, and depth was performed at each station using a Seabird® CTD profiler (SBE 19plus SeaCat profiler CTD and SBE 25plus Sealogger CTD). The horizontal distribution of temperature and salinity was analyzed at standard depths (1, 10, 50, and 100 m) to infer the thermohaline conditions in the study area, using the kriging interpolation method of the Surfer® program.

Surface tows were made to collect zooplankton at each sampling station using a simple conical net of 0.6 m in diameter and 200 µm mesh with a Hydrobios® flowmeter installed in the center of the mouth, to estimate the volume of filtered water. The samples were fixed in formalin at a 4 % concentration, buffered with saturated sodium borate. All tows were carried out under daylight conditions. The samples were labeled and analyzed in the laboratory of the Research group in Oceanographic Sciences of the Universidad del Valle. In the laboratory, the sample was divided into four equal parts using a Motodatype plankton subsampler, ¼ of the zooplankton sample was used to estimate the dry biomass. From the remaining ¾ fraction, the euphausiids were separated, identified, counted, and classified by stage of development, following the taxonomic keys of Antezana *et al.* (1976), Baker *et al.* (1990), Gibbons *et al.* (1999) and Brinton *et al.* (2000). All



un submuestreador de plancton tipo Motoda, se utilizó un cuarto de la muestra de zooplancton para estimar la biomasa seca. De la fracción de las tres cuartas partes restantes se separaron, identificaron, contaron y clasificaron por estadio de desarrollo los eufáusidos, siguiendo las claves taxonómicas de Antezana *et al.* (1976), Baker *et al.* (1990), Gibbons *et al.* (1999) y Brinton *et al.* (2000). Todos los conteos fueron estandarizados (individuos 1000 m^{-3}) a partir del volumen de agua filtrado.

Para cuantificar la biomasa seca del zooplancton de cada estación de muestreo se utilizó el método de peso seco constante (Postel *et al.*, 2000), concentrando la muestra en un filtro de celulosa previamente secado y pesado, siendo llevada a peso constante en un horno a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, para ser posteriormente pesada en una balanza analítica de precisión $0,0001\text{ g}$. Los registros de peso fueron multiplicados por 1,25 para ajustar la pérdida de tejido en el formaldehído (Hopkins, 1971). Para cuantificar el aporte en biomasa de las diferentes especies de eufáusidos identificados en el área de estudio, se estableció el peso promedio de los individuos adultos de cada especie (excluyendo juveniles) y se multiplicó por su abundancia, estableciendo el porcentaje de aporte de cada especie a la biomasa total del zooplancton.

Se realizó el análisis de las condiciones de temperatura, salinidad y el conjunto de eufáusidos en los sectores norte y sur del estrecho como unidades de comparación de acuerdo con la caracterización geomorfológica y oceanográfica descritas por Zhou *et al.* (2002) y Giraldo *et al.* (2019). Se realizaron pruebas *t*-student previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con los datos transformados con box-cox para establecer si existían diferencias entre la temperatura y la salinidad de los sectores norte y sur del estrecho de Gerlache. Para evaluar diferencias en la abundancia de eufáusidos entre los dos sectores del estrecho se efectuó un análisis no paramétrico de Mann-Whitney y se realizó un análisis de correlación no paramétrico de Spearman para evaluar la correlación entre la abundancia de los eufáusidos en función de la temperatura y la salinidad en las profundidades evaluadas. Estos análisis estadísticos fueron ejecutados con Statistica 7.

Se realizó un análisis de escalamiento no métrico multidimensional (nMDS) a partir de una matriz de similitud establecida con el algoritmo de Bray Curtis, para inferir la variación espacial del conjunto de eufáusidos comparando los sectores norte y sur. Además, se evaluó la diferencia entre

counts were standardized (individuals 1000 m^{-3}) based on the volume of filtered water.

To quantify the dry biomass of the zooplankton from each sampling station, the constant dry weight method was used (Postel *et al.*, 2000), concentrating the sample on a previously dried and weighed cellulose filter, being brought to constant weight in an oven at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 24 h, to be subsequently weighed on a 0.0001 g precision analytical balance. Weight records were multiplied by 1.25 to adjust for tissue loss in formaldehyde (Hopkins, 1971). To quantify the biomass contribution of the different species of euphausiids identified in the study area, the average weight of the adult individuals of each species (excluding juveniles) was established and multiplied by their abundance, establishing the contribution percentage of each species to the total biomass of zooplankton.

The analysis of the conditions of temperature, salinity, and the set of euphausiids in the North and South sectors of the strait was carried out as comparison units according to the geomorphological and oceanographic characterization described by Zhou *et al.* (2002) and Giraldo *et al.* (2019). T-student tests were carried out after checking the assumptions of normality and homogeneity of variances with the data transformed with the box-cox transformation to establish whether there were differences between temperature and salinity in the North and South sectors of the Gerlache Strait. To evaluate differences in the abundance of euphausiids between the two sectors of the Strait, a non-parametric Mann-Whitney analysis was carried out, and a non-parametric Spearman correlation analysis was carried out to evaluate the correlation between the abundance of euphausiids as a function of temperature and salinity at the evaluated depths. These statistical analyzes were performed with Statistica 7.

A multidimensional non-metric scaling analysis (nMDS) was carried out from a similarity matrix established with the Bray Curtis algorithm, to infer the spatial variation of the set of euphausiids comparing the North and South sectors. Also, the difference between the sets was evaluated using a Similarity analysis (Anosim) and the contribution of each species to the similarity of the sets of each sector and the dissimilarity between the sectors of the strait was established using a percentage similarity analysis (SIMPER) (Clarke, 1993; Clarke and Ainsworth, 1993; Clarke and Warwick, 1994; 2001). All community analyzes were conducted using the Primer 6 program (Clarke and Gorley, 2006).

los conjuntos utilizando un análisis de Similitud (Anosim) y se estableció el aporte de cada especie a la similitud de los conjuntos de cada sector y a la disimilitud entre los sectores del estrecho utilizando un análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) (Clarke, 1993; Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Warwick, 1994, 2001). Todos los análisis comunitarios se realizaron utilizando el programa Primer 6 (Clarke y Gorley, 2006).

RESULTADOS

La temperatura de los primeros 100 m de profundidad tuvo diferencias significativas entre el sector norte y el sur del estrecho (Tabla 1). El estrato superficial y a 10 m de profundidad del sector norte presentó valores de temperatura más altos que el sur, mientras que entre 50 - 100 m de profundidad la temperatura fue menor en el sector norte (Figura 2). La salinidad fue homogénea en ambos sectores para la mayoría de las profundidades excepto en el estrato superficial donde las salinidades más bajas se registraron en la región oriental del sector norte (Figura 3). La salinidad a 1 m de profundidad fue significativamente diferente entre los sectores norte y sur (Tabla 1).

Tabla 1. Pruebas de t para contrastar diferencias entre la temperatura (°C) y la salinidad (UPS) entre los sectores norte y sur del Estrecho de Gerlache durante el verano austral de 2015.

	Norte / North		Sur / South		t	p
	Promedio / Average	D.E. / S.D.	Promedio / Average	D.E. / S.D.		
T 1 m	1.54	0.69	1.05	0.60	2.96	0.004
T 10 m	1.21	0.58	0.67	0.32	4.45	< 0.001
T 50 m	0.14	0.28	0.35	0.18	-3.39	0.001
T 100 m	0.03	0.22	0.42	0.19	-7.06	< 0.001
S 1 m	33.41	0.68	33.99	0.19	-4.66	< 0.001
S 10 m	33.85	0.14	33.85	0.12	-0.01	0.991
S 50 m	34.22	0.31	34.14	0.12	1.24	0.218
S 100 m	34.38	0.08	34.37	0.05	0.78	0.437

RESULTS

The temperature of the first 100 m of depth had significant differences between the North and South sectors of the strait (Table 1). The superficial stratum and at 10 m depth of the North sector presented higher temperature values than the South sector, while between 50 - 100 m depth the temperature was lower in the North sector (Figure 2). Salinity was homogeneous in both sectors for most depths except in the superficial stratum where the lowest salinities were recorded in the eastern region of the North sector (Figure 3). The salinity at 1 m depth was significantly different between the North and South sectors (Table 1).

Table 1. T-tests to contrast differences between temperature (° C) and salinity (UPS) between the northern and southern sectors of the Gerlache Strait during the austral summer of 2015.

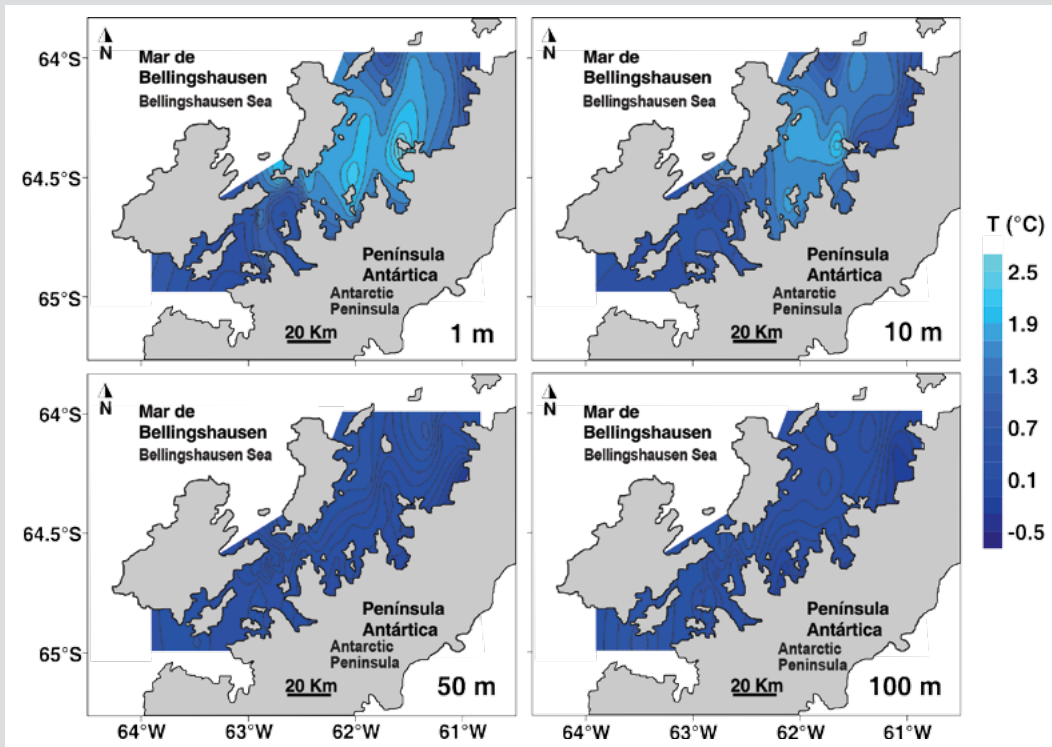


Figura 2. Distribución de la temperatura del mar a 1, 10, 50 y 100 m de profundidad durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

Figure 2. Distribution of sea temperature at depths of 1, 10, 50, and 100 m during the austral summer of 2015 in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula.

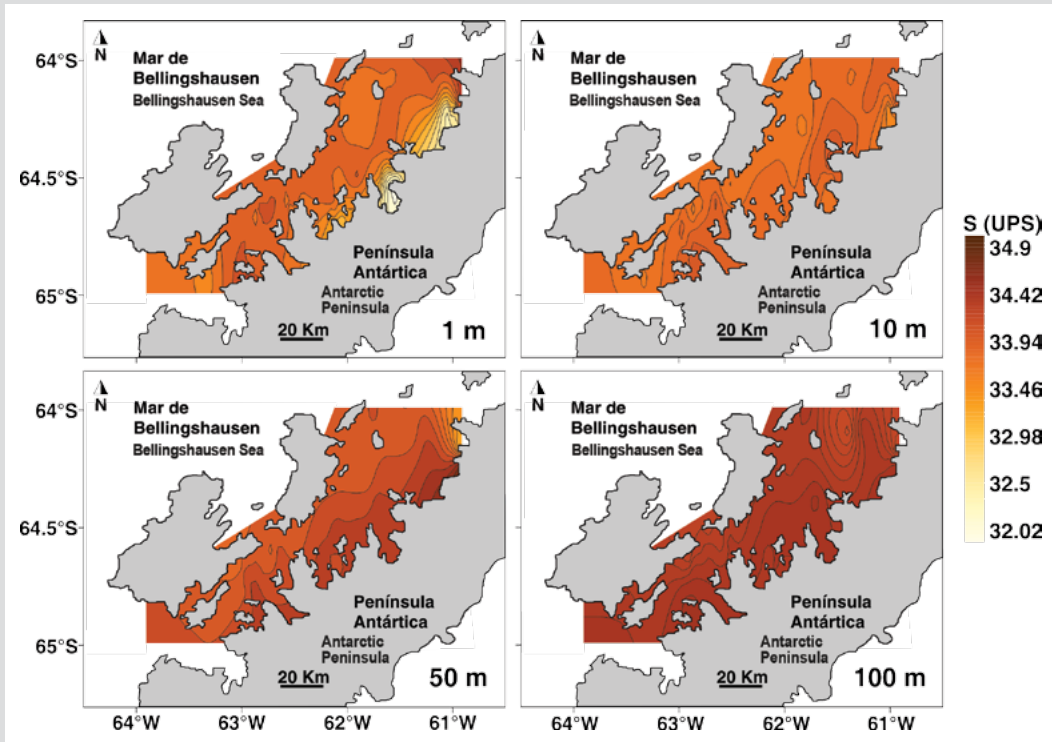


Figura 3. Distribución de la salinidad a 1, 10, 50 y 100 m de profundidad durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península, Antártica.

Figure 3. Salinity distribution at depths 1, 10, 50, and 100 m during the austral summer of 2015 in the Gerlache Strait, Peninsula, Antarctica.

Las mayores concentraciones de biomasa zooplanctónica fueron registradas en la entrada de la bahía Wilhelmina (estación 12= 2246,87 mg 100 m⁻³) y entre la isla Lion e isla Amberes (estación 17= 1194,50 mg 100 m⁻³) (Figura 4). La concentración de biomasa de zooplancton fue entre uno a dos órdenes de magnitud menor en el resto del área de estudio (5,32 - 697,24 mg 100 m⁻³) (Figura 4).

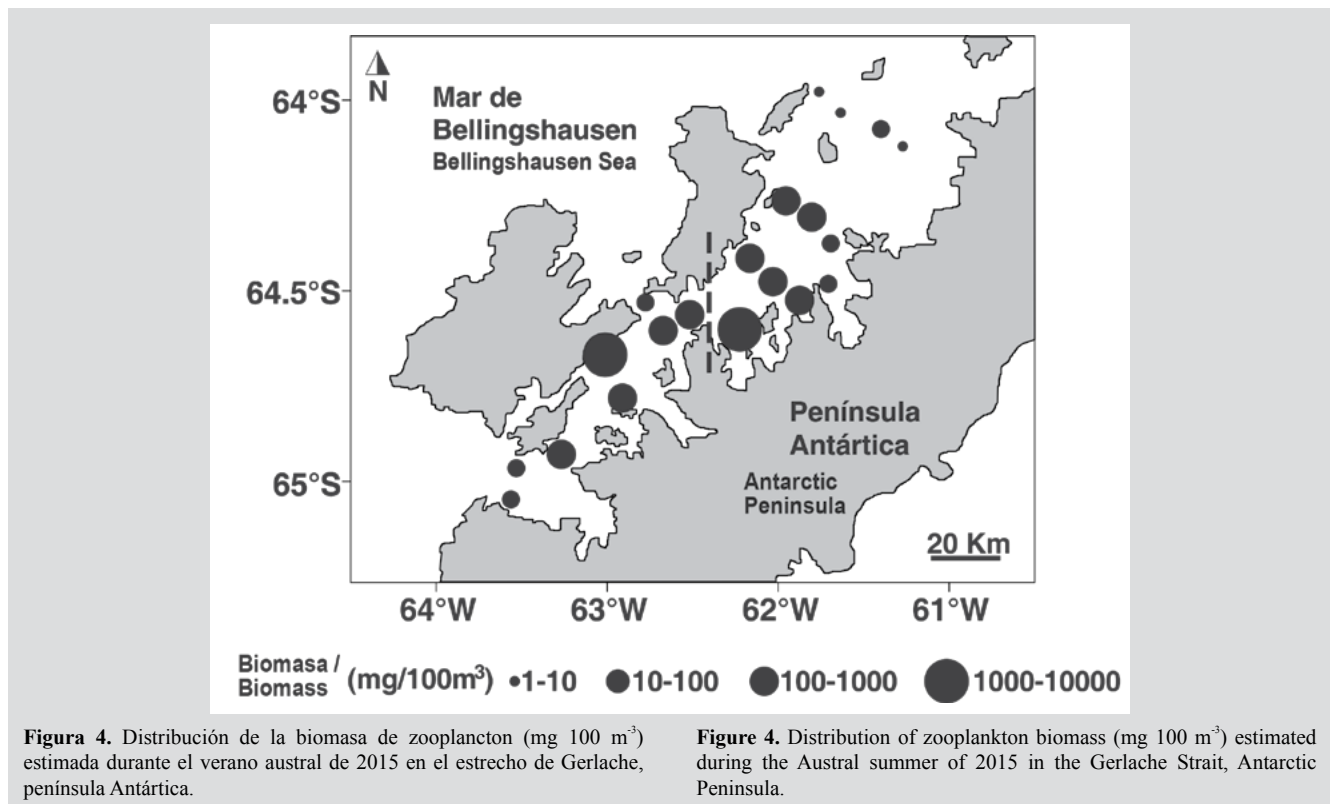
Los eufáusidos fueron capturados en 70 % de las estaciones de muestreo, identificando cuatro especies: *Euphausia crystallorophias* Holt y Tattersall 1906 (79,7 %), *E. superba* Dana 1850 (11,4 %), *Thysanoessa* sp. (7,6 %) y *T. macrura* Sars 1883 (1,3 %). La máxima abundancia de eufáusidos fue de *E. crystallorophias* registrada en la estación 12 en la entrada de la bahía Wilhelmina (818 ind 1000 m⁻³) (Figuras 5 y 6). Todos los individuos presentes en las muestras correspondieron a juveniles, machos y hembras. Las larvas no fueron capturadas. La proporción entre machos y hembras de *E. crystallorophias* fue 48,5 % machos y 51,5 % hembras, para *E. superba* 68,7 % machos y 31,3 % hembras, para *Thysanoessa* sp. 65,3 % machos y el 34,7 % hembras, y para *T. macrura* todos los individuos fueron hembras.

La abundancia de las especies no tuvo diferencias estadísticas significativas entre los sectores norte y sur (Mann-Whitney, U=749, p=0,852). Sin embargo, *E.*

The highest concentrations of zooplankton biomass were recorded at the entrance to Wilhelmina Bay (station 12 = 2246.87 mg 100 m⁻³) and between Lion Island and Antwerp Island (station 17 = 1194.50 mg 100 m⁻³) (Figure 4). The concentration of zooplankton biomass was between one to two orders of magnitude lower in the rest of the study area (5.32 - 697.24 mg 100 m⁻³) (Figure 4).

Euphausiids were captured in 70 % of the sampling stations, identifying four species: *Euphausia crystallorophias* Holt and Tattersall 1906 (79.7 %), *Euphausia superba* Dana 1850 (11.4 %), *Thysanoessa* sp. (7.6 %), and *Thysanoessa macrura* Sars 1883 (1.3 %). The highest abundance of euphausiids was *E. crystallorophias* recorded at station 12 at the entrance to Wilhelmina Bay (818 ind 1000 m⁻³) (Figures 5 and 6). All the individuals present in the samples corresponded to juveniles, males, and females. The larvae were not captured. The male-female ratio of *E. crystallorophias* was 48.5 % males and 51.5 % females, for *E. superba* 68.7 % males and 31.3 % females, for *Thysanoessa* sp. 65.3 % males and 34.7 % females, and *T. macrura* all individuals were female.

The abundance of the species did not have statistically significant differences between the North and South sectors (Mann-Whitney, U = 749, p = 0.852). However,



crystallorophias fue más abundante en la estación 12 ubicada en el norte. Además, las capturas de *E. superba* se realizaron principalmente en ese sector, mientras que las especies del género *Thysanoessa* se registraron casi exclusivamente en el sur, con excepción de la estación 12 (Figura 6). No se encontró una relación significativa de la abundancia de ninguna de las especies con la temperatura o la salinidad,

E. crystallorophias was more abundant at station 12 located in the North sector. Furthermore, the catches of *E. superba* were made mainly in the North sector while the species of the genus *Thysanoessa* were almost exclusively recorded in the South sector, except for station 12 (Figure 6). No significant relationship was found between the abundance of any of the species with temperature or salinity, except *E.*

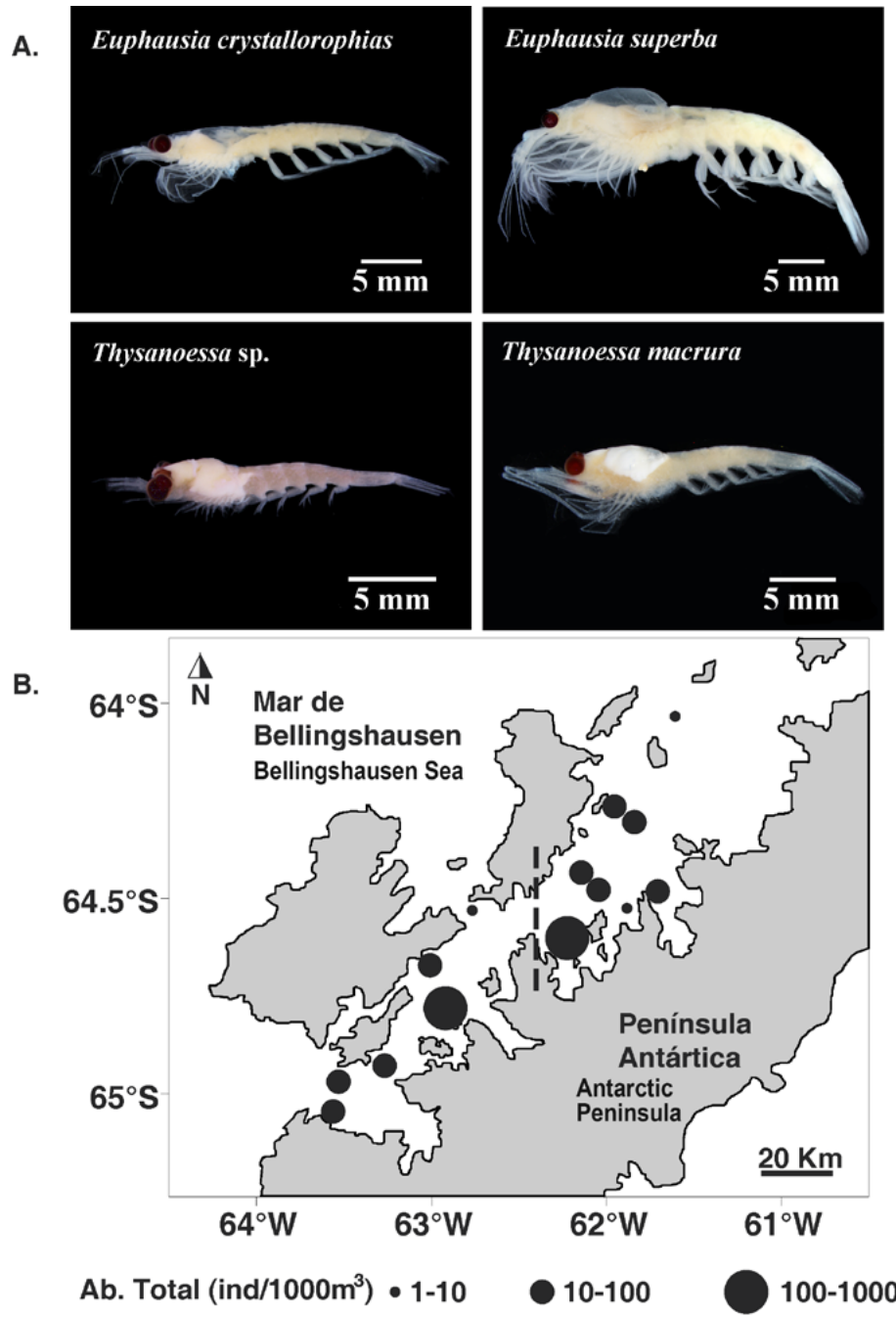


Figura 5. A. Fotografías de las especies recolectadas. **B.** Distribución de la abundancia total de eufáusidos (ind 1000 m⁻³) durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

Figure 5. A. Photographs of the species collected. **B.** Distribution of the total abundance of euphausiids (ind 1000 m⁻³) during the austral summer of 2015 in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula.

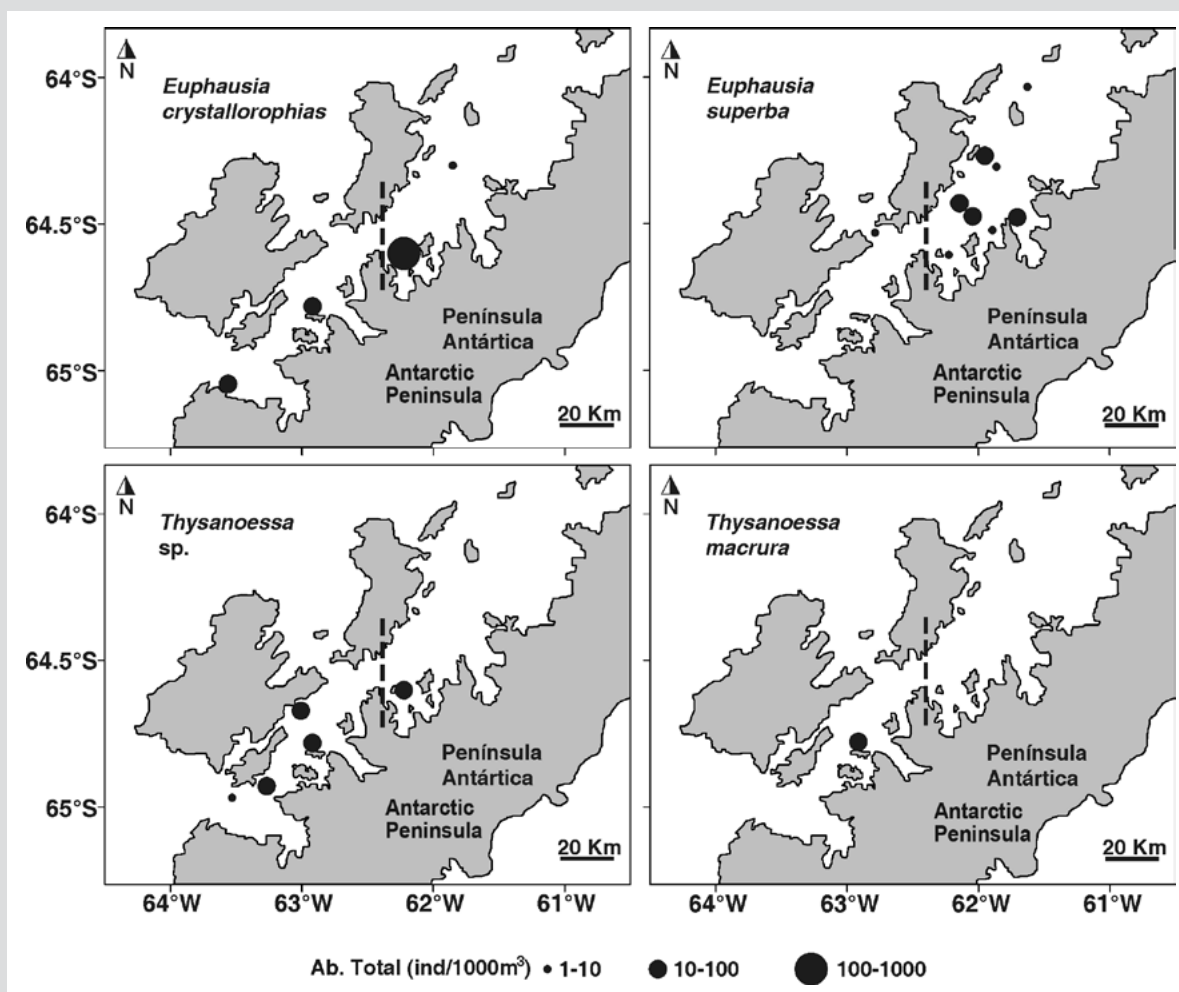


Figura 6. Distribución de la abundancia de eufáusidos por especie (ind 1000 m^{-3}) durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

Figure 6. Distribution of the abundance of euphausiids by species (ind 1000 m^{-3}) during the austral summer of 2015 in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula.

excepto *E. superba* correlacionada positivamente con la temperatura superficial ($R=0,57$, $p < 0,05$) y de 10 m de profundidad ($R=0,64$, $p < 0,05$).

Euphausia crystallorophias tuvo un aporte de biomasa de zooplancton equivalente a 32,1 %, *E. superba* 12,7 %, *T. macrura* 0,4 % y *Thysanoessa* sp. 0,3 %. En cuanto a los sectores norte y sur *E. crystallorophias* representó 50,1 % de la biomasa del zooplancton en el norte y 6,7 % en el sur. *Euphausia superba* representó 20,2 % en el norte y 2,1 % en el sur. *Thysanoessa* sp. representó 0,2 % en el norte y 0,4 % en el sur. *Thysanoessa macrura* solo fue registrada en el sur del estrecho, representando 0,9 % de la biomasa del zooplancton.

El conjunto de especies de eufáusidos en el estrecho de Gerlache mostró dos grupos significativamente diferentes (Anosim, $R=0,52$, $p=0,005$), uno conformado

superba positivamente correlacionada con la temperatura superficial ($R = 0.57$, $p < 0.05$) and 10 m depth ($R = 0.64$, $p < 0.05$).

Euphausia crystallorophias had a contribution of zooplankton biomass equivalent to 32.1 %, *E. superba* 12.7 %, *T. macrura* 0.4 %, and *Thysanoessa* sp. 0.3 %. Regarding the North and South sectors, *E. crystallorophias* represented 50.1 % of the zooplankton biomass in the North sector and 6.7 % in the South sector. *Euphausia superba* represented 20.2 % in the North sector and 2.1 % in the South sector. *Thysanoessa* sp. it represented 0.2 % in the North sector and 0.4 % in the South sector. *T. macrura* was only recorded in the southern sector of the Gerlache Strait, representing 0.9 % of the zooplankton biomass.

The group of euphausiid species in the Gerlache Strait showed two significantly different groups (Anosim, $R = 0.52$, $p = 0.005$), one group made up of most of the stations in

por la mayoría de las estaciones del sector sur del estrecho y otro con las estaciones del norte (Figura 7). Para la solución bidimensional obtenida por el nMDS, las correlaciones de Spearman únicamente fueron altas y positivas entre la temperatura a 1 y 10 m y el eje 1 (Tabla 1). El análisis Simper sugirió que la disimilitud entre el norte y el sur fue del 89,19 %. *Euphausia superba* (41,0 %), *E. crystallorophias* (32,4 %) y *Thysanoessa* sp. (24,6 %) fueron las especies que contribuyeron a la mayor parte de la disimilitud entre los sectores, mientras que *E. superba* fue la especie que más contribuyó a la similitud del norte (99,8 %) y *Thysanoessa* sp. la que tuvo la mayor contribución a la similitud del sur (89,7 %).

the southern sector of the strait and the other with the stations of the North sector (Figure 7). For the two-dimensional solution obtained by the nMDS, the Spearman correlations were only high and positive between the temperature at 1 and 10 m and axis 1 (Table 1). The Simper analysis suggested that the dissimilarity between the North and South sectors was 89.19 %. *Euphausia superba* (41.0 %), *E. crystallorophias* (32.4 %), and *Thysanoessa* sp. (24.6 %) were the species that contributed most of the dissimilarity between the sectors, while *E. superba* was the species that most contributed to the similarity of the North sector (99.8 %) and *Thysanoessa* sp. the one that had the greatest contribution to the similarity of the South sector (89.7 %).

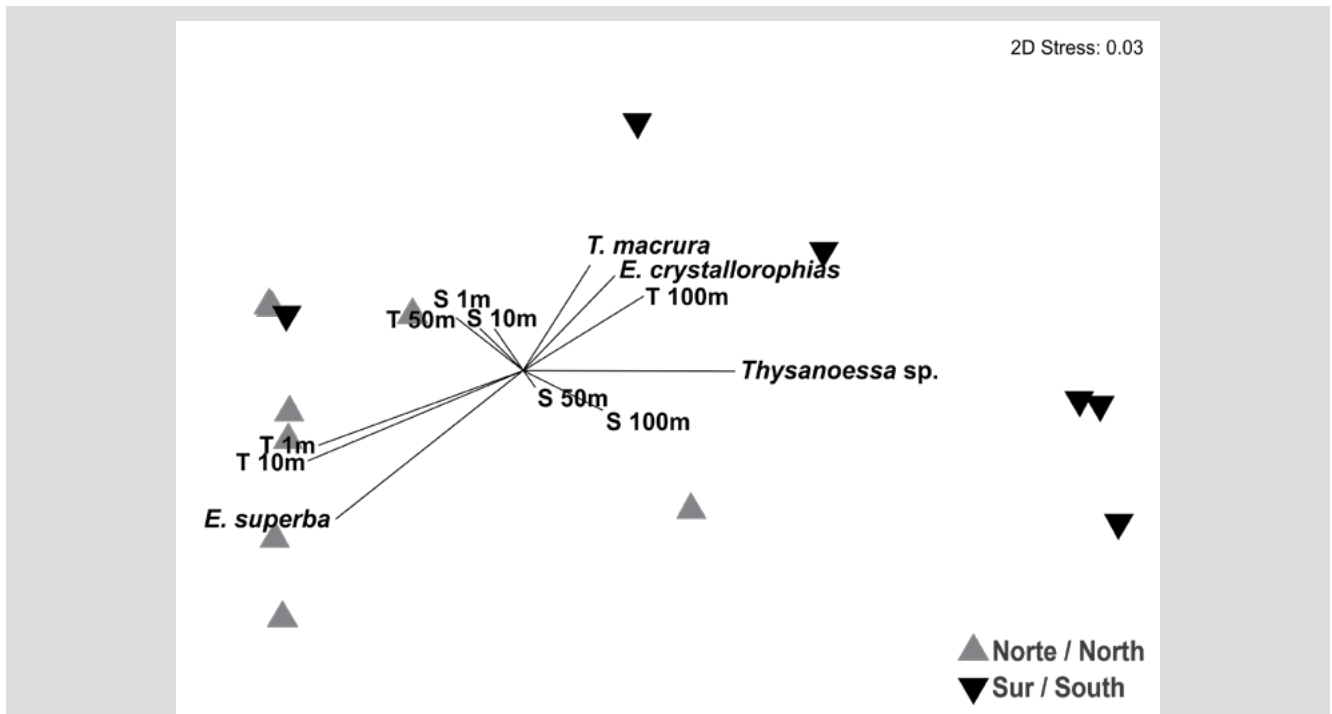


Figura 7. Análisis no métrico multidimensional utilizando el algoritmo de Bray Curtis, con base en la matriz de abundancia de las especies de eufáusidos registradas durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

Figure 7. Multidimensional non-metric analysis using the Bray Curtis algorithm, based on the abundance matrix of euphausiid species recorded during the southern summer of 2015 in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula.

Tabla 1. Correlaciones de Spearman entre los ejes del Análisis no métrico multidimensional y los parámetros físicos, durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

Table 1. Spearman correlations between the axes of the multidimensional non-metric analysis and the physical parameters, during the Austral summer of 2015 in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula.

	Temperatura / Temperature				Salinidad / Salinity			
	1 m	10 m	50 m	100 m	1 m	10 m	50 m	100 m
Eje / Axis 1	0.75	0.79	0.25	-0.44	0.16	0.11	-0.04	-0.29
Eje / Axis 2	-0.30	-0.32	0.16	0.26	0.12	0.10	-0.07	-0.13

DISCUSIÓN

Cuatro especies de euphausiidos fueron registradas en la zona epipelágica del estrecho Gerlache durante el verano austral de 2015. Esta baja riqueza específica coincide con estudios previos en bahía Margarita, al sur del estrecho Gerlache (Marrari *et al.*, 2011; Parker *et al.*, 2011), en donde registraron a *T. macrura*, *E. crystallorophias* y *E. superba*. Para el mar de Escocia, Ward *et al.* (2004) registraron a *E. superba*, *T. macrura* y *T. vicina*, especies que habían sido previamente halladas en el Estrecho Gerlache durante el invierno (Nordhause, 1994a).

En las aguas neríticas antárticas, *E. crystallorophias* es la especie de euphausiido más común (Mauchline y Fisher, 1969; Thomas y Green, 1988; Pakhomov y Perissinotto, 1996; Sala *et al.*, 2002; La *et al.*, 2015). Esta es una especie con un amplio espectro de alimentación, que incluye diatomeas, bacterias, detrito orgánico y algas que crecen debajo del hielo (Mauchline y Fisher, 1969; Melnikov y Spiridonov, 1996; Pachamov y Perissinotto, 1996; Ju y Harvey, 2004; Lee *et al.*, 2013) y que alcanza densidades promedio entre 450 a 1400 ind 100 m⁻³ (Everson, 1987; Pakhomov *et al.*, 1998). La mayor abundancia de *E. crystallorophias* en el verano de 2015 fue 818 ind 1000 m⁻³ en la zona central del estrecho, siendo la especie que dominó en número y en aporte de biomasa el conjunto de euphausiidos en el área de estudio, similar a lo mencionado por Daly y Zimmerman (2004) y Marrari *et al.* (2011) para el sector occidental de la península Antártica. Incluso, la abundancia registrada en el presente estudio fue mayor a la que había sido registrada para la zona nerítica del mar de Bellingshausen (bahía Margarita) por Siegel y Harm (1996).

Euphausia superba es quizás la especie de euphausiido más ampliamente estudiada en el mundo (Nicol, 2006; Siegel, 2016). Esta especie, endémica del océano Antártico, no solo es el euphausiido de mayor talla (adultos: 42-65 mm) o el más abundante en el área, sino que es una especie clave en el flujo biogeoquímico del carbono y hierro y en la dinámica trófica del ecosistema pelágico antártico (Everson, 2000; Nowacek *et al.*, 2011; Gleiber *et al.*, 2012; Schmidt *et al.*, 2016; Trathan y Hill, 2016). *Euphausia superba* sostiene una extensa actividad pesquera internacional desde hace 50 años (Nicole *et al.*, 2012; Nicole y Foster, 2016). Aunque esta especie habita principalmente el ambiente oceánico antártico (Siegel y Watkins, 2016), Gerlache se conoce como una de las regiones de mayor abundancia en la península Antártica (Huntley y Brinton,

DISCUSSION

Four species of euphausiids were recorded in the epipelagic zone of the Gerlache Strait during the austral summer of 2015. This low specific richness coincides with previous studies in Bahía Margarita, south of the Gerlache Strait (Marrari *et al.*, 2011; Parker *et al.*, 2011), where they reported *T. macrura*, *E. crystallorophias*, and *E. superba*. For the Scottish Sea, Ward *et al.* (2004) recorded *E. superba*, *T. macrura*, and *T. vicina*, species that had previously been reported for the Gerlache Strait during winter (Nordhause 1994a).

In Antarctic neritic waters, *Euphausia crystallorophias* is the most common euphausiid species (Mauchline and Fisher, 1969; Thomas and Green 1988; Pakhomov and Perissinotto 1996; Sala *et al.*, 2002; La *et al.*, 2015). This is a species with a broad feeding spectrum, including diatoms, bacteria, organic debris, and algae that grow under ice (Mauchline and Fisher, 1969; Pachamov and Perissinotto, 1996; Melnikov and Spiridonov, 1996; Ju and Harvey, 2004; Lee *et al.*, 2013) and that reaches average densities between 450 to 1400 ind 100 m⁻³ (Everson, 1987; Pakhomov *et al.*, 1998). The highest abundance of *E. crystallorophias* in the summer of 2015 was 818 ind 1000 m⁻³ in the central area of the Gerlache Strait, being the species that dominated in number and biomass contribution the set of euphausiids in the study area, similar to as reported by Daly and Zimmerman (2004) and Marrari *et al.*, (2011) for the western sector of the Antarctic Peninsula. Furthermore, the abundance recorded in the present study was greater than that which had been reported for the neritic zone of the Bellingshausen Sea (Margarita Bay) by Siegel and Harm (1996).

Euphausia superba is perhaps the most widely studied euphausiid species in the world (Nicol, 2006; Siegel, 2016). This species is endemic to the Antarctic Ocean, not only is it the largest euphausiid (adults: 42-65 mm) or the most abundant in the Antarctic Ocean, but it is also a key species in the biogeochemical flow of carbon and iron and the trophic dynamics of the Antarctic pelagic ecosystem (Everson, 2000; Nowacek *et al.*, 2011; Gleiber *et al.*, 2012; Trathan and Hill, 2016; Schmidt *et al.*, 2016). *E. superba* has sustained extensive international fishing activity for 50 years (Nicole *et al.*, 2012; Nicole and Foster, 2016). Although this species mainly inhabits the Antarctic oceanic environment (Siegel and Watkins, 2016),

1991), probablemente asociado con el patrón de circulación local que favorece el tiempo de residencia de las larvas en un ambiente protegido con alta productividad (Varela *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002, 2006; Jiang *et al.*, 2013), como también ha sido registrado en el estrecho de Bransfield (Hofmann y Murphy, 2004). Sin embargo, la mayoría de los grandes enjambres de *E. superba* se distribuyen en aguas oceánicas, acercándose a zonas costeras durante el verano (Atkinson *et al.*, 2008; Tarling *et al.*, 2009).

Thysanoessa macrura es la especie de euphausiido con mayor consistencia en su distribución espacial en el océano Antártico, y puede llegar a sobrepasar en abundancia los enjambres de *E. superba* (Kittel y Stepnik, 1983; Daly y Macaulay, 1988; Nordhausen *et al.*, 1994a). *Thysanoessa macrura* realiza cortas migraciones verticales en ciclo día-noche, concentrándose en la zona epipelágica de la columna de agua (Loeb y Shulenberger, 1987; Lancraft *et al.*, 1989; Nordhausen, 1992), en el estrecho se le ha hallado en profundidades de hasta 120 m (Nordhausen *et al.*, 1994b).

Alrededor de los 60° S *Thysanoessa vicina* y *T. macrura* presentan un traslape de rango de distribución geográfico, por lo que es posible que el tipo de *Thysanoessa* sp. registrado en este estudio corresponda a alguna de estas dos especies considerando que son morfológicamente similares y su identificación taxonómica tradicional depende de caracteres diagnósticos como el tamaño corporal de los adultos, que para *T. vicina* es de aproximadamente 16 mm y para *T. macrura* es de unos 30 mm. De acuerdo con Thiriot-Quévieux *et al.* (1998), estas especies tienen un número diferente de cromosomas por lo que se recomienda implementar análisis de cariotipos para establecer con total certeza la potencial presencia de *T. vicina* en el estrecho.

En el presente estudio no fueron capturadas larvas de ninguna especie. *Thysanoessa macrura* desova al final de invierno y para la época de verano los individuos ya corresponderán a juveniles (Wallis *et al.*, 2018). Sin embargo, *E. crystallophias* y *E. superba* presentan la temporada de desove durante el verano (Zhou *et al.*, 2002), por lo que la ausencia de estadios iniciales de desarrollo de estas dos especies durante el periodo de muestreo puede ser consecuencia de condiciones climáticas atípicas registradas en la península Antártica durante el primer semestre del 2015, que retardaron el ingreso de condiciones características del verano en la región (Blunden y Arndt, 2016).

Las proporciones de sexos registradas en el presente estudio fueron diferentes para cada una de las especies. Para el caso de *E. superba* se ha registrado que los machos crecen

the Gerlache Strait has been reported as one of the most abundant areas in the Antarctic peninsula (Huntley and Brinton, 1991), probably associated with the circulation pattern local that favors the residence time of the larvae in a protected environment with high productivity (Varela *et al.*, 2002; Zhou *et al.*, 2002, 2006; Jiang *et al.*, 2013), as has also been reported in the Strait of Bransfield (Hofmann and Murphy, 2004). However, most of the large swarms of *E. superba* are distributed in oceanic waters, approaching coastal areas during the summer (Atkinson *et al.*, 2008; Tarling *et al.*, 2009).

Thysanoessa macrura is the euphausiid species with the most consistency in its spatial distribution in the Antarctic Ocean, and it can outnumber *E. superba* swarms (Kittel and Stepnik, 1983; Daly and Macaulay, 1988; Nordhausen *et al.*, 1994a). *Thysanoessa macrura* performs short vertical migrations in the day-night cycle, concentrating in the epipelagic zone of the water column (Loeb and Shulenberger, 1987; Lancraft *et al.*, 1989; Nordhausen, 1992), in the Gerlache Strait this species has been reported at depths up to 120 m (Nordhausen *et al.*, 1994b).

Around 60 degrees south *Thysanoessa vicina* and *T. macrura* show an overlap in the geographic distribution range, so it is possible that the type of *Thysanoessa* sp. recorded in this study corresponds to one of these two species considering that they are morphologically similar, and their traditional taxonomic identification depends on diagnostic characters such as the body size of adults, which for *T. vicina* is approximately 16 mm and for *T. macrura* it is about 30 mm. According to Thiriot-Quévieux *et al.* (1998), these species have a different number of chromosomes, so it is recommended to implement karyotype analysis to establish with total certainty the potential presence of *T. vicina* in the Gerlache Strait.

In the present study, no larvae of any species were captured. *T. macrura* spawns at the end of winter and by the summer season the individuals will already correspond to juveniles (Wallis *et al.*, 2018). However, *E. crystallophias* and *E. superba* have the spawning season during the summer (Zhou *et al.*, 2002), so the absence of initial stages of development of these two species during the sampling period may be a consequence of atypical climatic conditions registered in the Antarctic Peninsula during the first semester of 2015, which delayed the entry of conditions characteristic of summer in the region (Blunden and Arndt, 2016).

más rápido que las hembras (Kawaguchi *et al.*, 2007), lo cual podría explicar la mayor tasa de machos con respecto a las hembras registrada en este estudio. Para *E. crystallophias* la proporción de sexos fue cercana a uno, lo cual coincide con lo registrado por Pakhomov y Perissinoto (1996), quienes registraron esta misma proporción para esta especie en diferentes ambientes neríticos del continente Antártico durante verano. Para *T. macrura* se registraron únicamente hembras, posiblemente debido a los pocos individuos que fueron capturados de esta especie. Para esta especie se ha reportado una dominancia de las hembras, llegando a representar hasta 75 % de la población adulta durante verano (Nordhausen, 1992; Haraldsson y Siegel, 2014).

Pocos estudios han demostrado de manera específica una relación entre la temperatura o la salinidad y la abundancia de los eufáusidos en la Antártica (Weber *et al.*, 1986; Trathan *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2013 Leonori *et al.*, 2017). En una escala espacial de 1 – 100 km, las agregaciones de eufáusidos pueden depender de las condiciones batimétricas locales, por ejemplo, en zonas como el talud continental o al interior del estrecho, las mayores concentraciones de eufáusidos serán el resultado del efecto de las características topográficas sumado al patrón local de circulación que favorece los procesos de retención local (Zhou *et al.*, 2002, 2006; Jiang *et al.*, 2013). Esta podría ser una de las razones por las que en la estación 12 del presente estudio se registraron las mayores abundancias de eufáusidos, debido a su ubicación en un área protegida y con poca velocidad en las corrientes que se forman en la zona (Zhou *et al.*, 2002; Torres-Parra *et al.*, 2020).

Las condiciones termohalinas en la zona epipelágica del estrecho de Gerlache durante el verano austral de 2015 fueron similares a las registradas durante el verano austral de 1995 (Rodríguez *et al.*, 2002), con mayor temperatura en el estrato de 1 - 10 m que en el estrato de 50 - 100 m, mientras que en el sector sur la temperatura fue similar en los primeros 100 m de profundidad. La baja salinidad superficial registrada en el sector norte de Gerlache, particularmente cerca de bahía Charlotte y bahía Hughes del sector norte de la costa de Danco, probablemente sea debida al aporte de agua de deshielo, condición que es frecuente durante el verano austral en las zonas costeras del continente antártico (Smith y Klinck, 2002; Eveleth *et al.*, 2017), aunque las condiciones climáticas durante el periodo de muestreo promovieron condiciones de baja tasa de deshielo (Blunden y Arndt, 2016).

The sex ratios recorded in the present study were different for each of the species. In the case of *E. superba*, it has been reported that males grow faster than females (Kawaguchi *et al.*, 2007), which could explain the higher rate of males compared to females registered in this study. For *E. crystallophias* the sex ratio was close to 1, which coincides with that recorded by Pakhomov and Perissinoto (1996), who reported this same ratio for this species in different neritic environments of the Antarctic continent during summer. For *T. macrura*, only females were recorded, possibly due to the few individuals that were captured of this species. For this species dominance of females has been reported, reaching up to 75 % of the adult population during summer (Nordhausen, 1992; Haraldsson and Siegel, 2014).

Few studies have specifically shown a relationship between temperature or salinity and the abundance of euphausiids in Antarctica (Weber *et al.*, 1986; Trathan *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2013 Leonori *et al.*, 2017). On a spatial scale of 1 - 100 km, euphausiid aggregations may depend on local bathymetric conditions, for example, in areas such as the continental slope or within the Gerlache Strait, the highest concentrations of euphausiids will be the result of the effect of the topographic characteristics added to the local circulation pattern that favors local retention processes (Zhou *et al.*, 2002, 2006; Jiang *et al.*, 2013). This could be one of the reasons why the highest abundances of euphausiids were recorded in station 12 of the present study, due to their location in a protected area and with low speed in the currents that form in the area (Zhou *et al.*, 2002; Torres-Parra *et al.*, 2020).

The thermohaline conditions in the epipelagic zone of the Gerlache Strait during the austral summer of 2015 were similar to those reported during the austral summer of 1995 (Rodríguez *et al.*, 2002), with higher temperatures in the stratum of 1 - 10 m than in the 50-100 m stratum, while in the southern sector the temperature was similar in the first 100 m depth. The low surface salinity recorded in the northern sector of the Gerlache Strait, particularly near Charlotte Bay and Hughes Bay of the northern sector of the Danco coast, is probably due to the contribution of meltwater, a condition that is frequent during the austral summer in the coastal areas of the Antarctic continent (Smith and Klinck, 2002; Eveleth *et al.* 2017), although the climatic conditions during the sampling period promoted conditions of low thaw rate (Blunden and Arndt, 2016).

La distinción del conjunto de eufáusidos epipelágicos en los dos sectores del estrecho, podría estar influenciado por recursos tróficos distintos en cada sector. Los cambios en la temperatura y salinidad en la columna de agua pueden llegar a tener efectos importantes en el tipo de fitoplancton dominante (Mendes *et al.*, 2018). Rodríguez *et al.* (2002) registraron que el sector sur estuvo dominado por ultraflagelados, mientras que el norte estuvo dominado por diatomeas microplanctónicas. Asimismo, Giraldo *et al.* (2019), reportaron diferencias en cuanto al tamaño de los copépodos presentes en los sectores norte y sur del estrecho, siendo los adultos del norte un orden de magnitud más pequeños que los del sector sur del estrecho. Esta condición podría estar modulando la estructura y composición del conjunto de eufáusidos en esta localidad, considerando además que *E. superba* ha presentado una preferencia por copépodos pequeños (Atkinson y Snýder, 1997), lo cual podría explicar la presencia exclusiva de esta especie en el sector norte del Estrecho Gerlache

AGRADECIMIENTOS

A Melissa Moreno, Isabel Cristina Calle, Andrés Cuellar y Juan José Gallego por su apoyo en la separación de las muestras biológicas. A la tripulación del buque “ARC 20 de Julio” por su valiosa colaboración durante el desarrollo del muestreo. Agradecimientos especiales al Vicealmirante Juan Manuel Soltau Ospina, Director General Marítimo. Este trabajo fue cofinanciado por el Programa Antártico Colombiano, la Armada Nacional de la República de Colombia, la Dirección General Marítima, la Comisión Colombiana del Océano, la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, la Universidad del Valle y el programa Jóvenes Investigadores e Innovadores de Colciencias convocatoria 706-2015 del cual fue beneficiaria la primera autora.

The distinction of the set of epipelagic euphausiids in the two sectors of the Gerlache Strait could be influenced by different trophic resources in each sector. Changes in temperature and salinity in the water column can have important effects on the dominant type of phytoplankton (Mendes *et al.*, 2018). Rodríguez *et al.*, (2002) reported that the southern sector of the Gerlache Strait was dominated by ultraflagellates while in the northern sector it was dominated by microplanktonic diatoms. Likewise, Giraldo *et al.* (2019), reported differences in the size of the copepods present in the northern and southern sectors of the strait, with adult copepods in the northern sector being an order of magnitude smaller than those in the southern sector of the Gerlache Strait. This condition could be modulating the structure and composition of the group of euphausiids in this locality, considering also that *E. superba* has presented a preference for small copepods (Atkinson and Snýder, 1997), which could explain the exclusive presence of this species in the North sector of the Gerlache Strait

ACKNOWLEDGEMENT

To Melissa Moreno, Isabel Cristina Calle, Andrés Cuellar, and Juan José Gallego for their support in the separation of biological samples. To the crew of the ship “ARC 20 de Julio” for their valuable collaboration during the development of the sampling. Special thanks to Vice Admiral Juan Manuel Soltau Ospina, General Maritime Director. This work was co-financed by the Colombian Antarctic Program, the National Navy of the Republic of Colombia, the General Maritime Directorate, the Colombian Ocean Commission, the Colombian Academy of Exact, Physical and Natural Sciences, the Universidad del Valle and the Young Researchers and Innovators Program of Colciencias call 706-2015 of which the first author was the beneficiary.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Antezana, T., N. Aguirre y R. Bustamante. 1976. Clave ilustrada y distribución latitudinal de los eupáusidos del océano Antártico (Crustacea, Zooplankton). Ser Cient. Inst. Antárt. Chil., 4: 53-68.
- Atkinson, A. and R. Snyder, 1997. Krill-copepod interactions at South Georgia, Antarctica, I. Omnivory by *Euphausia superba*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 160: 63-76.
- Atkinson, A., V. Siegel, E.A. Pakhomov, P. Rothery, V. Loeb, R.M. Ross, L.B. Quetin, K. Schmidt, P. Fretwell, E.J. Murphy, G.A. Tarling and A.H. Fleming. 2008. Oceanic circumpolar habitats of Antarctic krill. Mar. Ecol. Prog. Ser., 362: 1-23
- Baker, A. de C., B.P. Boden and E. Brinton. 1990. A practical guide to the euphausiids of the world. Brit. Mus. (Nat. Hist.), London. 96 p.
- Blunden, J. and D.S. Arndt. 2016. State of the climate in 2015. Bull. Am. Meteorol. Soc., 97: Si-S275.
- Brinton, E., M.D. Ohman, A.W. Townsend, M.D. Knight and A.L. Bridgeman. 2000. Euphausiids of the world ocean, CD-ROM. Windows version 1.0 ed. (2000). UNESCO Publishing and ETI (Expert Center for Taxonomic Identification, University of Amsterdam).
- Cavan, E.L., A. Belcher, A. Atkinson, S.L. Hill, S. Kawaguchi, S. McCormack, B. Meyer, S. Nicol, L. Ratnarajah, K. Schmidt, D.K. Steinberg, G.A. Tarling and P.W. Boyd. 2019. The importance of Antarctic krill in biogeochemical cycles. Nat. Commun., 10(1): 1-13.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Aust. J. Ecol., 18: 117-143.
- Clarke, K. R. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community. Mar. Ecol. Prog. Ser., 92: 205-219.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Primer-E. Plymouth, UK.
- Cleary, A.C., E.G. Durbin, M.C. Casas and M. Zhou. 2016. Winter distribution and size structure of Antarctic krill *Euphausia superba* populations in-shore along the West Antarctic Peninsula. Mar. Ecol. Progr. Ser., 552: 115-129.
- Cleary, A.C., E.G Durbin and M.C. Casas. 2018. Feeding by Antarctic krill *Euphausia superba* in the West Antarctic Peninsula: differences between fjords and open waters. Mar. Ecol. Progr. Ser., 595: 39-54.
- Conroy, J.A., D.K. Steinberg, P.S. Thibodeau and O. Schofield. 2020. Zooplankton diel vertical migration during Antarctic summer. Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap., 103324.
- Daly, K.M. and M.C. Macaulay. 1988. Abundance and distribution of krill in the ice edge zone of the Weddell Sea, austral spring 1983. Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap., 35: 21-41.
- Daly, K.M. and J.J. Zimmermann. 2004. Comparisons of morphology and neritic distributions of *Euphausia crystallophias* and *Euphausia superba* furcilia during autumn and winter west of the Antarctic Peninsula. Polar Biol., 28: 72-81.
- Eveleth, R., N. Cassar, R.M. Sherrell, H. Ducklow, M.P. Meredith, H.J. Venables, Y. Lin and Z. Li. 2017. Ice melt influence on summertime net community production along the Western Antarctic Peninsula. Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr., 139: 89-102.
- Everson, I. 1987 Some aspects of the small scale distribution of *E. crystallophias*. Polar Biol., 8: 9-15.
- Everson, I. 2000. Role of krill in marine food webs: the Southern Ocean. 194-201. In: Everson, I. (Ed.) Krill: biology, ecology and fisheries. Blackwell Science, Oxford. 373 p.
- García, M.A., C.G. Castro, A.F. Ríos, M.D. Doval, G. Rosón, D. Gomis and O. López. 2002. Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr., 49: 585-602.
- Gibbons, M., V. Spiridonov and G. Tarling. 1999. Euphausiacea:1241-1279. En: Boltovskoy, D (Ed.) South Atlantic zooplankton. Backhuys Publishers, The Netherlands. 1706 p.
- Giraldo, A., M.I. Criales-Hernández, M. Jerez-Guerrero y D.F. Mojica-Moncada. 2019. Biomasa del mesozooplankton y ensamblaje de copépodos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (Antártica) durante el verano austral de 2015. Bol. Invest. Mar. Costeras. 48(1): 9-26.
- Gleiber, M.R., D.K. Steinberg and H.W. Ducklow. 2012. Time series of vertical flux of zooplankton fecal pellets on the continental shelf of the western Antarctic Peninsula. Mar. Ecol. Progr. Ser., 471: 23-36.



- González, H. E., G. Daneri, J.L. Iriarte, B. Yannicelli, E. Menschel, C. Barriá, S. Pantoja and L. Lizárraga. 2009. Carbon fluxes within the epipelagic zone of the Humboldt Current System off Chile: The significance of euphausiids and diatoms as key functional groups for the biological pump. *Progr. Oceanogr.*, 83(1-4): 217-227.
- Haraldsson, M. and V. Siegel. 2014. Seasonal distribution and life history of *Thysanoessa macrura* (Euphausiacea, Crustacea) in high latitude waters of the Lazarev Sea, Antarctica. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 495: 105-118.
- Hernández-León, S., A. Portillo-Hahnefeld, C. Almeida, P. Bécognée and I. Moreno. 2001. Diel feeding behaviour of krill in the Gerlache Strait, Antarctica. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 223: 235-242.
- Hofmann, E.E. and E.J. Murphy. 2004. Advection, krill, and Antarctic marine ecosystems. *Antarct. Sci.*, 16: 487-499.
- Hopkins, T.L. 1971. Zooplankton standing crop in the Pacific Sector of the Antarctic. 347-362. In: Llano G.W. and I.E. Wallen (Eds.) *Biology of the Antarctic seas IV*. *Antarct. Res. Ser.*, 362 p.
- Hosie, G.W., T. Ikeda and M. Stolp. 1988. Distribution, abundance and population structure of the Antarctic krill (*Euphausia superba*, Dana) in the Priz Bay Region, Antarctica. *Polar Biol.*, 8: 213-224.
- Hudson, J.M., D. Steinberg, T. Sutton, J. Graves and R. Latour. 2014. Myctophid feeding ecology and carbon transport along the northern Mid-Atlantic Ridge. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 93: 104-116.
- Huntley, M. and E. Brinton. 1991. Mesoscale variation in growth and early development of *Euphausia superba* Dana in the western Bransfield Strait region. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 38(8-9): 1213-1240.
- Jiang, M., M.A. Charette, C.I. Measures, Y. Zhu and M. Zhou. 2013. Seasonal cycle of circulation in the Antarctic Peninsula and the off-shelf transport of shelf waters into southern Drake Passage and Scotia Sea. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 90: 15-30.
- Ju, S.J. and H.R. Harvey. 2004. Lipids as markers of nutritional condition and diet in the Antarctic krill *Euphausia superba* and *Euphausia crystallorophias* during austral winter. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 51(17-19): 2199-2214.
- Kawaguchi, S., T. Yoshida, L. Finley, P. Cramp and S. Nicol. 2007. The krill maturity cycle: a conceptual model of the seasonal cycle in Antarctic krill. *Polar Biol.*, 30: 689-698.
- Kittel, W. and R. Stepnlk. 1983. Distribution of *Euphausia crystallorophias*, *E. frigida*, *E. triacantha* and *Thysanoessa macrura* (Crustacea, Euphausiacea) in the southern Drake Passage and Bransfield Strait in February and March 1981. *Pol. Polar Res.*, 4: 7-19.
- Kohlbach, D., B.A. Lange, M. Graeve, M. Vortkamp and H. Flores. 2019. Varying dependency of Antarctic euphausiids on ice algae-and phytoplankton-derived carbon sources during summer. *Mar. Biol.*, 166(6): 79.
- La, H.S., H. Lee, S. Fielding, D. Kang, H.K. Ha, A. Atkinson, J. Park, V. Siegel, S.H. Lee and H.C. Shin. 2015. High density of ice krill (*Euphausia crystallorophias*) in the Amundsen Sea coastal polynya, Antarctica. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 195: 75-84.
- Lancraft, T.M., J.J. Torres and T.L. Hopkins. 1989. Micronekton and macrozooplankton in the open waters near Antarctic ice edge zones (AMERIEZ 1983 and 1986). *Polar Biol.*, 9: 225-233.
- Lawson, G.L., P-H. Wiebe, C.J. Ashjian and T.K. Stanton. 2008. Euphausiid distribution along the Western Antarctic Peninsula—Part B: distribution of euphausiid aggregations and biomass, and associations with environmental features. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 55(3-4): 432-454.
- Lee, D.B., K.H. Choi, H.K. Ha, E.J. Yang, S.H. Lee, S. Lee and H.C. Shin. 2013. Mesozooplankton distribution patterns and grazing impacts of copepods and *Euphausia crystallorophias* in the Amundsen Sea, West Antarctica, during austral summer. *Polar Biol.*, 36: 1215-1230.
- Leonor, I., A. De Felice, G. Canduci, I. Costantini, I. Biagiotti, G. Giuliani and G. Budillon. 2017. Krill distribution in relation to environmental parameters in mesoscale structures in the Ross Sea. *J. Mar. Syst.*, 166: 159-171.
- Loeb, V. and J. Santora. 2015. Climate variability and spatiotemporal dynamics of five Southern Ocean krill species. *Progr. Oceanogr.*, 134: 93-122.
- Loeb, V. J. and E. Shulenberger. 1987. Vertical distributions and relations of euphausiid populations off Elephant Island, March 1984. *Polar Biol.*, 7(6): 363-373.
- Loeb, V., E. Hofmann, J. Klinck, O. Holm-Hansen and W. White. 2009. ENSO and variability of the Antarctic Peninsula pelagic marine ecosystem. *Antarctic Sci.*, 21(2): 135-148.

- Marrari, M., K.L. Daly, A. Timonin and T. Semenova. 2011. The zooplankton of Marguerite Bay, Western Antarctic Peninsula – Part I: Abundance, distribution and population response to variability in environmental conditions. Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr., 58: 1599-1613.
- Mauchline, J. and L.R. Fisher. 1969. The biology of euphausiids. Adv. Mar. Biol., 7: 1-454.
- Melnikov, I.A. and V.A. Spiridonov. 1996. Antarctic krill under perennial sea ice in the western Weddell Sea. Antarc. Sci., 8(4): 323-329.
- Mendes, C.R.B., V.M. Tavano, T.S. Dotto, R. Kerr, M.S. de Souza, C.A.E. Garcia and E.R. Secchi. 2018. New insights on the dominance of cryptophytes in Antarctic coastal waters: a case study in Gerlache Strait. Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr., 149: 161-170.
- Murase, H., K. Matsuoka, T. Ichii and S. Nishiwaki. 2002. Relationship between the distribution of euphausiids and baleen whales in the Antarctic examined using JARPA data. Polar Biol., 25(2): 135-145.
- Nicol, S. 2006. Krill, currents, and sea ice: *Euphausia superba* and its changing environment. Bioscience, 56(2): 111-120.
- Nicol, S. and J. Foster. 2016. The fishery for Antarctic krill: its current status and management regime: 387-422. In: Siegel, V. (Ed.). Biology and ecology of Antarctic krill. Springer, Cham. 441 p.
- Nicol S, J. Foster and S. Kawaguchi. 2012. The fishery for Antarctic krill – recent developments. Fish Fish., 13(1): 30-40
- Nordhausen, W. 1992. Distribution and growth of larval and adult *Thysanoessa macrura* (Euphausiacea) in the Bransfield Strait Region, Antarctica. Mar. Ecol. Progr. Ser., 83(2): 185-196.
- Nordhausen, W. 1994a. Winter abundance and distribution of *Euphausia superba*, *E. crystallophias*, and *Thysanoessa macrura* in Gerlache Strait and Crystal Sound, Antarctica. Mar. Ecol. Progr. Ser., 109: 131-142.
- Nordhausen, W. 1994b. Distribution and diel vertical migration of the euphausiid *Thysanoessa macrura* in Gerlache Strait, Antarctica. Polar Biol., 14: 219-229.
- Nowacek, D., A. Friedlaender, P. Halpin, E. Hazen, D. Johnston, A. Read, B. Espinasse, M. Zhou and Y. Zhu. 2011. Super-aggregations of krill and humpback whales in Wilhelmina Bay, Antarctic Peninsula. PLoS One, 6(4): 1-5.
- Pakhomov, E. A. and R. Perissinotto. 1996. Antarctic neritic krill *Euphausia crystallophias*: spatio-temporal distribution, growth and grazing rates. Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap., 43(1): 59-87.
- Pakhomov, E.A., R. Perissinotto and P.W. Froneman. 1998. Abundance and trophodynamics of *Euphausia crystallophias* in the shelf region of the Lazarev Sea during austral spring and summer. J. Mar Syst., 17: 313-324.
- Parker, M., J. Donnelly and J. Torres. 2011. Invertebrate micronekton and macrozooplankton in the Marguerite Bay region of the Western Antarctic Peninsula. Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr., 58: 1580-1598.
- Piatkowski, U. 1985. Distribution, abundance and diurnal migration of macrozooplankton in Antarctic surface waters. Meeresforschung/Rep. Mar. Res., 30: 264-279.
- Piatkowski, U. 1989. Macrozooplankton communities from Weddell Sea surface waters, Antarctica. Pesq. Antartica Bras., 1(1): 1-10.
- Postel, L., H. Fock and W. Hagen. 2000. Biomass and abundance. 83 -192. In: Harris, R. P., P.H. Weibe, J. Lenz, H. R. Skjoldal and M. Huntley. ICES Zooplankton methodology manual. Academic, London. 684 p.
- Reiss, C.S., A. Cossio, J.A. Santora, K.S. Dietrich, A. Murray, B.G. Mitchell, J. Walsh, E. L. Weiss, C. Gimpel, C.D. Jones and G.M. Watters. 2017. Overwinter habitat selection by Antarctic krill under varying sea-ice conditions: implications for top predators and fishery management. Mar. Ecol. Progr. Ser., 568: 1-16.
- Rodríguez, J., F. Jiménez-Gómez, J.M. Blanco and F.L. Figueroa. 2002. Physical gradients and spatial variability of the size structure and composition of phytoplankton in the Gerlache Strait (Antarctica). Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr., 49: 693-706.
- Rogers, A.D., N.M. Johnson, E.J. Murphy and A. Clarke. 2012. Antarctic ecosystems: an extreme environment in a changing world. Wiley, Noida. 756 p.
- Rombolá, E., E. Marschoff and N. Coria. 2012. Analysis of the sources of variance in the mean size of krill consumed by Chinstrap and Adélie penguins at South Orkney Islands. Polar Biol., 35: 1601-1606.



- Sala, A., M. Azzali and A. Russo. 2002. Krill of the Ross Sea: distribution, abundance and demography of *Euphausia superba* and *Euphausia crystallorophias* during the Italian Antarctic Expedition (January-February 2000). *Sci. Mar.*, 66(2): 123-133.
- Santora, J.A., R.R. Veit, C.S. Reiss, I.D. Schroeder and M. Mangel. 2017. Ecosystem oceanography of seabird hotspots: environmental determinants and relationship with Antarctic krill within an important fishing ground. *Ecosystems*, 20(5): 885-903.
- Schmidt, K., A. Atkinson, S. Steigenberger, S. Fielding, M.C. Lindsay, D.W. Pond, G.A. Tarling, C.S. Allen, S. Nicol and E.P. Achterberg. 2011. Seabed foraging by Antarctic krill: implications for stock assessment, benthic-pelagic coupling, and the vertical transfer of iron. *Limnol. Oceanogr.*, 56(4): 1411-1428.
- Schmidt, K., C. Schlosser, A. Atkinson, S. Fielding, H.J. Venables, C.M. Waluda and E.P. Achterberg. 2016. Zooplankton gut passage mobilises lithogenic iron for ocean productivity. *Curr. Biol.*, 26: 2667-2673.
- Schnack-Schiel, S. B. and A. Mujica. 1994. The zooplankton of the Antarctic Peninsula region. 79-92. In: El-Sayed, S. Z. (Ed.). *Southern Ocean Ecology: the BIOMASS Perspective*. Cambridge University Press. Cambridge. 391 p.
- Seyboth, E., S. Botta, C.R.B. Mendes, J. Negrete, L. Dalla-Rosa and E.R. Secchi. 2018. Isotopic evidence of the effect of warming on the northern Antarctic Peninsula ecosystem. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 149: 218-228.
- Siegel, V. 2016. Introducing Antarctic krill *Euphausia superba* Dana, 1850: 1-19. In: Siegel, V. (Ed.) *Biology and ecology of Antarctic krill*. *Advances in Polar Ecology*. Springer, Cham. 441 p.
- Siegel, V. and U. Harm. 1996. The composition, abundance, biomass and diversity of the epipelagic zooplankton communities of the southern Bellingshausen Sea (Antarctic) with special reference to krill and salps. *Arch. Fish. Mar. Res.*, 44(1/2): 115-139.
- Siegel, V. and J.L. Watkins. 2016. Distribution, biomass and demography of Antarctic krill, *Euphausia superba*. 21-100. In: Siegel, V. (Ed.). *Biology and ecology of Antarctic krill*. Springer, Cham. 441 p.
- Steinberg, D.K., K.E. Ruck, M.R. Gleiber, L.M. Garzio, J.S. Cope, K.S. Bernard, S.E. Stammerjohn, O.M.E. Schofield, B.Q. Langdon and R.M. Ross. 2015. Long-term (1993–2013) changes in macrozooplankton off the Western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 101: 54-70.
- Stone, G. and W. Hamner. 1988. Humpback whales *Megaptera novaeangliae* and southern right whales *Eubalaena australis* in the Gerlache Strait, Antarctica. *Polar Rec.*, 24(148): 15-20.
- Tarling, G.A., T. Klevjer, S. Fiedling, J. Watkins, A. Atkinson, E. Murphy, R. Korb, M. Whitehouse and R. Leaper. 2009. Variability and predictability of Antarctic krill swarm structure. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 56: 1994-2012.
- Thiriou-Quévieux, C., A. Leitão and J. Cuzin-Roudy. 1998. Chromosome diversity in Mediterranean and Antarctic euphausiid species (Euphausiacea). *J. Crust. Biol.*, 18(2): 290-297.
- Thomas, P.G. and K. Green. 1988. Distribution of *Euphausia crystallorophias* within Prydz Bay and its importance to the inshore marine ecosystem. *Polar Biol.*, 8(5): 327-331.
- Torres-Parra, R.R., A.L. Caicedo-Laurido and J.D. Iriarte-Sánchez. 2020. Hydrographic conditions during two austral summer situations (2015 and 2017) in the Gerlache and Bismarck straits, northern Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 161: 103278.
- Trathan, P.N. and S.L. Hill. 2016. The importance of krill predation in the Southern Ocean: 321-350. In: Siegel, V. (Ed.) *The biology and ecology of Antarctic krill*. Springer, Cham. 441 p.
- Trathan, P.N., A.S. Brierley, M.A. Brandon, D.G. Bone, C. Goss, S.A. Grant, E.J. Murphy and J.L. Watkins. 2003. Oceanographic variability and changes in Antarctic krill (*Euphausia superba*) abundance at South Georgia. *Fish. Oceanogr.*, 12(6): 569-583.
- Varela, M., E. Fernández and P. Serret. 2002. Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995–1996. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 49(4): 749-768.
- Wallis, J.R., S. Kawaguchi and K.M. Swadling. 2018. Sexual differentiation, gonad maturation, and reproduction of the Southern Ocean euphausiid *Thysanoessa macrura* (Sars, 1883) (Crustacea: Euphausiacea). *J. Crust. Biol.*, 38(1): 107-118.
- Ward, P., S. Grant, M. Brandon, V. Siegel, V. Sushin, V. Loeb and H. Griffiths. 2004. Mesozooplankton community structure in the Scotia Sea during the CCAMLR 2000 survey: January – February 2000. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 51: 1351-1367.

- Weber, L.H., S.Z. El-Sayed and I. Hampton. 1986. The variance spectra of phytoplankton, krill and water temperature in the Antarctic Ocean south of Africa. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 33: 1327-1343
- Wiebe, P., C. Ashjian, G. Lawson, A. Piñones and N. Copley. 2011. Horizontal and vertical distribution of euphausiid species on the Western Antarctic Peninsula U.S. GLOBEC Southern Ocean study site. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 58: 1630-1651.
- Yamanaka, I. 1983. Interaction among krill, whales and other animals in the Antarctic ecosystem. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. is.*, 27: 220-232.
- Zhou, M., P.P. Nieler and J-H. Hu. 2002. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 49: 267-280.
- Zhou, M., P.P. Nieler, Y. Zhu and R.D. Dorland. 2006. The western boundary current in the Bransfield Strait, Antarctica. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 53(7), 1244-1252.

RECIBIDO/RECEIVED: 3/10/2019


ACEPTADO/ACCEPTED: 5/10/2020



Flujos de sedimento glaciomarino en pequeñas bahías de la costa de Danco, península Antártica

Glacimarine sediment flows in small bays on the Danco Coast, Antarctic Peninsula

Cristian Rodrigo^{1*}, Andrés Varas-Gómez², César Grisales³, Diana Quintana-Saavedra⁴ y Ricardo Molares⁴

 0000-0003-3523-9698

1. Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Andrés Bello. Viña del Mar, Chile. cristian.rodrigo@unab.cl
 2. Instituto de Fomento Pesquero, Departamento de Oceanografía y Medio Ambiente, Valparaíso, Chile. andres.varas@ifop.cl
 3. Comisión Colombiana del Océano (CCO), Bogotá, Colombia. d.estrategico@cco.gov.co
 4. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Dirección General Marítima. Cartagena de Indias, Colombia. diana.quintana@dimar.mil.co, jefcioh@dimar.mil.co
- * Autor de correspondencia.

RESUMEN

El calentamiento atmosférico global y el aumento de las temperaturas oceánicas pueden contribuir a la aceleración del derretimiento de los glaciares e influir en la generación y en las características físicas de flujos de sedimentos en bahías y fiordos de la península Antártica. Durante la Primera Expedición Científica de Colombia a la Antártica, llevada a cabo entre enero y febrero de 2015, se midieron variables hidrográficas (temperatura, salinidad, presión y turbidez) en la columna de agua, desde muy cerca del frente glaciar principal hacia costa afuera, en cinco bahías de la costa de Danco, península Antártica occidental. Se identificaron plumas de sedimento glaciomarino provenientes del glaciar de marea en todas las bahías; sin embargo, con extensiones espaciales variables así también en la concentración de sedimentos, siendo aquellas de la zona central de la costa de Danco, las más extensas y concentradas. Por comparación con años anteriores, en este trabajo se registró en promedio mayores concentraciones de partículas. El mayor flujo de sedimentos glaciomarinos se podría asociar con un mayor derretimiento glaciar, entre otros posibles factores.

PALABRAS CLAVES: Ambiente glaciomarino, Plumas de sedimentos, Turbidez, Variables oceanográficas, Glaciar de marea.

ABSTRACT

Global atmospheric warming and rising ocean temperatures can contribute to the acceleration of glacier melting and influence the generation and physical characteristics of sediment flows in bays and fjords of the Antarctic Peninsula. During the First Scientific Expedition of Colombia to the Antarctic, carried out between January and February 2015, hydrographic variables (temperature, salinity, pressure and turbidity) were measured in the water column, from very close to the main glacier front towards the offshore, on 5 bays of the Danco Coast, Western Antarctic Peninsula. Glacimarine sediment plumes from the tidewater glacier were identified in all bays, however, with varying spatial extensions as well as the concentration of sediments, being those of the central area of the Danco Coast, the most extensive and concentrated. By comparison with previous years, in this work higher average particle concentrations were recorded. The greater flow of glacimarine sediments could be associated with greater glacial melting, among other possible factors.

KEYWORDS: Glacimarine environment, Sediment plume, Turbidity, Oceanographic Variable, Tidewater Glacier.

INTRODUCCIÓN

Las fluctuaciones climáticas durante los períodos de calentamiento atmosférico y oceánico han alterado los patrones dinámicos de los glaciares y, como resultado, se han observado pérdidas significativas de las reservas de hielo a pequeña y gran escala en los ambientes glaciomarineros de la península Antártica durante los últimos años (Hogg *et al.*, 2017). La región de la península Antártica es considerada una zona sensible ante el cambio climático (Turner *et al.*, 2005) y se espera que los efectos de esos cambios sean más notables. La costa de Danco corresponde a una zona de transición entre un clima subpolar a uno polar (Griffith y Anderson, 1989; Anderson y Domack, 1991), por lo que se podría esperar una mayor sensibilidad ante los cambios. La estacionalidad de la península Antártica subpolar modula el derretimiento de los glaciares, siendo primavera-verano cuando se observan las tasas más altas de derretimiento y, con ello, una mayor descarga de sedimentos en la zona costera, situación contraria al período de otoño-invierno (Domack e Ishman, 1993; Domack y McClennen, 1996). Por lo tanto, un avance de la zona subpolar hacia el sur podría tener un impacto sobre el comportamiento glaciar de la zona de transición y polar, y en la producción de sedimentos glaciomarineros.

La formación de agua de origen glacial que se mueve y se extiende fuera de la costa transportando sedimentos, se conoce como “pluma de sedimentos” y se caracteriza por ser un cuerpo de agua fría, en ocasiones de alta densidad (Domack e Ishman, 1993; Domack y Williams, 1990; Domack *et al.*, 1994). La importancia de estas plumas es que contribuyen a elucidar la dinámica glaciomarina costera y, a su vez, dan pistas sobre la evolución climática de la región (Domack e Ishman, 1993; Yoo *et al.*, 2015), considerando también que una mayor concentración de partículas puede asociarse a un mayor derretimiento glacial (Yoo *et al.*, 2015; Rodrigo *et al.*, 2016). Además, el agua cargada con sedimentos puede afectar la productividad biológica marina y los organismos bentónicos del fondo (Dierssen *et al.*, 2002; Marín *et al.*, 2013). Por lo tanto, en este trabajo se pretende contribuir al estudio del comportamiento glaciar moderno bajo un ambiente de cambio climático acelerado, a través de la identificación y caracterización de las plumas de sedimentos que provienen de los glaciares de marea, complementando así el estudio de Rodrigo *et al.* (2016) asociado a pequeñas bahías y fiordos de la costa de Danco.

INTRODUCTION

Climatic fluctuations during periods of atmospheric and oceanic warming have altered the dynamic patterns of glaciers and, as a result, significant losses of small and large-scale ice reserves have been observed in the glaciomarine environments of the Antarctic Peninsula during recent years (Hogg *et al.*, 2017). The region of the Antarctic Peninsula is considered a sensitive area to climate change (Turner *et al.*, 2005), and the effects of these changes are expected to be more noticeable. The Danco Coast corresponds to a transition zone between a subpolar to a polar climate (Anderson and Domack, 1991; Griffith and Anderson, 1989), so a greater sensitivity to changes could be expected. The seasonality of the subpolar Antarctic peninsula modulates the melting of glaciers, being spring-summer where the highest melting rates are observed and, with it, a greater discharge of sediments in the coastal area, a situation contrary to the autumn-winter period (Domack and Ishman, 1993; Domack and McClennen, 1996). Therefore, an advance of the subpolar zone towards the south could have an impact on the glacial behavior of the transition and polar zone, and the production of glaciomarine sediments.

The formation of water of glacial origin that moves and extends off the coast carrying sediments, is known as a “sediment plume” and is characterized by being a body of cold water, sometimes of high density (Domack and Ishman, 1993; Domack and Williams, 1990; Domack *et al.*, 1994). The importance of these plumes is that they contribute to elucidate the coastal glaciomarine dynamics and, in turn, provide clues about the climatic evolution of the region (Domack and Ishman, 1993; Yoo *et al.*, 2015), also considering that a higher concentration of particles may be associated with greater glacial melt (Yoo *et al.*, 2015; Rodrigo *et al.*, 2016). Also, sediment-laden water can affect marine biological productivity and bottom benthic organisms (Dierssen *et al.*, 2002; Marín *et al.*, 2013). Therefore, this work is intended to contribute to the study of modern glacial behavior under an environment of accelerated climate change, through the identification and characterization of the sediment plumes that come from tidal glaciers, thus complementing the study of Rodrigo *et al.* (2016) associated with small bays and fjords of the Danco Coast.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La costa de Danco está ubicada en el costado occidental de la península Antártica, entre las bahías de Guesalaga y Flandres (Figura 1) (según cartas SHOA N°15300 y 15400). En esta costa se localizan una serie de fiordos que conforman bahías de gran tamaño como: Hughes, Charlotte, Wilhelmina, Andvord y Flandres, pero además se encuentran otras menores, que pueden ser parte de las mayores o presentarse aisladas. Son de interés para este trabajo: Duarte, Eckener, Frei (Recess), Wilhelmina (bahía pequeña central sin nombre) y Paraíso (Paradise) (Figura 1), donde un glaciar principal toma contacto con el agua de mar (glaciar de marea).

Las aguas de las bahías de la costa de Danco están conectadas con las del estrecho de Gerlaché. A modo general, el estrecho recibe aguas de dos sectores principalmente: desde el mar de Bellingshausen y desde el estrecho de Bransfield. Desde el sector sur, es decir por el mar de Bellingshausen, ingresa agua que es relativamente

MATERIALS AND METHODS

Study area

The Danco Coast is located on the western side of the Antarctic Peninsula, between the bays of Guesalaga and Flandres (Figure 1) (according to SHOA charts No. 15300 and 15400). On this coast, there are a series of fjords that make up large bays such as Hughes, Charlotte, Wilhelmina, Andvord, and Flandres, but there are also other smaller ones, which can be part of the larger ones or appear isolated. They are of interest for this work: Duarte, Eckener, Frei (Recess), Wilhelmina (small central bay with no name), and Paraíso (Paradise) (Figure 1), where the main glacier comes into contact with seawater (glacier tidal).

The waters of the bays on the Danco Coast are connected to those of the Gerlaché Strait. In general, the strait receives water from two main sectors: from the Bellingshausen Sea and the Bransfield Strait. From the southern sector, that is, through the Bellingshausen Sea, water enters that is relatively warm and less saline

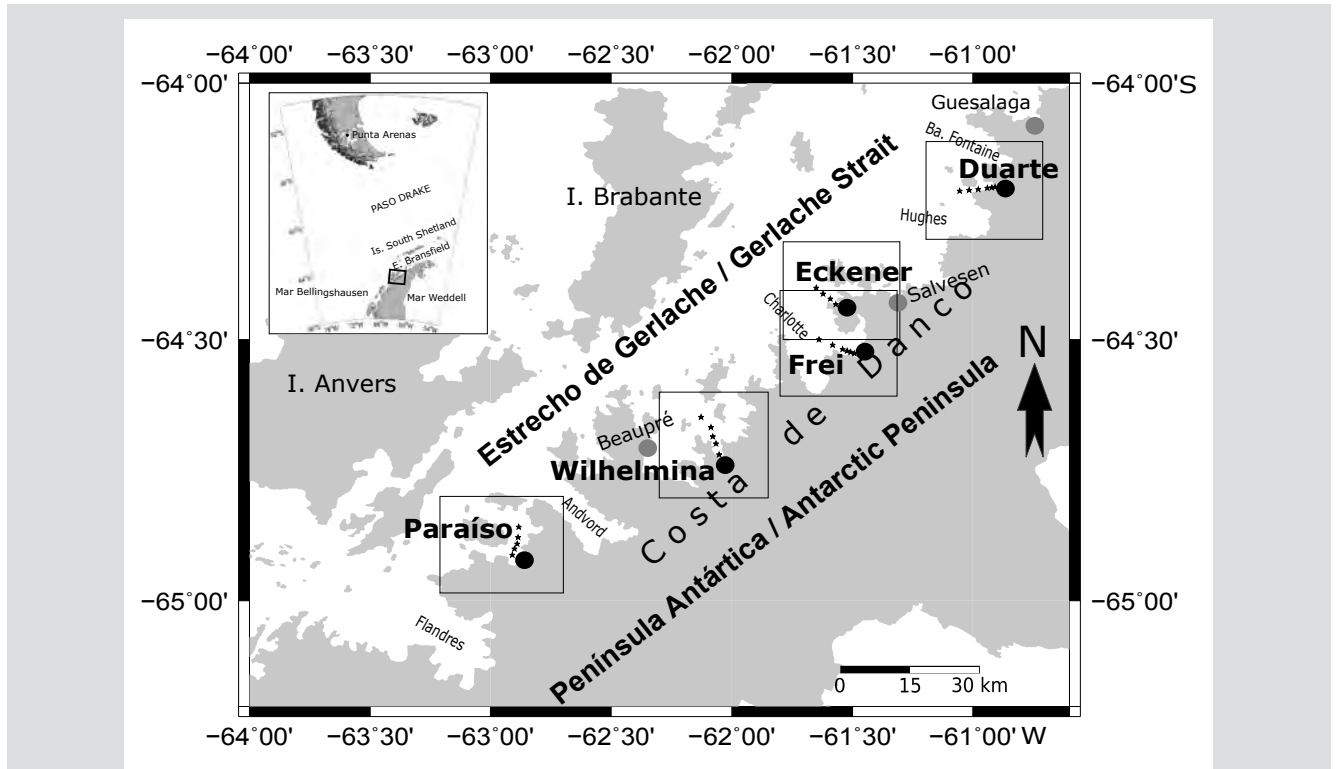


Figura 1. Área de estudio y la costa de Danco en la península Antártica. En los recuadros y nombres con letras negras, las bahías estudiadas en este trabajo. Con estrellas se indican las posiciones de las estaciones oceanográficas realizadas durante la Primera Expedición Científica de Colombia a la Antártica, entre enero y febrero de 2015.

Figure 1. Study area and the Danco Coast on the Antarctic Peninsula. In the boxes and names in bold letters, the bays studied in this work. Stars indicate the positions of the oceanographic stations carried out during the First Colombian Scientific Expedition to the Antarctic, between January and February 2015.

cálida y menos salina con respecto al estrecho y, desde el sector norte, hay un aporte de aguas que fluyen desde el mar de Weddell, que son modificadas en el estrecho de Bransfield; estas son frías y más salinas con respecto a las de Gerlaché (Sangrá *et al.*, 2011). Los flujos superficiales predominantes del estrecho de Gerlaché se asemejan bastante a los patrones de flujo del Bransfield, en el cual, ambos están compuestos por: un flujo en dirección norte hacia las islas Shetland del Sur, un flujo menor en dirección oeste, y un flujo en dirección noreste hacia el margen continental de la península Antártica (Zhou *et al.*, 2002). Sería este último el que tendría una mayor influencia sobre las bahías y fiordos de la costa de Danco. Sin embargo, los patrones de circulación superficial y profunda del sector del estrecho de Gerlaché son complejos, esto es principalmente debido a la geomorfología que existe (islas, canales, fiordos, bahías, *sill* y pasos someros entre otros); pero es posible identificar dos tipos de circulación: una barotrópica en superficie y otra baroclínica que se da entre 200 y 400 m de profundidad (García *et al.*, 2002; Sangrá *et al.*, 2011). Luego, la típica columna de agua del estrecho consiste en una capa superficial compuesta por Aguas Transicionales Zonal con Influencia del Mar de Bellingshausen (TBW) y por una capa profunda (alcanzando el fondo) llamada Aguas Transicionales Zonal con Influencia del Mar de Weddell (TWW). Esta última es condicionada por intrusiones del Agua Circumpolar Profunda (CDW) la cual podría esperarse que penetre desde el oeste. Además, se espera que TBW posea aguas más frías y dulces que el estrecho de Bransfield, debido a la influencia de agua dulce que ingresa desde los glaciares locales (García *et al.*, 2002). De manera ocasional, en el sector suroeste del estrecho de Gerlaché son detectadas propiedades características del Agua Superficial Antártica (AASW); sin embargo, esta posee menor salinidad que su análoga situada en el este del Mar de Bellingshausen.

Adquisición de datos y procesamiento

Durante la Primera Expedición Científica de Colombia a la Antártica, efectuada entre el 17 de enero y el 1 de febrero de 2015 a bordo del buque de la Armada de Colombia ARC “20 de Julio”, se procedió a efectuar mediciones hidrográficas (temperatura, salinidad, presión y turbidez), ingresando a cinco bahías de la costa de Danco, península Antártica (Figura 1) con una embarcación menor del buque (bote tipo Defender), intentando aproximarse lo más posible al frente del glaciar principal de cada bahía (Tabla 1). Las mediciones se efectuaron con un perfilador SBE 19 Plus V2 CTD-T, hasta una profundidad máxima de ~100 m.

concerning the strait and, from the northern sector, there is a contribution of waters that flow from the Weddell Sea, which are modified in the Bransfield Strait, these are cold and more saline than those of Gerlaché (Sangrá *et al.*, 2011). The predominant surface flows of the Gerlaché Strait closely resemble the flow patterns of the Bransfield, in which both are composed of: a flow in a north direction towards the South Shetland Islands, a minor flow in the west direction, and a flow in the Northeast direction towards the continental margin of the Antarctic Peninsula (Zhou *et al.*, 2002). It would be the latter that would have the greatest influence on the bays and fjords of the Danco Coast. However, the superficial and deep circulation patterns of the Gerlaché Strait sector are complex, this is mainly due to the geomorphology that exists (islands, channels, fjords, bays, sill, and shallow passes, among others), but it is possible to identify two types of circulation: a barotropic on the surface and another baroclinic that occurs between 200 to 400 m depth (García *et al.*, 2002; Sangrá *et al.*, 2011). Then, the typical water column of the strait consists of a surface layer composed of Zonal Transitional Waters with Influence of the Bellingshausen Sea (TBW) and a deep layer (reaching the bottom) called Zonal Transitional Waters with Influence of the Weddell Sea (TWW). The latter is conditioned by intrusions from the Circumpolar Deep Water (CDW) which could be expected to penetrate from the west. Also, TBW is expected to have cooler and fresher waters than the Bransfield Strait, due to the influence of freshwater that enters from local glaciers (García *et al.*, 2002). Occasionally, in the southwest sector of the Gerlaché Strait, characteristic properties of Antarctic Surface Water (AASW) are detected, however, it has lower salinity than its analog located in the east of the Bellingshausen Sea.

Data acquisition and processing

During Colombia's First Scientific Expedition to Antarctica, carried out between January 17 and February 1, 2015, aboard the Colombian Navy ship ARC “20 de Julio”, hydrographic measurements (temperature, salinity, pressure, and turbidity), entering 5 bays off the Danco Coast, Antarctic Peninsula (Figure 1) with a smaller vessel of the ship (Defender type boat), trying to get as close as possible to the front of the main glacier in each bay (Table 1). Measurements were made with an SBE 19 Plus V2 CTD-T profiler, up to a maximum depth of ~ 100 m.

Turbidity measurements were obtained using an ECO NTU sensor (0-1000 NTU) with a sensitivity of

Las mediciones de turbidez se obtuvieron mediante un sensor ECO NTU (0-1000 NTU) con una sensibilidad de 0,02 NTU. Para comparar y discutir estos resultados con otros trabajos que utilizaron metodologías diferentes para determinar la concentración de partículas, los valores de NTU se transformaron a mg/l de acuerdo con el procedimiento descrito en Rodrigo *et al.* (2016), quienes usaron muestras de agua obtenidas durante este crucero. La ecuación resultante de dicha metodología se muestra a continuación:

$$[\text{TSS}] = 3.84 \text{ NTU} + 2.61 \text{ (1)}$$

Donde, [TSS]: Concentración de sólidos suspendidos totales en mg/l; NTU: Unidades de turbidez nefelométrica.

Los datos hidrográficos y de turbidez en la columna de agua anómalos, se eliminaron manualmente. Para determinar la marea durante las mediciones se utilizó el Tide Model Driver 1.2 (TMD) (Padman, 2005), corroborado con mediciones *in situ* de un mareógrafo instalado en la base Gabriel González Videla en bahía Paraíso (Molares, 2015).

0.02 NTU. To compare and discuss these results with other works that used different methodologies to determine the concentration of particles, the NTU values were transformed to mg / l according to the procedure described in Rodrigo *et al.* (2016), who used water samples obtained during this cruise. The equation resulting from the said methodology is shown below:

$$[\text{TSS}] = 3.84 \text{ NTU} + 2.61 \text{ (1)}$$

Where [TSS]: Concentration of total suspended solids in mg / l; NTU: Nephelometric Turbidity Units.

The anomalous hydrographic and turbidity data in the water column were removed manually. To determine the tide during the measurements, the Tide Model Driver 1.2 (TMD) (Padman, 2005) was used, corroborated with *in situ* measurements of a tide gauge installed at the Gabriel González Videla base in Bahía Paraíso (Molares, 2015).

Tabla 1. Ubicación geográfica de las estaciones oceanográficas en las bahías, durante la Primera Expedición Científica Antártica de Colombia, 2015.

Table 1. Geographic locations of the oceanographic stations in the bays, during the First Antarctic Scientific Expedition of Colombia, 2015.

Lugar / Places	Estaciones / Stations	Fecha / Date	Latitud / Latitude (°S)	Longitud / Longitude (°W)	Profundidad / Depth (m)
Bahía Duarte / Duarte Bay	A	05/02/2015	64.205	60.909	130
	B	05/02/2015	64.205	60.923	192
	C	05/02/2015	64.206	60.941	200
	D	05/02/2015	64.209	60.979	250
	E	05/02/2015	64.210	61.016	200
	F	05/02/2015	64.212	61.055	230
Bahía Frei / Frei (Recess) Bay	A	04/02/2015	64.527	61.492	328
	B	04/02/2015	64.524	61.507	180
	C	04/02/2015	64.522	61.522	90
	D	04/02/2015	64.519	61.541	134
	E	04/02/2015	64.511	61.582	115
	F	04/02/2015	64.500	61.638	136
Bahía Wilhelmina / Wilhelmina Bay	A	29/01/2015	64.722	62.053	142
	B	29/01/2015	64.700	62.066	200
	C	29/01/2015	64.686	62.079	450
	D	29/01/2015	64.669	62.087	462
	E	29/01/2015	64.656	62.100	460
Bahía Eckener / Eckener Bay	A	18/01/2015	64.432	61.568	120
	B	18/01/2015	64.421	61.592	147
	C	18/01/2015	64.412	61.622	225
	D	18/01/2015	64.401	61.651	285
Bahía Paraíso / Paradise Bay	A	21/01/2015	64.902	62.910	240
	B	21/01/2015	64.895	62.897	240
	C	21/01/2015	64.891	62.890	240
	D	21/01/2015	64.880	62.886	282
	E	21/01/2015	64.860	62.880	233

RESULTADOS

Características oceanográficas de las bahías

Ensenada Duarte

Las mediciones hidrográficas fueron realizadas durante la marea vaciante. Se encontró que los valores superficiales de temperatura oscilaron entre un mínimo de $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el sector intermedio de la sección y un máximo de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, en el sector más cercano y lejano a la bahía (Figura 2a). Estos sectores superficiales más fríos también se asociaron a menores valores de salinidad (Figura 2b). Las temperaturas más altas (entre $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) se ubicaron en una capa superficial hasta los $\sim 20\text{ m}$ de profundidad y se asociaron a bajos valores de salinidad ($< 33,5$) y densidad ($< 1027,5\text{ kg/m}^3$) (Figura 2a,b,c). Por otra parte,

RESULTS

Oceanographic characteristics of the bays

Ensenada Duarte

Hydrographic measurements were made during the low tide. It was found that the surface temperature values oscillated between a minimum of $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the intermediate sector of the section and a maximum of $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, in the sector closest and furthest from the bay (Figure 2a). These colder surface sectors were also associated with lower salinity values (Figure 2b). The highest temperatures (between $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) were located in a superficial layer up to $\sim 20\text{ m}$ deep and were associated with low values of salinity (< 33.5) and density ($< 1027.5\text{ kg/m}^3$) (Figure 2a, b, c). On the other

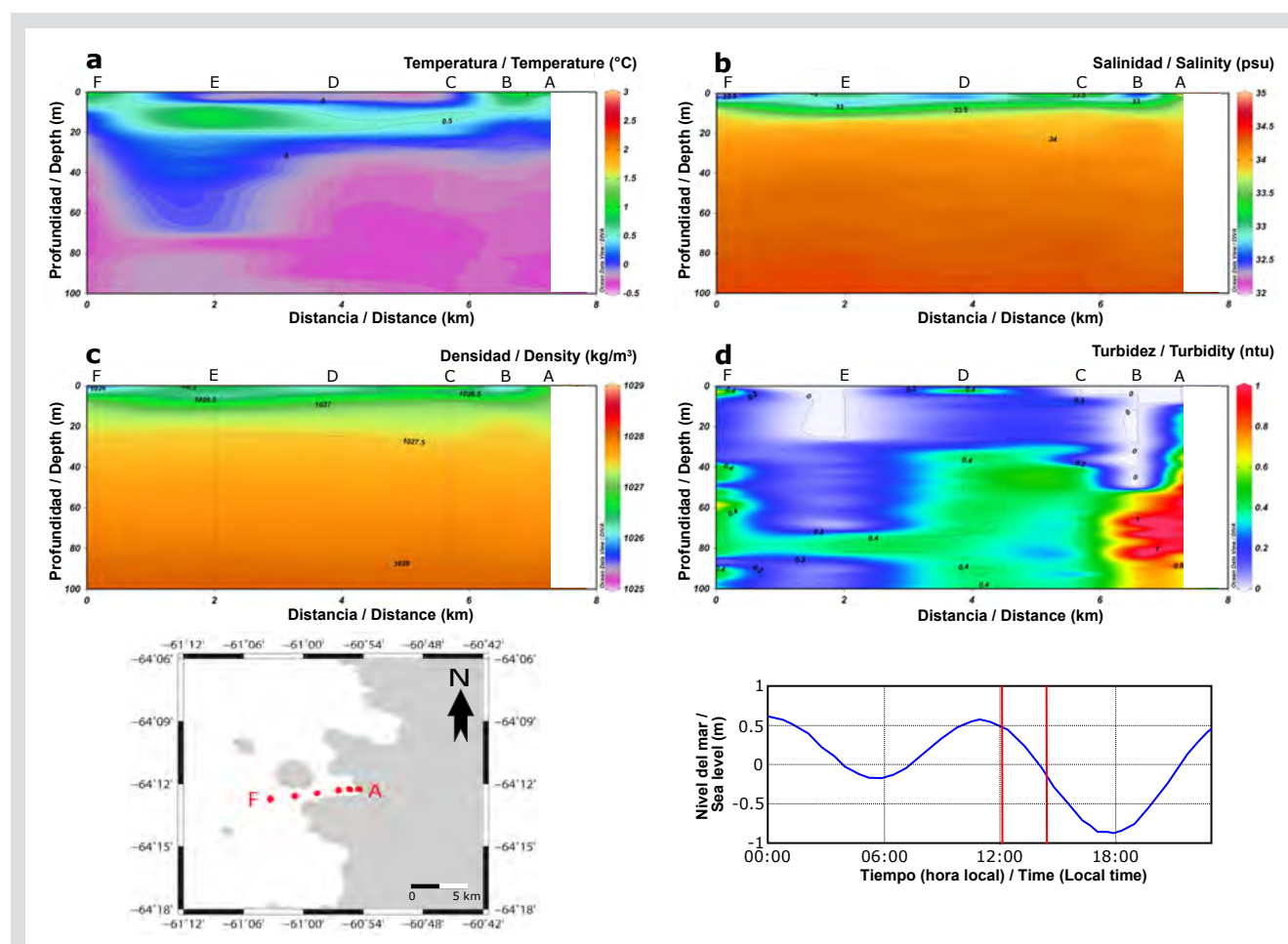


Figura 2. Secciones oceanográficas para la bahía Duarte. **a.** temperatura vs. profundidad. **b.** salinidad vs. profundidad. **c.** densidad vs. profundidad. **d.** turbidez vs. profundidad. Se indica además la localización e identificación de las estaciones oceanográficas en el mapa del costado izquierdo inferior y las variaciones del nivel del mar durante el período de mediciones (entre barras rojas), al costado derecho inferior.

Figure 2. Oceanographic sections for Duarte Bay. **a.** temperature vs. depth. **b.** salinity vs. depth. **c.** density vs. depth. **d.** turbidity vs. depth. The location and identification of oceanographic stations are also indicated on the map on the lower left side and the variations in sea level during the measurement period (between red bars), on the lower right side.

temperaturas superficiales más frías (entre $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) se encontraron entre las estaciones C y E, donde justo se encuentra la entrada de un canal en la costa norte (Figura 2 mapa). La distribución de temperaturas entre 20 y 40 m de profundidad siguió un patrón distinto al nivel superficial, caracterizándose por presentar menores temperaturas en las cercanías del frente glaciar (entre $-0,3$ y $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), mientras que las mayores temperaturas se observaron en el sector más lejano a la bahía (entre $-0,2$ y $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Bajo 40 m de profundidad las variables de densidad y salinidad aumentaron gradualmente, sin embargo, altos valores de turbidez se observaron en las estaciones más próximas al frente del glaciar (entre estaciones A y D, figura 2d), de los cuales sus máximos ($> 1\text{ NTU}$) se localizaron muy cerca del glaciar, formando una pluma turbia que se interestratificó generando una capa nefeloide intermedia entre 60 y 80 m de profundidad.

Eckener

Las mediciones hidrográficas fueron realizadas durante la marea vaciante-bajamar. Se encontró que los valores superficiales de temperatura oscilaron entre un mínimo de $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, en las cercanías del glaciar (estación A), y un máximo de $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el sector más lejano a la bahía (Figura 3a). Estas se asociaron a bajos valores de salinidad (< 34) y de densidad ($< 1027,5\text{ kg/m}^3$) (Figura 3b, 3c), que presentaron un gradiente inclinado con menores valores hacia la estación A, que también se asociaron a mayores valores de turbidez ($> 0,5\text{ NTU}$). La distribución de temperatura bajo el nivel de 20 m tuvo un patrón similar al nivel superficial, caracterizándose por presentar menores temperaturas en las cercanías del glaciar (entre $-0,1$ y $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), estando su núcleo entre 60 y 80 m de profundidad. La distribución de turbidez mostró distintos despegues de capas nefeloides intermedias (entre 40 y 80 m) que se correlacionaron también con despegues de agua de menor temperatura procedentes del frente glaciar (figura 3d).

Bahía Frei

Las mediciones hidrográficas fueron realizadas durante la marea pleamar-vaciantes. Se encontró que los valores superficiales de temperatura oscilaron entre un mínimo de $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en las cercanías de la costa y un máximo de $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el sector más lejano al frente del glaciar (Figura 4a). Las temperaturas más altas (entre $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) se distribuyeron con una forma de lengua, señalando un ingreso de aguas superficiales más cálidas desde el estrecho hacia el glaciar (entre las estaciones B y F). Por otra parte,

hand, cooler surface temperatures (between $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) were found between stations C and E, where the entrance to a canal is located on the north coast (Figure 2 map). The distribution of temperatures between 20 and 40 m deep, followed a different pattern to the surface level, characterized by lower temperatures in the vicinity of the glacier front (between $-0,3$ and $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), while the higher temperatures were observed in the sector furthest from the bay (between $-0,2$ and $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Below 40 m depth, the density and salinity variables increased gradually, however, high turbidity values were observed in the stations closest to the front of the glacier (between stations A and D, Figure 2d), of which their maximum ($> 1\text{ NTU}$) was located very close to the glacier, forming a cloudy plume that interestratified, generating an intermediate nepheloid layer between 60 and 80 m deep.

Eckener

The hydrographic measurements were made during the ebb tide-low tide. It was found that the surface temperature values oscillated between a minimum of $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, in the vicinity of the glacier (station A), and a maximum of $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the sector furthest from the bay (Figure 3a). These were associated with low salinity values (< 34) and density ($< 1027,5\text{ kg/m}^3$) (Figure 3b, c), which presented a steep gradient with lower values towards station A, which were also associated with higher values of turbidity ($> 0,5\text{ NTU}$). The temperature distribution below the 20 m level had a similar pattern to the surface level, characterized by lower temperatures in the vicinity of the glacier (between $-0,1$ and $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$), its core being between 60 and 80 m of depth. The turbidity distribution showed different detachments of intermediate nepheloid layers (between 40 and 80 m) that were also correlated with detachments of lower temperature water from the glacier front (Figure 3d).

Frei (Recess) Bay

The hydrographic measurements were made during the high tide-discharge tide. It was found that the surface temperature values ranged between a minimum of $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ near the coast and a maximum of $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the sector furthest from the front of the glacier (Figure 4a). The highest temperatures (between $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) were distributed with a tongue shape, indicating an inflow of warmer surface waters from the strait towards the glacier (between stations B and F). On the other hand, colder temperatures (between $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) were found between stations A and B, indicating a flow of water from

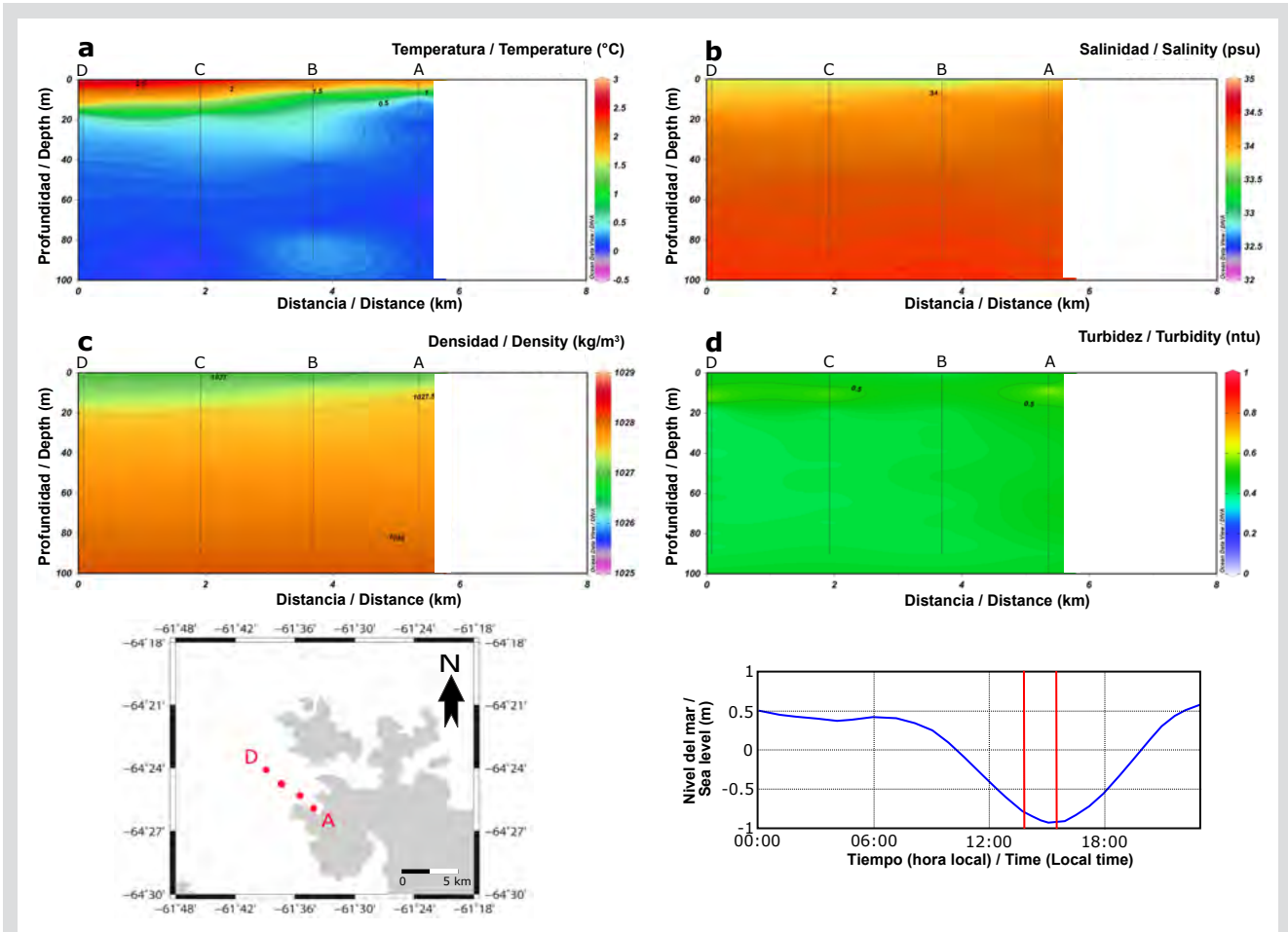
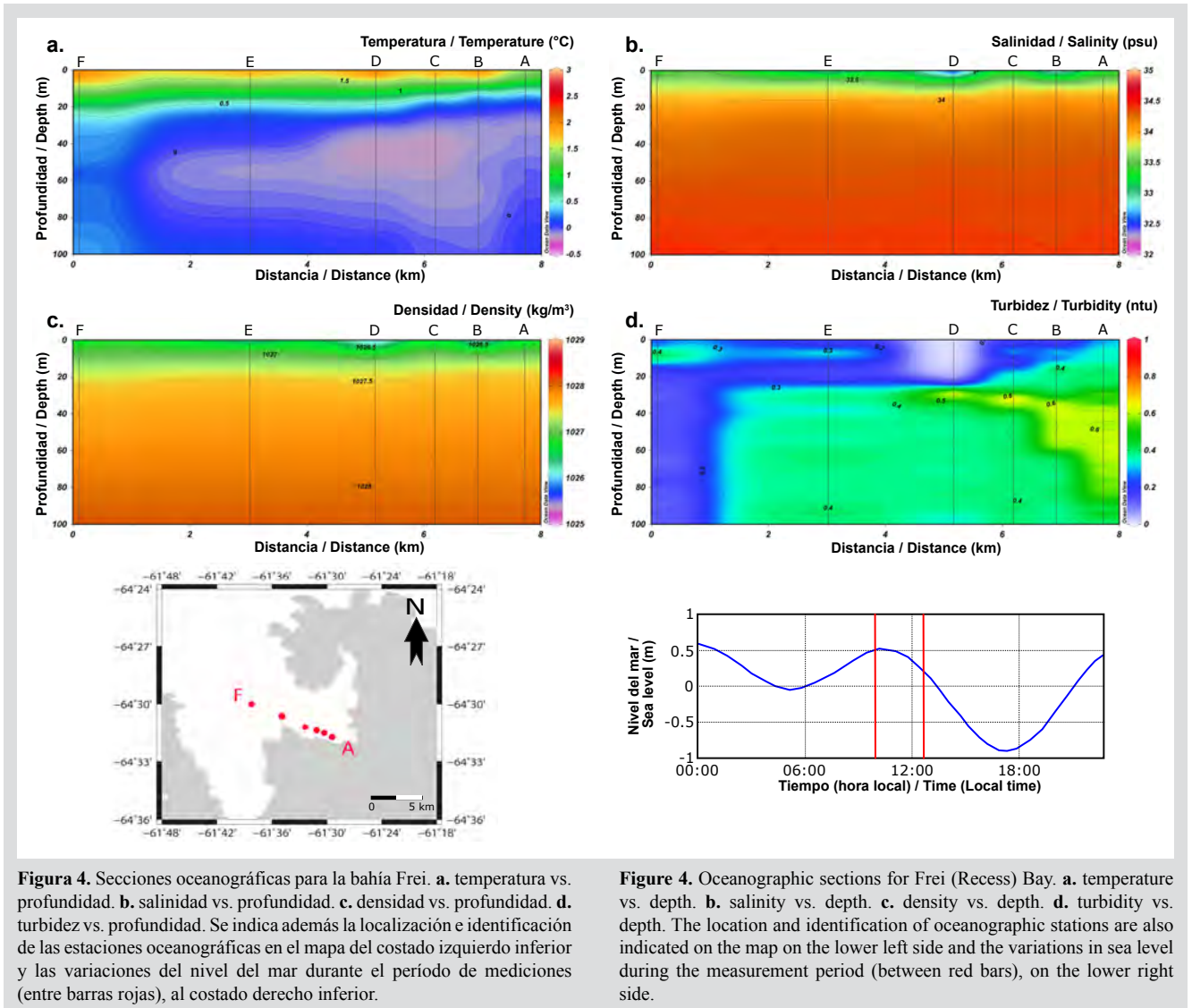


Figura 3. Secciones oceanográficas para la bahía Eckener. **a.** temperatura vs. profundidad. **b.** salinidad vs. profundidad. **c.** densidad vs. profundidad. **d.** turbidez vs. profundidad. Se indica además la localización e identificación de las estaciones oceanográficas en el mapa del costado izquierdo inferior y las variaciones del nivel del mar durante el periodo de mediciones (entre barras rojas), al costado derecho inferior.

Figure 3. Oceanographic sections for Eckener Bay. **a.** temperature vs. depth. **b.** salinity vs. depth. **c.** density vs. depth. **d.** turbidity vs. depth. The location and identification of oceanographic stations are also indicated on the map on the lower left side and the variations in sea level during the measurement period (between red bars), on the lower right side.

temperaturas más frías (entre 0,7 °C y 1,2 °C) se encontraron entre las estaciones A y B, indicando un flujo de aguas desde el glaciar, correlacionándose con menores valores de salinidad y densidad (< 34) y de densidad ($< 1027,5 \text{ kg/m}^3$) (Figura 3b, 3c), pero con núcleos aún menores, posiblemente asociado a aportes de agua superficial de otros glaciares. La distribución de temperaturas entre el nivel de 20 a 80 m de profundidad, siguió un patrón similar al superficial, caracterizándose por presentar menores temperaturas al interior de la bahía (entre -0,2 y 0,1 °C). Estas bajas temperaturas se asociaron a altos valores de turbidez que muestra la pluma procedente de la descarga glaciar, principalmente, entre 30 y 60 m de profundidad (Figura 4d). Esta pluma tuvo una inclinación ascendente y alcanzó máximos a ~40 m de profundidad ($> 0,7 \text{ NTU}$), extendiéndose desde la estación A a la D.

the glacier, correlating with lower values of salinity and density (< 34) and density ($< 1027.5 \text{ kg/m}^3$) (Figure 3b, c), but with even smaller nuclei, possibly associated with surface water inputs from other glaciers. The distribution of temperatures between the level of 20 to 80 m depth, followed a pattern similar to the surface, characterized by presenting lower temperatures inside the bay (between -0.2 and 0.1 °C). These low temperatures were associated with high turbidity values shown by the plume coming from the glacial discharge, mainly between 30 and 60 m depth (Figure 4d). This plume sloped upward and reached maximum depths at ~40 m ($> 0.7 \text{ NTU}$), extending from station A to D.



Bahía Wilhelmina

Las mediciones hidrográficas fueron realizadas durante la marea llanante. Se encontró que los valores superficiales de temperatura oscilaron entre un mínimo de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ al interior de la bahía y un máximo de $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el sector más lejano (Figura 5a). Las temperaturas más frías (entre $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1\text{ }^{\circ}\text{C}$) se encontraron más cercanas al frente del glaciar (estaciones A y B), contrario a la salinidad cuyos valores más altos se encontraron fuera de la bahía ($\sim 33,8$) (estación E, figura 5b), así también para la densidad en superficie (figura 5c), pero con núcleos menores en la parte central de la sección ($< 1027,5\text{ kg/m}^3$) (estación C). En general, cerca del frente del glaciar, las isohalinas se presentaron inclinadas, indicando la tendencia de que el agua menos salina del fondo tiende hacia superficie.

Wilhelmina Bay

Hydrographic measurements were made during the flood tide. It was found that the surface temperature values oscillated between a minimum of $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ inside the bay and a maximum of $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the furthest sector (Figure 5a). The coldest temperatures (between $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $1\text{ }^{\circ}\text{C}$) were found closer to the front of the glacier (stations A and B), contrary to the salinity whose highest values were found outside the bay (~ 33.8) (station E, Figure 5b), also for the surface density (Figure 5c), but with smaller nuclei in the central part of the section ($< 1027.5\text{ kg/m}^3$) (station C). In general, near the front of the glacier, the isohaline was inclined, indicating the tendency that the less saline water at the bottom tends towards the surface.

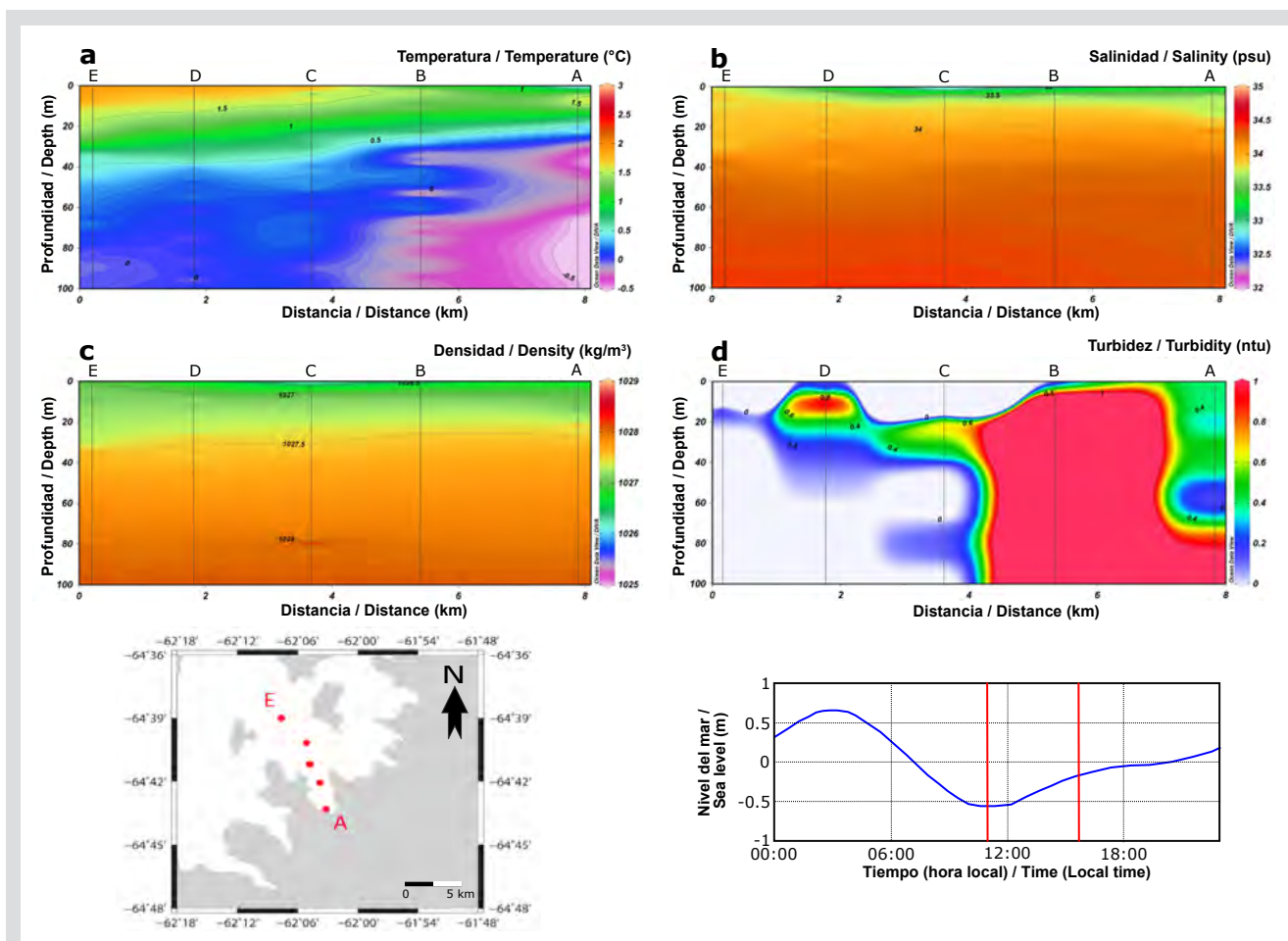


Figura 5. Secciones oceanográficas para la bahía Wilhelmina. **a.** temperatura vs. profundidad. **b.** salinidad vs. profundidad. **c.** densidad vs. profundidad. **d.** turbidez vs. profundidad. Se indica además la localización e identificación de las estaciones oceanográficas en el mapa del costado izquierdo inferior y las variaciones del nivel del mar durante el período de mediciones (entre barras rojas), al costado derecho inferior.

Figure 5. Oceanographic sections for Wilhelmina Bay. **a.** temperature vs. depth. **b.** salinity vs. depth. **c.** density vs. depth. **d.** turbidity vs. depth. The location and identification of oceanographic stations are also indicated on the map on the lower left side and the variations in sea level during the measurement period (between red bars), on the lower right side.

Los valores superficiales de turbidez presentaron un máximo de 0,4 NTU en las cercanías del frente glaciar. La distribución de turbidez mostró una surgencia de aguas más turbias desde el glaciar, extendiéndose hasta la estación B, donde se registraron los valores más altos de todas las bahías estudiadas (> 2.5 NTU) y con una distribución vertical homogénea (Figura 5d). Otros dos despegues se produjeron de capas nefeloides intermedias a partir de la surgencia principal con menores valores de turbidez: entre 20 a 40 m y entre 70 y 90 m de profundidad, en estación C. En la estación D también se observó un núcleo más turbio subsuperficial, el cual se puede asociar a la influencia de otros glaciares de la bahía.

The surface turbidity values presented a maximum of 0.4 NTU in the vicinity of the glacier front. The turbidity distribution showed an upwelling of turbid waters from the glacier, extending to station B, where the highest values of all the studied bays were recorded (> 2.5 NTU) and with a homogeneous vertical distribution (Figure 5d). Two other takeoffs were produced from intermediate nepheloid layers from the main upwelling with lower turbidity values: between 20 and 40 m and between 70 and 90 m depth, at station C. At station D, a more turbid subsurface core was also observed, which can be associated with the influence of other glaciers in the bay.

Bahía Paraíso

Las mediciones hidrográficas fueron realizadas durante la marea llenante. Se encontró que los valores superficiales de temperatura oscilaron entre un mínimo de $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la parte sur de la bahía (estación A, más cercano al glaciar de Oscar Cove) y un máximo de $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el sector norte (estación E) (Figura 6a). Las temperaturas más altas (entre $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) se distribuyeron en superficie desde la estación E a la B, que se asociaron también a menores salinidades y densidades (figura 3b,c). En el sector de la estación A, durante las mediciones, el agua de mar en superficie estaba casi completamente cubierto por pedazos de hielo, lo que podría explicar las bajas temperaturas en superficie, sin embargo, esta situación no se correlacionó con valores más altos de turbidez (figura 6d), sino que

Paradise Bay

Hydrographic measurements were made during the flood tide. It was found that the surface temperature values oscillated between a minimum of $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the southern part of the bay (station A, closest to the Oscar Cove glacier) and a maximum of $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the northern sector (station E) (Figure 6a). The highest temperatures (between $0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) were distributed on the surface from stations E to B, which were also associated with lower salinities and densities (Figure 3b, c). In the sector of station A, during the measurements, the seawater on the surface was almost completely covered by pieces of ice, which could explain the low temperatures on the surface, however, this situation was not correlated with higher values of turbidity (Figure 6d), but rather on the

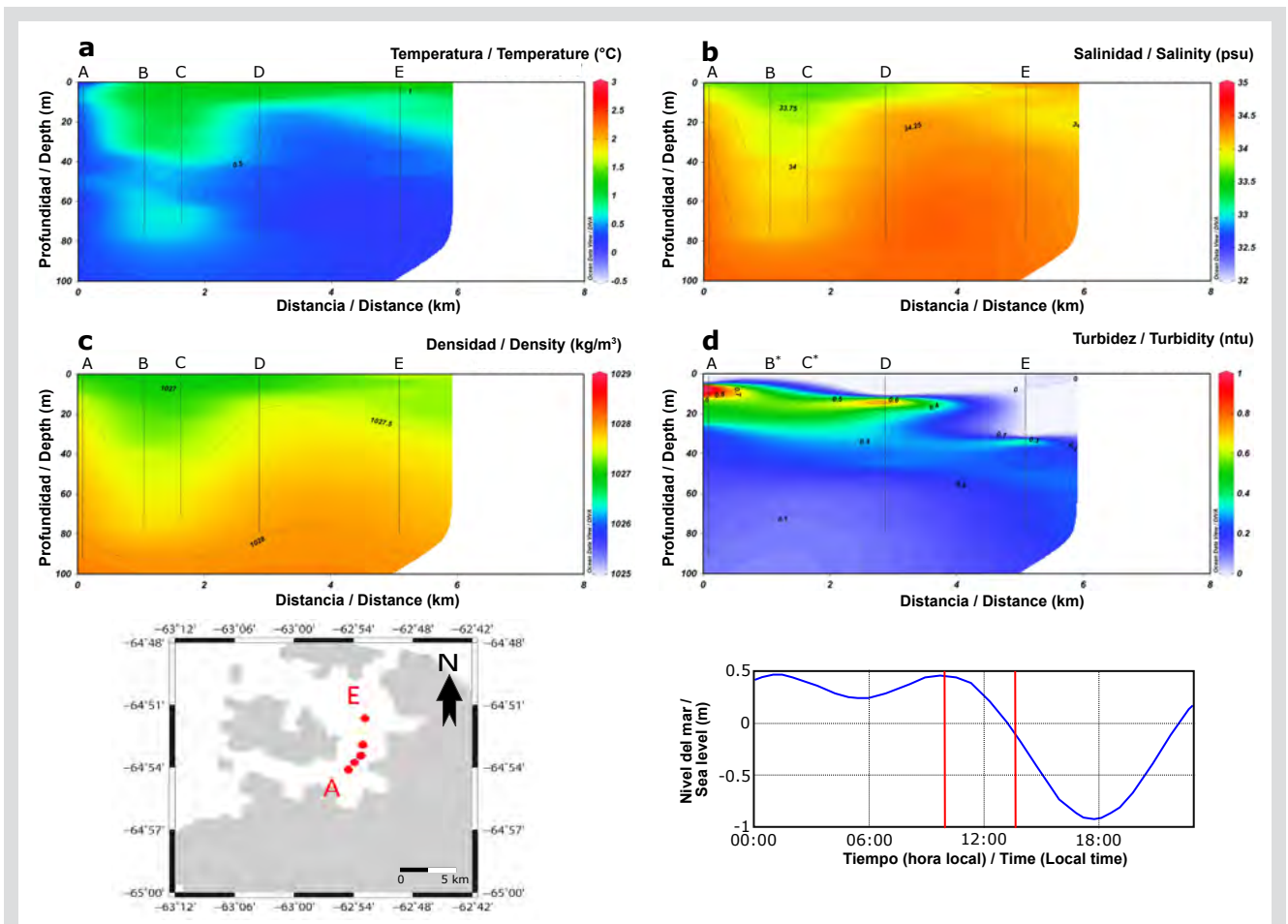


Figura 6. Secciones oceanográficas para la bahía Paraíso. **a.** temperatura vs. profundidad. **b.** salinidad vs. profundidad. **c.** densidad vs. profundidad. **d.** turbidez vs. profundidad. Se indica además la localización e identificación de las estaciones oceanográficas en el mapa del costado izquierdo inferior y las variaciones del nivel del mar durante el período de mediciones (entre barras rojas), al costado derecho inferior. B* y C*: estaciones sin datos de turbidez.

Figure 6. Oceanographic sections for Paradise Bay. **a.** temperature vs. depth. **b.** salinity vs. depth. **c.** density vs. depth. **d.** turbidity vs. depth. The location and identification of oceanographic stations are also indicated on the map on the lower left side and the variations in sea level during the measurement period (between red bars), on the lower right side. B* and C*: stations without turbidity data.

en subsuperficie. Es así que la distribución de turbidez mostró una capa nefeloide subsuperficial procedente de la pluma de descarga del glaciar de Oscar Cove ($> 0,3$ NTU). En el sector más lejano a la bahía, desde ~ 50 m y hacia mayores profundidades, se evidenció turbidez con valores homogéneos ($< 0,2$ NTU) en todas las estaciones.

Diagramas T-S

La figura 7, muestra los diagramas de temperatura-salinidad (T-S) para las bahías estudiadas. Aunque los patrones de la distribución de los datos T-S son relativamente parecidos, existieron algunas diferencias. Bahía Duarte presentó las menores temperaturas y salinidades superficiales, pero éstas últimas fueron similares a las de bahía Frei. También el patrón de esta última bahía fue más parecido a Wilhelmina. Todas las bahías presentaron valores similares de salinidad para las aguas más profundas, sin embargo, sus temperaturas fueron algo distintas. Los patrones de Eckener y Paraíso fueron los más distintos a las demás, posiblemente por influencia más directa de las aguas

subsuperficie. Thus, the turbidity distribution showed a subsurface nepheloid layer from the discharge plume of the Oscar Cove glacier (> 0.3 NTU). In the sector furthest from the bay, from ~ 50 m and towards greater depths, turbidity was observed with homogeneous values (< 0.2 NTU) in all stations.

T-S diagrams

Figure 7 shows the temperature-salinity (T-S) diagrams for the studied bays. Although the distribution patterns of the T-S data are relatively similar, there were some differences. Bahía Duarte presented the lowest temperatures and surface salinities, but the latter were similar to those of Bahía Frei. Also, the pattern of this last bay was more similar to Wilhelmina. All the bays presented similar salinity values for the deeper waters, however, their temperatures were somewhat different. The Eckener and Paraíso (Paradise) patterns were the most different from the others, possibly due to the more direct influence of the waters of the Geerlaché Strait for

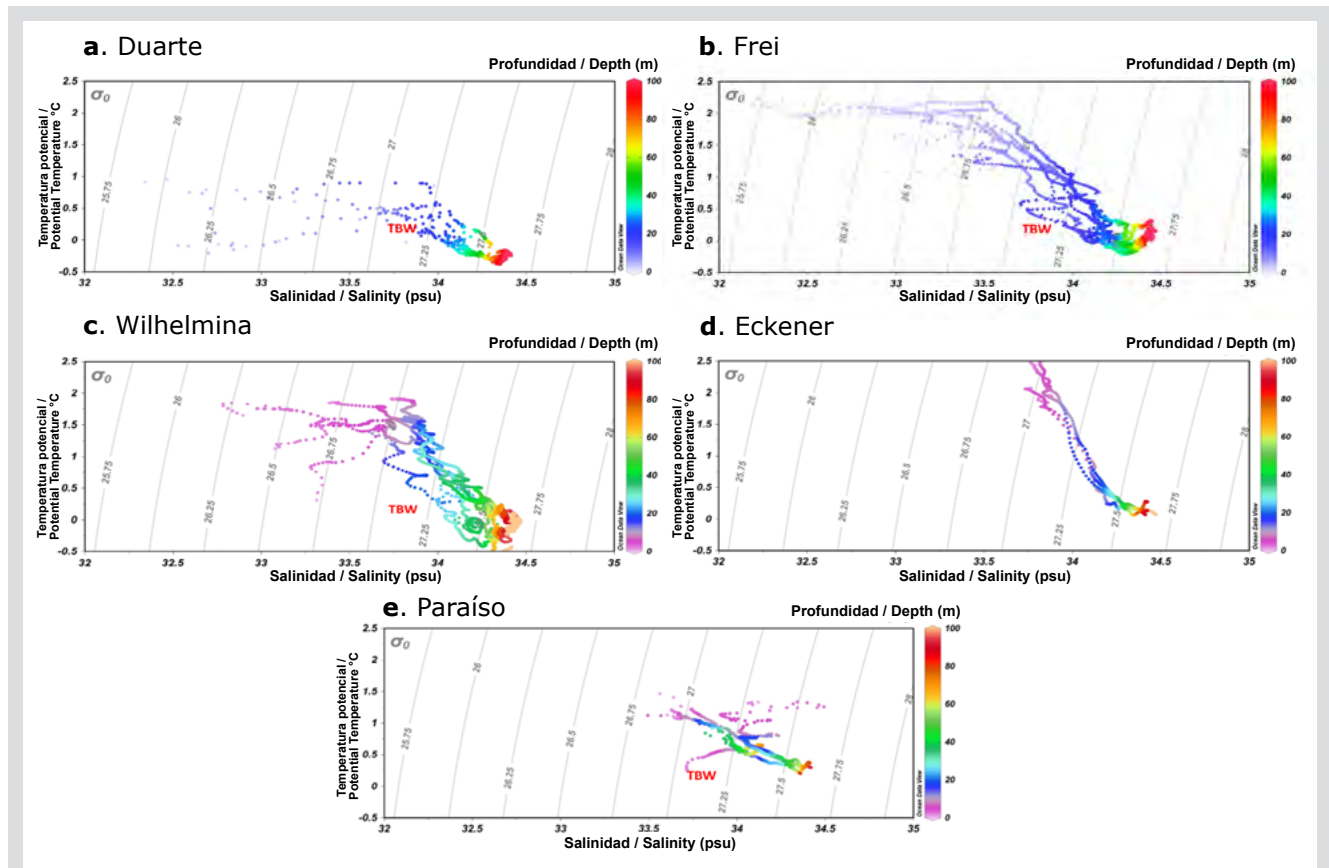


Figura 7. Diagramas de Temperatura y Salinidad (T-S). Se indica el Agua Transicional Zonal con Influencia del Mar de Bellingshausen superficial (TBW). a. bahía Duarte. b. bahía Eckener. c. bahía Frei. d. bahía Wilhelmina. e. bahía Paraíso.

Figure 7. Temperature and Salinity Diagrams (T-S). The Zonal Transitional Water Influenced by the superficial Bellingshausen Sea (TBW) is indicated. a. Duarte Bay. b. Eckener Bay. c. Frei (Recess) Bay. d. Wilhelmina Bay. e. Paradise Bay.

del estrecho Gerlaché para la primera y, para la segunda, influencia de la formación/derremittimiento de hielo marino. En todas las bahías, excepto en bahía Eckener, se encontró la influencia del Agua Transicional Zonal con Influencia del Mar de Bellingshausen superficial (TBW), según valores de referencia de García *et al.* (2002), aunque según rangos T-S presentados por Huneke *et al.* (2013). Eckener podría tener también una influencia menor de TBW.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo confirman y coinciden con los encontrados por Rodrigo *et al.* (2016) en cuanto a las presencia y características de las plumas de sedimento en bahías y fiordos de la costa de Danco, las cuales fueron identificables por sus altos valores en la concentración de partículas y por su asociación con lenguas de agua fría. Las plumas de sedimento en la costa de Danco fueron un fenómeno común y permanente para el período de las mediciones, e independientes de las características del tamaño de las bahías-fiordos y glaciares (Rodrigo *et al.*, 2016), sin embargo, los valores de concentración de partículas obtenidas en este trabajo fueron un poco menor (en promedio 2,9 mg/l) a los obtenidos por Domack y Williams (1990) y Domack e Ishman (1993), que obtuvieron datos de los fiordos mayores de la costa de Danco (en promedio 3,0 mg/l), pero con valores máximos muy altos ($> 7,0$ mg/l) (Tabla 2), lo cual es consistente con la complejidad de esas bahías o fiordos donde convergen varios glaciares de marea de mayores proporciones con, posiblemente, mayores flujos subglaciales y a través de grietas, incluyendo también una mayor concentración de icebergs más grandes que pueden llevar una mayor carga de sedimentos (Domack e Ishman, 1993). Por otro lado, los mayores valores de concentración de partículas medidas de la región se encuentran en la isla King George (islas Shetland del Sur), lo cual está de acuerdo con el tipo de ambiente glaciomarino asociado a un clima subpolar, que produciría un mayor flujo sedimentario desde los glaciares de marea (Anderson y Domack, 1991; Powell y Domack, 2002). Yoo *et al.* (2015) encontraron estructuras similares de las plumas de sedimentos con las de este trabajo, y las asoció directamente a derretimiento glaciar, pero a diferencia de nuestra área de estudio que corresponde a un clima seco, en King George la descarga de agua derretida puede estar afectada por agua de lluvias, además es observable el escurrimiento de agua en tierra a través de arroyos que llevan sedimentos al mar y pequeñas cascadas desde algunos glaciares.

the former and, for the latter, influence of the formation/melting of sea ice. In all bays, except in Eckener bay, the influence of Zonal Transitional Water with Influence of the superficial Bellingshausen Sea (TBW) was found, according to reference values of García *et al.* (2002), although according to T-S ranges presented by Huneke *et al.* (2013). Eckener could also have a minor influence on TBW.

DISCUSSION

The results of this work confirm and coincide with those found by Rodrigo *et al.* (2016) regarding the presence and characteristics of sediment plumes in bays and fjords of the Danco Coast, which were identifiable by their high values in the concentration of particles and by their association with tongues of cold water. Sediment plumes off the Danco Coast were a common phenomenon and permanent for the period of the measurements, and independent of the characteristics of the size of the bays-fjords and glaciers (Rodrigo *et al.*, 2016), however, the particle concentration values obtained in this work were a little lower (in average 2.9 mg/l) to those obtained by Domack and Williams (1990) and Domack and Ishman (1993), who obtained data from the major fjords of the Danco Coast (on average 3.0 mg / l), but with very high (> 7.0 mg / l) (Table 2), which is consistent with the complexity of those bays or fjords where several tidal glaciers of greater proportions converge with possibly greater subglacial flows and through crevasses, also including the greater concentration of larger icebergs that can carry a higher sediment load (Domack and Ishman, 1993). On the other hand, the highest measured particle concentration values in the region are found on King George Island (South Shetland Islands), which is in accordance with the type of glaciomarine environment associated with a subpolar climate, which would produce a higher sedimentary flow from tidal glaciers (Anderson and Domack, 1991; Powell and Domack, 2002). Yoo *et al.* (2015) found similar structures of the sediment plumes with those of this work and associated them directly with the glacial melt, but unlike our study area that corresponds to a dry climate, in King George the meltwater discharge may be affected by rainwater, it is also observable the runoff of water on land through streams that carry sediments to the sea and small waterfalls from some glaciers.

Tabla 2. Comparación entre valores de concentración de partículas obtenidas en distintas bahías antárticas.**Table 2.** Comparison between particle concentration values obtained in different Antarctic bays.

Lugar / Place	Concentración - Promedio Máximo / Concentration - Maximum Average (mg / l)	Referencia / Reference
Costa de Danco / Danco Coast		
2015 Duarte	4.1 > 6.4	Este trabajo
2015 Frei	3.0 5.3	Este trabajo
2015 Wilhelmina	4.1 5.3	Este trabajo
2015 Eckener	3.6 4.6	Este trabajo
2015 Paraíso	4.1 > 6.4	Este trabajo
<i>Promedio / Average</i>	<i>3.8 5.6</i>	
2014 Frei	3.4 4.7	Rodrigo <i>et al.</i> (2016)
2014 Salvesen	3.0 3.3	Rodrigo <i>et al.</i> (2016)
2013 Beaupre	4.1 7.6	Rodrigo <i>et al.</i> (2016)
2013 Frei	3.0 3.4	Rodrigo <i>et al.</i> (2016)
2013 Guesalaga	2.9 3.2	Rodrigo <i>et al.</i> (2016)
2013 Paraíso	3.0 3.8	Rodrigo <i>et al.</i> (2016)
<i>Promedio / Average</i>	<i>2.9 4.9</i>	
1988 Andvord	1.8 > 5.5	Domack and Ishman (1993)
1988 Brialmont	3.0 > 7.0	Domack and Williams (1990)
1988 Cierva	3.0 4.2	Domack and Williams (1990)
1988 Lester	4.0 > 7.0	Domack and Williams (1990)
<i>Promedio / Average</i>	<i>3.0 5.9</i>	
Isla King George (Is. Shetland del Sur) / King George Island (Is. South Shetland)		
1988 Martel	-- 12.0	Domack and Ishman (1993)
1996 Marian	8.9 9.5	Yoo <i>et al.</i> (2015)
1998 Marian	3.5 13.9	Yoo <i>et al.</i> (2015)
2000 Marian	2.8 3.6	Yoo <i>et al.</i> (2015)
<i>Promedio / Average</i>	<i>5.1 7.0</i>	

Aunque cabe la posibilidad de que las comparaciones de los valores de las concentraciones no estén del todo correctos debido al error de cada método de conversión de unidades, los distintos tipos de instrumentos, técnicas de determinación de la cantidad de partículas y diferencias en los períodos de medición, se encuentra que las tendencias concuerdan con las características de los distintos tipos de ambientes glaciomarininos. Quizás sólo la comparación con los resultados obtenidos por Rodrigo *et al.* (2016) son más confiables ya que se utilizó el mismo tipo de instrumento y metodología. En general, en este trabajo, se obtuvieron mayores valores promedios de concentración de partículas que los de Rodrigo *et al.* (2016) (Tabla 2). También, comparando la variabilidad temporal de bahía Frei, que fue la única bahía en donde se realizaron mediciones por tres años consecutivos, se observó que los valores de concentración de partículas fueron aumentando en el tiempo (máximo en 2013: 3,4 mg/l; en 2014: 4,7 mg/l y en 2015: 5,3 mg/l) (Tabla 2), aunque para este trabajo (2015), hubo condiciones de marea vaciante que pudo ayudar a aumentar el flujo sedimentario (Figura 8), como fue demostrado por Yoon *et al.* (2015) y Rodrigo *et al.* (2016). Otras hipótesis que

Although the comparisons of the concentration values may not be entirely correct due to the error of each unit conversion method, the different types of instruments, techniques for determining the number of particles, and differences in the periods of measurement, it is found that the trends agree with the characteristics of the different types of glaciomarine environments. Perhaps only the comparison with the results obtained by Rodrigo *et al.* (2016) is more reliable since the same type of instrument and methodology was used. In general, in this work, higher mean particle concentration values were obtained than those of Rodrigo *et al.* (2016) (Table 2). Also, comparing the temporal variability of Frei (Recess) Bay, which was the only bay where measurements were made for three consecutive years, it was observed that the particle concentration values increased over time (maximum in 2013: 3.4 mg / l; in 2014: 4.7 mg / l and in 2015: 5.3 mg / l) (Table 2), although for this work (2015), there were dumping tidal conditions that could help increase sedimentary flow (Figure 8), as demonstrated by Yoon *et al.* (2015) and Rodrigo *et al.* (2016). Other hypotheses that could contribute to the variability of the sedimentary flow

podieron contribuir a la variabilidad de las características de flujo sedimentario hacia la bahía son: cambios en la dinámica de la cuenca de drenaje glaciar debido a la desaparición de una de parte de la plataforma de hielo Larsen B en 2002 (e.g. Rignot *et al.*, 2004), o más directamente por un mayor derretimiento glaciar local (Powell y Domack, 2002; Pichlmaier *et al.*, 2004) debido a la intrusión de aguas más cálidas provenientes del estrecho de Gerlaché. Tampoco se descarta la influencia de otros fenómenos a otras escalas que pudieran hacer variar la temperatura en el aire y en el mar, como un evento El Niño-Oscilación del Sur (Meridith *et al.*, 2008; Rahaman *et al.*, 2019) y cambios en la fase del Modo Anular del Sur (Marshall, 2003, 2007). Sin embargo, la estructura térmica en la bahía Frei no pareció haber cambiado mucho, manteniéndose los patrones de distribución espacial y valores de temperatura, por lo cual, la respuesta marina local pudiera ser más lenta ante los cambios océano-atmósfera regionales y sus teleconexiones. De todos modos, Yoon *et al.* (2015) observaron que la respuesta del derretimiento glaciar es sensible y relativamente rápida con fenómenos meteorológicos a corto plazo como las ya mencionadas lluvias y con la variabilidad estacional, por consiguiente, fenómenos climáticos a otras escalas podrían afectar el comportamiento glaciar, situación aún no bien comprendida por la falta de los estudios correspondientes.

characteristics towards the bay are changes in the dynamics of the glacial drainage basin due to the disappearance of a part of the Larsen B ice shelf in 2002 (eg Rignot *et al.*, 2004), or more directly by greater local glacial melt (Powell and Domack, 2002; Pichlmaier *et al.*, 2004) due to the intrusion of warmer waters coming from the Gerlaché Strait. The influence of other phenomena at other scales that could change the temperature in the air and the sea, such as an El Niño-Southern Oscillation event (Meridith *et al.*, 2008; Rahaman *et al.*, 2019) and changes in the Southern Annular Mode phase (Marshall, 2003; Marshall, 2007). However, the thermal structure in Frei (Recess) Bay did not seem to have changed much, maintaining the spatial distribution patterns and temperature values, therefore, the local marine response could be slower in the face of regional ocean-atmosphere changes and their teleconnections. However, Yoon *et al.* (2015) observed that the glacial melt response is sensitive and relatively fast with short-term meteorological phenomena such as the aforementioned rains and with seasonal variability, therefore, climatic phenomena at other scales could affect glacial behavior, a situation not yet well understood by the lack of the corresponding studies.

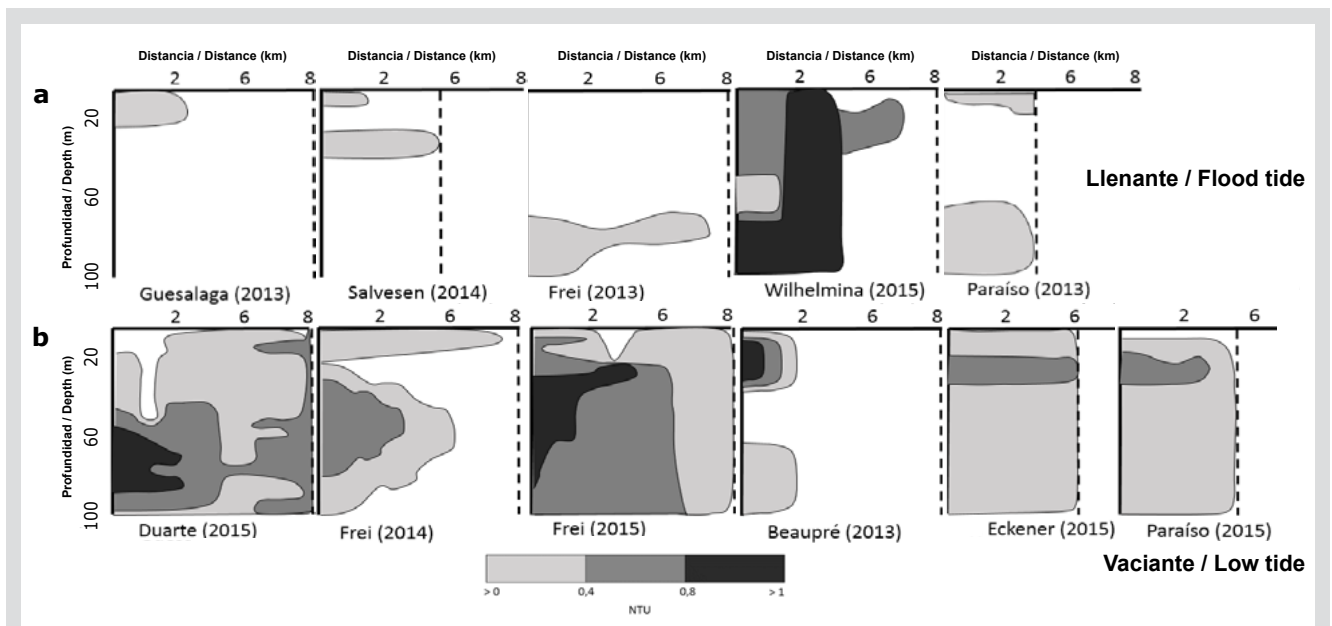


Figura 8. Esquema representativo de las estructuras de las plumas de sedimento, donde la escala de grises (barra inferior) indica los valores de concentración de turbidez (NTU) y la línea segmentada representa la estación oceanográfica más lejana en cada bahía. Se agregan resultados de Rodrigo *et al.* (2016) para comparación. Los esquemas son agrupados según el tipo de marea dominante durante las mediciones.

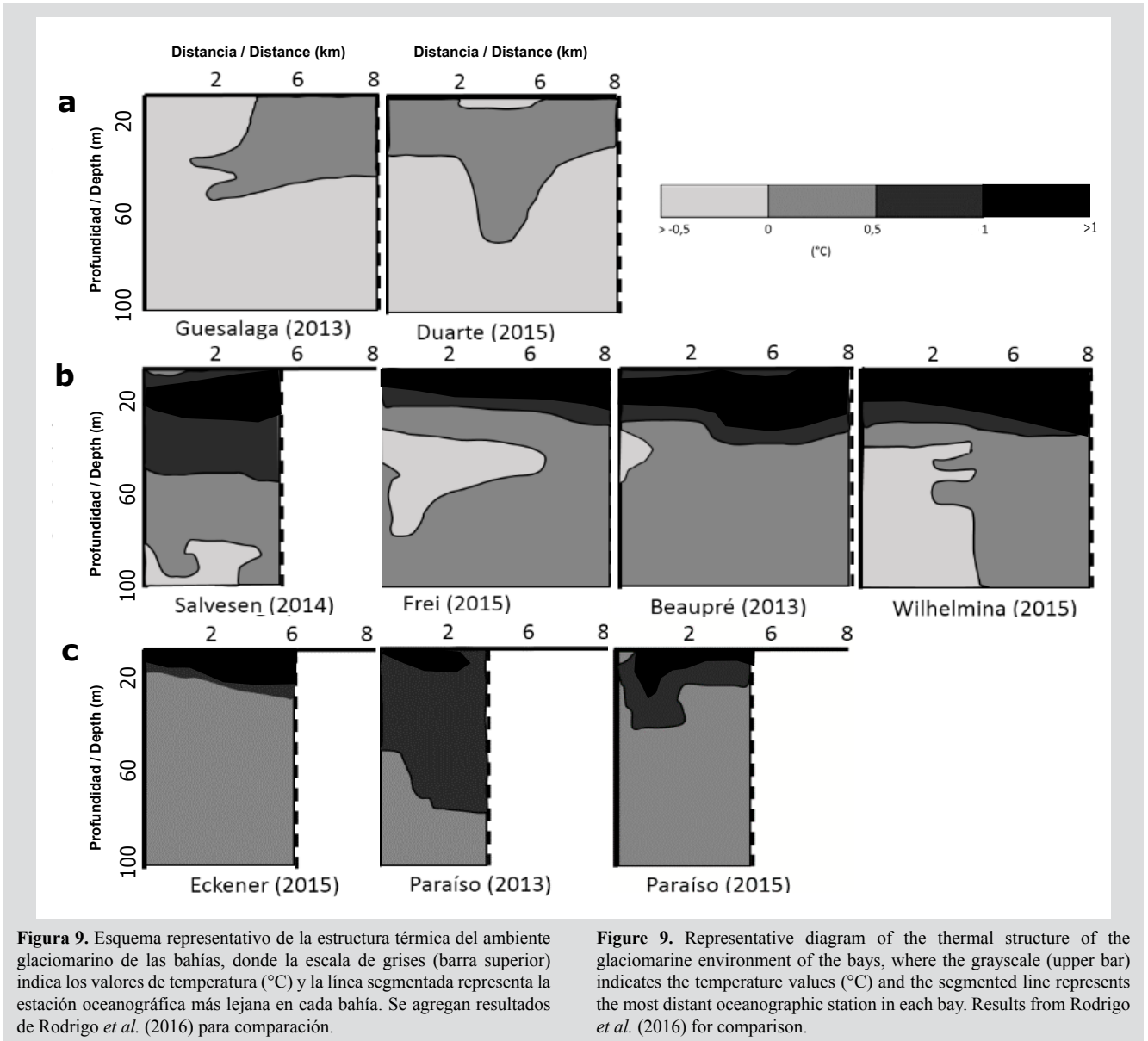
Figure 8. Representative diagram of the sediment plume structures, where the grayscale (lower bar) indicates the turbidity concentration values (NTU) and the segmented line represents the furthest oceanographic station in each bay. Results from Rodrigo *et al.* (2016) for comparison. The schemes are grouped according to the type of dominant tide during the measurements.

Por otro lado, se mantuvieron las características térmicas generales de las bahías si son agrupadas latitudinalmente en norte, centro y sur. En el sector norte, donde se localizan las bahías Guesalaga y Duarte, las temperaturas fueron en general más frías (Figura 9a) y menos salinas, lo que podría asociarse a una influencia de aguas transicionales zonales del mar de Weddell (TWW) (García *et al.*, 2002; Sangrá *et al.*, 2011), pero los diagramas T-S no mostraron esta influencia directamente, por lo que también podría deberse a una mayor generación de agua derretida fría desde los glaciares, por encontrarse esta zona más cercana al clima subpolar (Anderson y Domack, 1991). Por otro lado, mayores temperaturas superficiales fueron encontradas en las bahías centrales (Figura 9b), especialmente desde su parte media a distal desde el frente glaciar, pero presentaron un flujo sedimentario de fondo mucho más frío. Esto podría asociarse a un mayor aporte de agua derretida subglacial que formó una pluma fría y cargada de sedimentos. No está claro qué pudiera causar este mayor derretimiento en la zona central de la costa de Danco, pero como fue mencionado anteriormente podría pensarse en un factor dinámico asociado con la pérdida de plataformas de hielo del lado del mar de Weddell o intrusiones de masas de agua más cálida provenientes del mar de Bellingshausen, lo cual es posible debido a la identificación del agua TBW. Durante el crucero de la Primera Expedición Científica de Colombia a la Antártica, fue posible determinar la distribución de temperatura superficial del mar del estrecho de Gerlaché (Molares, 2015, 2016) y se observó una diferencia de $\sim 1,25$ °C entre el sector norte-sur y el central, también descrito por Giraldo *et al.* (2019). Aunque Eckener pertenece al sector central, fueron distintas sus características oceanográficas a las demás bahías y tuvo una estructura similar a las del sur (Figura 9c), pero por supuesto, no en los rangos de los valores de temperatura. Esto pudo haber ocurrido por la influencia directa de las aguas del estrecho y su aislamiento relativo, como sucede en bahía Paraíso.

A pesar de que Yoo *et al.* (2015) y Rodrigo *et al.* (2016) mostraron un modelo para el flujo de sedimento proveniente de los frentes glaciares basado en dos plumas principales: una superficial menos salina, y otra más profunda con un núcleo más concentrado de partículas de sedimento; los resultados de este estudio, mostraron algunas diferencias (Figura 8), como mayores concentraciones de partículas y extensiones espaciales de las plumas, ya sea en la horizontal (hasta 6 km) y en la

On the other hand, the general thermal characteristics of the bays were maintained if they are grouped latitudinally in north, center, and south. In the northern sector, where the Guesalaga (Curtiss) and Duarte bays are located, temperatures were generally colder (Figure 9a) and less saline, which could be associated with an influence of zone transitional waters of the Weddell Sea (TWW) (García *et al.*, 2002; Sangrá *et al.*, 2011), but the TS diagrams did not show this influence directly, so it could also be due to a greater generation of cold meltwater from the glaciers, as this area is closer to the subpolar climate (Anderson and Domack, 1991). On the other hand, higher surface temperatures were found in the central bays (Figure 9b), especially from their middle to distal part from the glacier front, but they presented a much cooler bottom sedimentary flow. This could be associated with a greater contribution of subglacial meltwater that formed a cold and sediment-laden plume. It is not clear what could cause this greater melting in the central zone of the Danco Coast, but as mentioned above, it could be thought of as a dynamic factor associated with the loss of ice shelves on the Weddell Sea side or intrusions of warmer water bodies from the Bellingshausen Sea, which is possible due to the TBW water identification. During the cruise of the Colombia's First Scientific Expedition to Antarctica, it was possible to determine the distribution of sea surface temperature of the Gerlaché Strait (Molares, 2015; 2016), and a difference of ~ 1.25 °C was observed between the northern-south sector and central, also described by Giraldo *et al.* (2019). Although Eckener belongs to the central sector, its oceanographic characteristics were different from the other bays and it had a similar structure to those of the south (Figure 9c), but of course, not in the ranges of temperature values. This could have occurred due to the direct influence of the waters of the strait and its relative isolation, as it happens in Paradise Bay.

Although Rodrigo *et al.* (2016) and Yoo *et al.* (2015), showed a model for the flow of sediment from glacial fronts based on two main plumes: a shallow one less saline, and a deeper one with a more concentrated core of sediment particles; the results of this study showed some differences (Figure 8), such as higher concentrations of particles and spatial extensions of the plumes, either horizontally (up to 6 km) and vertically (sometimes almost the entire water column). In any case, the more concentrated core of the plumes began to lose concentration more rapidly once it left the bay, possibly



vertical (a veces casi toda la columna de agua). De todos modos, el núcleo más concentrado de las plumas comenzó a perder concentración más rápidamente una vez que salió de la bahía, posiblemente afectado por otros sistemas de corrientes o de circulación (Trusel *et al.*, 2010), incluyendo el efecto del viento fuera de la bahía.

En relación con los cambios espaciales verticales, es notorio el caso de Wilhelmina y Frei (este estudio, 2015) (Figura 8), donde se observó que la descarga de agua glacial ascendió alcanzando la superficie en Wilhelmina y quedando interestratificada cerca la superficie de Frei. Según el modelo de Mugford y Dowdeswell (2011), este tipo de comportamiento del flujo de partículas se

affected by other current or circulation systems (Trusel *et al.*, 2010), including the effect of the wind outside the bay.

Concerning vertical spatial changes, the case of Wilhelmina and Frei (this study, 2015) (Figure 8) is notorious, where it was observed that the discharge of glacial water rose, reaching the surface in Wilhelmina and being interbedded near the surface of Frei. According to the Mugford and Dowdeswell (2011) model, this type of particle flow behavior is associated with a higher sedimentary contribution subglacially, in this case, with values higher than 6.5 mg/l (1 NTU), where the plume traveled from the base of the glacier front, maintaining

asocia a un mayor aporte sedimentario subglacialmente, en este caso, con valores superiores a 6,5 mg/l (1 NTU), donde la pluma viajó desde la base del frente del glaciar, manteniendo una cierta distancia con el mismo y a medida que ascendió, la fuerza de boyantez dominó cada vez más y de esta forma, la trayectoria hacia superficie resultó curvada hacia arriba. Una vez en superficie, esta se extendió con las corrientes superficiales (Figura 10). Es así como, a medida que la pluma asciende y se estratifica, se produce una caída de partículas sedimentarias hacia el fondo que se desprenden de la misma, creando depósitos sedimentarios y estratigrafía de subfondo característica (Powell y Domack, 2002). De la observación de los resultados obtenidos por Rodrigo *et al.* (2016) y este trabajo, en general, el modelo para la zona de la costa de Danco sería el de la figura 10a, considerando un bajo flujo subglacial de sedimentos y agua, no obstante, en la zona central del área de estudio, existe un mayor flujo de sedimento subglacial que permitiría ser descrito por el modelo de flujo de descarga media (Figura 10b) o el de flujo con descarga alta (Figura 10c). Por otro lado, hay que considerar que anteriormente (Griffith y Anderson, 1989; Domack y Williams, 1990; DaSilva *et al.*, 1997) se pensaba que las plumas de sedimentos por derretimiento glacial eran raras, sin embargo, este trabajo y otros recientes (Yoo *et al.*, 2015; Rodrigo *et al.*, 2016) demuestran lo contrario, donde posiblemente su rol dentro de los procesos sedimentarios glaciomarineros recientes de la región de la península Antártica, vaya adquiriendo mayor importancia en la medida que la producción sedimentaria sea mayor, la cual se correlaciona directamente con el cambio climático.

a certain distance with it and as it ascended, the buoyant force dominated more and more and, in this way, the trajectory towards the surface was curved upwards. Once on the surface, it spread with the surface currents (Figure 10). This is how, as the plume rises and stratifies, sedimentary particles fall to the bottom that is released from it, creating sedimentary deposits and characteristic sub-bottom stratigraphy (Powell and Domack, 2002). From the observation of the results obtained by Rodrigo *et al.* (2016) and this work, in general, the model for the Danco coastal zone would be that of Figure 10a, considering a low subglacial flow of sediments and water, however, in the central zone of the study area, there is a greater flow of subglacial sediment that could be described by the medium discharge flow model (Figure 10b) or the high discharge flow model (Figure 10c). On the other hand, it must be considered that previously (Griffith and Anderson, 1989; Domack and Williams, 1990; DaSilva *et al.*, 1997) it was thought that sediment plumes due to glacial melt were rare, however, this work and other recent (Yoo *et al.*, 2015; Rodrigo *et al.*, 2016) show the opposite, where possibly its role within the recent glaciomarine sedimentary processes of the Antarctic peninsula region, will acquire greater importance as sedimentary production is greater, which is directly correlated with climate change.

Finally, it follows that the sedimentary flows from the glacier fronts in the small bays of the Danco Coast have a variable spatial extension, as well as their concentration of sediments, which will depend mainly on the greater or lesser melting of the glaciers, which will contribute

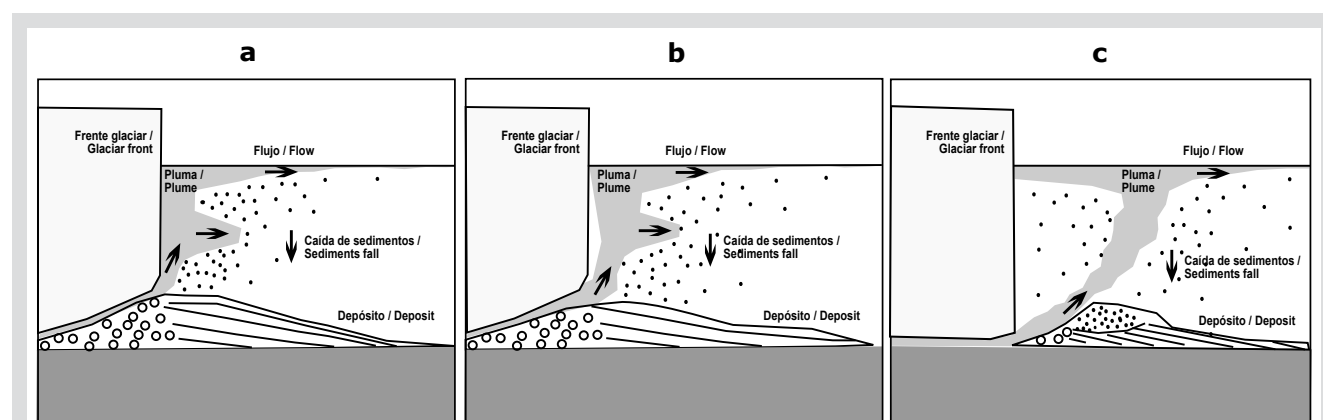


Figura 10. Modelos del flujo de sedimento subglacial en el ambiente glaciomarinero de fiordos-bahías, basados en Mugford y Dowdeswell (2011), y Powell y Domack (2002). **a.** para flujos con baja descarga de agua y sedimentos. **b.** para flujos con moderada descarga de agua y alta de sedimentos. **c.** para flujos de alta descarga.

Figure 10. Models of subglacial sediment flow in the glaciomarine environment of fjords-bays, based on Mugford and Dowdeswell (2011), and Powell and Domack (2002). **a.** for flows with a low discharge of water and sediments. **b.** for flows with moderate water discharge and high sediment. **c.** for high discharge flows.



Finalmente, se desprende que los flujos sedimentarios provenientes de los frentes de los glaciares en las bahías pequeñas de la costa de Danco, tienen una extensión espacial variable, así también su concentración de sedimentos, que dependerá principalmente del mayor o menor derretimiento glaciar, que aportarán mayor contenido de partículas subglacialmente que por otros mecanismos. Sobre las causas del derretimiento glaciar, es materia de estudios adicionales, pero podría estar asociado a calentamiento atmosférico e intrusiones de masas de agua más cálidas, sin descartar fenómenos de ajustes dinámicos de los glaciares sobre la península Antártica.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Programa Antártico Colombiano, al Capitán Camilo Segovia, oficiales y tripulación del buque ARC “20 de Julio”, así como los investigadores y técnicos por su apoyo y camaradería durante la Primera Expedición Científica de Colombia a la Antártica. Además, CR agradece al Instituto Antártico Chileno (INACH) y al Dr. José Retamales por las gestiones de contacto, así como el financiamiento parcial del proyecto FONDECYT N°11121522 de Chile. También se agradece al editor y al revisor anónimo, que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

higher content of particles subglacially than by other mechanisms. The causes of glacial melt are the subject of additional studies, but it could be associated with warming atmospheric and intrusions of warmer water masses, without ruling out phenomena of dynamic adjustments of the glaciers on the Antarctic Peninsula.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank the Colombian Antarctic Program, Captain Mr. Camilo Segovia, officers and crew of the ARC “20 de Julio” ship, as well as the researchers and technicians for their support and camaraderie during the First Scientific Expedition of Colombia to the Antarctic. Also, CR thanks the Chilean Antarctic Institute (INACH) and Dr. José Retamales for the contact procedures, as well as the partial financing of the FONDECYT project N ° 11121522 in Chile. We are also grateful to the editor and anonymous reviewer, who contributed to improving the manuscript.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Anderson, J.B. and E.W. Domack. 1991. The glacial marine environment: subglacial and glacial climatic setting. Foreword. In Anderson, J.B and G.M. Ashley (Eds.) *Glacial marine sedimentation; paleoclimatic significance; a discussion*. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 261.
- Dierssen, H.M., R.C. Smith and M. Vernet. 2002. Glacial meltwater dynamics in coastal waters west of the Antarctic Peninsula. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 99: 1790-1795.
- Domack, E.W. and S. Ishman. 1993. Oceanographic and physiographic controls on modern sedimentation within Antarctic fjords of Chile and the northern Antarctic Peninsula. *Mar. Geol.*, 143: 103-123.
- Domack, E.W. and C.E. McClennen. 1996. Accumulation of glacial marine sediments in fjords of the Antarctic Peninsula and their use as Late Holocene paleoenvironmental indicators. *Antarct. Res. Ser.*, 70: 135-154.
- Domack, E.W. and C.R. Williams. 1990. Fine structure and suspended sediment transport in three Antarctic fjords. *Antarct. Res. Ser.*, 50: 71-89.
- Domack, E.W., D.J.P. Foss, J.P.M.Syvitski and C.E. McClennen. 1994. Transport of suspended particulate matter in an Antarctic fjord. *Mar. Geol.*, 121: 161-170.
- García, M. A., C. G. Castro, A. F. Ríos, M. D. Doval, G. Rosón, D. Gomis and O. López. 2002. Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 49(4): 585-602.
- Giraldo, A., M.I. Criales-Hernández, M. Jerez-Guerrero y D.F. Mojica-Moncada. 2019. Biomasa del mesozooplankton y ensamblaje de copépodos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (Antártica) durante el verano austral de 2015. *Bol. Investig. Mar. Costeras*, 48(1): 9-26.
- Griffith, T.W. and J.B. Anderson. 1989. Climatic control of Sedimentation in bays and fjord of the northern Antarctic Peninsula. *Mar. Geol.*, 85: 181-204.
- Hogg, A.E., A. Shepherd, S.L. Comford, K.H. Briggs, N. Gourmelen, J.A. Graham and E. Rignot. 2017. Increased ice flow in Western Palmer Land linked to ocean melting. *Geophys. Res. Lett.*, 44(9): 4159-4167.

- Marín, V., A. Tironi, M.A. Paredes and M Contreras. 2013. Modeling suspended solids in a Northern Chilean Patagonia glacier-fed fjord: GLOF scenarios under climate change conditions. *Ecol. Model.*, 264: 7-16.
- Marshall, G.J. 2003. Trend in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. *J. Climatol.*, 16: 4134-4143.
- Marshall, G.J. 2007. Half-century seasonal relationships between the Southern Annular Mode and Antarctic temperatures. *J. Climatol.*, 27: 373-383.
- Meridith, M.P., E.J. Murphy, E.J. Hawker, J.C. King and M.I. Wallace. 2008. On the interannual variability of ocean temperatures around South Georgia, Southern Ocean: forcing by El Niño/Southern Oscillation and the southern annular mode. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, 55: 2007-2022.
- Molares, R. 2015. Primera expedición científica de Colombia en la Antártida. Reporte de crucero. Verano Austral 2014/2015. Dirección General Marítima, Cartagena, 119 p.
- Molares, R. 2016. Objetivo dos. Establecer la dinámica de nutrientes presentes en la columna de agua y su relación con la comunidad planctónica en el estrecho de Gerlache. Verano Austral 2014-2015. Informe Ejecutivo. Dirección General Marítima, Cartagena, 57 p.
- Mugford, R.I. and J.A. Dowdeswell. 2011. Modeling glacial meltwater plume dynamics and sedimentation in high-latitude fjords. *J. Geophys. Res.*, 116.
- Padman, L., 2005. Tide Model Driver (TMD) manual, versión 1.2. *Earth Space Res.*, 13 p.
- Powell, R. and G.W. Domack. 2002. Modern glaciomarine environment. In: Menzies, J. (Ed.). *Modern glacial environments: processes, dynamics and sediments, glacial environments.* Butterworth-Heinemann, Oxford, 445-486 pp.
- Rahaman, W., S. Chatterjee, T. Ejaz and M. Thamban. 2019. Increased influence of ENSO on Antarctic temperature since the Industrial Era. *Sci. Rep.*, 9, 6006.
- Rignot, E., G. Casassa, P.Gogineni, W.Krabill, A.Rivera, and R. Thomas, 2004, Accelerated ice discharge from the Antarctic Peninsula following the collapse of Larsen B ice shelf. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L18401.
- Rodrigo, C., S. Giglio and A. Varas. 2016. Glacier sediment plumes in small bays on the Danco Coast, Antarctic Peninsula. *Antarct. Sci.*, 28(5): 395-404.
- Sangrá, P., C. Gordo, M. Hernández-Arencibia, A. Marredo-Díaz, A. Rodríguez-Santana, A. Stegner, A. Martínez-Marrero, J.L. Pelegrí and T. Pichon. 2011. The Bransfield current system. *Deep Sea Res. Part I*, 58: 390-402.
- Turner, J., S.R. Colwell, G.J. Marshall, T.A. Lachlan-Cope, A.M. Carleton, P.D. Jones, V. Lagun, P.A. Reid and S. Iagovkina. 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. J. Climatol.*, 25(3): 279-294.
- Yoo, K.C., M.K. Lee, H.I. Yoon, Y.I. Lee and C.Y. Kang. 2015. Hydrography of Marian Cove, King George Island, West Antarctica: implications for ice-proximal sedimentation during summer. *Antarct. Sci.*, 27: 185-196.
- Zhou, M., P. P. Niiler and J. H. Hu. 2002. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep-Sea Res. I.*, 49: 267-280.

RECIBIDO/RECEIVED: 28/09/2019


ACEPTADO/ACCEPTED: 26/10/2020



Copépodos, hidromedusas y sifonóforos: diversidad y distribución en el estrecho de Gerlache, Península Antártica

Copepods, hydromedusae and siphonophores: Diversity and distribution in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula.

Edgar Fernando Dorado-Roncancio^{1*} y Cristina Cedeño-Posso¹

 0000-0002-0321-5416

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras- Invemar, Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC). Calle 25 No. 2 – 55 Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. edgar.dorado@invemar.org.co, cristina.cedeno@invemar.org.co

2. Autor de correspondencia.

RESUMEN

El proyecto Biodiversidad y condiciones oceanográficas del estrecho de Gerlache "Biogerlache-Antártica", tiene como objetivo caracterizar la fauna antártica del estrecho, generando nuevos aportes a los inventarios biológicos de la Antártica, el presente trabajo se enfoca en la biodiversidad de la comunidad zooplanctónica, específicamente en copépodos, hidromedusas y sifonóforos recolectados durante la III Expedición de Colombia a la Antártica "Almirante Padilla" (2016-2017). El muestreo se realizó en siete estaciones oceanográficas ubicadas a lo largo del estrecho de Gerlache, con arrastres verticales entre la profundidad máxima de la estación y superficie. Se identificaron 4100 organismos pertenecientes a 38 especies del phylum Arthropoda (órdenes Calanoida y Cyclopoida) y 10 especies del phylum Cnidaria (subclases Hydroidolina y Trachylina). Las familias de copépodos con mayor riqueza de géneros son Aetideidae y Metridinidae, siendo *Metridia gerlachei*, *Chiridius polaris* y *Gaetanus tenuispinosus* especies frecuentes en más del 50 % de las estaciones. Las especies identificadas son comunes para la península Antártica (mares de Bellingshausen, Scotia y Weddell), se amplía el rango de distribución de cuatro copépodos para las aguas epipelágicas y mesopélagicas del estrecho de Gerlache. Otras especies frecuentes son las hidromedusas *Arctapodema* sp. y *Solmundella bitentaculata* y los sifonóforos *Dimophyes arctica* y *Diphyes antarctica*, estos últimos se recolectaron tanto en forma poligástrica como eudoxia, siendo esta última la forma dominante en todas las estaciones.

PALABRAS CLAVE: Océano Antártico, Zooplankton, Diversidad, *Metridia gerlachei*, *Dimophyes arctica*

ABSTRACT

Project Biodiversity and oceanographic conditions of the strait of Gerlache "Biogerlache-Antarctica", aims to carry out the characterization of the Antarctic fauna of the strait, generating new contributions to the biological inventories of Antarctica. Present work focuses on the biodiversity of the zooplanktonic community, specifically on copepods, hydromedusae and siphonophorae collected during the III Antarctic Expedition of Colombia "Admiral Padilla" (2016-2017). Sampling was carried out in seven oceanographic stations located along the Gerlache strait, with vertical trawls between the maximum depth of the station and the surface. 4100 organisms belonging to 38 species of the phylum Arthropoda (Orders Calanoid and Cyclopoid) and 10 species of the phylum Cnidaria (Subclasses Hydroidolina and Trachylina) were identified. Copepods families with the greatest richness of genera are Aetideidae and Metridinidae, with *Metridia gerlachei*, *Chiridius polaris* and *Gaetanus tenuispinosus* being frequent species in more than 50 % of the stations. Identified species are common to the Antarctic Peninsula (Bellingshausen Sea, Scotia Sea and the Weddell Sea), also the range of four copepods are extended for the epipelagic and mesopelagic waters of the Gerlache Strait. Other frequent species are the hydromedusae *Arctapodema* sp. and *Solmundella bitentaculata* and the siphonophores *Dimophyes arctica* and *Diphyes antarctica*, the latter being collected in both polygastric and eudoxic forms (the dominant form in all stations).

KEYWORDS: Antarctic Ocean, Zooplankton, Diversity, *Metridia gerlachei*, *Dimophyes arctica*

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.SuplEsp.942>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

Los estudios de ecología, distribución, composición y biodiversidad del mesozooplankton de la Antártica se han enfocado de forma intensiva en su mayoría a una sola especie, el krill *Euphausia superba*, mientras que otras especies han recibido una menor atención (Schnack-Schiel y Hagen, 1994), o se ha enfocado hacia determinados sectores, como la región oeste (los mares de Weddell y Ross), quedando un poco menos estudiada la región este. Sin embargo, el gran interés político y científico que se ha despertado en los últimos años, encaminado hacia la Antártica con cruceros de exploración y de línea base, ha convertido a la fauna antártica en una de las más estudiadas (Clarke, 2008). Las islas Shetland del Norte y la península Antártica han sido unas de las más estudiadas en los últimos años gracias a su fácil acceso y tránsito (Griffiths, 2010; Griffiths *et al.*, 2011), pero el pasaje entre dos islas de la península, las islas Anvers y Bravant, conocido como el estrecho de Gerlache, se encuentra en un estado de conocimiento escaso, enfocándose sobre todo en estudios sobre geología terrestre (Birkenmajer, 1995, 1999) y sobre biodiversidad bentónica y planctónica (Hopkins, 1985; Zmijewska y Yen, 1993; Hernández-León *et al.*, 1999, 2000, 2001; Rodríguez *et al.*, 2002a, 2002b; Giraldo *et al.*, 2019). En cuanto a la comunidad planctónica, los copépodos pelágicos que habitan aguas antárticas son los organismos zooplanctónicos más importantes junto con el krill y las salpas en términos de densidad y biomasa (Shreeve *et al.*, 2005, 2018; Atkinson *et al.*, 2012; Kouwenberg *et al.*, 2014; Corlins *et al.*, 2018), son además el taxa más diverso del zooplankton con cerca de 300 especies registradas (Razouls *et al.*, 2005-2020), mientras que para las hidromedusas son unas 71 especies y para los sifonóforos cerca de 30 especies registradas en aguas antárticas y subantárticas (Lindsay *et al.*, 2014). La distribución de estos tres grupos taxonómicos no es clara, sobre todo para los gelatinosos, debido al escaso conocimiento y a los métodos de recolección. Por lo tanto, todo esfuerzo de muestreo que se realice es información valiosa para aumentar el conocimiento sobre la fauna planctónica de los mares antárticos.

El presente estudio es parte del proyecto Biodiversidad y condiciones oceanográficas del estrecho de Gerlache “Biogerlache-Antártica” Fase I, del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar, con el objetivo de caracterizar la fauna antártica del estrecho. Es un proyecto que inició en el 2014, siendo participe de

INTRODUCTION

Studies based on the ecology, distribution, composition and biodiversity of Antarctic mesozooplankton have focused intensively on a single species, the krill *Euphausia superba*, while other species have received less attention (Schnack-Schiel and Hagen, 1994), or it has focused on certain sectors, such as the West region (the Weddell and Ross Seas), with the East area being a little less studied. However, the great political and scientific interest that has been aroused in recent years, directed towards Antarctica with exploration and baseline cruises, has made Antarctic fauna one of the most studied (Clarke, 2008). The North Shetland Islands and the Antarctic Peninsula have been some of the most studied in recent years thanks to their easy access and transit (Griffiths, 2010; Griffiths *et al.*, 2011), but the passage between two islands of the Peninsula, the Anvers and Bravant Islands, known as the Gerlache Strait, is in a state of scarce knowledge, focusing mainly on studies on terrestrial geology (Birkenmajer, 1995, 1999) and on benthic and planktonic biodiversity (Hopkins, 1985; Zmijewska and Yen, 1993; Hernández-León *et al.*, 1999; Hernández-León *et al.*, 2000; Hernández-León *et al.*, 2001, Rodríguez *et al.*, 2002 a; Rodríguez *et al.*, 2002 b; Giraldo *et al.*, 2019). Regarding the planktonic community, pelagic copepods that inhabit Antarctic waters are the most important zooplankton organisms along with krill and salps in terms of density and biomass (Shreeve *et al.*, 2005; Atkinson *et al.*, 2012; Kouwenberg *et al.*, 2014; Corlins *et al.*, 2018; Shreeve *et al.*, 2018), are also the most diverse taxa of zooplankton with about 300 registered species (Razouls *et al.*, 2005-2020), while for hydromedusae there are about 71 species and for siphonophores about 30 species recorded in Antarctic and Subantarctic waters (Lindsay *et al.*, 2014). The distribution of these three taxonomic groups is not clear, especially for the gelatinous ones, due to the limited taxonomic knowledge and the collection methods. Therefore, any sampling effort that is made is valuable information to increase knowledge about the planktonic fauna of the Antarctic seas.

This study is part of the project Biodiversity and oceanographic conditions of the Gerlache Strait “Biogerlache-Antarctica” Phase I, of the Institute for Marine and Coastal Research - Invemar; to characterize the Antarctic fauna of the strait. It is a project that began in 2014, being a participant in the I Scientific Expedition of Colombia to the Antarctic “Caldas Expedition” (2014-

la I Expedición Científica de Colombia a la Antártica “Expedición Caldas” (2014-2015) y en la III Expedición “Almirante Padilla” (2016-2017) y V Expedición “Almirante Campos” (2018-2019). Particularmente, este manuscrito está aportando información al objetivo general del proyecto, enfocándose en la biodiversidad de la comunidad zooplanctónica, específicamente en copépodos, hidromedusas y sifonóforos recolectados durante la III Expedición (2016 – 2017), planteando su patrón de distribución en el estrecho de Gerlache. Se presenta un inventario taxonómico de las especies depositadas en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) del Invemar: 36 lotes en la colección de Cnidarios, del INV CNI4383 al INV CNI4399 y 8 lotes en la colección de Crustáceos, del INV CRU8995 al INV CRU9002.

ÁREA DE ESTUDIO

El estrecho de Gerlache es un canal de aproximadamente 200 km de longitud, ubicado en medio de la península Antártica y las islas Anvers y Bravant (Figura 1). El estrecho de Bismarck y el canal Schollaert lo conectan con el océano Pacífico sudeste y el canal Orleans y el pasaje Croker lo conectan con el estrecho de Bransfield (Dragani *et al.*, 2004). Tiene una profundidad entre 270 y 1200 m, con pendientes de 20°. El estrecho va aumentando su profundidad, en dirección suroeste-noreste, encontrando las mayores profundidades en el pasaje Croker (1200 m), pasaje a través del cual ingresan las aguas del estrecho de Bransfield, que son una mezcla y transición entre las aguas cálidas y menos salinas del mar de Bellingshausen y las frías y más salinas del mar de Weddell (Gordon y Nowlin, 1978; García *et al.*, 2002), esta dinámica se ve confirmada por las masas de agua locales que dominan el área, definidas como Aguas Transicionales con Influencia del Mar de Bellingshausen y las Aguas Transicionales con Influencia del Mar de Weddell, las cuales cambian dependiendo de la corriente, siendo la isoterma de 1,0 °C la principal forma de discriminar entre una masa y otra durante el verano austral (García *et al.*, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Durante la III Expedición de Colombia a la Antártica “Almirante Padilla” a bordo de la embarcación “ARC 20 de Julio”, se realizó un muestreo de zooplancton en el verano austral 2016-2017, en siete estaciones

(2015) and continued to participate in the III Expedition “Admiral Padilla” (2016-2017) and V Expedition “Admiral Campos” (2018-2019). In particular, this manuscript is contributing information to the general objective of the project, focusing on the biodiversity of the zooplankton community, specifically on copepods, hydromedusae and siphonophores collected during the III Expedition (2016-2017) and proposes its distribution pattern in the Gerlache Strait. A taxonomic inventory of the species deposited in the Museum of Marine Natural History of Colombia (MHNMC) of Invemar is presented: 36 lots in the Cnidarians collection, from INV CNI4383 to INV CNI4399 and 8 lots in the Crustacean collection, from INV CRU8995 to INV CRU9002.

STUDY AREA

The Gerlache Strait is a channel of approximately 200 km in length, located in the middle of the Antarctic Peninsula and the Anvers and Bravant Islands (Figure 1). The Bismarck Strait and the Schollaert Canal connect it to the Southeast Pacific Ocean and the Orleans Canal and the Croker Passage connect it to the Bransfield Strait (Dragani *et al.*, 2004). It has a depth between 270 and 1200 m, with slopes of 20°. The strait is increasing its depth, in a southwest-northeast direction, finding the greatest depths in the Croker Passage (1200 m), a passage through which the waters of the Bransfield Strait enter, which are a mixture and transition between warm waters and less saline in the Bellingshausen Sea and the cooler and more saline waters of the Weddell Sea (Gordon and Nowlin, 1978; García *et al.*, 2002), this dynamic is confirmed by the local water masses that dominate the area, defined as Transitional Waters with Influence of the Bellingshausen Sea and Transitional Waters with Influence of the Weddell Sea, which change depending on the current, being the isotherm of 1.0 °C the main way to discriminate between one mass and another during the Austral summer (García *et al.*, 2002).

MATERIALS AND METHODS

Collection of samples

During the III Expedition of Colombia to the Antarctic “Admiral Padilla” aboard the vessel “ARC 20 de Julio”, a zooplankton sampling was carried out in the austral summer 2016-2017, in seven oceanographic stations located along the Strait of Gerlache (Figure

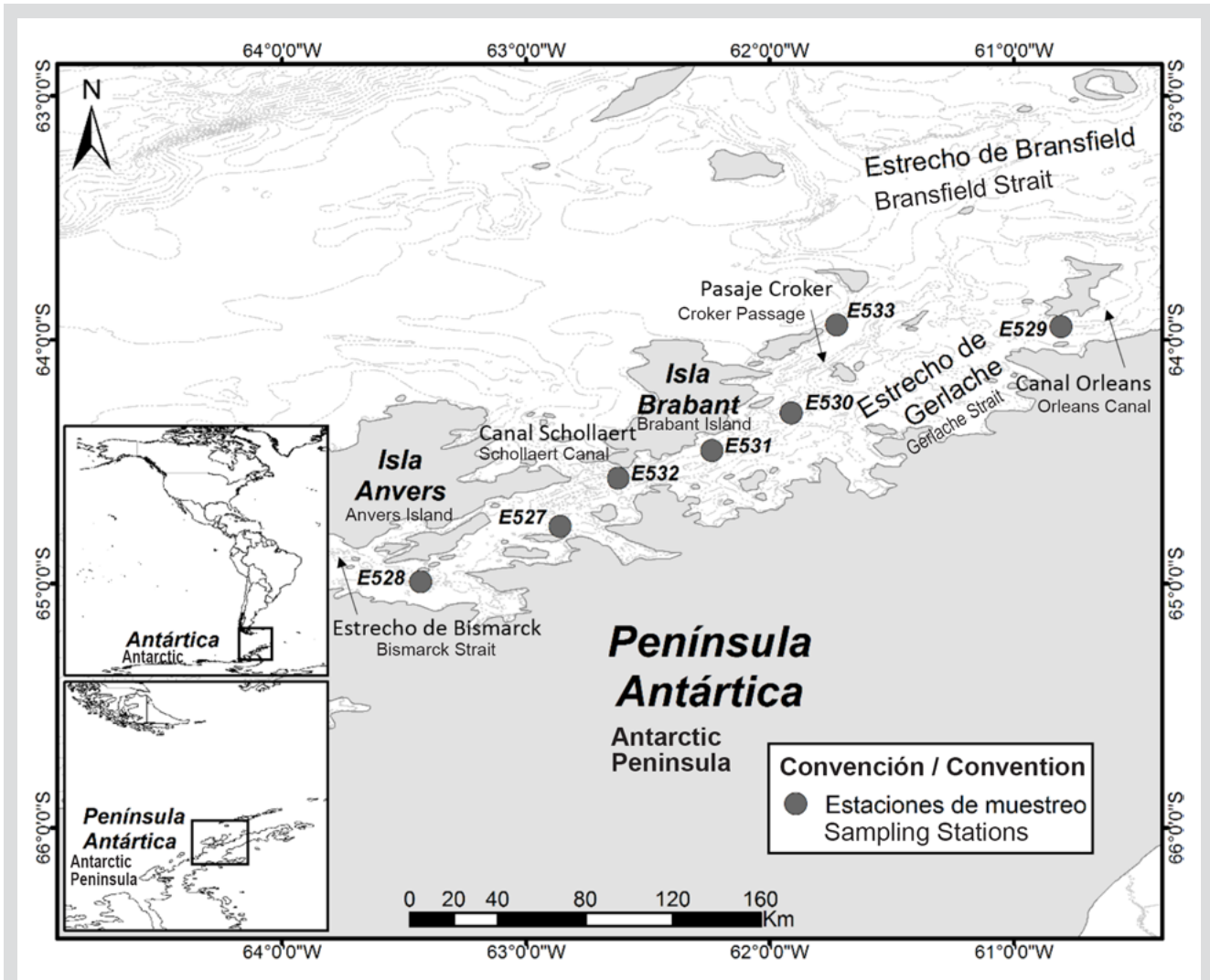


Figura 1. Estaciones de muestreo de zooplancton ubicadas en el estrecho de Gerlache (Antártica), Durante el verano austral 2016-2017 en la III Expedición de Colombia a la Antártica “Almirante Padilla”.

Figure 1. Zooplankton sampling stations located in the Gerlache Strait (Antarctica), during the austral summer 2016-2017 in the III Expedition of Colombia to the Antarctic “Admiral Padilla”.

oceanográficas ubicadas a lo largo del estrecho de Gerlache (Figura 1, Tabla 1). La numeración de las estaciones sigue el consecutivo institucional de proyectos del Invemar.

Las muestras de zooplancton fueron recolectadas mediante arrastres verticales desde la superficie (0 m) hasta fondo, alcanzando profundidades que oscilan entre 398 y 690 m (Tabla 1), utilizando un sistema de apertura-cierre marca General Oceanics, accionado mecánicamente con mensajeros; la red de plancton (200 µm de poro, diámetro de la boca 60 cm) estaba equipada con un medidor de flujo marca Hydrobios con la finalidad de conocer la cantidad de agua filtrada por la red y un sensor de registro de datos de presión y temperatura con el cual se conoció la profundidad exacta del arriado de la red. Las muestras recolectadas fueron

1, Table 1). The numbering of the stations follows the institutional sequence of Invemar projects.

The zooplankton samples were collected by vertical trawling from the surface (0 m) to the bottom, reaching depths ranging between 398 and 690 m (Table 1), using a General Oceanics brand opening-closing system, mechanically activated with messengers; the plankton network (200 µm pore, mouth diameter 60 cm) was equipped with a Hydrobios brand flow meter to know the amount of water filtered by the network and a pressure and temperature data recording sensor with which the exact depth of the lowering of the net was known. The collected samples were narcotized with 10 % magnesium chloride and fixed with a 4 % formalin solution, filtered seawater

narcotizadas con cloruro de magnesio al 10 % y fijadas con solución de formalina al 4 %, base agua de mar filtrada (0,45 μm) y neutralizadas con tetraborato de sodio para finalmente ser almacenadas en frascos de plástico de 500 ml.

Las muestras se trasladaron al Museo de Historia Natural Marina de Colombia, del Invemar, donde fueron analizadas e ingresadas a la colección de referencia de plancton. Los datos de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la columna de agua de cada estación, se tomaron con un CTDO SeaBird, posteriormente se les determinó el promedio como medida de tendencia central y se les calculó el error estándar como medida de variabilidad (Tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas de estaciones oceanográficas ubicadas a lo largo del estrecho de Gerlache. Prof. Arrastre: Profundidad máxima de arrastre durante el muestreo de plancton, (*) Estación con la máxima profundidad encontrada en el pasaje Croker. Valor promedio \pm error estándar.

Estaciones / Stations		Fecha / Date	Coordenadas / Coordinates		Prof. arrastre / Trawl Depth (m)	T ($^{\circ}\text{C}$)	Salinidad / Salinity	Oxígeno / Oxygen (mg/L)
Invemar	Dimar		Latitud / Latitude (S)	Longitud / Longitude (O)				
527	G16	1/14/2017	64°45'57.3"	62°51'36.3"	398	0.56 \pm 0.15	34.15 \pm 0.08	9.46 \pm 0.37
528	G18	1/15/2017	64°59'35.1"	63°25'51.0"	426	0.73 \pm 0.02	34.08 \pm 0.10	9.02 \pm 0.52
529	G01	1/17/2017	63°56'50.0"	60°48'21.9"	450	0.97 \pm 0.20	34.16 \pm 0.05	10.07 \pm 1.99
530	G06	1/21/2017	64°18'02.5"	61°54'39.4"	661	1.51 \pm 0.22	34.04 \pm 0.07	9.82 \pm 0.23
531	G10	1/21/2017	64°27'18.9"	62°14'08.5"	609	0.70 \pm 0.09	34.19 \pm 0.06	9.14 \pm 0.27
532	G12	1/22/2017	64°34'06.8"	62°37'15.7"	593	1.32 \pm 0.15	34.10 \pm 0.09	10.00 \pm 0.35
533*	G02	1/22/2017	63°56'24.1"	61°43'31.3"	690	1.70 \pm 0.43	34.15 \pm 0.08	10.34 \pm 0.36

Análisis de muestras recolectadas

En laboratorio, solo los copépodos, hidromedusas y sifonóforos fueron separados en cada muestra, contabilizados e identificados taxonómicamente hasta el nivel de especie o al nivel más bajo posible, si las características del ejemplar lo permitían. Con la ayuda de un estereomicroscopio Marca Leica M205A se separaron y disectaron los ejemplares y con la ayuda de un microscopio óptico marca Zeiss Primo Star se identificaron sus estructuras taxonómicas específicas, esta información se contrastó con literatura actual para confirmar las identidades taxonómicas de cada ejemplar, tanto para copépodos (Bjorberg, 1981; Nishida, 1985; Bradford-Grieve *et al.*, 1999; Boxshall y Halsey,

base (0.45 μm) and neutralized with sodium tetraborate to finally be stored in 500 ml plastic jars.

The samples were transferred to the Museum of Marine Natural History of Colombia, of Invemar, where they were analyzed and entered into the plankton reference collection. The data of temperature, salinity and dissolved oxygen in the water column of each station were taken with a SeaBird CTDO, later the average was determined as a measure of central tendency and the standard error was calculated as a measure of variability (Table 1).

Table 1. Coordinates of oceanographic stations located along the Gerlache Strait. Trawl Depth: Maximum depth of trawl during plankton sampling, (*) Station with the maximum depth found in the Croker passage. Average value \pm Standard error.

Analysis of collected samples

In the laboratory, only the copepods, hydromedusae and siphonophores were separated in each sample, counted and taxonomically identified down to the species level or the lowest possible level, if the characteristics of the specimen allowed it. With the help of a Leica M205A brand stereomicroscope, the specimens were separated and dissected, with the help of a Zeiss Primo Star brand optical microscope, their specific taxonomic structures were identified, this information was contrasted with current literature to confirm the taxonomic identities of each specimen, both for copepods (Bjorberg, 1981; Nishida, 1985; Bradford-Grieve *et al.*, 1999; Boxshall and

2004; Razouls *et al.*, 2005-2019), como para hidromedusas y sifonóforos (Totton, 1965; Pugh, 1999; Licandro *et al.*, 2017). Para la identificación de copépodos, se realizaron micro-disecciones de estructuras morfológicas tales como antenas, mandíbulas, maxilas, patas natatorias y segmentos genitales y se tuvo en cuenta para la determinación de las densidades que los ejemplares estuvieran completos, con todos sus segmentos y estructuras, así como también que no fueran ecdisis o exuvias y que estuvieran en una fase adulta o juvenil avanzada (Gaviria y Aranguren, 2003). Particularmente para los sifonóforos las densidades se determinaron teniendo en cuenta que se rompen con facilidad durante la captura, que el neumatóforo casi siempre se pierde y los nectóforos se separan del nectosoma, haciendo que su identificación y conteo se realice a partir de sus partes corporales remanentes (nectóforos) o a las dos fases de vida de estos organismos: su fase asexual poligástrica (nectóforo anterior y/o posterior) y fase sexual eudoxia (bráctea o bráctea con gonóforo) (Totton, 1965; Pugh, 1999; Panasiuk-Chodnicka *et al.*, 2014; Licandro *et al.*, 2017).

Para evaluar la estructura de la comunidad de copépodos, sifonóforos e hidromedusas, la densidad fue estandarizada mediante el volumen de agua filtrada en cada estación y se expresó en unidades de ind/1000 m³; para estos valores de densidad se utilizó como medida de tendencia central el error estándar. Los datos de densidad se transformaron con la raíz cuarta y se sometieron a un análisis de conglomerados basado en el índice de disimilitud Bray-Curtis. Se realizaron análisis multivariados, utilizando el análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) para determinar las especies que contribuyen a la separación entre las asociaciones formadas; un análisis de similitud (ANOSIM de una vía) para confirmar diferencias en los atributos estructurales entre la zonificación presente en el estrecho de Gerlache y el procedimiento de correspondencia biota-ambiente (BIO-ENV) para definir que variables ambientales (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto) se relacionan con la estructura comunitaria encontrada en el estrecho, mediante el coeficiente de correlación de Spearman (ρ_w) (un valor de $\rho_w = 0$ no implicaría ninguna relación entre las dos matrices, mientras que un valor de $\rho_w = 1$ significa que existe una fuerte relación entre ellas) (Ludwig y Reynolds, 1988; Clarke y Warwick, 2001). Estos análisis se llevaron a cabo con el paquete de software PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) versión 5 (Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Gorley, 2001).

Halsey, 2004; Razouls *et al.*, 2005-2019), as well as for hydromedusae and siphonophores (Totton, 1965; Pugh, 1999; Licandro *et al.*, 2017). For the identification of copepods, micro-dissections of morphological structures such as antennae, jaws, maxillae, swimming legs and genital segments were carried out and it was taken into account for the determination of the densities that the specimens were complete, with all their segments and structures, as well as that they were not ecdysis or exuviae and that they were in an advanced adult or juvenile phase (Gaviria and Aranguren, 2003); particularly for siphonophores, the densities were determined taking into account, that they break easily during capture, that the pneumatophore is almost always lost and the nectophores are separated from the nectosoma, making their identification and counting carried out from their body parts remnants (nectophores) or the two life phases of these organisms: their polygastric asexual phase (anterior and/or posterior nectophore) and eudoxia sexual phase (bract or bract with gonophore) (Totton, 1965; Pugh, 1999; Panasiuk-Chodnicka *et al.*, 2014; Licandro *et al.*, 2017).

To evaluate the community structure of copepods, siphonophores and hydromedusae, the density was standardized by the volume of filtered water in each station and was expressed in units of ind/1000 m³, for these density values the central tendency measure was used as the standard error. The density data were transformed with the fourth root and subjected to a cluster analysis based on the Bray-Curtis dissimilarity index. Multivariate analyzes were performed, using the analysis of similarity percentages (SIMPER) to determine the species that contribute to the separation between the associations formed; a similarity analysis (one-way ANOSIM) to confirm differences in the structural attributes between the zoning present in the Gerlache Strait and the biota-environment correspondence procedure (BIO-ENV) to define which environmental variables (temperature, salinity and dissolved oxygen) are related to the community structure found in the strait, through Spearman's correlation coefficient (ρ_w) (a value of $\rho_w = 0$ would not imply any relationship between the two matrices, while a value of $\rho_w = 1$ means that there is a strong relationship between them) (Ludwig and Reynolds, 1988; Clarke and Warwick, 2001). These analyzes were carried out with the PRIMER software package (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) version 5 (Clarke and Ainsworth, 1993; Clarke and Gorley, 2001).

RESULTADOS

Composición y densidad de copépodos, hidromedusas y sifonóforos

En las siete estaciones muestreadas se identificaron 4100 organismos pertenecientes a 38 especies del phylum Arthropoda (órdenes Calanoida, $n = 32$ y Cyclopoida, $n = 7$) y 10 especies del phylum Cnidaria (Subclases Hydroidolina, $n = 8$ y Trachylina, $n = 2$), dos artrópodos fueron identificados hasta el nivel de orden y equivalen a nauplios y tres copepoditos de las familias Clausocalanidae, Euchaetidae y Metridinidae. Los seis copépodos identificados hasta género se encontraban en muy malas condiciones para ser mejor identificados.

Las familias con mayor riqueza de géneros son Aetideidae ($n = 5$) y Metridinidae ($n = 4$), ambas familias de copépodos se encontraron en más de 50 % de las estaciones, como *Metridia gerlachei*, *Gaetanus tenuispinosus* y *Chiridius polaris*. Otras especies frecuentes durante los muestreos fueron los copépodos *Triconia antarctica*, *Oithona similis*, *Rhincalanus nasutus*, *Spinocalanus abyssalis* y *Drepanopus forcipatus*, las hidromedusas *Arctapodema* sp. y *Solmundella bitentaculata* y las fases poligástrica y eudoxia de los sifonóforos *Dimophyes arctica* y *Diphyes antarctica* (Tabla 2). Las estaciones con mayor riqueza de especies fueron 528 ($n = 22$), 527, 529 y 532 ($n = 20$).

Tabla 2. Inventario taxonómico, distribución, ecología, frecuencia, densidad y abundancia relativa de las especies de copépodos, sifonóforos e hidromedusas encontrados en el estrecho de Gerlache durante la expedición del verano austral 2016-2017. Abreviaciones: SA: Subantártico, A: Antártico, AS: Atlántico Sur; E: Epipelágico, Ms: Mesopelágico, B: Batipelágico, Ab: Abisopelágico, N: Nerítico; Freq: Frecuencia de aparición ('+' representa la frecuencia de la especie en < 25 % de las estaciones, '++' representa el 25-50 % y '+++> 50 %). Dens: densidad promedio individuos/1000 m³, Abun. Rel. (%): abundancia relativa expresada en porcentaje. Las especies que contribuyen con un 75 % a la densidad se encuentran en negrilla.

Taxones / Taxa	Estadio/Tipo / Stage/ Type	Distribución / Distribution	Distribución vertical / Vertical distribution	Frecuencia / Frequency.	Densidad / Density (ind/1000 m ³)	Abundancia relativa / Relative abundance (%)
<i>Aetideus australis</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms	++	143.1	0.34
<i>Aetideus</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms	+	527.3	1.25
<i>Chiridius polaris</i>	Adulto / Adult	SA - A	Ms, Ab	+++	514.4	1.22
<i>Euchirella splendens</i>	Adulto / Adult	AS	E, Ms	+	383.7	0.91
<i>Gaetanus tenuispinosus</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, B	+++	323	0.77
<i>Euaugaptilus antarcticus</i>	Adulto / Adult	A	Ms, B	+	188.7	0.45
<i>Haloptilus ocellatus</i>	Adulto / Adult	SA - A	E	+	10.4	0.02

RESULTS

Composition and density of copepods, hydromedusae and siphonophores

In the seven stations sampled, 4100 organisms belonging to 38 species of the phylum Arthropoda (orders Calanoida, $n = 32$ and Cyclopoida, $n = 7$) and 10 species of the phylum Cnidaria (Subclasses: Hydroidolina, $n = 8$ and Trachylina, $n = 2$) were identified, two arthropods were identified down to the order level and are equivalent to nauplii and three copepodites of the Clausocalanidae, Euchaetidae and Metridinidae families. The six copepods identified up to the genus were in very poor condition to be better identified.

The families with the greatest richness of genera are Aetideidae ($n = 5$) and Metridinidae ($n = 4$), both families of copepods were found in more than 50 % of the stations such as *Metridia gerlachei*, *Gaetanus tenuispinosus* and *Chiridius polaris*, other frequent species during the samples were the copepods *Triconia antarctica*, *Oithona similis*, *Rhincalanus nasutus*, *Spinocalanus abyssalis*, *Drepanopus forcipatus*, the hydromedusa *Arctapodema* sp. and *Solmundella bitentaculata* and the polygastric and eudoxia phases of the siphonophores *Dimophyes arctica* and *Diphyes antarctica* (Table 2). The stations with the highest species richness are 528 ($n = 22$), 527, 529 and 532 ($n = 20$).

Table 2. Taxonomic inventory, distribution, ecology, frequency, density and relative abundance of the species of copepods, siphonophores and hydromedusa found in the Gerlache Strait during the 2016-2017 austral summer expedition. Abbreviations: SA: Subantarctic, A: Antarctic, AS: South Atlantic; E: Epipelagic, Ms: Mesopelagic, B: Bathypelagic, Ab: Abyssopelagic, N: Neritic; Freq: Frequency of appearance ('+' represents the frequency of the species in < 25 % of the stations, '++' represents 25-50 % and '+++> 50 %). Dens: average density individuals/1000 m³, Abun. Rel. (%): Relative abundance is expressed as a percentage. Species contributing 75 % to density are in bold.

Taxones / Taxa	Estadio/Tipo / Stage/ Type	Distribución / Distribution	Distribución vertical / Vertical distribution	Frecuencia / Frequency.	Densidad / Density (ind/1000 m ³)	Abundancia relativa / Relative abundance (%)
<i>Haloptilus acutifrons</i>	Adulto / Adult	SA - A	Ms	+	148.8	0.35
<i>Calanus</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms	+	158.2	0.38
Calanoida	Nauplio / Nauplius	SA - A	Ms	+	10.4	0.02
<i>Centropages brachiatus</i>	Adulto / Adult	SA - A	E	+	127.9	0.3
Clausocalanidae	Copepodito / Copepodite	SA - A	Ms	+	527.3	1.25
<i>Drepanopus forcipatus</i>	Adulto / Adult	SA - A	E	+++	2583.4	6.14
Cyclopoida	Nauplio / Nauplius	SA - A	Ms	+	243.2	0.58
<i>Triconia antarctica</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms	+++	3792.5	9.01
Euchaetidae	Copepodito / Copepodite	SA - A	Ms	++	1174.7	2.79
<i>Paraeuchaeta antarctica</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	+++	1831.4	4.35
<i>Paraeuchaeta</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	+	3422.3	8.13
<i>Heterorabdus</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	E, B	++	106.9	0.25
<i>Heterorabdus spinifrons</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, B	+	103.4	0.25
<i>Lucicutia magna</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	++	160.3	0.38
Metridinidae	Copepodito / Copepodite	SA - A	Ms	++	667.2	1.58
<i>Metridia curticauda</i>	Adulto / Adult	SA - A	Ms, Ab	++	543.8	1.29
<i>Metridia gerlachei</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	+++	15450.4	36.69
<i>Pleuromamma robusta</i>	Adulto / Adult	SA - A	Ms, B	++	700.3	1.66
<i>Oithona plumifera</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	+	31.1	0.07
<i>Oithona similis</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	+++	2406.8	5.72
<i>Oithona</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	+	364.8	0.87
<i>Oncaea curvata</i>	Adulto / Adult	SA - A	Ms	+	148.8	0.35
<i>Cornucalanus robustus</i>	Adulto / Adult	SA - A	B	+	56.6	0.13
<i>Rhincalanus gigas</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, B	+	31.1	0.07
<i>Rhincalanus nasutus</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, Ms, B	+++	1157.2	2.75
<i>Sapphirina nigromaculata</i>	Adulto / Adult	A	E	++	126.3	0.3
<i>Scolecithricella minor</i>	Adulto / Adult	SA - A	E, B	++	392.2	0.96
<i>Mimocalanus cultrifer</i>	Adulto / Adult	SA - A	Ms, B	+	18.9	0.04
<i>Spinocalanus abyssalis</i>	Adulto / Adult	SA - A	Ms, B	+++	1761.7	4.18
<i>Stephos</i> sp.	Adulto / Adult	AS	E	++	115.6	0.27
<i>Subeucalanus longiceps</i>	Adulto / Adult	SA - A	E	++	647.9	1.54
<i>Dimophyes arctica</i>	≠ Fases de vida / ≠ Life phases	SA - A	E, Ms	+++	189.3	0.45

Taxones / Taxa	Estadio/Tipo / Stage/ Type	Distribución / Distribution	Distribución vertical / Vertical distribution	Frecuencia / Frequency.	Densidad / Density (ind/1000 m ³)	Abundancia relativa / Relative abundance (%)
<i>Diphyes antarctica</i>	≠ Fases de vida / ≠ Life phases	A	E, Ms	+++	145.7	0.35
<i>Chuniphyes</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	Ms. B	+	9.3	0.02
<i>Pyrostephos vanhoeffeni</i>	Adulto / Adult	A	Ms	++	149.1	0.35
<i>Halitholus</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	E	+	9.3	0.02
<i>Leuckartiara</i> sp.	Adulto / Adult	AS	N	+	9.4	0.02
<i>Calycopsis borchgrevinki</i>	Adulto / Adult	SA - A	E - B	+	9.3	0.02
<i>Mitrocomella</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	N	++	7.9	0.02
<i>Arctapodema</i> sp.	Adulto / Adult	SA - A	B	+++	52.1	0.12
<i>Solmundella bitentaculata</i>	Adulto / Adult	A	E - B	+++	18.3	0.04
					41707.78	100

Las mayores densidades se presentan en la estación 532 con 87398 ind/1000 m³ ± 2104, seguida de la estación 531 con 37149 ind/1000 m³ ± 953,34; mientras que la estación con menores densidades es la 533 con 2811,16 ind/1000 m³ ± 85,92 (Figura 2). Las especies más abundante son *Metridia gerlachei* con un promedio de 15450 ind/1000 m³ ± 5016,2 y *Triconia antarctica* con un promedio de 3793 ind/1000 m³ ± 2365,6 (Tabla 2).

The highest densities occur at station 532 with 87398 ind/1000 m³ ± 2104, followed by station 531 with 37149 ind/1000 m³ ± 953.34; while the station with the lowest densities is 533 with 2811.16 ind/1000 m³ ± 85.92 (Figure 2). The most abundant species is *Metridia gerlachei* with an average of 15450 ind/1000 m³ ± 5016.2 and *Triconia antarctica* with an average of 3793 ind/1000 m³ ± 2365.6 (Table 2).

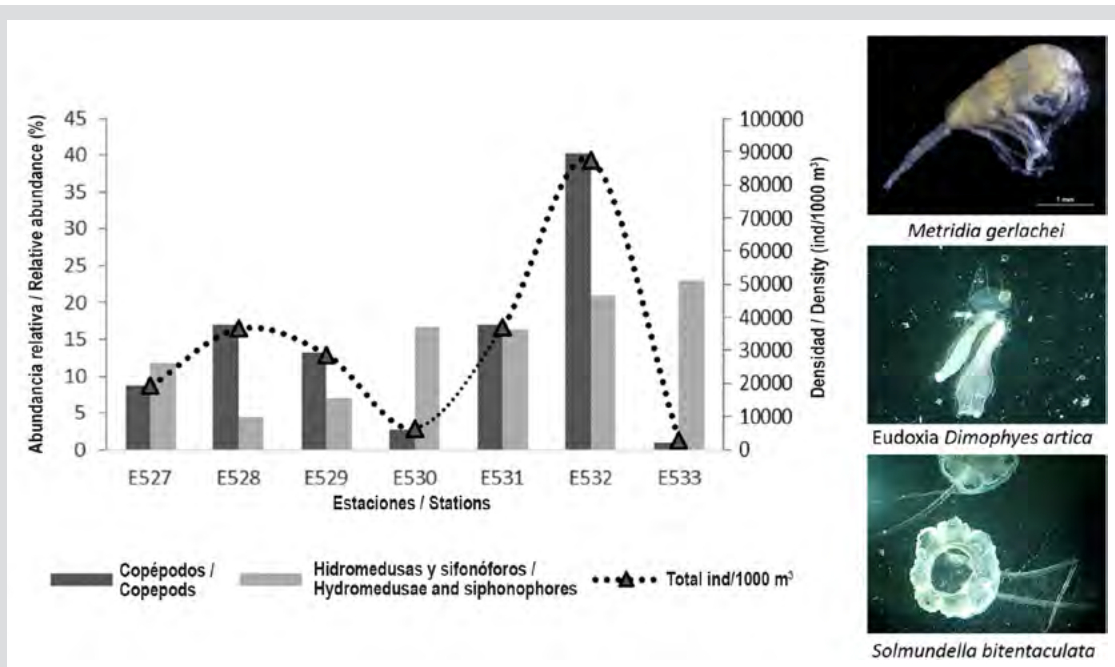


Figura 2. Variación espacial de la densidad en términos de abundancia relativa de copépodos, hidromedusas y sifonóforos encontrados en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2016-2017. Se referencian representantes de cada uno de los grupos taxonómicos estudiados.

Figure 2. Spatial variation of density in terms of relative abundance of copepods, hydromedusae and siphonophores found in the Gerlache Strait during the austral summer 2016-2017. Representatives of each of the taxonomic groups studied are referenced.

Estructura y ensamblaje de especies

Se discriminaron dos asociaciones, definidas por el dendrograma de disimilitud de Bray-Curtis (Figura 3), los porcentajes de disimilitud fueron cercanos a 60 %. Un grupo es caracterizado por las mayores abundancias relativas de copépodos (todo un transecto dentro del estrecho de Gerlache) y el otro grupo (solo dos estaciones E530 y E533) ubicado al noroeste del estrecho (pasaje Croker) caracterizado por tener la abundancia relativa y riqueza más baja de todas las estaciones, pero con una mayor abundancia relativa de sifonóforos e hidromedusas (Figura 2). Estas asociaciones se diferenciaron estadísticamente (ANOSIM) basadas en que el valor-p fue menor de 0,01 y el R-global cercano a 1 (0,873).

Según los resultados del análisis SIMPER, el grupo de dos estaciones ubicado en el pasaje Croker presentó cinco especies que contribuyeron a conformar el grupo y que sumadas equivalen a 92,71 % de similitud, estas especies son: *Metridia gerlachei*, *Triconia antarctica*, *Spinocalanus abyssalis*, *Dimophyes arctica* y *Diphyes antartica*. Para el grupo conformado por las restantes cinco estaciones, con una suma de 91,69 % de similitud, cinco especies contribuyeron a agrupar las estaciones: *M. gerlachei*, *Paraeuchaeta antarctica*, *Oithona similis*, *T. antártica* y *Drepanopus forcipatus*. Por último, con el análisis BIOENV y como

Structure and assembly of species

Two associations were discriminated, defined by the Bray-Curtis dissimilarity dendrogram (Figure 3), the dissimilarity percentages were close to 60 %. One group is characterized by the highest relative abundances of copepods (an entire transect within the Gerlache Strait) and the other group (only two stations E530 and E533) located northwest of the strait (Croker passage) characterized by having the relative abundance and lowest richness of all stations, but with a higher relative abundance of siphonophores and hydromedusae (Figure 2). These associations were statistically differentiated (ANOSIM) based on the fact that the p-value was less than 0.01 and the global R-close to 1 (0.873).

According to the results of the SIMPER analysis, the group of two stations located in the Croker passage presented five species that contributed to making up the group and that added together are equivalent to 92.71 % similarity, these species are *Metridia gerlachei*, *Triconia antarctica*, *Spinocalanus abyssalis*, *Dimophyes arctica* and *Diphyes antartica*. For the group made up of the remaining five stations, with a sum of 91.69 % similarity, five species contributed to group the stations, among them were, *Metridia gerlachei*, *Paraeuchaeta antarctica*, *Oithona similis*, *Triconia Antarctica* and *Drepanopus forcipatus*. Finally,

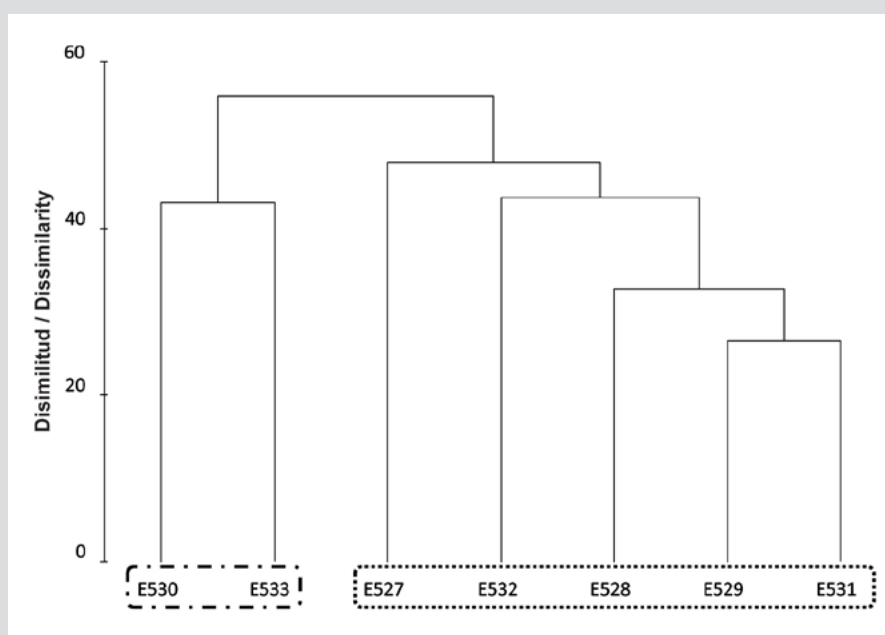


Figura 3. Análisis descriptivo multivariado no paramétrico de clasificación cuantitativa de disimilitud (Cluster) para las muestras que se agruparon en el estrecho de Gerlache durante la expedición del verano austral 2016-2017. Trama (•••••): Asociación 1. Trama (- - - - -): Asociación 2.

Figure 3. Nonparametric multivariate descriptive analysis of quantitative dissimilarity classification (Cluster) for the samples that were grouped in the Gerlache Strait during the 2016-2017 austral summer expedition. Frame (•••••): Association 1. Frame (- - - - -): Association 2.

método estadístico el coeficiente de correlación de rangos de Spearman, se encontró que los factores temperatura y salinidad pueden tener el mayor efecto sobre la estructura y composición de copépodos, hidromedusas y sifonóforos, con una correlación armónica de Spearman (ρ_w) de 0,648.

DISCUSIÓN

Composición de copépodos, hidromedusas y sifonóforos

Las especies de copépodos *Haloptilus acutifrons*, *Centropages brachiatus*, *Heterorabdus spinifrons* y *Oithona plumifera* son nuevos registros para el estrecho de Gerlache en aguas entre 0 y 700 m de profundidad. Las restantes 34 especies de copépodos han sido citadas previamente de manera frecuente en la región Antártica y el estrecho de Gerlache (Zmijewska y Yen, 1993; Razouls *et al.*, 2005-2019; Fuentes *et al.*, 2008; Kouwenberg *et al.*, 2014; Cornils *et al.*, 2018; Giraldo *et al.*, 2019). Existen cerca de 200 especies de copépodos que habitan los ambientes pelágicos de las aguas del Antártico; sin embargo, solo unas pocas especies dominan el ensamblaje pelágico antártico del estrecho de Gerlache entre las que se destacan las pertenecientes a grandes calanoideos como *Metridia gerlachei*, *Paraeuchaeta antarctica* y *Rhincalanus nasutus*, pequeños calanoideos como *Spinocalanus abysallis* y *Drepanopus forcipatus* y ciclopoideos tales como *Oithona similis* y *Triconia antarctica*. Esta estructura ya ha sido descrita por otros autores para ambientes antárticos (Razouls *et al.*, 2000; Schnack-Schiel, 2001; Tarling *et al.*, 2017; Cornils *et al.*, 2018; Giraldo *et al.*, 2019) quienes dicen que estos taxones pueden sumar entre 70 y 95 % del total de la densidad y biomasa de copépodos, siendo su éxito posiblemente atribuido a las diferentes estrategias de vida que regulan con la variabilidad estacional. Tal es el caso de *M. gerlachei* y *P. antarctica*, copépodos omnívoros que se alimentan durante el verano y otoño para después en invierno y primavera reproducirse liberando sus huevos. Mientras que *O. similis*, *D. forcipatus* y *T. antarctica* y los demás copépodos de tallas medias y pequeñas son herbívoros que se alimentan preferiblemente de microfítoplancton y microzooplacton durante todo el año (Nishida, 1985; Schnack-Schiel y Hagen, 1994; Atkinson *et al.*, 1996; Schnack-Schiel, 2001; Giraldo *et al.*, 2019) aprovechando al máximo la variación estacional y la disponibilidad de alimento, para aumentar sus tasas reproductivas y lograr mantener su dominio en aguas antárticas (Atkinson *et al.*, 1996; Alonzo *et al.*, 2000).

with the BIOENV analysis and as a statistical method the Spearman rank correlation coefficient, it was found that temperature and salinity factors can have the greatest effect on the structure and composition of copepods, hydromedusae and siphonophores, with a harmonic correlation Spearman's (ρ_w) of 0.648.

DISCUSSION

Composition of copepods, hydromedusae and siphonophores

The copepod species *Haloptilus acutifrons*, *Centropages brachiatus*, *Heterorabdus spinifrons* and *Oithona plumifera* are new records for the Gerlache Strait in waters between 0 and 700 m depth. The remaining 34 species of copepods have been frequently cited and previously reported in the Antarctic region and the Gerlache Strait (Zmijewska and Yen, 1993; Fuentes *et al.*, 2008; Kouwenberg *et al.*, 2014; Cornils *et al.*, 2018; Razouls *et al.*, 2005-2019; Giraldo *et al.*, 2019). There are about 200 species of copepods that inhabit the pelagic environments of Antarctic waters, however, only a few species dominate the Antarctic pelagic assemblage of the Gerlache Strait, among which species belonging to large Calanoids such as *Metridia gerlachei*, *Paraeuchaeta antarctica* stand out and *Rhincalanus nasutus*, small Calanoids such as *Spinocalanus abysallis* and *Drepanopus forcipatus* and Cyclopoideos such as *Oithona similis* and *Triconia antarctica*, this structure has already been described by other authors for Antarctic environments (Razouls *et al.*, 2000; Schnack-Schiel, 2001; Tarling *et al.*, 2017; Cornils *et al.*, 2018; Giraldo *et al.*, 2019) who report that these taxa can add between 70 % and 95 % of the total density and biomass of copepods, their success being possibly attributed to the different life strategies that regulate with seasonal variability, such as the case of *M. gerlachei* and *P. antarctica* which are omnivorous copepods that feed during the summer and autumn and later in the winter and spring reproduce by releasing their eggs. While *O. similis*, *D. forcipatus* and *Triconia antarctica* and the other copepods of medium and small sizes are herbivores, preferably feeding on micro-plankton and microzooplankton throughout the year (Nishida, 1985; Schnack-Schiel and Hagen, 1994; Atkinson *et al.*, 1996; Schnack-Schiel, 2001; Giraldo *et al.*, 2019) taking full advantage of seasonal variation and food availability, to increase their reproductive rates and maintain their dominance in Antarctic waters (Atkinson *et al.*, 1996; Alonzo *et al.*, 2000).

Al determinar la composición de copépodos se encontraron especies que habitan tanto aguas epipelágicas (ej. *H. ocellatus*, *C. brachiatus*, *D. forcipatus* y *S. longipes*) como meso y batipelágicas (ej. *E. antarcticus*, *P. robusta*, *M. cultifer* y *S. gerlachei*) y otras capaces de vivir a lo largo de toda la columna de agua como es el caso de *M. gerlachei*, *P. antarctica*, *O. similis* y *R. nasutus* (Yang *et al.*, 2016). Para los copépodos oceánicos que habitan aguas antárticas y subantárticas se puede distinguir un patrón homogéneo de distribución, lo que permite a especies epipelágicas y mesopelágicas tener un mayor rango de distribución en la columna de agua; este patrón cambia paulatinamente de latitudes meridionales a latitudes templadas, subtropicales y tropicales debido principalmente a la circulación termohalina y las corrientes que se originan en ambientes boreales (Schnack-Schiel y Mujica, 1994; Atkinson., 1999; Yang *et al.*, 2016).

En relación a las especies de hidromedusas y sifonóforos, aunque algunos artículos aún trabajan a este grupo de animales gelatinosos solo hasta orden (Cabal *et al.*, 2002), las especies aquí descritas son comunes para la península Antártica (mares de Bellingshausen, Scotia y Weddell), siendo los sifonóforos los más frecuentes, como *Pyrostephos vanhoeffeni* considerado como autóctono de la región (Pugh, 1999) y *Dimophyes arctica* y *Diphyes antarctica*, los que presentan las mayores densidades y una distribución un poco más continental hacia la península Antártica (Pagès y Gili, 1989; Pugh, 1999, Fuentes *et al.*, 2008; Mackey *et al.*, 2012; Lindsay *et al.*, 2014; Panasiuk-Chodnicka *et al.*, 2014). Estos dos sifonóforos se recolectaron tanto en forma poligástrica como eudoxia, siendo esta última dominante en todas las estaciones. Las hidromedusas características de la región antártica pertenecen a los órdenes Narcomedusae (*Solmundella bitentaculata*) y Trachymedusae (*Arctapodema* sp.) (Lindsay *et al.*, 2014).

Estructura y ensamblaje de especies

Al igual que lo registrado por Zmijewska y Yen (1993), Calbert *et al.* (2006) y Giraldo *et al.* (2019) para el verano Antártico 2016-2017, se presenta una marcada variabilidad en la densidad de organismos. Las mayores densidades se ubican principalmente en los sectores centro y suroeste del estrecho de Gerlache y las menores densidades reportadas hacia el noroeste, siendo siempre *Metridia gerlachei* la especie dominante en términos de densidad, pero con una estructura del ensamblaje particular, que varía en cada estación, permitiendo encontrar estaciones con alta

When determining the composition of copepods, species inhabiting both epipelagic waters (eg *H. ocellatus*, *C. brachiatus*, *D. forcipatus*, *S. longipes*) and meso and bathypelagic waters (eg *E. antarcticus*, *P. robusta*, *M. cultifer*, *S. gerlachei*) and others capable of living throughout the entire water column, such as *M. gerlachei*, *P. antarctica*, *O. similis* and *R. nasutus* (Yang *et al.*, 2016). For oceanic copepod species that inhabit Antarctic and Subantarctic waters, a homogeneous pattern of distribution can be distinguished, which allows epipelagic and mesopelagic species to have a greater range of distribution in the water column, this pattern gradually changes from southern latitudes to temperate, subtropical and tropical latitudes mainly due to thermohaline circulation and currents that originate in boreal environments (Schnack-Schiel and Mujica 1994; Atkinson., 1999; Yang *et al.*, 2016).

Concerning the species of hydromedusae and siphonophores, although some articles still work on this group of gelatinous animals only up to order (Cabal *et al.*, 2002), the species described here are common for the Antarctic Peninsula (Bellingshausen Sea, Sea of Scotia, Weddell Sea), with siphonophores being the most frequent, such as *Pyrostephos vanhoeffeni*, considered indigenous to the region (Pugh, 1999) and *Dimophyes arctica* and *Diphyes antarctica*, which present the highest densities and a slightly more continental distribution towards the Antarctic Peninsula (Pagès and Gili, 1989; Pugh, 1999, Fuentes *et al.*, 2008; Mackey *et al.*, 2012; Lindsay *et al.*, 2014; Panasiuk-Chodnicka *et al.*, 2014). These two siphonophores were collected in both polygastric and eudoxic forms, the latter being dominant in all stations. The hydromedusae characteristic of the Antarctic region belongs to the orders Narcomedusae (*Solmundella bitentaculata*) and Trachymedusae (*Arctapodema* sp.) (Lindsay *et al.*, 2014).

Structure and assembly of species

As reported by Zmijewska and Yen (1993), Calbert *et al.* (2006) and Giraldo *et al.* (2019), for the Antarctic summer 2016-2017, there is marked variability in the density of organisms, the highest densities are located mainly in the central and southwest sector of the Gerlache Strait and the lowest densities reported towards the northwest sector, always being *Metridia gerlachei* the dominant species in terms of density, but with a particular assembly structure that varies between stations, making it possible to find stations with a high presence of

presencia de sifonóforos e hidromedusas y otras con menor presencia de estas.

Las menores densidades al noroeste de Gerlache (pasaje Croker) en realidad son el reflejo de una alta densidad de gelatinosos y baja de copépodos; esto puede ocurrir posiblemente por las dinámicas locales propias del área como un sistema de corrientes suaves (Zhou *et al.*, 2002; Willmott *et al.*, 2007) o la disponibilidad de alimento. A principios de verano los pequeños incrementos en temperatura fortalecen el crecimiento y desarrollo de los sifonóforos (Panasiuk-Chodnicka *et al.*, 2014), además, al ser carnívoros, cuentan durante el verano con suficiente alimento para llevar a cabo sus procesos reproductivos, lo que se sustenta con la aparición de sus estadios sexuales en el área. La presencia de la fase sexual eudoxia de *Dimophyes arctica* con 264,14 ind/1000 m³ en el pasaje Croker ya ha sido mencionada también con altas densidades por Panasiuk-Chodnicka *et al.* (2014) con 200,82 ind/1000 m³. Este sifonóforo se alimenta casi exclusivamente (66 %) de pequeños copépodos (Purcell, 1981), lo que explicaría la baja densidad de copépodos en la estación 533.

Las mayores diversidad y densidad que se presentan en el sector centro y suroeste del estrecho (estaciones 532 y 531) pueden ser influenciadas por las fuertes corrientes que ingresan a través del canal Schollaert, hacia Gerlache (Zhou *et al.*, 2002; Willmott *et al.*, 2007), originando un mayor intercambio de aguas de menor temperatura y mayor salinidad que van cambiando conforme se mezclan con las aguas internas del estrecho; esto, junto con el deshielo que ocurre en el estrecho durante el verano (Gordon y Nowlin, 1978), produce gradientes de temperatura media del mar y brinda a la columna de agua los recursos necesarios para que el ensamblaje zooplanctónico dentro del estrecho sea dinámico y altamente heterogéneo (Atkinson *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1998; Hernández-León *et al.*, 1999; Cabal, 2002; Marrari *et al.*, 2008; Ducklow *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2014; Giraldo *et al.*, 2019).

Mediante el análisis BIOENV se evidenció el efecto que tienen los cambios en las concentraciones de temperatura y salinidad en la estructura de la comunidad de copépodos, hidromedusas y sifonóforos (Robinson *et al.*, 2010; Wishner *et al.*, 2018). Gran parte de la variabilidad espacial de la estructura del plancton se atribuye a los cambios físicos y químicos de la columna del agua producida por esas variables, por efecto del intercambio de aguas provenientes del mar de Bellingshausen a través de pasos con profundidades inferiores a 400 m como el del estrecho

siphonophores and hydromedusae and others with a lesser presence of these.

The lower densities northwest of the Gerlache Strait (Croker Passage) are a reflection of a high density of the gelatinous and low density of copepods; this may occur due to the local dynamics of the area such as a system of gentle currents (Zhou *et al.*, 2002; Willmott *et al.*, 2007) or the availability of food. In early summer the small increases in temperature strengthen the growth and development of the siphonophores (Panasiuk-Chodnicka *et al.*, 2014), in addition to being carnivores, they have enough food during the summer to carry out their reproductive processes, which is sustained by the presence of their sexual stages in the area. The presence of the eudoxia sexual phase of *Dimophyes arctica* with 264.14 ind/1000 m³, in the Croker passage, has already been reported with high densities by Panasiuk-Chodnicka *et al.*, (2014) with 200.82 ind/1000 m³, this siphonophore feeds almost exclusively (66 %) of small copepods (Purcell, 1981), which would explain the low density of copepods at station 533.

The greater diversity and density that occurs in the central and southwestern sector of the Gerlache Strait (stations 532 and 531) can be influenced by the strong currents that enter through the Schollaert channel, towards the Gerlache Strait (Zhou *et al.*, 2002; Willmott *et al.*, 2007), causing a greater exchange of waters of lower temperature and higher salinity that change as they mix with the internal waters of the Gerlache Strait, this together with the thaw that occurs in the Strait during the summer (Gordon and Nowlin, 1978), produces mean sea temperature gradients and provides the water column with the necessary resources for the zooplankton assembly within the strait to be dynamic and highly heterogeneous (Atkinson *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1998; Hernández-León *et al.*, 1999; Cabal, 2002; Marrari *et al.*, 2008; Ducklow *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2014; Giraldo *et al.*, 2019).

Through the BIOENV analysis, the effect that changes in the concentrations of temperature and salinity have on the structure of the community of copepods, hydromedusae and siphonophores (Robinson *et al.*, 2010; Wishner *et al.*, 2018). Much of the spatial variability of the plankton structure is attributed to the physical and chemical changes in the water column produced by these variables, due to the exchange of water from the Bellingshausen Sea through passages with depths of less than 400 m such as the Bismarck Strait, Dallman Bay and

de Bismarck, la bahía Dallman y el canal Schollaert (García *et al.*, 2002; Willmott *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2014). Otras variaciones son atribuibles a procesos biológicos, comportamentales y tróficos propios de las comunidades que residen en el área (Folt y Burns, 1999).

CONCLUSIONES

Este estudio aporta importante información sobre la biodiversidad de la fauna zooplanctónica del estrecho de Gerlache, incrementando el número de ocurrencias de copépodos, hidromedusas y sifonóforos registradas para la región en el SCAR-MarBIN y además ampliando el rango de distribución para las especies *Haloptilus acutifrons*, *Centropages brachiatus*, *Heterorabdus spinifrons* y *Oithona plumifera*.

En Gerlache se puede observar una sectorización del ensamblaje, uno hacia el noreste caracterizado por tener la abundancia relativa y riqueza más baja, pero con una mayor abundancia relativa de sifonóforos e hidromedusas, esto debido a que los cambios de temperatura y disponibilidad de alimento al inicio del verano antártico, favorecen su reproducción. El otro grupo ubicado a lo largo del estrecho en dirección suroeste se caracteriza por las mayores abundancias relativas de copépodos, los cuales se ven influenciados por el intercambio de agua y nutrientes a través del canal Schollaert permitiendo que el ensamblaje se desarrolle, sea dinámico y altamente heterogéneo.

Los patrones de distribución de copépodos, hidromedusas y sifonóforos para el estrecho requieren investigaciones futuras, para complementar el presente conjunto de resultados, pues es necesario realizar un muestreo de zooplancton generalizado y estandarizado en cada una de las expediciones colombianas a la Antártica y una definición de los estratos de profundidad del muestreo, para analizar la distribución de esta comunidad respecto a los diferentes factores abióticos y bióticos que la regulan. De esta forma, se podrían realizar nuevos análisis sobre la variación interanual del zooplancton durante los veranos australes y pueden arrojar nueva luz sobre patrones de distribución, establecer las relaciones con la oceanografía del área y el papel que el zooplancton tiene en la trofodinámica del estrecho de Gerlache.

the Schollaert Canal (García *et al.*, 2002; Willmott *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2014). Other variations are attributable to biological, behavioral and trophic processes typical of the communities that reside in the area (Folt and Burns, 1999).

CONCLUSIONS

This study provides important information on the biodiversity of the zooplanktonic fauna of the Gerlache Strait, increasing the number of occurrences of copepods, hydromedusae and siphonophores reported for the area in the SCAR-MarBIN and also expanding the range of distribution for the species *Haloptilus acutifrons*, *Centropages brachiatus*, *Heterorabdus spinifrons* and *Oithona plumifera*.

In the Gerlache Strait, a sectorization of the assembly can be observed, one towards the northeast characterized by having the relative abundance and lowest richness, but with a greater relative abundance of siphonophores and hydromedusae, this due to changes in temperature and availability of food at the beginning of the Antarctic summer, favor their reproduction. The other group located along the strait in a southwesterly direction is characterized by the greater relative abundances of copepods, which are influenced by the exchange of water and nutrients through the Schollaert channel, allowing the assembly to develop, be dynamic and highly heterogeneous.

The distribution patterns of copepods, hydromedusae and siphonophores for the Gerlache Strait require future research, to complement the present set of results since it is necessary to carry out a generalized and standardized sampling of zooplankton in each of the Expeditions from Colombia to Antarctica and a definition of the depth strata of the sampling, to analyze the distribution of this community for the different abiotic and biotic factors that regulate it. In this way, new analyzes could be carried out on the interannual variation of zooplankton during the austral summers and could shed new light on distribution patterns, establish relationships with the oceanography of the area and the role that zooplankton plays in the trophodynamics of the Strait of Gerlache.



AGRADECIMIENTOS

Gracias a la tripulación científica y de la Armada durante la III Expedición Colombiana a la Antártica, “Almirante Padilla” y a la Dirección General Marítima de Colombia (DIMAR). A la Comisión Colombiana del Océano (CCO) por su gestión en el Programa Antártico Colombiano. A Manuel Garrido Linares (Invemar) y Andrés Franco Herrera (Universidad Jorge Tadeo Lozano), quienes realizaron los arrastres y fijación de las muestras de plancton. Agradecemos también al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar por el financiamiento y apoyo durante el análisis de las muestras (Invemar Resolución 0092 de 2016. Código BPIN 2014011000405). Agradecemos también al editor y evaluadores que colaboraron en mejorar la calidad del manuscrito. Contribución del Invemar N° 1291.

ACKNOWLEDGEMENT

Thanks to the scientific crew and the Navy during the III Colombian Expedition to Antarctica, “Admiral Padilla” and the General Maritime Directorate of Colombia (DIMAR). To the Colombian Ocean Commission (CCO) for managing it in the Colombian Antarctic Program. To Manuel Garrido Linares, Invemar researcher and Andrés Franco Herrera, professor at the Jorge Tadeo Lozano University, expedition members of the III Expedition who carried out the trawling and fixing of the plankton samples. We also thank the Institute for Marine and Coastal Research - Invemar for the financing and support during the analysis of the samples (Invemar Resolution 0092 of 2016. BPIN Code 2014011000405). We also thank the Editor and evaluators who collaborated in improving the quality of the manuscript. Invemar N ° 1291 contribution.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Alonzo, F., P. Mayzaud and S. Razouls. 2000. Egg production, population structure and biochemical composition of the subantarctic copepod *Paraeuchaeta antarctica* in the Kerguelen Archipelago. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 205: 207-217.
- Atkinson, A. 1999. Life cycle strategies of epipelagic copepods in the Southern Ocean. *J. Mar. Syst.*, 15: 289-311.
- Atkinson, A., R. Shreeve, E. Pakhomov, J. Priddle, S. Blight and P. Ward. 1996. Zooplankton response to a phytoplankton bloom near South Georgia, Antarctica. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 144: 195-210.
- Atkinson, A., P. Ward, B. Hunt, E. Pakhomov and G. Hosie. 2012. An overview of Southern Ocean Zooplankton data: Abundance, biomass, feeding and functional relationships. *CCAMLR Sci.*, 19: 171-218.
- Birkenmajer, K. 1995. Geology of Gerlache Strait, West Antarctica. I. Arctowski Peninsula. *Pol. Polar Res*, 16 (1-2): 47-60
- Birkenmajer, K. 1999. The tectonic structure of Gerlache Strait, West Antarctica. *XXVI Polar Symp. Pol. Polar Stud.*, 45-50.
- Bjorberg, T. 1981. Copepoda: 586-679. En: Boltovskoy, D. (Ed.). *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. Publ. Espec. INIDEP, Mar del Plata, Argentina. 929 p.
- Boxshall, G. and S. Halsey. 2004. *An introduction to copepod diversity*. The Ray Society. London. Vols. I and II. 966 p.
- Bradford-Grieve, J., E. Markhaseva., C. Rocha and B. Abiahy. 1999. Copepoda: 869-1098. En: Boltovskoy, D. (Ed.). *South Atlantic zooplankton*. Backhuys. 1496 p.
- Cabal, J., A. Álvarez-Marqués, M. Quevedo, R. González-Quirós, I. Huskin, D. Fernández, D. Rodríguez del Valle and R. Anadón. 2002. Mesozooplankton distribution and grazing during the productive season in the Northwest Antarctic Peninsula (FRUELA cruises). *Deep-Sea. Res. PT. II.*, 49 (4-5): 869-882.
- Clarke, A. 2008. Antarctic marine benthic diversity: patterns and processes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 366: 48-55.
- Clarke, K. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 205-219.
- Clarke, K. and R. Gorley. 2001. *Primer v5: user manual/tutorial*. PRIMER-E, Plymouth, UK. 91 p.

- Clarke, K. y R. Warwick. 2001. Change marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. 2nd Ed. PRIMER-E Ltd. Plymouth Marine Laboratory, UK. 165 p.
- Corlins, A., R. Sieger, E. Mizdalski, S. Schumacher, H. Grove and S. Schnack-Schiel. 2018. Copepod species abundance from the Southern Ocean and other regions (1980–2005) – a legacy. *Earth Syst. Sci. Data*, 10: 1457-1471.
- Dragani, W., M. Drabble, E. D'Onofrio and C. Mazio. 2004. Propagation and amplification of tide at Bransfield and Gerlache straits, northwestern Antarctic Peninsula. An observational study. *Polar Geosci.*, 17: 156-170.
- Ducklow, H., A. Clarke, R. Dickhut, S. Doney, K. Geisz, H. Huang, D. Martinson, O. Schofield, S. Stammerjohn, S. Steinberg and W. Fraser. 2012. The marine system of the Western Antarctic Peninsula: 121-159. In: Rogers, A.D., N. M. Johnston, E. J. Murphy and A. Clarke (Eds.) *Antarctic Ecosystems: An Extreme Environment in a Changing World*. Wiley-Blackwell, United States. 564 p.
- Flores, H., B. Hunt, S. Kruse, E. Pakhomov, V. Siegel, J. Van Franer, V. Strass, A. Van de Putte, E. Meesters and U. Bathmann. 2014. Seasonal changes in the vertical distribution and community structure of Antarctic macrozooplankton and micronekton. *Deep-Sea. Res. PT. I.*, 84: 127-141.
- Folt, C. and C. Burns. 1999. Biological drivers of zooplankton patchiness. *Trends Ecol.*, 14(8): 300-305.
- Fuentes, V., S. Schnack-Schiel, I. Schloss and G. Esnal. 2008. Mesozooplankton of Potter Cove: Community composition and seasonal distribution in 2002 and 2003. *Rep. Pol. Mar. Res.*, 571: 75-84.
- García, M., C. Castro, A. Ríos, M. Doval, G. Roson, D. Gomis, D. and O. Lopez. 2002. Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. *Deep-Sea. Res. PT. II.*, 49: 585-602.
- Gaviria, S. y N. Aranguren. 2003. Guía de laboratorio para identificación de cladóceros (Anopoda y Ctenopoda) y copépodos (Calanoida y Cyclopoida). *Univ. Pedagóg. Tecnol. Col. Esc. Biol. Tunja, Colombia*. 22 p.
- Giraldo, A., M.I. Criales-Hernández, M. Jerez-Guerrero y D. Mojica-Moncada. 2019. Biomasa del mesozooplancton y ensamblaje de copépodos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (Antártica) durante el verano austral de 2015. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 48(1): 9-26.
- Gordon, A. and W. Nowlin. 1978. The basin waters of Bransfield Strait. *J. Phys. Oceanogr.*, 7: 788–802.
- Griffiths, H. J. 2010. Antarctic marine biodiversity – what do we know about the distribution of life in the Southern Ocean? *PLoS ONE*, 5(8): e11683.
- Griffiths, H. J., B. Danis and A. Clarke. 2011. Quantifying Antarctic marine biodiversity: The SCAR–MarBIN data portal. *Deep-Sea. Res. PT. II*, 58(1–2): 18-29.
- Hernández-León, S., S. Torres, I. Gómez, M. Montero and C. Almeida. 1999. Biomass and metabolism of zooplankton in the Bransfield Strait (Antarctic Peninsula) during austral spring. *Polar. Biol.*, 21: 214-219.
- Hernández-León, S., C. Almedia, A. Portillo-Hahnefeld, M. Gómez and I. Montero. 2000. Biomass and potential feeding, respiration and growth of zooplankton in the Bransfield Strait (Antarctic Peninsula) during austral summer. *Polar Biol.*, 23: 679-90.
- Hernández-León, S., A. Portillo-Hahnefeld, C. Almeida, P. Bécognée and I. Moreno. 2001. Diel feeding behavior of krill in the Gerlache Strait, Antarctica. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 223: 235-242.
- Hopkins, T. 1985. The zooplankton community of Croker Passage, Antarctic Peninsula. *Polar. Biol.*, 4, 161-170.
- Kouwenberg, J., C. Razouls and N. Desreumaux. 2014. Southern Ocean pelagic copepods: 290-296. In: De Broyer C., P. Koubbi, H. J. Griffiths, B. Raymond, C. d Udekem-d' Acoz, A. P. Van de Putte, B. Danis, B. David, S. Grant, J. Gutt, C. Held, G. Hosie, F. Huettmann, A. Post and Y. Ropert-Coudert (Eds.) *Biogeographic atlas of the Southern Ocean*. *Scient. Com. Antarct. Res.*, Cambridge. 498 p.
- Licandro, P., C. Carré and D. Lindsay. 2017. Cnidaria: colonial Hydrozoa (Siphonophorae): 232-249. In: Castellani, C. and M. Edwards. (Ed.). *Marine plankton - a practical guide to ecology, methodology and taxonomy*, Oxford. 678 p.
- Lindsay, D., E. Guerrero, M. Grossmann and V. Fuentes. 2014. Chapter 6.3. Cnidaria and Ctenophora: gelatinous zooplankton: 266-275. In: De Broyer, C., P. Koubbi, H. J. Griffiths, B. Raymond, C. d Udekem-d' Acoz, A. P. Van de Putte, B. Danis, B. David, S. Grant, J. Gutt, C. Held, G. Hosie, F. Huettmann, A. Post and Y. Ropert-Coudert (Eds.) *Biogeographic atlas of the Southern Ocean*. *Scient. Com. Antarct. Res.*, Cambridge. 498 p.



- Ludwig, J. and J. Reynolds. 1988. Statistical ecology. A primer on methods and computing. Wiley, New York. 338 p.
- Mackey, A., A. Atkinson, S. Hill, P. Ward, N. Cunningham, N. Johnston and E. Murphy. 2012. Antarctic macrozooplankton of the southwest Atlantic sector and Bellingshausen Sea: Baseline historical distributions (Discovery Investigations, 1928–1935) related to temperature and food, with projections for subsequent ocean warming. *Deep-Sea. Res. PT. II.*, 59-60: 130-146.
- Marrari, M., K. Daly and C. Hu. 2008. Spatial and temporal variability of SeaWiFS chlorophyll a distributions west of the Antarctic Peninsula: Implications for krill production. *Deep-Sea Res. Part II.*, 55 (3-4): 377-392.
- Nishida, S. 1985. Taxonomy and distribution of the family Oithonidae (Copepoda, Cyclopoida) in the Pacific and Indian Ocean. *Bull. Ocean Res. Inst.*, 20: 1-167.
- Pagès, F. and J. Gili. 1989. Siphonophores (Cnidaria, Hydrozoa) collected during the “Magga Dan” Expedition (1966–67) from Africa to Antarctica. *Sci. Mar.*, 53(1): 53-57.
- Panasiuk-Chodnicka, A., M. Żmijewska and M. Mańko. 2014. Vertical migration of Siphonophora (Cnidaria) and their productivity in the Croker Passage, the Antarctic. *Pol. Polar Res.*, 35: 115-131.
- Pugh, P. 1999. Siphonophorae: 467–511. En: Boltovskoy, D. (Ed.). South Atlantic zooplankton. Backhuys. 1496 p.
- Purcell, J. 1981. Dietary composition and diel feeding patterns of epipelagic siphonophores. *Mar. Biol.*, 65: 83-90.
- Razouls, S., C. Razouls and F. De Bovée. 2000. Biodiversity and biogeography of Antarctic copepods. *Antarct. Sci.*, 12(3): 343-362.
- Razouls, C., F. de Bovée, J. Kouwenberg and N. Desreumaux. 2005-2020. Diversité et répartition géographique chez les copépodes planctoniques marins. Sorbonne Univ., CNRS. <http://copepodes.obs-banyuls.fr>
- Robinson, C., D. Steinberg, T. Anderson, J. Aristegui, C. Carlson, J. Frost, J. Ghiglione, S. Hernández-León, G. Jackson, K. Koppelman, B. Quéguiner, O. Ragueneau, F. Rassoulzadegan, B. Robinson, C. Tamburini, T. Tanaka, K. Wishner and J. Zhang. 2010. Mesopelagic zone ecology and biogeochemistry – a synthesis. *Deep-Sea. Res. PT. II.*, 57: 1504-1518.
- Rodríguez, F., M. Varela and M. Zapata. 2002a. Phytoplankton assemblages in the Gerlache and Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) determined by light microscopy and CHEMTAX analysis of HPLC pigment data. *Deep-Sea. Res. PT. II.*, 49: 723-747.
- Rodríguez, F., J. Jiménez-Gómez, M. Blanco and F. Figueroa. 2002b. Physical gradients and spatial variability of the size structure and composition of phytoplankton in the Gerlache Strait (Antarctica). *Deep-Sea. Res. PT. II.*, 49:693-706.
- Schnack-Schiel, S. 2001. Aspects of the study of the life cycles of Antarctic copepods. *Hydrobiologia*, 453/454: 9-24.
- Schnack-Schiel, S. and W. Hagen. 1994. Life cycle strategies and seasonal variations in distribution and population structure of four dominant copepod species in the eastern Weddell Sea, Antarctica. *J. Plankton Res.*, 16: 1543-1566.
- Schnack-Schiel, S. B. and A. Mujica. 1994. The zooplankton of the Antarctic Peninsula Region: 79-92. In: El-Sayed, S.Z. (Ed.) Southern Ocean ecology: the BIOMASS perspective. Cambridge Univ. 399 p.
- Shreeve, R., G. Tarling, A. Atkinson, P. Ward, C. Goss and J. Watkins. 2005. Relative production of *Calanoides acutus* (Copepoda: Calanoida) and *Euphausia superba* (Antarctic krill) at South Georgia, and its implications at wider scales. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 298: 229-239.
- Smith, R., K. Baker and W. Vernet. 1998. Seasonal and interannual variability of phytoplankton biomass west of the Antarctic Peninsula. *J. Mar. Sys.*, 17 (1-4): 229-243.
- Tarling, G., P. Ward and S. Thorpe. 2017. Spatial distributions of Southern Ocean mesozooplankton communities have been resilient to long-term surface warming. *Glob. Change Biol.*, 24.
- Totton, A. 1965. A synopsis of the Siphonophora. British Mus. (Nat. Hist.), London. 230 p.
- Willmott, V., E. Domack, L. Padman and M. Canals. 2007. Glaciomarine sediment drifts from Gerlache Strait, Antarctic Peninsula: 67-84. In: Hambry, M., P. Christoffersen, N.F. Glasser and B. Hubbard (Eds.) Glacial sedimentary processes and products. IAS Special Publication. Blackwells, New York.

- Wishner, K., B. Selbel, C. Roman, C. Deutsch, D. Outram, C. Shaw, M. Birk, K. Mislán, T. Adams and S. Riley. 2018. Ocean deoxygenation and zooplankton: Very small oxygen differences matter. *Sci. Adv.*, 4: 1-8.
- Yang, G., C. Li, Y. Wang, and Y. Zhang. 2016. Vertical profiles of zooplankton community structure in Prydz Bay, Antarctica, during the austral summer of 2012/2013. *Polar. Biol.*, 40: 1101-1114.
- Zhou, M., P. Niiler and J. Hu. 2002. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep-Sea. Res. PT. I.*, 49: 267-280.
- Zmijewska, M. and J. Yen. 1993. Seasonal and diel changes in the abundance and vertical distribution of the Antarctic copepod species *Calanoides acutus*, *Calanus propinquus*, *Rhincalanus gigas*, *Metridia gerlachei* and *Euchaeta antarctica* (Calanoida) in Croker Passage (Antarctic Peninsula). *Oceanologia*, 35: 101-127.

RECIBIDO/RECEIVED: 21/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 26/11/2020



Moluscos bentónicos recolectados en la Antártida occidental durante las expediciones "Caldas", "Almirante Padilla" y "Almirante Campos" en los veranos australes de 2014-2015, 2016-2017 y 2018-2019

Benthic molluscs collected in Western Antarctica during the "Caldas", "Admiral Padilla" and "Admiral Campos" expeditions, southern summers 2014-2015, 2016-2017 and 2018-2019

Adriana Osorno-Arango¹* y Jaime Cantera-Kintz²

0000-0003-0216-3375

0000-0002-4010-298X

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés-Invemar, Programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos- BEM. Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. adriana.osorno@invemar.org.co

2. Universidad del Valle, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Instituto de Ciencias del Mar, INCIMAR. Ciudad Universitaria Meléndez, Calle 13 No. 100-00, Cali, Colombia. jaimе.cantera@correounivalle.edu.co

* Autor de correspondencia.

RESUMEN

La presente investigación hace parte de los resultados de las tres primeras expediciones de Colombia a la Antártida occidental y se enfocó en la sistemática y diversidad taxonómica de la comunidad bentónica de moluscos recolectados entre 5 y 400 m de profundidad. Las estaciones de muestreo se ubicaron en los estrechos de Gerlache y Bransfield, alrededor del archipiélago Palmer y las islas Shetland del Sur, adyacentes a la península Antártica. Se presenta el listado de especies identificadas que se encuentran depositadas en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia -Makuriwa, del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés -Invemar. Este inventario constó de 15 ejemplares distribuidos en 10 taxa, de los cuales 7 fueron gasterópodos con concha (incluidos 5 microgasterópodos) y 3 fueron bivalvos. Cuatro microgasterópodos fueron ubicados en categorías taxonómicas superiores a especie debido al bajo conocimiento de estos taxa en la región (*Anatoma* sp., *Cingulopsoida* sp., *Truncatelloidea* sp. y *Eatoniella* sp.). Los demás gasterópodos (3) correspondieron a *Margarella antarctica*, *Prosipho turritus* y *Nacella concinna*. Los bivalvos encontrados fueron *Philobrya sublaevis*, *Adacnarca nitens* y *Thracia meridionalis*. Las especies identificadas se han registrado previamente en la Antártida occidental. Algunas, como los bivalvos, presentan una distribución circumpolar. *Nacella concinna* fue el taxón más abundante. En coherencia con el objetivo general del proyecto "BioGerlache-Antártica", los resultados generan aportes a los inventarios biológicos de la Antártida, contribuyendo a ampliar la información para definir a futuro posibles áreas de conservación.

PALABRAS CLAVE: Mollusca, Antártida occidental, Estrecho de Gerlache, Estrecho de Bransfield, Océano Austral.

ABSTRACT

This research is part of the results of the three first expeditions of Colombia to West Antarctica and it focused on the systematics and taxonomic diversity of the benthic community of molluscs collected between 5 and 400 m deep. The Sampling sites where mollusks were collected were located along the Gerlache and Bransfield straits, around the Palmer Archipelago and the South Shetland Islands, adjacent to the Antarctic Peninsula. The list of identified species that are deposited in the Museum of Marine Natural History of Colombia - Makuriwa, of the Institute of Marine and Coastal Research "José Benito Vives de Andrés" -Invemar, is presented. This inventory consisted of 15 specimens distributed in 10 taxa, of which 7 were shelled gastropods (including 5 microgastropods) and 3 were bivalves. Four microgastropods were placed in greater taxonomic categories due to the low knowledge of these taxa in the region (*Anatoma* sp., *Cingulopsoida* sp., *Truncatelloidea* sp. and *Eatoniella* sp.). The other gastropod species (3) were *Margarella antarctica*, *Prosipho turritus* and *Nacella concinna*. The bivalves found were *Philobrya sublaevis*, *Adacnarca nitens* and *Thracia meridionalis*. The identified species have previously been recorded in West Antarctica. Some of them, like the bivalves, show a circumpolar distribution. *Nacella concinna* was the most abundant taxon. In coherence with the general objective of the "BioGerlache-Antarctica" project, the results generate contributions to the biological inventories of Antarctica, contributing to expand the information to define possible conservation areas in the future.

KEYWORDS: Mollusca, West Antarctica, Gerlache Strait, Bransfield Strait, Southern Ocean.

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.SuplEsp.967>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

INTRODUCCIÓN

El proceso de radiación adaptativa de los moluscos ha sido extenso. La evolución divergente de este phylum, como producto de procesos de selección natural y mutaciones adquiridas a lo largo de una historia geológica que data desde el precámbrico, hace 550 millones de años, ha llevado a los moluscos a colonizar exitosamente nichos ecológicos desde los trópicos hasta los mares polares (Parkhaev, 2008, 2017; Haszprunar y Wanninger, 2012; Castillo-Rodríguez, 2014; Vinther, 2014, 2015; MolluscaBase, 2019; Wanninger y Wollesen, 2019). La presente investigación, producto de las primeras expediciones de Colombia a la Antártida, ha trascendido las fronteras de los mares tropicales del Pacífico y Caribe colombiano para ampliar la capacidad científica del país hasta los mares del océano Austral.

Colombia se adhirió al Tratado Antártico en 1989 y posteriormente, en 1991 firmó el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, también conocido como Protocolo de Madrid (Secretariat of the Antarctic Treaty, 2018). Frente a dicho compromiso se creó el “Programa Antártico Colombiano” que dio origen a la primera expedición científica de Colombia a la Antártida, denominada “Expedición Caldas” durante el verano austral 2014-2015 a bordo del buque “ARC 20 de Julio”. En dicha expedición participó el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis”-Invemar, mediante un proyecto concebido inicialmente con un enfoque oceanográfico y climático. En 2015 Invemar continuó implementando la agenda científica antártica de Colombia con tres frentes de trabajo enfocados hacia cambio climático, conservación y biodiversidad. De esta forma, el instituto también participó en las expediciones “Almirante Padilla” (verano austral 2016-2017) y “Almirante Campos” (2018-2019). Las dos últimas expediciones mencionadas estuvieron enmarcadas dentro del proyecto Biodiversidad y Condiciones Oceanográficas del Estrecho de Gerlache “BioGerlache-Antártica”, cuyo objetivo es la caracterización de la fauna antártica del estrecho y sitios aledaños, con el fin de crear una línea base de conocimiento biológico del área, que genere nuevos aportes a los inventarios biológicos de la Antártida y contribuya a ampliar la información para definir posibles áreas de conservación en la región. La presente investigación es uno de los productos de las expediciones mencionadas anteriormente y aporta información al objetivo general del proyecto “BioGerlache-Antártica” con un enfoque en la diversidad de la comunidad bentónica de moluscos recolectados entre 5 y 400 m de profundidad.

INTRODUCTION

The adaptive radiation process of molluscs has been extensive. The divergent evolution of this phylum, as a product of processes of natural selection and mutations acquired throughout a geological history dating back to the Precambrian, 550 million years ago, has led molluscs to successfully colonize ecological niches from the tropics to polar seas (Parkhaev, 2008; Haszprunar and Wanninger, 2012; Castillo-Rodríguez, 2014; Vinther, 2014, 2015; Parkhaev, 2017; MolluscaBase, 2019; Wanninger and Wollesen, 2019). This research, product of Colombia's first expeditions to Antarctica, has transcended the borders of the tropical seas of the Pacific and Colombian Caribbean to expand the country's scientific capacity to the seas of the Southern Ocean.

Colombia acceded to the Antarctic Treaty in 1989 and later, in 1991 signed the Protocol on Environmental Protection to the Antarctic Treaty (Secretariat of the Antarctic Treaty, 2018). Faced with this commitment, the “Colombian Antarctic Program” was created, which gave rise to the first Colombian scientific expedition to Antarctica, called “Caldas Expedition” during the austral summer 2014-2015 aboard the ship “ARC 20 de Julio”. The Institute of Marine and Coastal Research “José Benito Vives de Andreis” -Invemar participated in this expedition through a project initially conceived with an oceanographic and climatic approach. In 2015 Invemar continued to implement Colombia's Antarctic scientific agenda with three work fronts focused on climate change, conservation, and biodiversity. In this way, the institute also participated in the expeditions “Admiral Padilla” (austral summer 2016-2017) and “Admiral Campos” (2018-2019). The last two expeditions mentioned were framed within the project Biodiversity and Oceanographic Conditions of the Gerlache Strait “BioGerlache-Antarctica”, whose objective is the characterization of the Antarctic fauna of the strait and surrounding sites, to create a baseline of biological knowledge of the area, which generates new contributions to the biological inventories of Antarctica and contributes to expanding the information in defining possible conservation areas in the region. This research is one of the products of the expeditions mentioned above and contributes information to the general objective of the project “BioGerlache-Antarctica” with a focus on the diversity of the benthic community of molluscs collected between 5 and 400 m depth.

A nivel histórico, como resultado de diferentes expediciones llevadas a cabo desde finales del siglo XIX por parte de países pioneros en la exploración del continente antártico, se comenzaron a publicar trabajos relacionados con el área de estudio y la malacofauna local (Smith, 1885; Watson, 1886; Pelseneer, 1903; Lamy, 1906; Strebel, 1908; Powell, 1951; Soot-Ryen, 1951; Dell, 1964; Hain, 1990). Otros trabajos más recientes tienen un enfoque más biogeográfico (Linse *et al.*, 2006; Aldea y Troncoso, 2008; Aldea *et al.*, 2009; González-Wevar *et al.*, 2017) o taxonómico, basado en revisiones de grupos específicos de moluscos que incluyen filogenia molecular (Oliver y Picken, 1984; Criscione y Ponder, 2013; Urcola y Zelaya, 2017; González-Wevar *et al.*, 2018). De esta forma, se presenta un listado de los taxa de moluscos identificados en el área de estudio (gasterópodos con concha y bivalvos); su sistemática, distribución y algunos caracteres.

ÁREA DE ESTUDIO

Las estaciones de muestreo en donde fueron recolectados los moluscos se ubicaron alrededor de las islas del archipiélago Palmer y de las islas Shetland del Sur, en los estrechos de Gerlache y Bransfield respectivamente, adyacentes a la costa noroeste de la península Antártica (océano Austral, Antártida occidental) (Figura 1). El ambiente físico en la plataforma de la península Antártica occidental está fuertemente influenciado por la Corriente Circumpolar Antártica que fluye a lo largo de la ladera de la plataforma del continente antártico y transporta agua relativamente más cálida y rica en nutrientes que las aguas circundantes; también por las aguas frías que inundan el norte del estrecho de Bransfield desde el mar de Weddell y por una extensa red de glaciares y plataformas de hielo; además, por una fuerte variabilidad estacional a interanual en la formación de hielo marino y en las interacciones aire-mar, con modulación significativa de fenómenos climáticos como ‘El Niño-Oscilación del Sur’ y el ‘Modo Anular del Sur’ u oscilación Antártica (Moffat y Meredith, 2018).

El estrecho de Bransfield es un mar semicerrado ubicado entre el archipiélago de las islas Shetland del Sur y la costa de la península Antártica. La extensión del estrecho es de aproximadamente 50000 km² y se puede dividir en tres cuencas principales, separadas entre sí por profundidades mínimas del suelo submarino menores de 1000 m. La cuenca occidental del estrecho de Bransfield está conectada con el mar vecino de Bellingshausen a través

At a historical level, as a result of different expeditions carried out since the end of the 19th century by pioneering countries in the exploration of the Antarctic continent, works related to the study area and the local malacofauna began to be published (Smith, 1885; Watson, 1886; Pelseneer, 1903; Lamy, 1906; Strebel, 1908; Soot-Ryen, 1951; Powell, 1951; Dell, 1964; Hain, 1990). Other more recent works have a more biogeographic approach (Linse *et al.*, 2006; Aldea and Troncoso, 2008; Aldea *et al.*, 2009; González-Wevar *et al.*, 2017) or taxonomic, based on reviews of specific groups of molluscs that include molecular phylogeny (Oliver and Picken, 1984; Criscione and Ponder, 2013; Urcola and Zelaya, 2017; González-Wevar *et al.*, 2018). In this way, a list of the mollusc taxa identified in the study area (shelled gastropods and bivalves) is presented; its systematics, distribution, and some characters.

STUDY AREA

The sampling stations where the molluscs were collected were located around the islands of the Palmer Archipelago and the South Shetland Islands, in the Gerlache and Bransfield Straits respectively, adjacent to the northwest coast of the Antarctic Peninsula (Southern Ocean, Western Antarctica) (Figure 1). The physical environment on the Western Antarctic Peninsula shelf is strongly influenced by the Antarctic Circumpolar Current that flows along the slope of the Antarctic continental shelf and carries relatively warmer nutrient-rich water than the surrounding water; also by the cold waters that flood the north of the Bransfield Strait from the Weddell Sea and by an extensive network of glaciers and ice shelves; also, due to strong seasonal to interannual variability in the formation of sea ice and air-sea interactions, with significant modulation of climatic phenomena such as ‘El Niño-Southern Oscillation’ and the ‘Southern Annular Mode’ or Antarctic oscillation (Moffat and Meredith, 2018).

The Bransfield Strait is a semi-enclosed sea located between the South Shetland Islands archipelago and the coast of the Antarctic Peninsula. The length of the strait is approximately 50,000 km² and can be divided into three main basins, separated from each other by minimum depths of the submarine floor of less than 1000 m. The western basin of the Bransfield Strait is connected to the neighboring Bellingshausen Sea through passages that

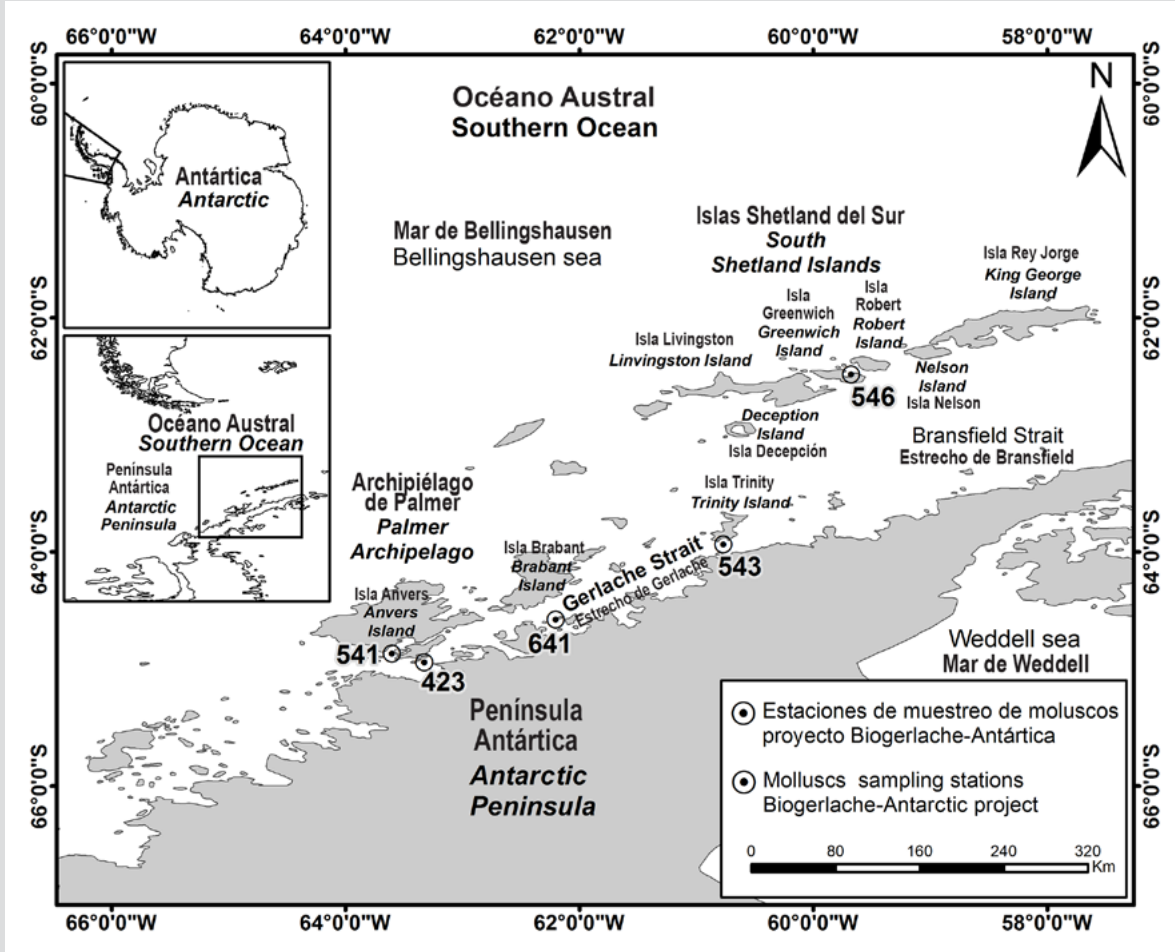


Figura 1. Área de estudio y estaciones de colecta de moluscos. Elaborado en el Laboratorio de Servicios de Información – Labsis - Invemar.

Figure 1. Study area and mollusc collection stations. Prepared in the Information Services Laboratory - Labsis - Invemar.

de pasajes que existen entre las islas Shetland del Sur más occidentales y a través del estrecho de Gerlache; y está también conectada al pasaje de Drake a través del estrecho de Boyd principalmente (García *et al.*, 2002). Desde el punto de vista hidrográfico, el estrecho de Bransfield se define mejor como una zona de transición entre el mar de Bellingshausen y el mar de Weddell. Las cuencas de este estrecho están ocupadas principalmente por masas de agua cuyas propiedades son controladas por las características de los flujos de los mares adyacentes, un flujo cálido y relativamente bajo en salinidad del mar de Bellingshausen (típicamente 0,5-3,0 °C y 33,1-33,9 en verano), y un flujo relativamente salado de la superficie del mar de Weddell y aguas profundas (generalmente con temperaturas negativas y salinidad que varía de 34,1 a 34,6 en verano) (García *et al.*, 2002).

El estrecho de Gerlache se encuentra entre la costa occidental de la península Antártica y el archipiélago

exist between the westernmost South Shetland Islands and through the Gerlache Strait; and it is also connected to the Drake passage through the Boyd Strait mainly (García *et al.*, 2002). From a hydrographic point of view, the Bransfield Strait is best defined as a transition zone between the Bellingshausen Sea and the Weddell Sea. The basins of this strait are occupied mainly by water masses whose properties are controlled by the characteristics of the flows of the adjacent seas, a warm flow, and relatively low salinity of the Bellingshausen Sea (typically 0.5-3.0 °C and 33.1-33.9 in summer), and a relatively salty flow from the surface of the Weddell Sea and deep waters (generally with negative temperatures and salinity ranging from 34.1 to 34.6 in summer) (García *et al.*, 2002).

The Gerlache Strait is located between the western coast of the Antarctic Peninsula and the Palmer Archipelago. Water flows from the Bellingshausen Sea into the Gerlache Strait through multiple pathways,

Palmer. El agua fluye desde el mar de Bellingshausen hacia el estrecho de Gerlache a través de múltiples vías, pasando sobre umbrales cuyas profundidades son inferiores a 400 m, lo cual impone una restricción importante al agua profunda circumpolar. La mayor parte de esta capa de agua profunda circumpolar se pierde y es reemplazada por aguas zonales transitorias con influencia del mar de Weddell. En la superficie, se observa una transición más nítida de agua superficial antártica a aguas zonales transitorias con influencia del mar de Bellingshausen. Este último tipo de agua mencionada en el estrecho de Gerlache es más fría y más dulce que en el estrecho de Bransfield. De vuelta a las capas profundas, se observa una temperatura máxima aislada ($\theta > 0,2$ °C) cerca del extremo oriental del estrecho de Gerlache a profundidades del orden de 200 m (García *et al.*, 2002). Los patrones de circulación en los estrechos de Bransfield y Gerlache cambian estacionalmente (Zhou *et al.*, 2002). Las aguas poco profundas y las bahías del sudoeste de los estrechos de Bransfield y Gerlache son áreas muy productivas para la diversidad de biota en muchos niveles tróficos (Huntley *et al.*, 1990; Brinton, 1991; Zhou *et al.*, 1994).

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de moluscos bentónicos (macro y meiofauna) en el área de estudio se llevó a cabo durante tres veranos australes (2014-2015, 2016-2017 y 2018-2019) en tres expediciones científicas a la Antártida a bordo del buque ARC 20 de Julio de la Armada de la República de Colombia. En cada estación la toma de muestras se hizo mediante lanzamientos de una draga Shipek de 3 L (0,04 m³) (Tabla 1). A partir de la caída libre de la draga, la cual se cierra mecánicamente al contacto con el fondo, se tomaron aproximadamente 500 g de sedimento marino para el cual se separó la epifauna. Dichas submuestras (500 g) se tomaron ya que el resto del material proveniente de la draga se destinó para el desarrollo de otros proyectos de investigación en el marco de la Agenda Científica Antártica de Colombia (CCO y CTN AA, 2014).

passing over thresholds whose depths are less than 400 m, which imposes a significant restriction on circumpolar deep water. Most of this circumpolar deep water layer is lost and is replaced by transient zone waters influenced by the Weddell Sea. At the surface, a sharper transition is observed from Antarctic surface water to transient zonal waters influenced by the Bellingshausen Sea. This last type of water mentioned in the Gerlache Strait is colder and sweeter than in the Bransfield Strait. Returning to the deep layers, an isolated maximum temperature ($\theta > 0.2$ °C) is observed near the eastern end of the Gerlache Strait at depths of the order of 200 m (García *et al.*, 2002). Circulation patterns in the Bransfield and Gerlache Straits change seasonally (Zhou *et al.*, 2002). The shallow waters and southwestern bays of the Bransfield and Gerlache Straits are highly productive areas for biota diversity at many trophic levels (Huntley *et al.*, 1990; Brinton, 1991; Zhou *et al.*, 1994).

MATERIALS AND METHODS

The collection of benthic molluscs (macro and meiofauna) in the study area was carried out during three southern summers (years 2014-2015, 2016-2017, and 2018-2019) in three scientific expeditions to Antarctica aboard the ship ARC 20 de Julio of the Republic of Colombia. Sampling was done at each station by launching a 3 L (0.04 m³) Shipek grab (Table 1). From the free fall of the grab, which closes mechanically in contact with the bottom, approximately 500 g of marine sediment was taken for which the epifauna was separated. The subsamples (500 g) were taken since the rest of the material from the grab was used for the development of other research projects within the framework of the Scientific Agenda of the Colombian Antarctic Program (CCO and CTN AA, 2014).

Tabla 1. Estaciones de muestreo de moluscos, nombre de las expediciones científicas de Colombia a la Antártida, fechas de colecta y coordenadas.

Estación / Station MHNMC	Expedición / Expedition	Fecha Colecta / Collection Date	Latitud / Latitude	Longitud / Longitude
423	I Exp. Caldas 2014/2015	22/01/2015	-64°56'36.87"S	63°19'27.08"W
541	III Exp. Almirante Padilla 2016/2017	15/01/2017	-64°52'14.3"S	-63°36'05.8"W
543	III Exp. Almirante Padilla 2016/2017	17/01/2017	-63°56'8.9"S	-60°46'6.0"W
546	III Exp. Almirante Padilla 2016/2017	27/01/2017	-62°29'06.3"S	-59°40'41.1"W
641	V Exp. Almirante Campos 2018/2019	13/01/2019	-64°34'47.53"S	-62°12'05.12"W

Table 1. Mollusc sampling stations, names of Colombian scientific expeditions to Antarctica, collection dates, and coordinates.

Una vez obtenidas las muestras de sedimento, éstas se introdujeron en bolsas plásticas gruesas con solución narcotizante (70 g de cloruro de magnesio/1 L agua) que se dejó actuar durante 15 minutos. Se añadió una solución de formalina al 10 % preparada con agua de mar microfiltrada (tamiz de 40 µm) y neutralizada con bórax (pH= 7,2).

Además de los organismos bentónicos colectados mediante draga Shipek, también se obtuvieron otros catalogados como epifauna, los cuales correspondieron a especímenes adheridos al mareógrafo (utilizado para medir o registrar las mareas). Todas las muestras fueron debidamente rotuladas y transportadas al laboratorio óptico del Invemar (Santa Marta, Colombia), en donde se utilizó etanol al 96 % para conservarlas.

La identificación de los especímenes se llevó a cabo mediante examen visual de su morfología. Se utilizó un estéreo-microscopio triocular marca Leica S6D y un estéreo-microscopio marca Leica M205-A con ópticas de fusión y zoom con enfoque motorizado (modelo MDG41), más el hardware complementario para fotografía digital científica (Leica Microsystems Application Suite LAS Versión 4.5.0). Durante dicho proceso se revisó literatura científica especializada y se consultaron portales web derivados de proyectos globales de bioinformática, con revisiones de sistemática, bases de datos biológicas, y fotografía científica, incluyendo Biodiversity Heritage Library -BHL (2019), World Register of Marine Species -WORMS (2019), Encyclopedia of Life -EOL (2019); Marine Biodiversity Information Network -SCAR -MarBin (Griffiths *et al.*, 2011), el cual forma el nodo OBIS regional Antártico (Ocean Biogeographic Information System -OBIS, 2019), y

Once the sediment samples were obtained, they were introduced into thick plastic bags with a narcotic solution (70 g of magnesium chloride / 1 L water) that was left to act for 15 minutes. A 10 % formalin solution prepared with microfiltered seawater (40 µm sieve) and neutralized with borax (pH = 7.2) was added.

In addition to the benthic organisms collected by Shipek grab, others cataloged as epifauna were also obtained, which corresponded to specimens attached to the tide gauge (used to measure or record tides). All samples were duly labeled and transported to the Invemar optical laboratory (Santa Marta, Colombia), where 96 % alcohol was used to preserve them.

The identification of the specimens was carried out by visual examination of their morphology. A Leica S6D brand trinocular stereo-microscope and a Leica M205-A brand stereo-microscope with fusion and zoom optics with motorized focus (model MDG41), plus the complementary hardware for scientific digital photography (Leica Microsystems Application Suite LAS Version 4.5.0) were used. During this process, specialized scientific literature was reviewed and web portals derived from global bioinformatics projects were consulted, with systematic reviews, biological databases, and scientific photography, including Biodiversity Heritage Library -BHL (2019), World Register of Marine Species - WORMS (2019), Encyclopedia of Life -EOL (2019); Marine Biodiversity Information Network -SCAR -MarBin (Griffiths *et al.*, 2011), which forms the regional Antarctic OBIS node (Ocean Biogeographic Information System -OBIS, 2019), and which in turn interacts with Census of Marine Life



que a su vez interactúa con Census of Marine Life -COML (2019) y Global Biodiversity Information Facility -GBIF (2019). Adicionalmente, se comparó material fotográfico en sitios web proveniente de especímenes registrados en diferentes museos de historia natural del mundo, como lo son: Natural Museum of Natural History -NMNH, Instituto Smithsonian, Estados Unidos de América (números de catálogo con el acrónimo USNM); National Museum Wales (NMW), Reino Unido; Natuurhistorisch Museum Rotterdam (NMR), Holanda; Muséum National d'histoire Naturelle (MNHN), Francia. Los especímenes recolectados se encuentran depositados en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – Makuriwa, del Invemar.

RESULTADOS

A los moluscos incluidos en este listado les fue asignado en el MHNMC –Makuriwa un número de catálogo con el acrónimo 'INV MOL' (Invemar Moluscos). En total se recolectaron 15 especímenes, 10 de los cuales fueron gasterópodos (incluidos 5 microgasterópodos) y 5 bivalvos. La especie más abundante fue el gasterópodo *Nacella concinna*, de la cual se recolectaron cuatro ejemplares, seguida por los bivalvos *Philobrya sublaevis* y *Adacnarca nitens*, con dos ejemplares cada una. La mayoría de especímenes se recolectaron en la estación 541 en el estrecho de Gerlache, alrededor de isla Anvers (archipiélago Palmer), durante el verano austral 2016-2017.

Sistemática

Para los 10 especímenes de gasterópodos se identificaron siete taxa (dos de ellos hasta superfamilia, dos hasta género y tres hasta especie). Los taxa identificados hasta género y especie se distribuyeron en cinco familias. Para los cinco especímenes de bivalvos se identificaron tres especies pertenecientes a dos familias.

Clase Gastropoda Cuvier, 1795

Subclase Patellogastropoda Lindberg, 1986

Superfamilia Patelloidea

Familia Nacellidae Thiele, 1891

Género *Nacella* Schumacher, 1817

Nacella concinna (Strebel, 1908)

Material examinado. 4 especímenes:

a) INV MOL10873. Un espécimen recolectado vivo que corresponde a epifauna sobre el mareógrafo. Profundidad:

-COML (2019) and Global Biodiversity Information Facility -GBIF (2019). Additionally, photographic material was compared on websites from specimens registered in different natural history museums around the world, such as Natural Museum of Natural History -NMNH, Smithsonian Institution, United States of America (catalog numbers with the acronym USNM); National Museum Wales (NMW), UK; Natuurhistorisch Museum Rotterdam (NMR), The Netherlands; Muséum National d'histoire Naturelle (MNHN), France. The collected specimens are deposited in the Museum of Marine Natural History of Colombia (MHNMC) - Makuriwa, of Invemar.

RESULTS

The molluscs included in this list were assigned in the MHNMC –Makuriwa a catalog number with the acronym "INV MOL" (Invemar Molluscs). In total 15 specimens were collected, 10 of which were gastropods (including 5 microgastropods) and 5 bivalves. The most abundant species was the gastropod *Nacella concinna*, from which four specimens were collected, followed by the bivalves *Philobrya sublaevis* and *Adacnarca nitens*, with two specimens each. Most of the specimens were collected at station 541 in the Gerlache Strait, around Anvers Island (Palmer Archipelago), during the austral summer 2016-2017.

Systematics

For the 10 gastropod specimens, seven taxa were identified (two of them up to superfamily, two up to genus, and three up to species). The taxa identified up to genus and species were distributed in five families. For the five bivalve specimens, three species belonging to two families were identified.

Class Gastropoda Cuvier, 1795

Subclass Patellogastropoda Lindberg, 1986

Superfamily Patelloidea

Family Nacellidae Thiele, 1891

Genus *Nacella* Schumacher, 1817

Nacella concinna (Strebel, 1908)

Material examined. 4 specimens:

a) INV MOL10873. A specimen collected alive corresponding to epifauna on the tide gauge. Depth: 54 m; dimensions: 4.9 x 3.5 mm; E541: around Anvers Island (Palmer Archipelago). Figure 2a.

54 m; dimensiones: 4,9 x 3,5 mm; E541: alrededor de isla Anvers (archipiélago Palmer). Figura 2a.

b) INV MOL10873. Un espécimen con concha vacía recolectado como muestra de bentos. Profundidad: 54 m; dimensiones: 0,8 x 0,5 mm; E541: alrededor de isla Anvers (Archipiélago Palmer).

c) INV MOL10874. Un espécimen recolectado vivo que corresponde a epifauna sobre el mareógrafo. Profundidad 5,31 m; dimensiones: 3,9 x 2,5 mm; E641: estrecho de Gerlache, en frente de península Antártica.

d) INV MOL10874. Un espécimen colectado vivo que corresponde a epifauna sobre el mareógrafo. Profundidad: 5,31 m; dimensiones: 2,95 x 1,9 mm, E641: estrecho de Gerlache, en frente de península Antártica.

Sinonimia: ver Aldea y Troncoso (2008); González-Wevar *et al.* (2018); WORMS (2019).

Observaciones: en general concha cónica, ovoide y lateralmente comprimida en su lado anterior. Ápice ubicado más allá de la mitad longitudinal de la concha hacia el borde anterior. Según González-Wevar *et al.* (2018), la forma de la concha y la escultura son muy variables en esta especie. Esto fue tenido en cuenta durante el proceso de identificación de los cuatro ejemplares de *N. concinna* revisados, así como el concepto del autor anteriormente citado con respecto a la identidad de los especímenes identificados (Claudio González-Wevar, Com. Pers., 11 de octubre de 2019).

Distribución: Océano Austral, Antártica occidental, en islas Antárticas y península Antártica, además de algunas islas subantárticas. Principalmente en mares de Bellingshausen y Weddell. También hay registros en el mar de Escocia (GBIF, 2019). González-Wevar *et al.* (2018) examinaron especímenes provenientes de isla Adelaida (península Antártica), isla Anvers, isla Doumer (archipiélago Palmer, península Antártica), isla James Ross (península Antártica oriental), isla Livingstone e isla King George (islas Shetland del Sur), isla Deception, isla Elephant, isla Orkney del Sur, isla Signy (islas Orkneys del Sur) e isla Georgia del Sur. Se ha registrado además en islas Sandwich del Sur (González-Wevar *et al.*, 2010, 2017) e isla Bouvet (González-Wevar *et al.*, 2017).

Rango batimétrico: entre 0 y 150 m de profundidad (González-Wevar *et al.*, 2018).

Hábitat: rocoso, intermareal y submareal (Suda *et al.*, 2015; González-Wevar *et al.*, 2018). Fondos sedimentarios, submareal (presente estudio).

b) INV MOL10873. A specimen with an empty shell collected as a benthos sample. Depth: 54 m; dimensions: 0.8 x 0.5 mm; E541: around Anvers Island (Palmer Archipelago).

c) INV MOL10874. A specimen collected alive corresponding to epifauna on the tide gauge. Depth 5.31 m; dimensions: 3.9 x 2.5 mm; E641: Gerlache Strait, in front of the Antarctic Peninsula.

d) INV MOL10874. A specimen collected alive corresponding to epifauna on the tide gauge. Depth: 5.31 m; dimensions: 2.95 x 1.9 mm, E641: Gerlache Strait, in front of the Antarctic Peninsula.

Synonyms: see Aldea and Troncoso (2008); González-Wevar *et al.* (2018); WORMS (2019).

Observations: generally conical shell, ovoid, and laterally compressed on its anterior side. Apex is located beyond the longitudinal half of the shell towards the anterior edge. According to González-Wevar *et al.* (2018) the shape of the shell and the sculpture are highly variable in this species. This was taken into account during the identification process of the four *N. concinna* specimens reviewed, as well as the previously cited author's concept regarding the identity of the identified specimens (Claudio González-Wevar, Com. Pers., 11 of October 2019).

Distribution: Southern Ocean, West Antarctica, on Antarctic islands and the Antarctic peninsula, as well as some subantarctic islands. Mainly in the Bellingshausen and Weddell seas. There are also records in the Scottish Sea (GBIF, 2019). González-Wevar *et al.* (2018) examined specimens from Adelaide Island (Antarctic Peninsula), Anvers Island, Doumer Island (Palmer Archipelago, Antarctic Peninsula), James Ross Island (East Antarctic Peninsula), Livingstone Island, and King George Island (South Shetland Islands), Deception, Elephant Island, South Orkney Island, Signy Island (South Orkneys Islands) and South Georgia Island. It has also been reported in the South Sandwich Islands (González-Wevar *et al.*, 2010; González-Wevar *et al.*, 2017) and Bouvet Island (González-Wevar *et al.*, 2017).

Bathymetric range: between 0 and 150 m deep (González-Wevar *et al.*, 2018).

Habitat: rocky, intertidal and subtidal (Suda *et al.*, 2015; González-Wevar *et al.*, 2018). Sedimentary bottoms, subtidal (present study).



Gremio trófico: herbívoro (Suda *et al.*, 2015; WORMS, 2019).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Powell (1973), Valdovinos y R uth (2005), Nakano y Ozawa (2007), G onzalez-Wevar *et al.* (2010, 2017, 2018), GBIF (2019), WORMS (2019). Fotografías: USNM897627, USNM897851, USNM897627; NMR50329 y NMR6574.

Subclase Vetigastropoda Salvini-Plawen, 1980

Orden Trochida

Superfamilia Trochoidea Rafinesque, 1815

Familia Calliostomatidae Thiele, 1924 (1847)

Subfamilia Margarellinae S. T. Williams, 2013

Género *Margarella* Thiele, 1893

Margarella antarctica (Lamy, 1906)

Material examinado: INV MOL10875. Un ejemplar colectado vivo como bentos. Profundidad: 54 m; dimensiones: 9 x 7 mm; E641: estrecho de Gerlache, península Antártica. Figura 2b.

Sinonimia: ver Aldea y Troncoso (2008) y WORMS (2019).

Observaciones: concha orbicular provista de visos nacarados blanco-crema y azul-violeta. El labio se interrumpe finalizando en la última vuelta. Ombligo profundo y opérculo corneo con giros espirales.

Distribución: Antártica occidental, islas Orkney del Sur (Melvill y Standen, 1907; Powell, 1951; Linse, 2002), islas Shetland del Sur (Powell, 1951), península Antártica (Lamy, 1906b, 1911; Thiele, 1912; Powell, 1951; Linse, 2002; Aldea y Troncoso, 2008) y el mar de Bellingshausen (Lamy, 1911).

Rango batimétrico: entre 0 (Powell, 1951) y 460 m (Lamy, 1911) de profundidad.

Hábitat: bentos (WORMS, 2019), fondos sedimentarios, además de otros ejemplares recolectados sobre mareógrafo (presente estudio).

Gremio tr fico: según WORMS (2019) es depredador sobre presas sésiles [deducido de Calliostomatidae Thiele, 1924 (1847)]; sin embargo, no se descartan otros tipos de alimentación (ver Zelaya, 2004).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Aldea y Troncoso (2008); WORMS (2019). Fotografías: NMR65742, MNHN-IM-2000-31126, USNM 886686.

Trophic guild: herbivore (Suda *et al.*, 2015; WORMS, 2019).

References and other material used for identification: Powell (1973), Valdovinos and R uth (2005), Nakano and Ozawa (2007), G onzalez-Wevar *et al.* (2010, 2017, 2018), GBIF (2019), WORMS (2019), GBIF (2019). Photos: USNM897627, USNM897851, USNM897627; NMR50329 and NMR6574.

Subclass Vetigastropoda Salvini-Plawen, 1980

Trochida Order

Superfamily Trochoidea Rafinesque, 1815

Family Calliostomatidae Thiele, 1924 (1847)

Subfamily Margarellinae S. T. Williams, 2013

Genus *Margarella* Thiele, 1893

Margarella antarctica (Lamy, 1906)

Material examined: INV MOL10875. A specimen collected alive as benthos. Depth: 54 m; dimensions: 9 x 7 mm; E641: Gerlache Strait, Antarctic Peninsula. Figure 2b.

Synonyms: see Aldea and Troncoso (2008), and WORMS (2019).

Observations: Orbicular shell provided with white-cream and blue-violet pearly shades. The lip is interrupted ending on the last lap. Deep navel and corneal operculum with spiral turns.

Distribution: West Antarctica, South Orkney Islands (Melvill and Standen, 1907; Powell, 1951; Linse, 2002), South Shetland Islands (Powell, 1951), Antarctic Peninsula (Lamy, 1906b; 1911; Thiele, 1912; Powell, 1951; Linse, 2002; Aldea and Troncoso, 2008) and the Bellingshausen Sea (Lamy, 1911).

Bathymetric range: between 0 (Powell, 1951) and 460 m (Lamy, 1911) deep.

Habitat: benthos (WORMS, 2019), sedimentary bottoms, as well as other specimens collected on a tide gauge (present study).

Trophic guild: according to WORMS (2019) it is a predator on sessile prey [deduced from Calliostomatidae Thiele, 1924 (1847)]; however, other types of diet are not ruled out (see Zelaya, 2004).

References and other material used for identification: Aldea and Troncoso (2008); WORMS (2019). Photographs: NMR65742, MNHN-IM-2000-31126, USNM 886686.

Orden Lepetellida Moskalev, 1971

Superfamilia Scissurelloidea Gray, 1847

Familia Anatomidae McLean, 1989

Género *Anatoma* Woodward, 1859

***Anatoma* sp.**

Material examinado: INV MOL10876. Un espécimen vivo recolectado como bentos. Profundidad: 400 m; dimensiones: 2 x 1 mm; E423: estrecho de Gerlache, al frente de isla Anvers. Figura 2c.

Sinonimia: *Scissurella* (*Anatoma*) (Woodward, 1859) – rango original (WORMS, 2019), *Anatomus* (Adams, 1862); *Schizotrochus* (Monterosato, 1877), *Hainella* (Bandel, 1998); *Thielella* (Bandel, 1998).

Observaciones: microgasterópodo. Concha en mal estado, quebrada en la abertura. Forma involuta, discoidal, traslúcida, moderadamente lisa (en comparación con la familia Scissurellidae - Gray 1847, cuya escultura es más prominente), frágil y con ápice cóncavo. Selenizona presente en la periferia de las vueltas.

Distribución: Pacífico noroeste, Atlántico nororiental y Mediterráneo, océanos meridionales de América del Sur, océanos australes de África, océano Pacífico que rodea Nueva Zelanda y aguas que rodean Australia (Geiger, 2019).

Rango batimétrico: desde plataformas continentales (0 m) hasta profundidades batiales y abisales (Geiger, 2019).

Hábitat: a menudo sobre sustratos blandos (Geiger, 2019), fondos sedimentarios (presente estudio).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Geiger (2003, 2019), Geiger y McLean (2010), GBIF (2019).

Subclase Caenogastropoda Cox, 1960

Orden Neogastropoda Wenz, 1938

Superfamilia Buccinoidea Rafinesque, 1815

Familia Buccinidae Rafinesque, 1815

Género *Prosipho* Thiele, 1912

***Prosipho turritus* P. G. Oliver y Picken, 1984**

Material examinado: INV MOL10877. Un espécimen vivo recolectado como bentos. Profundidad: 54 m; dimensiones: 2,45 x 1,20 mm; E541: alrededor de isla Anvers (archipiélago Palmer). Figura 2d.

Order Lepetellida Moskalev, 1971

Superfamily Scissurelloidea Gray, 1847

The family Anatomidae McLean, 1989

Genus *Anatoma* Woodward, 1859

***Anatoma* sp.**

Material examined: INV MOL10876. A live specimen collected as benthos. Depth: 400 m; dimensions: 2 x 1 mm; E423: Strait of Gerlache, in front of Anvers Island. Figure 2c.

Synonyms: *Scissurella* (*Anatoma*) (Woodward, 1859) – original rank (WORMS, 2019), *Anatomus* (Adams, 1862); *Schizotrochus* (Monterosato, 1877), *Hainella* (Bandel, 1998); *Thielella* (Bandel, 1998).

Observations: Microgastropod. Shell in bad condition, broken at the opening. Involute form, discoidal, translucent, moderately smooth (compared to the Scissurellidae family - Gray 1847, whose sculpture is more prominent), fragile, and with a concave apex. Selenizone present on the periphery of the turns.

Distribution: Northwest Pacific, Northeast Atlantic and Mediterranean, southern oceans of South America, southern oceans of Africa, the Pacific Ocean surrounding New Zealand, and waters surrounding Australia (Geiger, 2019).

Bathymetric range: from continental shelves (0 m) to bathyal and abyssal depths (Geiger, 2019).

Habitat: often on soft substrates (Geiger, 2019), sedimentary bottoms (present study).

References and other material used for identification: Geiger (2003, 2019), Geiger and McLean (2010), GBIF (2019).

Subclass Caenogastropoda Cox, 1960

Order Neogastropoda Wenz, 1938

Superfamily Buccinoidea Rafinesque, 1815

Family Buccinidae Rafinesque, 1815

Genus *Prosipho* Thiele, 1912

***Prosipho turritus* P. G. Oliver and Picken, 1984**

Material examined: INV MOL10877. A live specimen collected as benthos. Depth: 54 m; dimensions: 2.45 x 1.20 mm; E541: around Anvers Island (Palmer Archipelago). Figure 2d.



Sinonimia: ver Aldea y Troncoso (2008), WORMS (2019).

Observaciones: microgasterópodo. Concha elongada, fusiforme, sin ombligo, periostraco color café. Labio interno liso, desprovisto de pliegues. Labio externo provisto de cordones y costillas espirales similares a las que conforman el resto de la concha, las cuales se disponen en forma casi paralelas entre sí. Éstas sobresalen por fuera del labio externo, dándole a éste una apariencia crenulada, y siendo además visibles en la parte interna. Dos costillas espirales en cada vuelta, separadas por una sutura delgada. Líneas radiales finas sobre los cordones espirales. Protoconcha lisa, blanquecina, semi-traslúcida y enrollada sobre sí. Canal sifonal curvo y corto. Inicialmente la concha del espécimen recolectado estaba cubierta de estructuras pilosas del periostraco, las cuales se cayeron durante el proceso de identificación, haciendo más evidente la ornamentación. A partir de ese momento el espécimen fue comparado con *P. astrolabiensis* (Strebel, 1908), que posteriormente se descartó basándose en la descripción y dibujos originales del holotipo [sinonimia *Sipho (Mohnia) astrolabiensis*] en Strebel (1908) y en USNM 886664.

Distribución: océano Austral. Antártida occidental. Cam Rocks, bahía Borge, isla Signy (islas Orkney del Sur) (Oliver y Picken, 1984). Mar de Weddell (Hain, 1990), península Antártica, mar de Bellingshausen (Aldea y Troncoso, 2008).

Rango batimétrico: de 2 (Oliver y Picken, 1984) a 300 m (Hain, 1990) de profundidad.

Hábitat: bentos (WORMS, 2019), fondos sedimentarios (presente estudio).

Gremio trófico: depredador (WORMS, 2019).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Oliver y Picken (1984), Hain (1990), Aldea y Troncoso (2008), WORMS (2019), holotipo NMW.Z.1979.002.00078, NMW M013549.

Synonyms: see Aldea and Troncoso (2008), WORMS (2019).

Observations: Microgastropod. Elongated, fusiform shell, without umbilicus, brown periostraque. Smooth inner lip, devoid of folds. External lip provided with spiral ribs and cords similar to those that make up the rest of the shell, which are arranged almost parallel to each other. These protrude outside the outer lip, giving it a crenulated appearance, and are also visible on the inside. Two spiral ribs on each turn, separated by a thin suture. Fine radial lines on the spiral cords. Smooth, whitish, semi-translucent proto-shell and rolled up. Short curved siphon canal. Initially, the shell of the collected specimen was covered with periostracum hairy structures, which fell off during the identification process, making the ornamentation more evident. Thereafter the specimen was compared with *P. astrolabiensis* (Strebel, 1908), which was later discarded based on the original description and drawings of the holotype [synonymy *Sipho (Mohnia) astrolabiensis*] in Strebel (1908) and in USNM 886664.

Distribution: Southern Ocean. West Antarctica. Cam Rocks, Borge Bay, Signy Island (South Orkney Islands) (Oliver and Picken, 1984). Weddell Sea (Hain, 1990), Antarctic Peninsula, Bellingshausen Sea (Aldea and Troncoso, 2008).

Bathymetric range: from 2 (Oliver and Picken, 1984) to 300 m (Hain, 1990) deep.

Habitat: benthos (WORMS, 2019), sedimentary bottoms (present study).

Trophic guild: predator (WORMS, 2019).

References and other material used for identification: Oliver and Picken (1984), Hain (1990), Aldea and Troncoso (2008), WORMS (2019), holotype NMW.Z.1979.002.00078, NMW M013549.

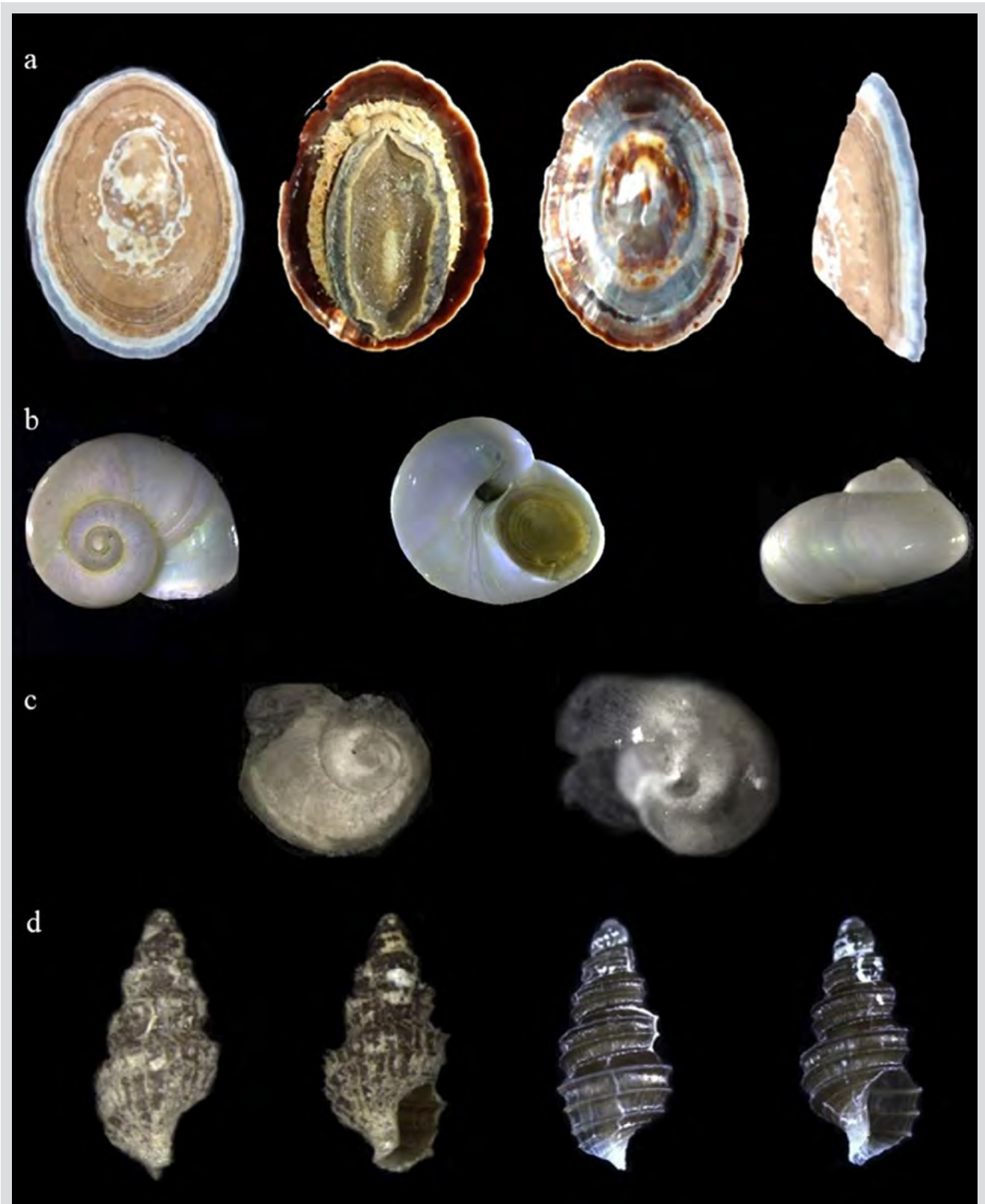


Figura 2. Gasterópodos recolectados en el presente estudio: **a.** *Nacella concinna* INV MOL10873, 4,9 x 3,5 mm; **b.** *Margarella antarctica* INV MOL10875, 9 x 7 mm; **c.** *Anatoma* sp. INV MOL10876, 2 x 1 mm; **d.** *Prosipho turritus* INV MOL10877, 2,45 x 1,20 mm. Izquierda: ejemplar con periostraco provisto de estructuras pilosas, derecha: el mismo ejemplar sin estructuras pilosas.

Figure 2. Gastropods collected in the present study: **a.** *Nacella concinna* INV MOL10873, 4.9 x 3.5 mm; **b.** *Margarella antarctica* INV MOL10875, 9 x 7 mm; **c.** *Anatoma* sp. INV MOL10876, 2 x 1 mm; **d.** *Prosipho turritus* INV MOL10877, 2.45 x 1.20 mm. Left: specimen with hairy structures, right: the same specimen without hairy structures.

Orden Littorinimorpha Golikov y Starobogatov, 1975**Cingulopsoidea sp.**

Material examinado: INV MOL10878. Un espécimen recolectado vivo como bentos. Profundidad: 54 m; dimensiones: 1,15 x 0,75 mm; E541: alrededor de isla Anvers (archipiélago Palmer). Figura 3a.

Observaciones: microgasterópodo. Concha ovoide, turbinada, globosa, gris, casi lisa, con leves líneas radiales gris oscuro. Borde del labio externo plegado hacia adentro de la abertura en la parte media de esta. Dicho pliegue presenta una proyección de tipo convexo en la mitad, y por encima de éste hay cinco pequeños dientes en el borde superior del labio externo. Parte superior del labio externo finaliza sobre última vuelta. Es probable que el espécimen recolectado pertenezca a la familia Cingulopsidae (Fretter y Patil, 1958); sin embargo, se requiere una mayor evaluación para ahondar en la categoría taxonómica, lo cual se dificulta debido al pequeño tamaño y fragilidad de la concha.

Hábitat: bentos (WORMS, 2019), fondos sedimentarios (presente estudio).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Golikov y Starobogatov (1975), Ponder (1983), Criscione y Ponder (2013). Fotografías: familia Cingulopsidae (NMR).

Truncatelloidea sp.

Material examinado: Un espécimen recolectado como bentos. Profundidad: 54 m; dimensiones: 1 x 0,75 mm; E541: alrededor de isla Anvers (archipiélago Palmer). Figura 3b.

Observaciones: microgasterópodo. Concha turbinada, elongada, cónica, blanca, lisa y de ápice romo. Borde del labio ligeramente retraído hacia afuera. Parte superior del labio externo finaliza sobre la última vuelta. Es probable que el espécimen recolectado pertenezca a la familia Hydrobiidae (Stimpson, 1865); sin embargo, se requiere una mayor evaluación para comprobarlo.

Hábitat: bentos (WORMS, 2019), fondos sedimentarios (presente estudio).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Stimpson (1865), Golikov y Starobogatov (1975), Ponder (1983), Criscione y Ponder (2013). Fotografías: Familia Hydrobiidae (NMR).

Order Littorinimorpha Golikov and Starobogatov, 1975**Cingulopsoidea sp.**

Material examined: INV MOL10878. A specimen collected alive as benthos. Depth: 54 m; dimensions: 1.15 x 0.75 mm; E541: around Anvers Island (Palmer Archipelago). Figure 3a.

Observations: Microgastropod. Shell ovoid, turbinate, globose, gray, almost smooth, with slight dark gray radial lines. Edge of the outer lip folded inward to the opening and in the middle of the opening. This fold has a convex-type projection in the middle, and above this there are 5 small teeth on the upper edge of the outer lip. The upper part of the outer lip ends on the last lap. The collected specimen probably belongs to the Cingulopsidae family (Fretter and Patil, 1958); however, further evaluation is required to delve into the taxonomic category, which is difficult due to the small size and fragility of the shell.

Habitat: benthos (WORMS, 2019), sedimentary bottoms (present study).

References and other material used for identification: Golikov and Starobogatov (1975), Ponder (1983), Criscione and Ponder (2013). Photographs: family Cingulopsidae (NMR).

Truncatelloidea sp.

Material examined: A specimen collected as benthos. Depth: 54 m; dimensions: 1 x 0.75 mm; E541: around Anvers Island (Palmer Archipelago). Figure 3b.

Observations: Microgastropod. Turbinate shell, elongated, conical, white, smooth, and with a blunt apex. The edge of the lip slightly retracted outwards. The upper part of the outer lip ends on the last lap. The collected specimen probably belongs to the Hydrobiidae family (Stimpson, 1865); however, further evaluation is required to verify this.

Habitat: benthos (WORMS, 2019), sedimentary bottoms (present study).

References and other material used for identification: Stimpson (1865), Golikov and Starobogatov (1975), Ponder (1983), Criscione and Ponder (2013). Photographs: Family Hydrobiidae (NMR).

Superfamilia Cingulopsoidea Fretter y Patil, 1958

Familia Eatoniellidae Ponder, 1965

Género *Eatoniella* Dall, 1876

***Eatoniella* sp.**

Material examinado: INV MOL10879. Un espécimen recolectado vivo como bentos. Profundidad: 54 m; dimensiones: 0,75 x 0,58 mm; E541: alrededor de isla Anvers (Archipiélago Palmer). Figura 3c.

Observaciones: microgasterópodo. Concha ovoide, turbinada y globosa, blanca y de ápice romo. Labio redondo, continuo, sin terminación en la última vuelta y con borde retraído hacia afuera de la abertura. La concha es casi traslúcida después de la última vuelta (blanca) hasta el ápice.

Sinonimia: ver WORMS (2019).

Distribución: en GBIF (2019) el género *Eatoniella* está registrado casi que exclusivamente en costas y mares del hemisferio Sur.

Hábitat: fondos sedimentarios (presente estudio).

Gremio trófico: Según WORMS (2019), el género *Eatoniella* es detritívoro y/o herbívoro.

Referencias y otro material utilizado para identificación:

Ponder (1983), Troncoso *et al.* (2007), Aldea y Troncoso (2008), Criscione y Ponder (2013). Fotografías: *E. kerguelensis regularis*: NMR 65743, familia Eatoniellidae (NMR), *E. kerguelensis*: USNM 881555, *E. cana*: holotipo NMW.Z.1979.002.00031, *E. varicifera*: holotipo NMW.Z.1979.002.00038.

Superfamily Cingulopsoidea Fretter and Patil, 1958

Family Eatoniellidae Ponder, 1965

Genus *Eatoniella* Dall, 1876

***Eatoniella* sp.**

Material examined: INV MOL10879. A specimen collected alive as benthos. Depth: 54 m; dimensions: 0.75 x 0.58 mm; E541: around Anvers Island (Palmer Archipelago). Figure 3c.

Observations: Microgastropod. Shell ovoid, turbinate and globose, white and with a blunt apex. Round lip, continuous, without termination in the last turn and with the edge, retracted out of the opening. The shell is almost translucent after the last turn (white) to the apex.

Synonyms: see WORMS (2019).

Distribution: In GBIF (2019) the genus *Eatoniella* is registered almost exclusively in the coasts and seas of the Southern Hemisphere.

Habitat: sedimentary bottoms (present study).

Trophic guild: According to WORMS (2019) the genus *Eatoniella* is a detritivore and/or herbivore.

References and other material used for identification:

Ponder (1983), Troncoso *et al.* (2007), Aldea and Troncoso (2008), Criscione and Ponder (2013). Photographs: *E. kerguelensis regularis*: NMR 65743, family Eatoniellidae (NMR), *E. kerguelensis*: USNM 881555, *E. cana*: holotype NMW.Z.1979.002.00031, *E. varicifera*: holotype NMW.Z.1979.002.00038.

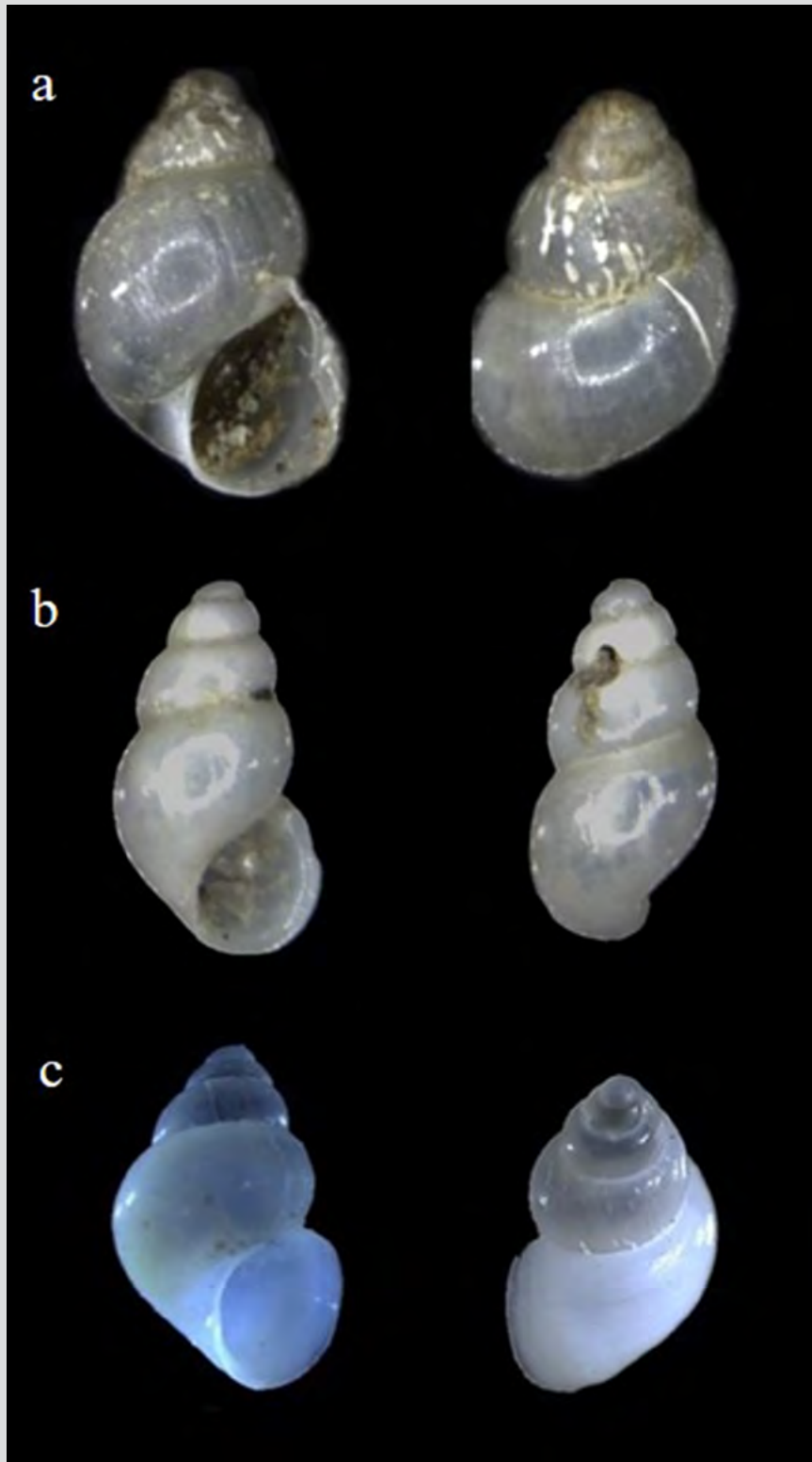


Figura 3. a. *Cingulopsoidea* sp. INV MOL10878, 1,15 x 0,75 mm; **b.** *Truncatelloidea* sp., 1 x 0,75 mm; **c.** *Eatoniella* sp. INV MOL10879, 0,75 x 0,58 mm.

Figure 3. a. *Cingulopsoidea* sp. INV MOL10878, 1.15 x 0.75 mm; **b.** *Truncatelloidea* sp., 1 x 0.75 mm; **c.** *Eatoniella* sp. INV MOL10879, 0.75 x 0.58 mm.

Clase Bivalvia Linnaeus, 1758

Subclase Autobranchia Grobben, 1894

Infraclase Pteriomorphia Beurlen, 1944

Orden Arcida Stoliczka, 1871

Superfamilia Limopsoidea Dall, 1895

Familia Philobryidae F. Bernard, 1897

Género *Philobrya* J. G. Cooper, 1867

***Philobrya sublaevis* Pelseneer, 1903**

Material examinado. 2 especímenes:

a) Un espécimen vivo recolectado como bentos. Profundidad: 98 m; dimensiones: 7 x 6,1 mm; E543: isla Trinity, entre el estrecho de Gerlache y el estrecho de Bransfield.

b) INV MOL10880. Un espécimen vivo recolectado como bentos. Profundidad: 54 m; dimensiones: 8 x 5 mm; E541: alrededor de isla Anvers (archipiélago Palmer). Figura 4a.

Sinonimia: *Philobrya antarctica* (Thiele, 1931). Ver WORMS (2019).

Observaciones: Ambos ejemplares similares. Concha frágil, de color crema blanquecino e inequilateral. Periostraco semibrillante con tendencia a sequedad y descamado; una parte de éste sobresale más allá de las valvas calcáreas como una lámina semi-traslúcida y fácilmente quebradiza. Presenta costillas radiales que se van haciendo más prominentes del umbo hacia el margen de la concha, interceptadas por líneas de crecimiento. Prodisoconcha con apariencia granular al estereoscopio.

Distribución: océano Austral. Es uno de los bivalvos circumpolares más comunes, su distribución se extiende alrededor del continente antártico incluyendo la península Antártica, Islas Shetland del Sur, islas Orkneys del Sur, islas Sandwich del Sur, isla Georgia del Sur e isla Bouvet. Mar de Ross (GBIF, 2019). No parece extenderse a la región de Magallanes (Dell, 1990). Al sur del Frente Polar, islas Falkland, mar de Weddell, mar de Escocia y península Antártica. Común en Nueva Zelanda y Australia (Jackson *et al.*, 2015).

Rango batimétrico: desde la zona intermareal hasta aguas profundas > 1000 m (Jackson *et al.*, 2015) de profundidad.

Hábitat: bentos (WORMS, 2019). Poseen un biso con el cual son capaces de unirse a sustratos como rocas, algas, hidrozoos o erizos (Jackson *et al.*, 2015). Fondos sedimentarios (presente estudio).

Class Bivalvia Linnaeus, 1758

Subclass Autobranchia Grobben, 1894

Infraclass Pteriomorphia Beurlen, 1944

Order Arcida Stoliczka, 1871

Superfamily Limopsoidea Dall, 1895

Family Philobryidae F. Bernard, 1897

Genus *Philobrya* J. G. Cooper, 1867

***Philobrya sublaevis* Pelseneer, 1903**

Material examined. 2 specimens:

a) A live specimen collected as bentos. Depth: 98 m; dimensions: 7 x 6.1 mm; E543: Trinity Island, between the Gerlache Strait and the Bransfield Strait.

b) INV MOL10880. A live specimen collected as bentos. Depth: 54 m; dimensions: 8 x 5 mm; E541: around Anvers Island (Palmer Archipelago). Figure 4a.

Synonyms: *Philobrya antarctica* (Thiele, 1931). See WORMS (2019).

Observations: Both are similar specimens. Fragile shell, whitish and uneven cream color. Semi-glossy periostrack with a tendency to dryness and flaking; a part of it protrudes beyond the calcareous valves as a semi-translucent and easily brittle sheet. It has radial ribs that become more prominent from the umbo towards the margin of the shell, intercepted by growth lines. Prodisoconch with a granular appearance at the stereoscope.

Distribution: Southern Ocean. It is one of the most common circumantarctic bivalves, its distribution extends around the Antarctic continent including the Antarctic peninsula, South Shetland Islands, South Orkneys Islands, South Sandwich Islands, South Georgia Island, and Bouvet Island. Ross Sea (GBIF, 2019). It does not appear to extend to the Magallanes region (Dell, 1990). South of the Polar Front, the Falkland Islands, the Weddell Sea, the Scottish Sea, and the Antarctic Peninsula. Common in New Zealand and Australia (Jackson *et al.*, 2015).

Bathymetric range: from the intertidal zone to deep waters > 1000 m (Jackson *et al.*, 2015) deep.

Habitat: bentos (WORMS, 2019). They have byssus filaments to attach themselves to substrates such as rocks, algae, hydrozoans, or hedgehogs (Jackson *et al.*, 2015). Sedimentary bottoms (present and study).



Gremio trófico: alimentador en suspensión (EOL, 2019).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Aldea y Troncoso (2008), Jackson *et al.* (2015), WORMS (2019). Fotografías: USNM 882415 (EOL, 2019), USNM 904336.

Género *Adacnarca* Pelseneer, 1903

Adacnarca nitens Pelseneer, 1903

Material examinado: INV MOL10881. Dos especímenes recolectados vivos como bentos. Profundidad: 98 m; dimensiones: 5,1 x 5 mm y 5 x 5 mm, cada uno unido al mismo pedazo de madera mediante un biso; E543: isla Trinity, entre el estrecho de Gerlache y el estrecho de Bransfield. Figuras 4b, 4c y 4d.

Sinonimia: ver WORMS, 2019.

Observaciones: concha brillante de coloración blanco crema con tonalidades entre amarillo y verde oliva. Ornamentada con costillas radiales poco prominentes interceptadas por líneas concéntricas aún más leves, exhibiendo una apariencia reticulada muy delicada. Se ve casi lisa sin estereoscopio. La ornamentación de la prodisoconcha es característica (ver Jackson *et al.*, 2015). Borde interno de las valvas dentado, charnela recta y provista de pequeños dientes. Valvas ligeramente traslúcidas. A través de éstas, como internamente en uno de los especímenes, se observó la presencia de ovocitos en avanzado estado de desarrollo, algunos en fase velígera con concha en desarrollo, rasgo característico de esta especie (Higgs *et al.*, 2009).

Distribución: océano Austral, Antártida, islas Falkland, mar de Weddell, mar de Escocia y península Antártica. En todo el hemisferio sur (distribuida en parches), común en Nueva Zelanda y Australia (Jackson *et al.*, 2015).

Rango batimétrico: intermareal (Jackson *et al.*, 2015) a 2350 m (Dell, 1990) de profundidad.

Hábitat: bentos (WORMS, 2019). Poseen un biso con el cual se adhieren a sustratos como rocas, algas, hidrozoos o erizos (Jackson *et al.*, 2015). Ejemplares adheridos a un pedazo de madera encontrado sobre fondo sedimentario (presente estudio).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Dell (1990), Aldea y Troncoso (2008), Higgs *et al.* (2009), Jackson *et al.* (2015), WORMS (2019). Fotografías: USNM 898190.

Trophic guild: suspended feeder (EOL, 2019).

References and other material used for identification: Aldea and Troncoso (2008), Jackson *et al.* (2015), WORMS (2019). Photographs: USNM 882415 (EOL, 2019), USNM 904336.

Genus *Adacnarca* Pelseneer, 1903

Adacnarca nitens Pelseneer, 1903

Material examined: INV MOL10881. Two specimens were collected alive as benthos. Depth: 98 m; dimensions: 5.1 x 5 mm and 5 x 5 mm, each one attached to the same piece of wood utilizing byssus filaments; E543: Trinity Island, between the Gerlache Strait and the Bransfield Strait. Figures 4b, 4c, and 4d.

Synonyms: see WORMS, 2019.

Observations: bright cream-white shell with shades between yellow and olive green. Ornamented with slightly prominent radial ribs intersected by even lighter concentric lines, exhibiting a very delicate reticulated appearance. It looks almost smooth without a stereoscope. The ornamentation of the prodisoconch is characteristic (see Jackson *et al.*, 2015). The inner edge of the valves was toothed, straight hinge, and provided with small teeth. Slightly translucent valves. Through these, as internally in one of the specimens, the presence of oocytes in an advanced stage of development was observed, some in the veliger phase with a developing shell, a characteristic feature of this species (Higgs *et al.*, 2009).

Distribution: Southern Ocean, Antarctica, Falkland Islands, Weddell Sea, Scottish Sea, and Antarctic Peninsula. Throughout the southern hemisphere (distributed in patches), common in New Zealand and Australia (Jackson *et al.*, 2015).

Bathymetric range: intertidal (Jackson *et al.*, 2015) at 2350 m (Dell, 1990) depth.

Habitat: benthos (WORMS, 2019). They have byssus filaments with which they adhere to substrates such as rocks, algae, hydrozoans, or urchins (Jackson *et al.*, 2015). Specimens attached to a piece of wood found on a sedimentary bottom (present study).

References and other material used for identification: Dell (1990), Aldea and Troncoso (2008), Higgs *et al.* (2009), Jackson *et al.* (2015), WORMS (2019). Photographs: USNM 898190.

Infraclase Heteroconchia J. E. Gray, 1854

Subterclase Euheterodonta Giribet & Distel, 2003

Superorden Anomalodesmata Dall, 1889

Superfamilia Thracioidea Stoliczka, 1870 (1839)

Familia Thraciidae Stoliczka, 1870 (1839)

Género *Thracia* Blainville, 1824

***Thracia meridionalis* E. A. Smith, 1885**

Material examinado: INV MOL10882. Un espécimen con concha vacía recolectado como bentos. Profundidad: 29 m; 3,7 x 3 mm; E546: isla Greenwich (archipiélago de las islas Shetland del Sur), en frente del estrecho de Bransfield. Figura 4e.

Sinonimia: *Mysella truncata*, *Mysella frigida* (Thiele, 1912).

Observaciones: ejemplar en mal estado, quebrado. Concha inequilateral, erosionada. Ambas valvas presentes. Coloración blanco crema, opaca. Valvas dorsalmente ornamentadas con líneas de crecimiento comarginales desde el umbo hacia el borde. Ligamento secundario con periostraco engrosado y charnela heterodonta.

Distribución: océano Austral. Mar de Weddell (Hain, 1990). Alrededor del continente Antártico, a lo largo de la península Antártica, islas Shetland del Sur, islas Orkneys del Sur, islas Sandwich del Sur, isla Georgia del Sur hasta la región Magallánica. Islas Falkland, Kerguelen, Marion y Prince Edward. Mar de Ross (Dell, 1990). Isla Bouvet (Thiele y Jaeckel, 1931; Linse, 2006). Isla Peter I (Soot-Ryen, 1951; Aldea y Troncoso, 2008) y mar de Bellingshausen hasta los alrededores de isla Thurston (Aldea y Troncoso, 2008), canal de Beagle (Linse, 1997), plataforma de Shackleton Ice (Hedley, 1916), mar de Davis (Thiele, 1912; Egorova, 1982).

Rango batimétrico: de 4 m a 836 m (Dell, 1990) de profundidad.

Hábitat: variedad de fondos blandos, lodo, arena lodosa, arena y grava (Nicol, 1966; Mühlenhardt-Siegel, 1989). Fondos sedimentarios (presente estudio).

Gremio trófico: alimentador en suspensión (Sartori y Domaneschi, 2005).

Referencias y otro material utilizado para identificación: Sartori y Domaneschi (2005), Aldea y Troncoso (2008). Fotografías: USNM 886980.

Infraclass Heteroconchia J. E. Gray, 1854

Subterclass Euheterodonta Giribet & Distel, 2003

Superorder Anomalodesmata Dall, 1889

Superfamily Thracioidea Stoliczka, 1870 (1839)

Family Thraciidae Stoliczka, 1870 (1839)

Genus *Thracia* Blainville, 1824

***Thracia meridionalis* E. A. Smith, 1885**

Material examined: INV MOL10882. A specimen with an empty shell collected as benthos. Depth: 29 m; 3.7 x 3 mm; E546: Greenwich Island (South Shetland Islands), in front of the Bransfield Strait. Figure 4e.

Synonyms: *Mysella truncata*, *Mysella frigida* (Thiele, 1912).

Observations: specimen in poor condition, broken. Uneven shell, eroded. Both valves present. Creamy white color, opaque. Dorsally ornate valves with comarginal growth lines from the umbo to the edge. Secondary ligament with thickened periostracum and heterodontic hinge.

Distribution: Southern Ocean. Weddell Sea (Hain, 1990). Around the Antarctic continent, along the Antarctic Peninsula, South Shetland Islands, South Orkneys Islands, South Sandwich Islands, South Georgia Island to the Magellanic region. Falkland Islands, Kerguelen, Marion, and Prince Edward. Ross Sea (Dell, 1990). Bouvet Island (Thiele and Jaeckel, 1931; Linse, 2006). Peter I Island (Soot-Ryen, 1951; Aldea and Troncoso, 2008) and the Bellingshausen Sea to the surroundings of Thurston Island (Aldea and Troncoso, 2008), Beagle Channel (Linse, 1997), Shackleton Ice Platform (Hedley, 1916), Davis Sea (Thiele, 1912; Egorova, 1982).

Bathymetric range: 4 m to 836 m (Dell, 1990) deep. 4 m to 836 m (Dell, 1990) deep.

Habitat: variety of soft bottoms, mud, muddy sand, sand, and gravel (Nicol, 1966; Mühlenhardt-Siegel, 1989). Sedimentary bottoms (present study).

Trophic guild: suspension feeder (Sartori and Domaneschi, 2005).

References and other material used for identification: Sartori and Domaneschi (2005), Aldea and Troncoso (2008). Photographs: USNM 886980.

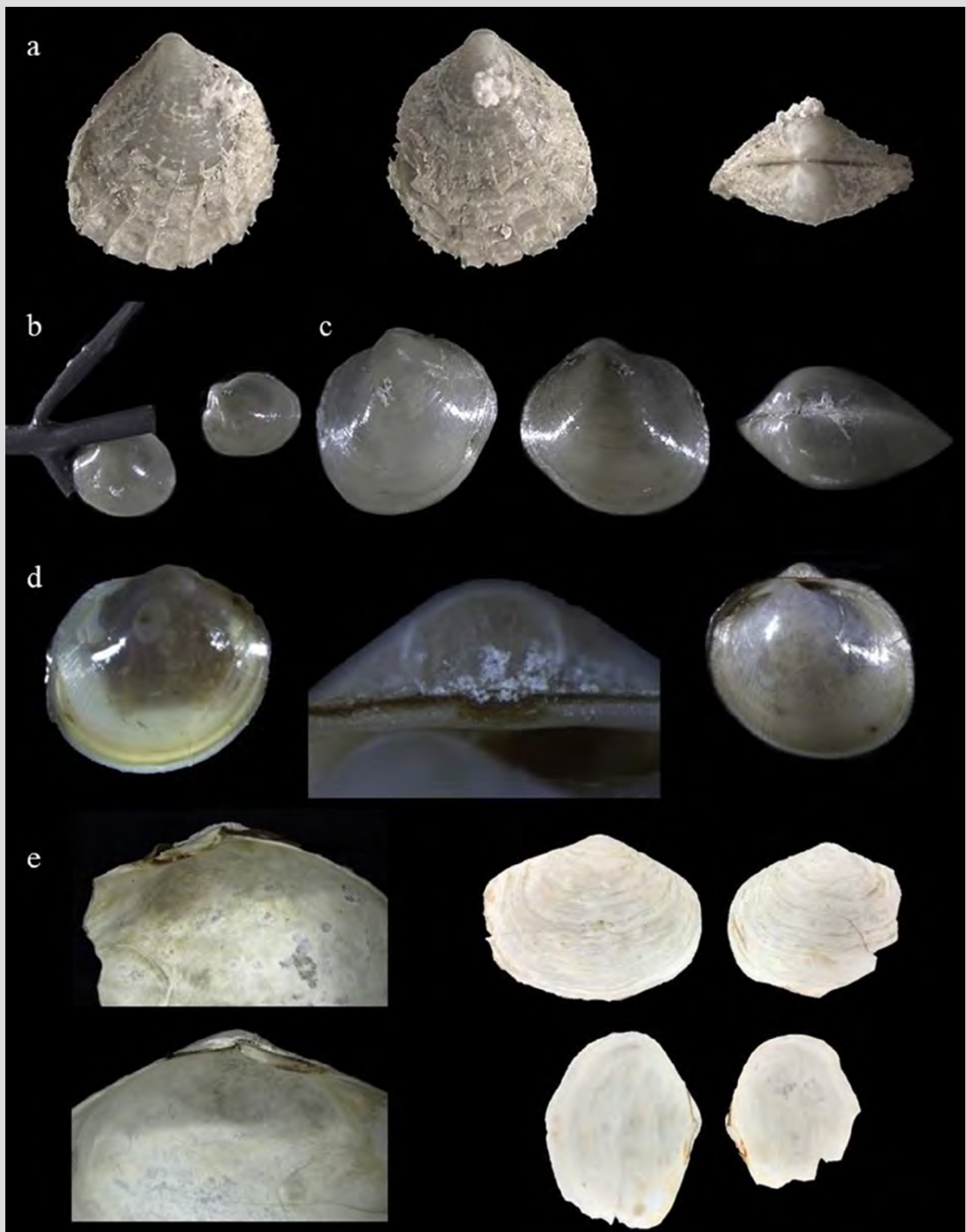


Figura 4. a. *Philobrya sublaevis* INV MOL10880, 8 x 5 mm; **b.** *Adacnarca nitens*, uno unido a pedazo de madera mediante biso (INV MOL10881); **c.** *A. nitens* INV MOL10881, 5,1 x 5 mm; **d.** *A. nitens* INV MOL10881, 5 x 5 mm; **e.** *Thracia meridionalis* INV MOL10882, 3,7 x 3 mm.

Figure 4. a. *Philobrya sublaevis* INV MOL10880, 8 x 5 mm; **b.** *Adacnarca nitens*, one attached to a piece of wood by byssus filaments (INV MOL10881); **c.** *A. nitens* INV MOL10881, 5.1 x 5 mm; **d.** *A. nitens* INV MOL10881, 5 x 5 mm; **e.** *Thracia meridionalis* INV MOL10882, 3.7 x 3 mm.

DISCUSIÓN

Tres expediciones del Programa Antártico colombiano realizadas en veranos australes, colectaron moluscos en las estaciones muestreadas en el área geográfica del Estrecho de Gerlache. Si bien son muestreos puntuales de expediciones que tenían diferentes objetivos y no específicamente muestreos bentónicos, esto son los primeros moluscos antárticos que se registran en una colección de fauna marina en Colombia. Los registros más cercanos corresponden a la zona subantártica del océano Índico, colectados en 1982 y que se encuentran depositados en la colección de moluscos de la Universidad del Valle. Los moluscos identificados se encuentran previamente registrados en algunas localidades de la Antártida occidental, pero los registros de algunas especies en las estaciones realizadas por las tres expediciones colombianas constituyen nuevos lugares en su distribución, como es el caso de *Philobrya sublaevis* y *Adacnarca nitens* en la estación E543 de la expedición III “Almirante Padilla” 2016/2017 realizada cerca a isla Trinity.

La mayoría de las especies de moluscos que se encuentran al sur de la convergencia subantártica tienen distribución en toda la franja que rodea al continente antártico (Cantera y Arnaud, 1984; Hain, 1990), y si bien se reconocen provincias biogeográficas, la corriente circumpolar Antártica (Jackson *et al.*, 2015), junto con la posibilidad de que algunas especies se adhieran a material flotante “rafting” (Gutt, 2007; Higgs *et al.*, 2009) y la existencia de especies con estados larvales relativamente largos permiten una amplia distribución geográfica de las especies que habitan en esta región del mundo (Linse *et al.*, 2006; Heilmayer *et al.*, 2008).

Los gasterópodos del género *Nacella*, que junto con los bivalvos de la familia Philobryidae fueron los taxa más abundantes encontrados en las expediciones colombianas, también son unos de los moluscos más dominantes en el océano Austral, en donde se distribuyen ampliamente (Linse *et al.*, 2006; Higgs *et al.*, 2009; Jackson *et al.*, 2015; González-Wevar *et al.*, 2017). Sin embargo, las especies del género *Nacella* presentan una marcada regionalización en esta área, tal como lo establecieron González-Wevar *et al.* (2010) quienes, basados en análisis moleculares, determinaron que las especies de *Nacella* geográficamente distantes pertenecen a diferentes linajes genéticos. Las especies patagónicas están claramente separadas de las de la península Antártica, el centro de Chile y la isla subantártica Heard en el océano Índico de Antártida oriental. *Nacella*

DISCUSSION

Three expeditions of the Colombian Antarctic Program carried out in southern summers, collected molluscs at the stations sampled in the geographical area of the Strait of Gerlache. Although they are specific samples from expeditions that had different objectives and not specifically benthic samples, these are the first Antarctic molluscs to be recorded in a collection of marine fauna in Colombia. The closest records correspond to the subantarctic zone of the Indian Ocean, collected in 1982 and which are deposited in the mollusc collection of the University of Valle. The identified molluscs are previously reported in some locations in western Antarctica, but the records of some species in the stations carried out by the three Colombian expeditions constitute new sites in their distribution, as is the case of *Philobrya sublaevis* and *Adacnarca nitens* in the station E543 of the expedition III “Admiral Padilla” 2016/2017 carried out near Trinity Island.

Most of the mollusc species found south of the subantarctic convergence have distribution throughout the strip that surrounds the Antarctic continent (Cantera and Arnaud, 1984; Hain, 1990), and although biogeographic provinces are recognized, the circumpolar current Antarctica (Jackson *et al.*, 2015), together with the possibility that some species adhere to floating material “rafting” (Gutt, 2007; Higgs *et al.*, 2009) and the existence of species with relatively long larval stages, allow a wide geographical distribution of the species that inhabit this region of the world (Linse *et al.*, 2006; Heilmayer *et al.*, 2008).

Gastropods of the genus *Nacella*, which together with the bivalves of the Philobryidae family were the most abundant taxa found in Colombian expeditions, are also one of the most dominant molluscs in the Southern Ocean, where they are widely distributed (Linse *et al.*, 2006; Higgs *et al.*, 2009; Jackson *et al.*, 2015; González-Wevar *et al.*, 2017). However, the species of the genus *Nacella* presents a marked regionalization in this area, as established by González-Wevar *et al.* (2010) who, based on molecular analysis, determined that geographically distant *Nacella* species belong to different genetic lineages. The Patagonian species are separated from those of the Antarctic Peninsula, central Chile, and the subantarctic Heard Island in the Indian Ocean of East Antarctica. *Nacella concinna*, a species found in the present study with four specimens,

concinna, especie hallada en el presente estudio con cuatro ejemplares, exhibió además una considerable plasticidad fenotípica, dificultando su identificación y haciendo confusa su identidad, la cual solo se hizo evidente al relacionarla con el área de estudio (cf. González-Wevar *et al.*, 2017). Esta particularidad hace que su determinación taxonómica a nivel específico presente dificultades.

Las otras especies fueron encontradas en números bajos, a veces un solo individuo. En esta área geográfica, las dificultades para coleccionar material bentónico son grandes, debido a la existencia de fondos muy diferentes con abundancia de rocas de gran tamaño y se requiere usar equipos diversos, además de muestreos bentónicos intensos para lograr una recolección sistemática de los organismos. Debe resaltarse que las expediciones colombianas tuvieron diferentes objetivos y las recolecciones de moluscos fueron realizados con draga Shipek. Para moluscos de esta región es necesario combinar (Arnaud, 1974; Cantera y Arnaud, 1984) la utilización de dragas de tamaño mediano a grande (por ejemplo, las dragas Charcot Picard, Okean SIPAN) y redes de pesca de arrastre (Blake, “de percha”). Estos dos factores (sustratos difíciles y uso de un solo tipo de draga) pueden explicar la baja abundancia de especímenes y especies de moluscos. Igualmente, algunos de los especímenes, especialmente los más pequeños han sido conservados en el museo en mal estado de conservación, presentando las conchas bastante erosionadas, muy probablemente debido al sistema de fijación utilizado durante la expedición (formalina, por ejemplo) que, para organismos calcáreos en general, pero en mayor medida para micromoluscos no es conveniente. Además, los caenogasterópodos diminutos y pequeños constituyen una gran proporción de la diversidad de gasterópodos en el mundo, pero aún más en la Antártida (Bouchet *et al.*, 2002). La clasificación de prosobranquios diminutos ha demostrado ser usualmente difícil y probablemente la menos comprendida, siendo estos libremente identificados como “Rissoacea” (Ponder, 1983). Su morfología pequeña y simple puede hacer que la identificación, incluso a nivel de familia, sea difícil (Hershler y Ponder, 1998; Geiger *et al.*, 2007; Criscione y Ponder, 2013). Sin embargo, los especímenes encontrados han permitido la identificación de manera conservadora, a nivel de superfamilia a los más deteriorados (Cingulopsoidea sp. y Truncatelloidea sp.), de género a dos de los microgasterópodos (*Anatoma* sp. y *Eatoniella* sp.), y de especie a *Prosipho turritus*.

La continuidad de este tipo de investigación básica, tanto a nivel local, como regional y global es muy

also exhibited considerable phenotypic plasticity, making it difficult to identify and confusing its identity, which only became evident when relating it to the study area (cf. González-Wevar *et al.*, 2017). This particularity makes its taxonomic determination at a specific level present difficulties.

The other species were found in low numbers, sometimes a single individual. In this geographical area, the difficulties in collecting benthic material are great, due to the existence of very different substrates with an abundance of large rocks, and it is necessary to use various equipment, in addition to intense benthic sampling to achieve a systematic collection of benthic organisms. It should be noted that the Colombian expeditions had different objectives and the mollusc collections were carried out with a Shipek grab. For molluscs from this region, it is necessary to combine (Arnaud 1974, Cantera and Arnaud, 1984) the use of the medium to large size grabs (for example, Charcot Picard, Okean SIPAN grabs) and trawling nets (Blake, “de percha”). These two factors (difficult substrates and use of only one type of grab) may explain the low abundance of specimens and species of molluscs. Likewise, some of the specimens, especially the smaller ones, have been preserved in the museum in a poor state of preservation, showing the shells quite eroded, most likely due to the fixation system used during the expedition (formalin, for example) that, for calcareous organisms in general, but to a greater extent for micromolluscs it is not suitable. Furthermore, tiny and small caenogastropods make up a large proportion of the world’s gastropod diversity, but even more so in Antarctica (Bouchet *et al.*, 2002). The classification of tiny prosobranchs has proven to be usually difficult and probably the least understood, these being loosely identified as “Rissoacea” (Ponder, 1983). Its small and simple morphology can make an identification, even at the family level, difficult (Hershler and Ponder 1998; Geiger *et al.*, 2007; Criscione and Ponder, 2013). However, the specimens found have allowed the identification conservatively, at the superfamily level of the most deteriorated (Cingulopsoidea sp. and Truncatelloidea sp.), at the genus level of two of the microgastropods (*Anatoma* sp. and *Eatoniella* sp.), and at species level to *Prosipho turritus*.

The continuity of this type of basic research, both locally, regionally, and globally is very important. The Antarctic region has been key to establishing global patterns of marine diversity, and one of the pioneering

importante. La región antártica ha sido clave para establecer patrones globales de diversidad marina, y uno de los taxa pioneros que han permitido el establecimiento de dichos patrones ha sido el phylum Mollusca (Linse *et al.*, 2006), más específicamente los bivalvos y gasterópodos. Dichos autores, al analizar la base de datos de los moluscos del océano austral (*i.e.* Southern Ocean Molluscan Database -SOMBASE, Griffiths *et al.*, 2003) indicaron que en el océano Austral la biodiversidad de gasterópodos y bivalvos está distribuida por parches (a escala de 1000 km) y que, para casi todas las áreas de su estudio y en todos los niveles taxonómicos, los gasterópodos presentan mayor riqueza que los bivalvos. Esta tendencia se puede observar en el presente trabajo y también en los trópicos y a nivel global (Bouchet *et al.*, 2002; Rosenberg, 2014). De igual manera determinaron que a la fecha del estudio se conocían en el océano austral aproximadamente 895 gasterópodos con concha y 379 especies de bivalvos. En el mismo trabajo, los autores dividieron el área en 12 subregiones utilizando análisis multivariados de los registros recientes de dichos moluscos. Dos de las 12 subregiones fueron la península Antártica y las islas Shetland del Sur, dentro de las cuales estuvieron localizadas las estaciones de colecta de moluscos del presente estudio. Dentro de la subregión de la península Antártica se incluyen el archipiélago Palmer, el estrecho de Gerlache y la región más cercana a la península del estrecho de Bransfield. La otra parte del estrecho de Bransfield está comprendida dentro de la subregión de las islas Shetland del Sur.

Con base en SOMBASE se registran, para la península Antártica, 131 especies, 81 géneros y 47 familias de moluscos (incluyendo solamente gasterópodos con concha y bivalvos). Para la subregión de las islas Shetland del Sur, están registradas 160 especies, 90 géneros y 56 familias de moluscos. En otras subregiones de los mares que tienen relación con el área estudiada, se sabe que el mar de Bellingshausen está “muy pobremente muestreado”, con 11 especies, 9 géneros y 7 familias de bivalvos (ningún gasterópodo). El mar de Weddell, al contrario, representa uno de los tres “hotspots” de la Antártida occidental, en cuanto a riqueza de moluscos (junto con Georgia del Sur y el mar de Ross), con 301 especies, 126 géneros y 69 familias de moluscos (Linse *et al.*, 2006).

La presente investigación constituye una pequeña fracción de las especies de moluscos registradas para la Antártida, pero representa para Colombia su primera incursión en los estudios malacológicos del océano austral,

taxa that have allowed the establishment of such patterns has been the phylum Mollusca (Linse *et al.*, 2006), more specifically bivalves and gastropods. These authors, when analyzing the database of molluscs of the Southern Ocean (*i.e.* Southern Ocean Mollusc Database -SOMBASE, Griffiths *et al.*, 2003) indicated that in the Southern Ocean, the biodiversity of gastropods and bivalves is distributed by patches (a scale of 1000 km) and that, for almost all the areas of their study and at all taxonomic levels, gastropods present greater richness than bivalves. This trend can be observed in the present work and also in the tropics and globally (Bouchet *et al.*, 2002; Rosenberg, 2014). In the same way, they determined that at the date of the study, approximately 895 gastropods with shells and 379 species of bivalves were known in the Southern Ocean. In the same work, the authors divided the area into 12 subregions using multivariate analyzes of recent records of these molluscs. Two of the 12 subregions were the Antarctic Peninsula and the South Shetland Islands, within which the mollusc collection stations of the present study were located. The Antarctic Peninsula subregion includes the Palmer Archipelago, the Gerlache Strait, and the region closest to the Bransfield Strait peninsula. The other part of the Bransfield Strait falls within the South Shetland Islands subregion.

Based on SOMBASE, 131 species, 81 genera, and 47 families of molluscs (including only shelled gastropods and bivalves) are recorded for the Antarctic peninsula. For the South Shetland Islands subregion, 160 species, 90 genera, and 56 families of molluscs are recorded. In other subregions of the seas that are related to the studied area, the Bellingshausen Sea is known to be “very poorly sampled”, with 11 species, 9 genera and 7 families of bivalves (no gastropods). The Weddell Sea, by contrast, represents one of the three “hotspots” of West Antarctica, in terms of mollusc richness (along with South Georgia and the Ross Sea), with 301 species, 126 genera, and 69 families of molluscs (Linse *et al.*, 2006).

This research constitutes a small fraction of the mollusc species registered for Antarctica, but it represents for Colombia, its first foray into malacological studies of the Southern Ocean, adding to inventories of species cataloged in natural history museums that have material from this region and global bio-informatics project platforms (eg. Ocean Biodiversity Information System - OBIS and SCAR-MarBIN). In the future, it is intended that the analysis of data collected together in these platforms



sumándose a inventarios de especies catalogadas en los museos de historia natural que tienen material de esta región y a plataformas de proyectos bio-informáticos globales (e.g. Ocean Biodiversity Information System - OBIS y SCAR-MarBIN). A futuro, se busca que el análisis de datos consignados en conjunto en estas plataformas contribuya tanto a explicar patrones biogeográficos en el tiempo, como a aportar bases para definir posibles áreas de conservación, en concordancia con el objetivo del Proyecto “BioGerlache-Antártida” del Invemar y de las expediciones colombianas a la Antártida.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Capitán Francisco Arias Isaza, Constanza Ricaurte, Manuel Garrido y Cristina Cedeño (Invemar) por traer las muestras de moluscos desde la Antártida para su identificación. A David Alonso (BEM-Invemar) por el apoyo e interés en el proyecto “BioGerlache-Antártida”. Igualmente, a la tripulación científica y de la Armada de la República de Colombia por el apoyo brindado durante las expediciones “Caldas” (I), “Almirante Padilla” (III) y “Almirante Campos” (V). A la Dirección Marítima de Colombia (DIMAR) y a la Comisión Colombiana del Océano (CCO) por su gestión en el Programa Antártico Colombiano (PAC). Este trabajo fue financiado por Invemar y el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 0092 de 2016, Código BPIN 2014011000405 (III Expedición) y Resolución 0129 de 2018, Código BPIN 2017011000113 (V Expedición). Este trabajo constituye la publicación No. 1293 del Invemar. La primera autora dedica este trabajo a Juan Manuel Díaz Merlano, Adriana Gracia y Néstor Ardila (malacólogos colombianos), en agradecimiento al conocimiento transmitido y al interés que sus enseñanzas despertaron sobre los moluscos.

contributes, both to explain biogeographic patterns over time, and to provide bases to define possible conservation areas, following the objective of the “BioGerlache-Antarctica” Project Invemar and the Colombian expeditions to Antarctica.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank Captain Francisco Arias Isaza, Constanza Ricaurte, Manuel Garrido, and Cristina Cedeño (Invemar) for bringing the mollusc samples from Antarctica for identification. To David Alonso (BEM-Invemar) for his support and interest in the “BioGerlache-Antártida” project. Likewise, to the scientific crew and staff of the vessel “ARC 20 de Julio” of the Navy of the Republic of Colombia, for the support provided during the “Caldas” (I), “Admiral Padilla” (III) and Admiral Campos (V) expeditions. To the Maritime Authority of Colombia (DIMAR) and the Colombian Ocean Commission (CCO) for their management in the Antarctic Program (PAC). This work was funded by Invemar and the Ministry of Environment and Sustainable Development, Resolution 0092 of 2016, BPIN Code 2014011000405 (III expedition) and Resolution 0129 of 2018, BPIN Code 2017011000113 (V expedition). This work constitutes publication No. 1293 of Invemar. The first author dedicates this work to Juan Manuel Díaz Merlano, Adriana Gracia, and Néstor Ardila (Colombian malacologists), in gratitude for the knowledge transmitted and the interest that her teachings aroused about molluscs.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Adams, A. 1862. On some new species of Scissurellidae from the Seas of China and Japan. *Ann. Mag. nat. Hist.*, 10(3): 346–348. <https://doi.org/10.1080/00222936208681336>
- Aldea, C. and J.S. Troncoso. 2008. Systematics and distribution of shelled molluscs (Gastropoda, Bivalvia and Scaphopoda) from the South Shetland Islands to the Bellingshausen Sea, West Antarctica. *Iberus*, 26(2): 43-117.
- Aldea, C., C. Olabarria and J. Troncoso. 2009. Bathymetric zonation and diversity gradient of gastropods and bivalves in West Antarctica from the South Shetland Islands to the Bellingshausen Sea. *Deep-Sea Res. (1 Oceanogr. Res. Pap.)*, 55: 350–368.
- Alroy, J. 2010. The shifting balance of diversity among major animal groups. *Science*, 329: 1191–1194.
- Bandel, K. 1998. Scissurellidae als Modell für die Variationsbreite einer natürlichen Einheit der Schlitzbandschnecken (Mollusca, Archaeogastropoda). *Mitteil. Geologisch-Paläontolog. Inst. Univ. Hamburg*, 81: 1–120.

- Biodiversity Heritage Library -BHL. 2019. Smithsonian Institution. <https://www.biodiversitylibrary.org/20/09/2019>.
- Brinton, E. 1991. Distribution and population structures of immature and adult *Euphausia superba* in the western Bransfield Strait region during the 1986–87 summer. *Deep-Sea Res.*, 38: 1169-1194.
- Bouchet, P., P. Lozouet, P. Maestrati and V. Heros. 2002. Assessing the magnitude of species richness in tropical marine environments: exceptionally high numbers of molluscs at a New Caledonia site. *Biol. J. Linn. Soc.*, 75: 421–436.
- Castillo-Rodríguez, Z. 2014. Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Rev. Mex. Biod. Supl.*, 85: 419 - 430.
- Census of Marine Life – COML. 2019. www.coml.org/3/10/2019.
- Clarke, A. and J.A. Crame. 1989. The origin of the Southern Ocean marine fauna. In: Crame, J.A. (Ed.), *Origins and Evolution of the Antarctic Biota*, Geol. Soc. London Spec. Publ., 47: 253–268.
- Clarke, A. and J.A. Crame. 1992. The Southern Ocean benthos fauna and climate change: a historical perspective. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 338: 299–309.
- Clarke, A., E.J. Murphy, M.P. Meredith, J.C. King, L.S. Peck, D.K.A. Barnes and R.C. Smith. 2007. Climate change and the marine ecosystem of the Western Antarctic Peninsula. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 362: 149–166. DOI:10.1098/rstb.2006.1958.
- Comisión Colombiana del Océano (CCO) – Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos (CTN AA). 2014. *Agenda Científica Antártica de Colombia 2014 – 2035*. Secretaría Ejecutiva de la CCO, Bogotá, D.C. 75 p.
- Crame, J.A., A.G. Beu, J.R. Ineson, J.E. Francis, R.J. Whittle and V.C. Bowman. 2014. The early origin of the Antarctic marine fauna and its evolutionary implications. *PLoS ONE* 9(12): e114743. DOI:10.1371/journal.pone.0114743.
- Criscione, F. and W.F. Ponder. 2013. A phylogenetic analysis of rissooidean and cingulopsoidean families (Gastropoda: Caenogastropoda). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 66: 1075–1082.
- Dall, W.H. 1876. Mollusks. Contributions to the Natural History of Kerguelen Island, made in connection with the United States Transit-of-Venus Expedition, 1874-75. *Bull. U.S. Natl. Mus. -Smithsonian Instit.*, 3: 42-48.
- Dell, R. K. 1964. Antarctic and sub-Antarctic Mollusca: Amphineura, Scaphopoda and Bivalvia. *Discov. Rep.*, 33: 99-250.
- Dell, R. K. 1990. Antarctic Mollusca with special reference to the fauna of the Ross Sea. *J. R. Soc. NZ.*, 27: 1- 311.
- Egorova, E. N. 1982. Biological results of the Soviet Antarctic expeditions, 7, Mollusca of the Davis Sea. *Explor. Faunas Seas*, 26 (34): 1-142.
- Encyclopedia of Life - EOL. <http://eol.org/17/09/2019>.
- Fretter, V. and A. M. Patil. 1958. A revision of the systematic position of the prosobranch gastropod *Cingulopsis* (= *Cingula*) *fulgida* (J. Adams). *Proc. Malacol. Soc. Lond.*, 33(3): 114–126.
- Geiger, D.L. 2003. Phylogenetic assessment of characters proposed for the generic classification of Recent Scissurellidae (Gastropoda: Vetigastropoda) with a description of one new genus and six new species from Easter Island and Australia. *Moll. Res.*, 23: 21–83.
- Geiger, D.L. 2019. The families Scissurellidae, Anatomidae, and Sutilizonidae in the northeast Pacific. *Zoosymposia*, 13: 044 – 052.
- Geiger, D.L. and J.H. McLean. 2010. New species and records of Scissurellidae and Anatomidae from the Americas (Mollusca: Gastropoda: Vetigastropoda). *Zootaxa*, 2356: 1–35.
- Geiger, D.L., B.A. Marshall, W.F. Ponder, T. Sasaki and A. Warén. 2007. Techniques for collecting, handling, preparing, storing and examining small molluscan specimens. *Molluscan Res.*, 27: 1–50.
- Global Biodiversity Information Facility –GBIF. 2019. <https://www.gbif.org/05/10/2019>.
- Golikov, A.N. and Y.I., Starobogatov. 1975. Systematics of prosobranch gastropods. *Malacologia*, 15(1): 185-232.
- González-Wevar, C.A., T. Nakano, J.I. Cañete and E. Poulin. 2010. Molecular phylogeny and historical biogeography of *Nacella* (Patellogastropoda: Nacellidae) in the Southern Ocean. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 56: 115–124.
- González-Wevar, C.A., M. Hüne, N.I. Segovia, T. Nakano, H.G. Spencer, S. Chown, T. Saucède, G. Johnstone, A. Mansilla and E. Poulin. 2017. Following the Antarctic Circumpolar Current: patterns and processes in the biogeography of the limpet *Nacella* (Mollusca: Patellogastropoda) across the Southern Ocean. *J. Biogeogr.*, 44: 861–874.
- González-Wevar, C.A., M. Hüne, S. Rosenfeld, T. Nakano, T. Saucède, H. Spencer and E. Poulin. 2018. Systematic revision of *Nacella* (Patellogastropoda: Nacellidae) based on a complete phylogeny of the genus, with the description of a new species from the southern tip of South America. *Zool. J. Linn. Soc.*, XX: 1–34. DOI: 10.1093/zoolinnean/zly067.
- Gray, J. E. 1840. Shells of molluscous animals. *Syn. Cont. Brit. Mus.*, 42: 105–152.



- Gray, J.E. 1847. A list of the genera of the recent Mollusca, their synonyms and types. Proc. Zool. Soc. Lond., 15: 129–219.
- Griffiths, H.J., K. Linse and J.A. Crame. 2003. SOMBASE— Southern Ocean Mollusc Database: a tool for biogeographic analysis in diversity and ecology. Org. Divers. Evol., 3: 207–213.
- Gutt, J. 2007. Antarctic macro-zoobenthic communities: a review and an ecological classification. Antarct. Sci. 19:165–182.
- Hain, S. 1990. Die beschalteten benthischen Mollusken (Gastropoda und Bivalvia) des Weddellmeeres, Antarktis. Berich. Polarforsch., 70: 1-181.
- Haszprunar, G. and A. Wanninger. 2012. Molluscs Curr. Biol., 22: 510–514.
- Hedley, C. 1916. Mollusca. Australian Antarctic Expedition. Ser. C. Zoology and Botany, 4(1): 1-80.
- Heilmayer, O., S. Thatje, C. McClelland, K. Conlan and T. Brey. 2008. Changes in biomass and elemental composition during early ontogeny of the Antarctic isopod crustacean *Ceratoserolis trilobitoides*. Polar Biol., 31: 1325–1331. DOI: 10.1007/s003000008-0470-8.
- Hershler, R. and Ponder, W.F. 1998. A review of morphological characters of hydrobioid snails. Smithson. Contr. Zool., 600 (i–iii): 1–55.
- Higgs, N.D., A.J. Reed, R. Hooke, D.J. Honey, O. Heilmayer and S. Thatj. 2009. Growth and reproduction in the Antarctic brooding bivalve *Adacnarca nitens* (Philobryidae) from the Ross Sea. Mar Biol., 156:1073–1081.
- Huntley, M.E., E. Brinton, M.D.G. López, A. Townsend and W. Nordhausen. 1990. RACER: Fine-scale and mesoscale zooplankton studies during the spring bloom, 1989. Antarct. J. US, 25: 157–159.
- Jackson, J.A., K. Linse, R. Whittle and H.J. Griffiths. 2015. The evolutionary origins of the Southern Ocean philobryid bivalves: hidden biodiversity, ancient persistence. PLoS ONE 10(4): e0121198. DOI:10.1371/journal.pone.0121198.
- Lamy, E. (1906 [«1905»]). Gastropodes, Prosobranches et Pélécypodes. Expédition Antarctique Française (1903-05), Sci. Nat., Paris, 20 p.
- Lamy, E. 1911. Gastropodes Prosobranches, Scaphopode et Pélécypodes. Deuxième Expédition Antarctique Française (1908-1910), Sci. Nat., Paris, 32 p.
- Linse, K. 1997. Die Verbreitung epibenthischer Mollusken im chilenischen Beagle-Kanal. Ber. Polarforsch., 228: 1-131.
- Linse, K. 2002. The shelled magellanic Mollusca: with special reference to biogeographic relations in the Southern Ocean. Theses Zool., 34: 1-252.
- Linse, K., 2006. New records of shelled marine molluscs at Bouvet Island and preliminary assessment of their biogeographic affinities. Polar. Biol., 29: 120-127.
- Linse, K., H.J. Griffiths, D.K.A. Barnes and A. Clarke. 2006. Biodiversity and biogeography of Antarctic and sub-Antarctic mollusca. Deep-Sea Res., II, 53: 985-1008.
- Moffat, C. and M. Meredith. 2018. Shelf–ocean exchange and hydrography west of the Antarctic Peninsula: a review. Phil. Trans. R. Soc. A, 376: 20170164, 17 p. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2017.0164>
- MolluscaBase. 2019. MolluscaBase. <http://www.molluscabase.org> 28/08/2019.
- Monterosato, T. A. 1877. Notizie sulle conchiglie della rada di Civitavecchia. Ann. Mus. Civ. Genova, 9 (1876-1877): 407-428.
- Mühlenhardt-Siegel, U. 1989. Antarktische Bivalvia der Reisen des FS “Polarstern” und des FFS “Walther Herwig” aus den Jahren 1984 bis 1986. Mitt. Hamb. Zool. Mus. Inst., 86: 153-178.
- Nakano, T. and T. Ozawa. 2007. Worldwide phylogeography of limpets of the order Patellogastropoda: molecular, morphological and palaeontological evidence. J. Molluscan Stud., 73: 79–99.
- Nicol, D. 1966. Descriptions, ecology and geographic distribution of some Antarctic pelecypods. Bull. Am. Paleontol., 51: 1-102.
- Ocean Biogeographic Information System – OBIS. 2019. <https://obis.org/> 9/09/2019.
- Oliver, P. G. and G. B. Picken. 1984. Prosobranch gastropods from Signy Island, Antarctica: Buccinacea and Muricacea. Brit. Antarct. Surv. Bull., 62: 95-115.
- Parkhaev, P. Y. 2008. The early Cambrian radiation of Mollusca. In Ponder, W. F. and D. R. Lindberg (Eds). 2008. Phylogeny and evolution of the Mollusca. University of California Press, Berkeley, 480 p.
- Parkhaev, P. Y. 2017. Origin and the early evolution of the phylum Mollusca. Paleontol. J., 51: 663–686.
- Pelseneer, P. 1903. Zoologie: Mollusques (Amphineures, Gastropodes et Lamellibranches). Résultats du Voyage du S.Y. Belgica en 1897-1898-1899 sous le commandement de A. de Gerlache de Gomery: Rapports Scientifiques (1901-1913). Buschmann, Anvers. 85 p.
- Picken, G. 1980. The distribution, growth, and reproduction of the Antarctic limpet *Nacella (Patinigera) concinna* (Strebel, 1908). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 42(1): 71–85.

- Ponder, W.F. 1965. The family Eatoniellidae in New Zealand. Rec. Auckland Inst. Mus., 6(2): 47-100.
- Ponder, W. F. 1983. Risssoform gastropods from the Antarctic and Sub-Antarctic: the Eatoniellidae, Rissoidae, Barleeidae, Cingulopsidae, Orbitestellidae and Rissoellidae (Mollusca: Gastropoda) of Signy Island, South Orkney Islands, with a review of the Antarctic and sub-Antarctic (excluding southern South America and the New Zealand sub-Antarctic islands) species. Brit. Antarct. Surv. Scient. Rep., 108: 1-96.
- Powell, A.W.B. 1951. Antarctic and Subantarctic Mollusca: Pelecypoda and Gastropoda. Discov. Rep., 26: 47-196.
- Rosenberg, R. 2014. A new critical estimate of named species-level diversity of the recent Mollusca. Amer. Malac. Bull., 32(2): 308–322.
- Sartori, A. F. and O. Domaneschi. 2005. The functional morphology of the Antarctic bivalve *Thracia meridionalis*
- Secretariat of the Antarctic Treaty. 2018. Rules of Procedure of the Antarctic Treaty Consultative Meeting and the Committee for Environmental Protection. Buenos Aires, Argentina, 43 p.
- Sepkoski J.J., Jr. 2002. A compendium of fossil marine animal genera. Bull. Am. Paleont., 363, 1-560.
- Smith, E. A., 1885. Report on the Lamellibranchiata collected by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. Rep. Scient. Res. Expl. Voy. H.M.S. Challenger, Zool., 13(35): 1-341.
- Soot-Ryen, T. 1951. Antarctic Pelecypoda. Scient. Results Norw. Antarct. Exped., 32: 1–46.
- Stimpson, W. 1865. Researches upon the Hydrobiinae and allied forms chiefly made upon materials in the museum of the Smithsonian Institution. Smithson. Misc. Collect., 201: 1–59.
- Strebel, H. 1908. Die Gastropoden (mit Ausnahme de nackten Opisthobranchier). Wissensch. Ergebn. Schwedisch. Südpolar-Exp. 1901–1903, 6: 1–111.
- Suda, C.N.K., G.S. Vani, M. Feijo de Oliveira, E. Rodrigues Jr., E. Rodrigues and H.P. Lavrado. 2015. The biology and ecology of the Antarctic limpet *Nacella concinna*. Pol. Biol., 38(12): 1949-1969.
- Thiele, J. 1912. Die antarktischen Schnecken und Muscheln. In Drygalski, E. von (Ed.): Deutsche Südpolar-Expedition (1901-1903), 13: 183-286.
- Thiele J. and S. Jaekel. 1931. Muscheln der Deutschen Tiefsee Expedition. Wissensch. Ergebn. Deutschen Tiefsee-Exp. Dampfer 1898-1899, 21: 158-268.
- Troncoso, J., C. Aldea, P. Arnaud, A. Ramos and F. García. 2007. Quantitative analysis of soft-bottom molluscs in the Bellingshausen Sea and around Peter I Island. Polar Res., 26(2): 126-134. DOI: 10.1111/j.1751-8369.2007.00033.x.
- Urcola, M.R. and D.G. Zelaya. 2018. The genus *Cyamiocardium* Soot-Ryen, 1951 (Bivalvia: Cyamiidae) in sub-Antarctic and Antarctic waters. Polar Biol., 41(6):1157-1174. DOI: 10.1007/s00300-018-2275-8.
- Valdovinos, C. and M. Rùth. 2005. Nacellidae limpets of the southern end of South America: taxonomy and distribution. Rev. Chil. Hist. Nat., 78: 497–517.
- Vinther, J. 2014. A molecular palaeobiological perspective on aculiferan evolution. J. Nat. Hist., 48: 2805–2823.
- Wanninger, A. and T. Wollesen. 2019. The evolution of molluscs. Biol. Rev., 94: 102–115. DOI: 10.1111/brv.12439.
- Watson, R. B. 1886. Report on the Scaphopoda and Gasteropoda collected by H.M.S. Challenger during the years 1873-76. Rep. Scient. Res. Voy. M.S. Challenger, 1873-1876, Zool., 15: 1-756.
- Woodward, S. P. 1859. On a new species of mollusk of the genus *Scissurella* d'Orb. Proc. Zool. Soc. Lond., 27: 202–204.
- World Register of Marine Species -WoRMS Editorial Board. 2019. <http://www.marinespecies.org> (DOI: 10.14284/170). 24/09/2019.
- Zelaya, D. 2004. The genus *Margarella* Thiele, 1893 (Gastropoda: Trochidae) in the southwestern Atlantic Ocean. Nautilus, 118(3):112-120.
- Zhou, M., W. Nordhausen and M.E. Huntley. 1994. ADCP measurements of the distribution and abundance of euphausiids near the Antarctic Peninsula in winter. DeepSea Res. I., 41: 1425–1445.
- Zhou, M., P.P. Niiler and J.H. Hu. 2002. Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. Deep-Sea Res. I., 49: 267–280.

RECIBIDO/RECEIVED: 30/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 11/12/2020



NOTA / NOTE

Aportes al conocimiento de las macroalgas del estrecho de Gerlache - Antártica

Contributions to the knowledge of macroalgae of the Gerlache Strait - Antarctica

Natalia Rincón-Díaz^{1*}, Erasmo Macaya^{2,3} y Sara E. Guzmán-Henao⁴

0000-0002-4908-4802

0000-0002-9878-483X

0000-0001-7223-1404

1. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Invemar; Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. mnrincon@unal.edu.co
 2. Laboratorio de Estudios Algales (ALGALAB), Universidad de Concepción. Departamento de Oceanografía, Cabina 3 Casilla 160-C, Concepción, Chile. emacaya@oceanografia.udec.cl
 3. Centro FONDAP de Investigaciones en Dinámica de Ecosistemas Marinos de Altas Latitudes (IDEAL), Chile.
 4. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. Invemar; Calle 25 No. 2-55, Playa Salguero, Santa Marta, Colombia. sara.guzman@invemar.org.co
- * Autor de correspondencia.

RESUMEN

Esta investigación es un aporte al conocimiento de algunas especies de macroalgas marinas que fueron recolectadas durante las expediciones científicas "Almirante Padilla" (2016-2017) y "Almirante Campos" (2018-2019), en las que participó el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar con el proyecto: Biodiversidad y Condiciones Oceanográficas del Estrecho de Gerlache "Biogerlache-Antártica". Se realizaron recolectas usando draga tipo Shipek y videos subacuáticos con un ROV (Remote Operated Vehicle). Se identificaron seis especies, cuatro Rhodophyta y dos Ochrophyta-Phaeophyceae. Se incluye información sobre la profundidad y zonación donde las macroalgas fueron halladas, y su relación con registros previos para el área de estudio.

PALABRAS CLAVE: Rhodophyta, Phaeophyceae, Profundidad, Macroalgas bentónicas polares

ABSTRACT

This research is a contribution to the knowledge of some marine macroalgae species collected during the "Admiral Padilla" (2016-2017) and "Admiral Campos" (2018-2019) scientific expeditions, in which the Marine and Coastal Research Institute-Invemar participated with the project "Biodiversity and Oceanographic Conditions of the Gerlache Strait-Biogerlache-Antartica". Samples were taken using a Shipek dredge; and underwater video recordings were made with a ROV (Remote Operated Vehicle). Six (6) species were identified: four (4) Rhodophyta and two (2) Ochrophyta-Phaeophyceae. Depth and zonation information where the macroalgae were found is included, and their relationship with previous records for the study area.

KEYWORDS: Rhodophyta, Phaeophyceae, Depth, Polar benthic macroalgae

El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Invemar, ha participado en las expediciones científicas al continente Antártico desde el año 2014. Inició con la “Expedición Caldas” (2014-2015); posteriormente participó en la “Expedición Almirante Padilla” (2016-2017) y en el último verano austral 2018-2019, hizo parte de la “Expedición Almirante Campos” con el proyecto: Biodiversidad y Condiciones Oceanográficas del Estrecho de Gerlache “Biogerlache-Antártica”. El objetivo ha sido caracterizar la fauna y flora Antártica del estrecho de Gerlache, para crear una línea base de conocimiento biológico que genere nuevos aportes a los inventarios de la Antártica como herramienta para el establecimiento de posibles áreas de conservación y definir estrategias de manejo y protección para estos ecosistemas.

Entre los grupos bentónicos que se han venido monitoreando se encuentran las macroalgas, organismos en la base de las redes tróficas de los ecosistemas marinos, los cuales además proveen áreas de desove y refugio para diversas especies y contribuyen significativamente a la biogeoquímica global (Lee, 2008; Mystikou *et al.*, 2014). En ambientes costeros rocosos templados y polares, las algas pardas son los principales productores primarios y junto con las rojas dominan en composición y abundancia (Mystikou *et al.*, 2014).

Las macroalgas se recolectaron en expediciones realizadas en 2016-2017 y 2018-2019, en estaciones con profundidades desde 35 a 187 m cercanas a isla Trinity, base Palmer, bahía Andvord y puerto Mikkelsen (Figura 1); estas fueron extraídas usando draga tipo Shipek que permitió desprenderlas del sustrato rocoso. Se tomaron videos subacuáticos de ambientes dominados por el alga parda *Cystosphaera jacquinotii* por medio de un ROV (Remote Operated Vehicle) FO III Mariscope en la estación E643, a 31-37 m (Figura 2b, c). Además, se recolectó un ejemplar encontrado a la deriva en la estación E633, cerca de la isla Brabant.

En el laboratorio se identificaron las macroalgas empleando claves taxonómicas y referencias específicas para la Antártica (*e.g.* Ricker, 1987; Chung *et al.*, 1994; Yoneshigue-Valentin *et al.*, 2012; Mystikou *et al.*, 2014; Wiencke *et al.*, 2014; Gómez *et al.*, 2015). Las muestras se preservaron en etanol al 96 %, algunas se herborizaron y se ingresaron a las colecciones del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC)-Makuriwa. La nomenclatura, los nombres científicos y autoridades se asignaron de acuerdo con Guiry y Guiry (2020).

The Invemar (Marine and Coastal Research Institute) has participated in scientific expeditions to the Antarctic continent since 2014. We started with the “Caldas Expedition” (2014-2015), later we participated in the “Admiral Padilla Expedition” (2016-2017), and the last southern summer 2018-2019, were part of the “Admiral Campos Expedition” with the project: Biodiversity and Oceanographic Conditions of the Strait of Gerlache “Biogerlache-Antarctica”. The aim has been to characterize the Antarctic fauna and flora of the Gerlache Strait, to create a baseline of biological knowledge that generates new contributions to the Antarctic inventories as a basis for the establishment of possible conservation areas, and to define management and protection strategies, for these ecosystems.

Among the benthic groups monitored are macroalgae, organisms at the base of the food chain of marine ecosystems. Seaweed also provides spawning and refuge areas for various species and contributes significantly to global biogeochemistry (Mystikou *et al.*, 2014). In rocky temperate, and polar coastal environments, the brown algae are the principal primary producers, and together with red algae dominate in composition and abundance (Mystikou *et al.*, 2014).

The macroalgae were collected in expeditions carried out in the years 2016-2017 and 2018-2019, in sites with depths from 35 to 187 m; close to Trinity Island, Palmer Station, Andvord Bay and Mikkelsen Harbor (Figure 1). Seaweeds were collected using a Shipek type dredge that detached them from the rocky substrate. Underwater videos were recorded of environments dominated by brown algae *Cystosphaera jacquinotii* with a ROV FO III Mariscope (Remote Operated Vehicle) at E643 station, between depths of 31-37 m (Figure 2b, c). Also, a specimen found drifting at E633 station, near Brabant Island, was collected.

Macroalgae were identified in the laboratory using taxonomic keys and specific references for Antarctica (*e.g.* Ricker, 1987; Chung *et al.*, 1994; Yoneshigue-Valentin *et al.*, 2012; Mystikou *et al.*, 2014; Wiencke *et al.*, 2014; Gómez *et al.*, 2015). The samples were preserved in 96 % ethanol, some pressed and dried, and entered the collections of the Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC)-Makuriwa. The nomenclature, scientific names, and authorities were assigned according to Guiry and Guiry (2020).

Eight macroalgae samples were collected. We identify four species of red algae (Rhodophyta) belonging

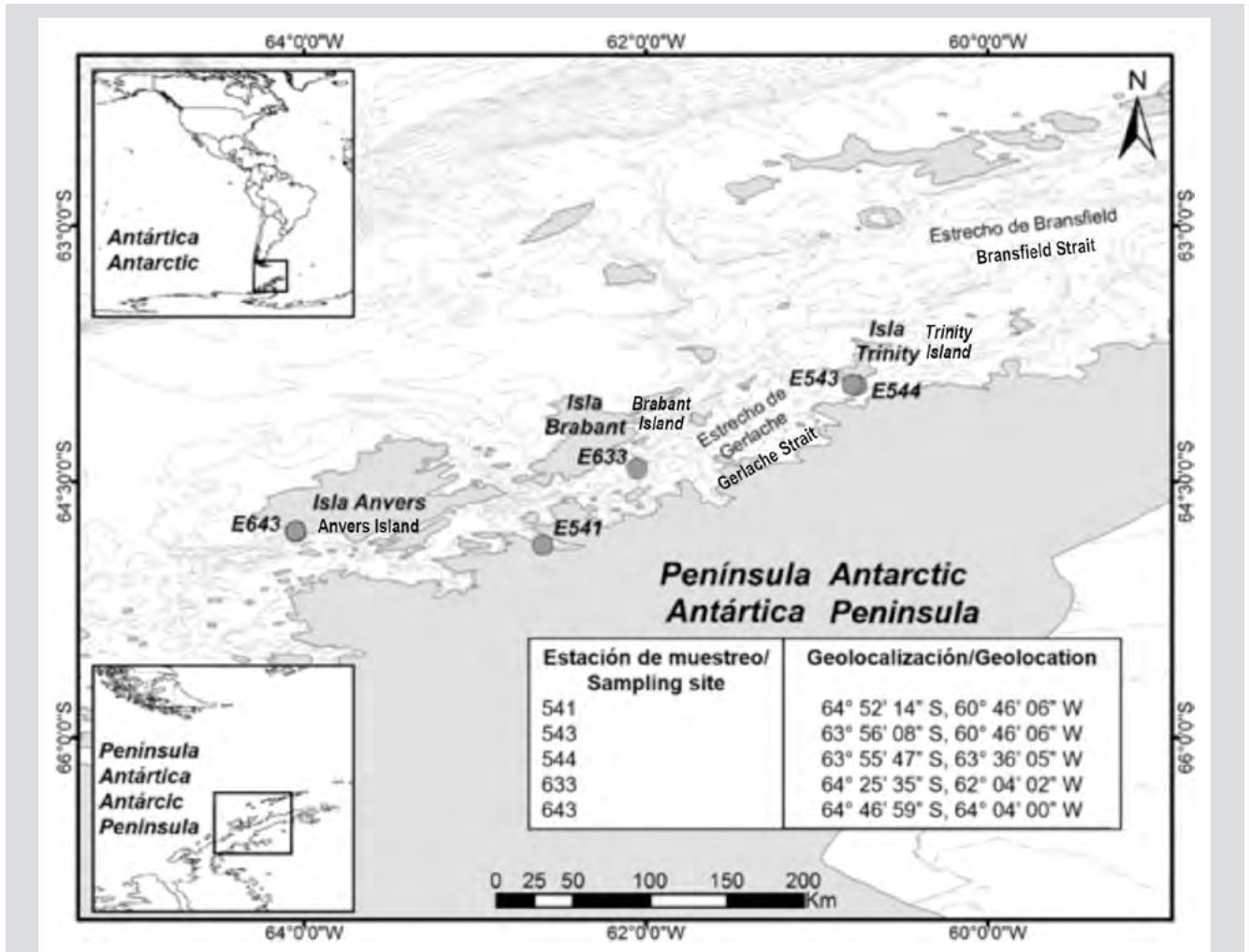


Figura 1. Ubicación espacial y geolocalización de las estaciones donde se realizaron las recolectas de las macroalgas en el Estrecho de Gerlache, Antártica. **Fuente:** Labsis, Invemar.

Figure 1. Spatial position and geolocation of the stations where the macroalgae were collected in the Gerlache Strait, Antarctica. **Source:** Labsis, Invemar.

Se recolectó un total de ocho muestras de macroalgas de las cuales fueron identificadas cuatro especies de algas rojas (Rhodophyta), pertenecientes a dos órdenes y tres familias, y dos de algas pardas (Ochrophyta-Phaeophyceae), agrupadas en dos órdenes y dos familias (Tabla 1). Para el caso de *Callophyllis* sp. y *Desmaresta* sp., los ejemplares recolectados estaban incompletos o averiados, situación que impidió contar con todos los caracteres diagnósticos para definir la especie.

Este estudio sería el primer registro que se hace desde la investigación colombiana al conocimiento de las macroalgas de la Antártica, su biodiversidad y su distribución. Aunque las especies halladas en las expediciones corresponden a registros previamente documentados para el continente (Tabla 1), los hallazgos obtenidos amplían la información sobre los rangos de profundidad.

to two orders and three families and two brown algae (Ochrophyta-Phaeophyceae), grouped in two orders and two families (Table 1). According to *Callophyllis* sp., and *Desmaresta* sp., the collected specimens were incomplete or damaged; this made it impossible to get all the diagnostic characters to define the species.

This study is the first report made by Colombian research on the knowledge of the macroalgae of Antarctica, their biodiversity, and their distribution. Although the species found in the expeditions correspond to records previously documented for the continent (Table 1), the findings broaden the information on the depth ranges.

From red algae, *Myriogramme manginii* was identified. This species, found at 54 m depth, has been reported in intertidal areas, from 1 to 5 m by De Iaca and

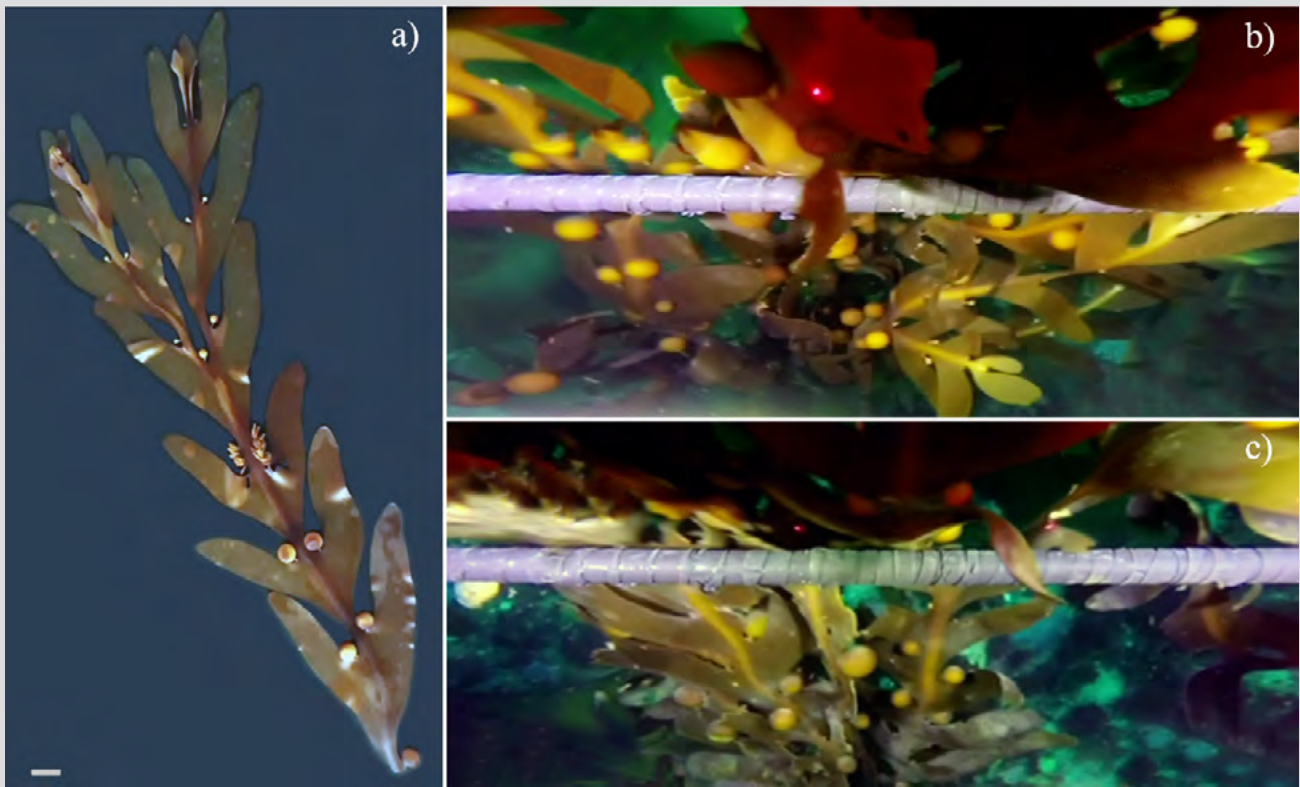


Figura 2. *Cystosphaera jacquinotii*. **a)** Ejemplar recolectado a la deriva en cercanías a la isla Brabant, durante la expedición Antártica 2019, escala de barra: 2 cm. **b y c)** Imágenes tomadas con ROV en la estación E643 donde fue encontrado un parche de *C. jacquinotii* entre los 31 y 37 m de profundidad.

Figure 2. *Cystosphaera jacquinotii*. **a)** Specimen collected in drift in the vicinity of Brabant Island, during the 2019 Antarctic expedition, bar scale: 2 cm. **b and c)** Underwater ROV image at station E643, where a patch of *C. jacquinotii* was found between 31 and 37 m deep.

Del grupo de las algas rojas, se identificó *Myriogramme manginii*; esta especie, hallada a 54 m, ha sido registrada en áreas del intermareal, de 1 a 5 m por De laca y Lipps (1976) y a 11 m de profundidad por Richardson (1979); no obstante, también se ha encontrado en un amplio rango de profundidad, de 10 a 57 m (Zielinski, 1990), siendo la máxima profundidad similar a la registrada en este trabajo. Respecto a *Picconiella plumosa*, recolectada a 54 m de profundidad, es abundante a profundidades mayores a 20 m, y se ha registrado entre 8 y 35 m en la misma región (Wiencke, 2011) y hasta 60 m creciendo en agregaciones con otras especies (Zielinski, 1990). En el dragado realizado en la estación E544 fue posible recolectar un ejemplar de *Georgiella confluens* a 187 m. Esta alga roja había sido registrada previamente por Klöser *et al.* (1996) en las caras verticales de los promontorios rocosos de la Antártica hasta 25 m de profundidad, mientras que Zielinski (1990) la halló en el submareal de 5 hasta 60 m y Delépine (1966) en el infralitoral inferior, a más de 30 m. *Callophyllis* sp., está poco documentada en términos de profundidad para el área; sin embargo, fue registrada en muestreos realizados

Lipps (1976) and at 11 m depth by Richardson (1979). However, it has also been found in a wide depth range, from 10 to 57 m (Zielinski, 1990), the maximum depth similar to reported in this work. Regarding *Picconiella plumosa*, collected at 54 m deep, it is abundant at depths greater than 20 m and has been reported between 8 to 35 m in the same area (Wiencke, 2011) and up to 60 m growing in aggregations with other species (Zielinski, 1990). During the dredging carried out at station E544, a specimen of *Georgiella confluens* was collect at 187 m. This red alga had been previously reported by Klöser *et al.* (1996) in the vertical faces of the rocky promontories of Antarctica up to 25 m depth, while Zielinski (1990) found it in the subtidal from 5 to 60 m and Delépine (1966) in the lower infralittoral, at more 30 m. *Callophyllis* sp., is poorly documented in terms of depth for the area. However, it was reported in samplings made up to 33 m depth by Moe and DeLaca (1976). In this work, it was found growing in aggregations with *P. plumosa*, *M. manginii*, and the brown alga *Desmarestia* sp., at 54 m. This being an important depth record for the genus in the region.

hasta 33 m por Moe y DeLaca (1976). En este trabajo se encontró creciendo a 54 m en agregaciones con *P. plumosa*, *M. manginii* y el alga parda *Desmarestia* sp., siendo este un importante registro de profundidad para el género en la región.

Tabla 1. Listado de macroalgas recolectadas en el marco del proyecto “Biodiversidad y Condiciones Oceanográficas del Estrecho de Gerlache “Biogerlache-Antártica”, incluye referencias bibliográficas para la zona e información de las estaciones de recolecta.

Table 1. List of macroalgae species collected within the framework of the project “Biodiversity and Oceanographic Conditions of the Gerlache Strait” Biogerlache-Antarctica” includes bibliographic references for the area and information on the collection stations.

Taxón / Taxon	Número de catálogo / Catalogue number	Estación / Station	Profundidad / Depth (m)	Referencias bibliográficas / Bibliographic References
Rhodophyta				
Delesseriaceae				
<i>Myriogramme manginii</i> (Gain) Skottsberg	INV RHD754, INV RHD756	E541	54	1,2,3,5,7,9,10,11 y 12
Rhodomelaceae				
<i>Picconiella plumosa</i> (Kyllin) J.de Toni	INV RHD757	E541	54	1,3,5,6,7,9 y 10
Callithamniaceae				
<i>Georgiella confluens</i> (Reinsch) Kyllin	INV RHD758	E544	187	1,2,3,5,6,7,8,10 y 12
Kallymeniaceae				
<i>Callophyllis</i> sp.	INV RHD755	E541	54	11
Ochrophyta				
Desmarestiaceae				
<i>Desmarestia</i> sp.	INV PHA225, INV PHA226	E541, E543	54 y 98	1,2,4,7 y 12
Seirococcaceae				
<i>Cystosphaera jacquinotii</i> (Montagne) Skottsberg	INV PHA227	E633, E643	31-37	1,2,3,10 y 12

1. Papenfuss (1964), 2. Westermeier *et al.* (1992), 3. Chung *et al.* (1994), 4. Peters *et al.* (2000), 5. Peters *et al.* (2005), 6. Quartino *et al.* (2005), 7. Amsler *et al.* (2005), 8. Hommersand *et al.* (2006), 9. Hommersand *et al.* (2009), 10. Yonshigue-Valentin *et al.* (2012), 11. Mystikou *et al.* (2014), 12. Wiencke *et al.* (2014).

Las especies endémicas de la Antártica están fuertemente representadas por grandes algas pardas (Gómez *et al.*, 2015), que forman un componente importante de la flora dominando en abundancia y biomasa (Lee, 2008). Entre los géneros representativos está *Desmarestia* que se distribuye particularmente entre 5 y 30 m de profundidad a lo largo de la zonación vertical del ambiente litoral (Quartino *et al.*, 2020). Una de las especies, *Desmarestia anceps*, se ha encontrado coexistiendo con algas de crecimiento bajo y de frondas más delicadas como *Myriogramme manginii* (Amsler *et al.*, 1995), situación que también se observó en el muestreo realizado a 54 m de profundidad con el alga *Desmarestia* sp. (Tabla 1).

The endemic algae species of Antarctica are strongly represented by large brown algae (Gómez *et al.*, 2015). These form an important component of the flora dominating in abundance and biomass (Lee, 2008). Among the representative genera is *Desmarestia* sp., which is particularly distributed between 5 and 30 m depth along the vertical zonation of the littoral environment (Quartino *et al.*, 2020). *Desmarestia anceps* has been found coexisting with *Myriogramme manginii*, low-growing algae that bear delicate fronds (Amsler *et al.*, 1995), a situation that was also observed in the sampling carried out at a depth of 54 m with the algae *Desmarestia* sp. (Table 1).

Bajo los ambientes submareales profundos, el número de especies aumenta significativamente, formando cinturones específicos de amplia cobertura y biomasa (Knox, 1960; Hedgpeth, 1971; Lamb y Zimmerman, 1977; Etcheverry, 1983). A mayores profundidades donde el impacto del hielo disminuye, es común encontrar a *C. jacquinotii*, especie endémica de la región que fue observada y recolectada a la deriva y abarcando una importante extensión de 31 a 37 m de profundidad a partir de las imágenes obtenidas con el ROV (Figura 2b, c). Registros previos para la especie fueron los documentados por Neushul (1963) y Wulff *et al.* (2009) quienes hallaron el alga parda entre 5 y 30 m en áreas expuestas y sobre los 66° S.

La gran susceptibilidad que presenta la Antártica ante el cambio climático la ha convertido en una región de gran interés ya que está experimentando un incremento de temperatura acelerado, con consecuencias impredecibles para la biota (Gómez *et al.*, 2015). Los nuevos hallazgos en términos de profundidad y sitios muestreados permiten aportar información a la dinámica de las especies de macroalgas representativas de la Antártica, útil en la elaboración de evaluaciones a futuro sobre los efectos del calentamiento global y diversas presiones antrópicas en la región. Lo anterior, denota la importancia de continuar incluyéndolas como grupo de estudio en las expediciones venideras, por su rol de indicadores biológicos del estado de los ecosistemas en la Antártica, lo que contribuirá con la formulación medidas de conservación y manejo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los investigadores Manuel Garrido, expedicionario de la III Expedición Colombiana a la Antártida “Almirante Padilla”, y Cristina Cedeño, expedicionaria de la “Expedición Almirante Campos”, por realizar la recolecta y fijación de las muestras de macroalgas. A la Comisión Colombiana del Océano (CCO) por su gestión en el Programa Antártico Colombiano. También al coordinador del programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos del Invemar, David Alonso Carvajal, por su apoyo en la gestión y realización de esta investigación. Se agradece a los profesionales del grupo del Laboratorio de Sistemas de Información (LabSIS) por la elaboración de la cartografía que fue usada para este proyecto. Agradecemos también al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar por el financiamiento y apoyo durante el análisis de las muestras (Resolución 0092 de 2016. Código BPIN 2014011000405). Contribución del Invemar N° 1294.

Under deep subtidal environments, the number of species increases significantly, forming specific belts of broad coverage and biomass (Knox, 1960; Hedgpeth, 1971; Lamb and Zimmerman, 1977; Etcheverry, 1983). At greater depths where the impact of ice decreases, it is common to find *C. jacquinotii*, an endemic species from Antarctica, was collected in drift and observed covering a broad extension from 31 to 37 m deep from underwater ROV images (Figure 2b, c). Previous records for the species were documented by Neushul (1963) and Wulff *et al.* (2009), who found the brown algae between 5 and 30 m in exposed areas and above 66° S.

The high sensitivity to climate change has made Antarctica a region of interest since is facing an accelerated temperature increase, with unpredictable consequences for the biota (Gómez *et al.*, 2015). The new findings in terms of depth and sampled sites provide information on the dynamics of the macroalgae species representative of Antarctica, useful in the developing assessments on the effects of global warming and various anthropic pressures in the region. This highlights the importance to continue including seaweeds as a study group in future research expeditions due to their role as biological indicators of the condition of the ecosystems in Antarctica, which will contribute to the formulation of conservation and management measures.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the researchers Manuel Garrido, expeditionary of the III Colombian Expedition to Antarctica, “Admiral Padilla” and Cristina Cedeño, expeditionary of the “Admiral Campos Expedition”, for collecting and fixing the macroalgae samples. To the Colombian Ocean Commission (CCO) for its management in the Colombian Antarctic Program. Also to the coordinator of the Biodiversity and Marine Ecosystems program, David Alonso Carvajal, for all his support in managing and conducting this research. We are grateful to the professionals of the Laboratory of Information Systems group (LabSIS) for the elaboration of the cartography that was used for this project. We also thank the Institute for Marine and Coastal Research - Invemar for funding and support during the analysis of the samples. This work was funded by Invemar Resolution 0092 of 2016. BPIN Code 2014011000405. Invemar contribution number 1294.



BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Amsler, C.D., R.J. Rowley, D.R. Laur, L.B. Quetin and R.M. Ross. 1995. Vertical distribution of Antarctic peninsular macroalgae: cover, biomass and species composition. *Phycologia*, 34(5): 424-430.
- Amsler, C.D., I.N. Okogbue, D.M. Landry, M.O. Amsler, J.B. McClintock and B.J. Baker. 2005. Potential chemical defenses against diatom fouling in Antarctic macroalgae. *Bot. Mar.*, 48: 318-322.
- Chung, H., Y.S. Oh, I.K. Lee and D.Y. Kim. 1994. Macroalgal vegetation of Maxwell Bay in King George Island, Antarctica. *Korean J. Phycol.*, 9 (1): 47-58.
- De Laca, T.E. and J.H. Lipps. 1976. Shallow-water marine associations, Antarctic Peninsula. *Antarct. J. US*, 11: 12-20.
- Délépine, R. 1966. La végétation marine dans l'Antarctique de l'ouest comparée à celle des Iles Australes Françaises. *C. R. Soc. Biogéogr. Paris.*, 374:52-68.
- Etcheverry, H. 1983. Algas bentónicas de la Antártica Chilena. *Ser. Cient. INACH*, 30: 97-124.
- Gómez, G., P. Huovinen y N. Valdivia (Eds.). 2015. Macroalgas antárticas y cambio climático. Desde células a ecosistemas. Univer. Austral Chile, Chile. 100 p.
- Guiry, M.D. and G.M. Guiry. 2020. AlgaeBase. World-wide electronic publication, Natl. Univ. Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org> 26/10/2019.
- Hedgpeth, J.W. 1971. Perspectives of benthic ecology in Antarctica. En: Quam, L.O (ed.). *Research in the Antarctic*, Washington, O.e. Am. Ass. Advanc. Sci., 93-136.
- Hommersand, M.H., D.W. Freshwater, J.M. Lopez-Bautista and S. Fredericq. 2006. Proposal of the Euptiloteae Hommersand et Fredericq, trib. nov. and transfer of some Southern Hemisphere Ptiloteae to the Callithamnieae (Ceramiaceae, Rhodophyta). *J. Phycol.*, 42: 203-225.
- Hommersand, M.H., R.L. Moe, C.D. Amsler and S. Fredericq. 2009. Notes on the systematics and biogeographical relationships of Antarctic and sub-Antarctic Rhodophyta with descriptions of four new genera and five new species. *Bot. Mar.*, 52: 509-534.
- Klöser, H., M.L. Quartino, and C. Wienke. 1996. Distribution of macroalgae communities in gradients of physical conditions in Potter Cove, King George Islands, Antarctica. *Hydrobiologia*, 333(1): 1-17.
- Knox, G.A. 1960. Littoral ecology and biogeography of the southern oceans. *Proc. R. Soc. B.*, 152: 577-624.
- Lamb, I. and M.H. Zimmermann. 1977. Benthic marine algae of the Antarctic Peninsula. *Antarct. Res. Ser.*, 23:130-229.
- Lee, R.E. 2008. *Phycology*. Cambridge Univ., Cambridge. 561 p.
- Moe, R.L. and T.E. DeLaca. 1976. Occurrence of macroscopic algae along the Antarctic Peninsula. *Antarct. J. US*, 11: 20-24.
- Mystikou, A., A.F. Peters, A.O. Asensi, K.I. Fletcher, P. Brickle, P. van West, P. Corvey and F.C. Küpper. 2014. Seaweed biodiversity in the south-western Antarctic Peninsula: surveying macroalgal community composition in the Adelaide Island/Marguerite Bay region over a 35-year time span. *Polar Biol.*, 37(11): 1607-1619.
- Neushul, M. 1963. Reproductive morphology of Antarctic kelps. *Bot. Mar.*, 5:19-24.
- Papenfuss, G.F. 1964. Catalogue and bibliography of Antarctic and Subantarctic benthic marine algae. *Antarct. Res. Ser.*, 1: 1-76.
- Peters, A.F., M.E. Ramírez and A. Rülke. 2000. The phylogenetic position of the subantarctic marine macroalga *Desmarestia chordalis* (Phaeophyceae) inferred from nuclear ribosomal ITS sequences. *Polar Biol.*, 23(2): 95-99.
- Peters, K.J., C.D. Amsler, M.O. Amsler, J.B. McClintock, R.B. Dunbar and B.J. Baker. 2005. A comparative analysis of the nutritional and elemental composition of macroalgae from the western Antarctic Peninsula. *Phycologia*, 44: 453-463.
- Quartino, M.L., H.E. Zaixso and A.L. Boraso de Zaixso. 2005. Biological and environmental characterization of marine macroalgal assemblages in Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Bot. Mar.*, 48: 187-197.
- Quartino, M.L., L.A. Saravia, G.L. Campana, D. Deregibus, C.V. Matula, A.L. Boraso, and F.R. Momo. 2020. Production and biomass of seaweeds in newly ice-free areas: implications for coastal processes in a changing Antarctic environment. En: Gómez, I. and P. Huovinen (Eds). *Antarctic Seaweeds*. Springer, Cham, 397 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6>
- Richardson, M. G., 1979. The distribution of Antarctic marine macro-algae related to depth and substrate. *Br. Antarct. Surv. Bull.*, 49: 1-13.
- Ricker, R.W. 1987. Taxonomy and biogeography of Macquarie Island seaweeds. *Brit. Mus. (Nat. Hist.)*, London. 344 p.
- Yoneshigue-Valentin, Y., I.B. Silva, M.T. Fujii, N.S. Yokoya, D. Pupo, S.M.P. de Beauclair Guimarães, A. Paternostro Martins, P. Frazan Sanches, D. Castelo Pereira, J. Martinez Canuto de Souza, C.M. Pereira de Pereira, F.M. Pellizzari and P. Colepicolo. 2012. Marine macroalgal diversity in Admiralty Bay, King George Island, South Shetlands Islands, Antarctica. *An. Act. Rep.* 9 p.

- Westermeier, R., I. Gómez, P. Rivera y D. Müller. 1992. Macroalgas marinas antárticas: distribución, abundancia y necromasa en isla Rey Jorge, Shetland del Sur, Antártica. Ser. Cient. INACH, 42: 21-34.
- Wiencke, C. (Ed.). 2011. Biology of polar benthic algae. De Gruyter, New York. 337 p.
- Wiencke, C., C.D. Amsler and M.N. Clayton. 2014. Macroalgae. In Biogeographic atlas of the Southern Ocean. Scient. Comm. Antarctic Res., Cambridge. 8 p.
- Wulff, A., K. Iken, M.L. Quartino, A. Al-Handal C. Wiencke and M.N. Clayton. 2009. Biodiversity, biogeography and zonation of marine benthic micro-and macroalgae in the Arctic and Antarctic. Bot. Mar., 52: 491-507.
- Zielinski, K. 1990. Bottom macroalgae of the Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands, Antarctica). Pol Polar. Res., 11: 95-131.

RECIBIDO/RECEIVED: 30/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 03/11/2020



NOTA / NOTE

Poliquetos bentónicos recolectados en la III Expedición "Almirante Padilla" verano austral 2016-2017, al norte de la península Antártica

Benthic polychaetes collected in the III Expedición "Admiral Padilla" Austral Summer 2016-2017, to the north of the Antarctic Peninsula

Catalina Arteaga-Flórez* y Maryela Bolaño-Lara

0000-0001-6875-1415

0000-0002-0189-8137

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" – Invemar, Calle 25 #2-55, Playa Salguero, Santa Marta, Magdalena Colombia. catalina.artea@invemar.org.co, takalina85@gmail.com y maryela.bolano@invemar.org.co, mapabola@gmail.com

* Autor de correspondencia.

RESUMEN

Polychaeta representa la clase más diversa del phylum Annelida, compuesta por organismos predominantemente marinos, con algunos representantes terrestres y de agua dulce. El presente trabajo registra la información de los poliquetos bentónicos recolectados en cuatro estaciones del sector norte de la península Antártica, en el marco de la III Expedición Científica de Colombia a la Antártica "Almirante Padilla" verano austral 2016 – 2017, incluyendo la taxonomía, abundancia relativa y frecuencia de ocurrencia por familia. Se cuantificaron en total 326 individuos, distribuidos en 12 familias: Apistobranchidae, Capitellidae, Cirratulidae, Dorvilleidae, Maldanidae, Nereididae, Orbiniidae, Paraonidae, Serpulidae, Sigalionidae, Spionidae y Syllidae y el suborden Terebelliformia. Cirratulidae y Paraonidae fueron predominantes en términos de abundancia y frecuencia. Un análisis taxonómico previo, ha evidenciado variabilidad morfológica en las familias Cirratulidae, Dorvilleidae, Maldanidae, Paraonidae y Syllidae, y el suborden Terebelliformia. Las muestras fueron procesadas e ingresadas al Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – *Makuriwa* del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés - Invemar.

PALABRAS CLAVE: Bentos marino, Macrofauna, Annelida, Biodiversidad, Biogerlache.

ABSTRACT

Polychaeta represents the most diverse class in the phylum Annelida, mainly composed by marine organisms, with some terrestrial and freshwater representatives. The present work records the information of the benthic polychaetes, which were collected in four stations in the northern sector of the Antarctic Peninsula, in the III Expedición "Admiral Padilla" verano austral 2016-2017, including taxonomy, relative abundance and frequency of occurrence by family. A total of 326 individuals were quantified, distributed in 12 families: Apistobranchidae, Capitellidae, Cirratulidae, Dorvilleidae, Maldanidae, Nereididae, Orbiniidae, Paraonidae, Serpulidae, Sigalionidae, Spionidae and Syllidae, and the suborder Terebelliformia. Cirratulidae, and Paraonidae were predominant in terms of abundance and frequency. A previous taxonomic analysis has shown morphological variability in the families Cirratulidae, Dorvilleidae, Maldanidae, Paraonidae and Syllidae, and the suborder Terebelliformia. The samples were processed, and deposited at the Marine Natural History Museum of Colombia (MHNMC) – *Makuriwa* from the Marine and Coastal Research Institute "José Benito Vives de Andrés - Invemar.

KEYWORDS: Marine benthos, Macrofauna, Annelida, Biodiversity, Biogerlache.

Los anélidos (phylum Annelida) son un grupo sustancial de animales, comúnmente referidos como gusanos segmentados (Rouse y Pleijel, 2001). Polychaeta Grube, 1850, representa la clase más diversa de este phylum, compuesta por organismos predominantemente marinos, con algunos representantes terrestres y de agua dulce. En el mar, están presentes en todos los sedimentos desde zonas intermareales hasta grandes profundidades, lo cual los hace vitales para la estructura, producción, dinámica y salud del bentos y ambiente marino (Báez y Ardila, 2003). Los poliquetos desempeñan un papel fundamental en la cadena alimentaria bentónica marina, no sólo en el reciclaje de la materia orgánica dentro de los sedimentos y en la descomposición del material vegetal, sino también como presa de una variedad de otros organismos (Beesley *et al.*, 2000). Su abundancia, riqueza de especies, variadas formas de alimentación y permanencia en el sedimento, los convierten en excelentes indicadores de perturbación ambiental en este ambiente (Salazar-Vallejo, 2000). Un ejemplo es la presencia de especies de *Capitella*, mientras que algunos cirratúlidos pueden indicar ambientes contaminados por enriquecimiento orgánico (Grassle y Grassle, 1974; Warren, 1981).

El estudio taxonómico de los poliquetos y en general de los anélidos es una labor ardua que requiere de bastante experticia en el grupo. Dentro de la clase Polychaeta se han descrito alrededor de 23 000 especies, dentro de las cuales aproximadamente 13 000 se consideran especies válidas (WoRMS, 2020). Particularmente para la Antártica se han registrado 765 especies de poliquetos, de las cuales 543 se consideran aceptadas (Clarke y Johnston, 2003; Sicinski *et al.*, 2020). El presente trabajo registra la información taxonómica, así como la abundancia y frecuencia de ocurrencia de los poliquetos bentónicos recolectados en la III Expedición Científica de Colombia a la Antártica “Almirante Padilla” verano austral 2016 – 2017, como parte del proyecto Biodiversidad y condiciones oceanográficas del Estrecho de Gerlache “Biogerlache - Antártica” del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar.

El área de estudio se localiza al norte de la península Antártica, con tres estaciones ubicadas en las inmediaciones de las islas Greenwich, Livingston y Decepción, pertenecientes al archipiélago de las islas Shetland del Sur entre el paso de Drake y el estrecho de Bransfield, a unos 120 km de la península Antártica; y una estación ubicada al sur de la isla Anvers en el estrecho de Gerlache, a unos 40 km de la península Antártica (Figura 1). Las muestras

Annelids (phylum Annelida) are a substantial group of animals, commonly referred as segmented worms (Rouse and Pleijel, 2001). Polychaeta Grube, 1850, represents the most diverse class of this phylum, composed of marine organisms predominantly, with some terrestrial and freshwater representatives. In the sea they are present in all sediments from intertidal zones to great depths, which makes them essential for the structure, production, dynamics, and health of the marine benthos (Báez and Ardila, 2003). Polychaetes play a fundamental role in the marine benthic food chain, not only in recycling organic matter within sediments and decomposing plant material, but also as prey of other organisms (Beesley *et al.*, 2000). Its abundance, richness, variety of feeding types, and permanence in the sediment, makes them excellent indicators of environmental disturbance (Salazar-Vallejo, 2000). An example is the presence of *Capitella* species and some cirratulids that may indicate contamination by organic enrichment (Grassle and Grassle, 1974; Warren, 1981).

Taxonomic study of polychaetes and annelids in general, can be difficult and requires considerable expertise in the group. Within the Polychaeta Class around 23,000 species have been described but approximately 13,000 are considered accepted (WoRMS, 2020). Particularly for Antarctica, 765 polychaete species have been registered, but 543 are considered accepted (Clarke and Johnston, 2003; Sicinski *et al.*, 2020). This work records the taxonomic information, as well as the abundance and frequency of occurrence of the benthic polychaetes collected in the III Expedición “Admiral Padilla” verano austral 2016-2017, as part of the project Biodiversity and oceanographic conditions of the Gerlache Strait “Biogerlache - Antartica” of the Institute of Marine and Coastal Research - Invemar.

The study area is in the north of Antarctic Peninsula with three stations located near Greenwich, Livingston, and Deception islands. This is located to the south Shetland Islands archipelago between the Drake Pass and the Bransfield Strait, about 120 km from Antarctic peninsula; and one station located south of Anvers Island in the Gerlache Strait, about 40 km from Antarctic peninsula (Figure 1). The benthic samples were collected with a 500 g shipek-type dredger, treated with magnesium chloride and fixed with 10 % formalin with bengal rose. In the laboratory, each sample was washed through a 500 µm sieve with abundant water to retain the macrofauna and the subsequent separation of the polychaetes. The material

bentónicas fueron recolectadas con una draga tipo shipek de 500 g de capacidad, narcotizadas con cloruro de magnesio y fijadas con formalina al 10 % con rosa de bengala. En el laboratorio, cada muestra fue cernida y lavada con abundante agua a través de un tamiz de 500 μm para retener la macrofauna y la posterior separación de los poliquetos. El material se encuentra en proceso de identificación en la colección de Anélidos del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – *Makuriwa*, del Invemar.

is in identification process in the Annelid collection of the Marine Natural History Museum of Colombia (MHNMC) – *Makuriwa*, of Invemar.

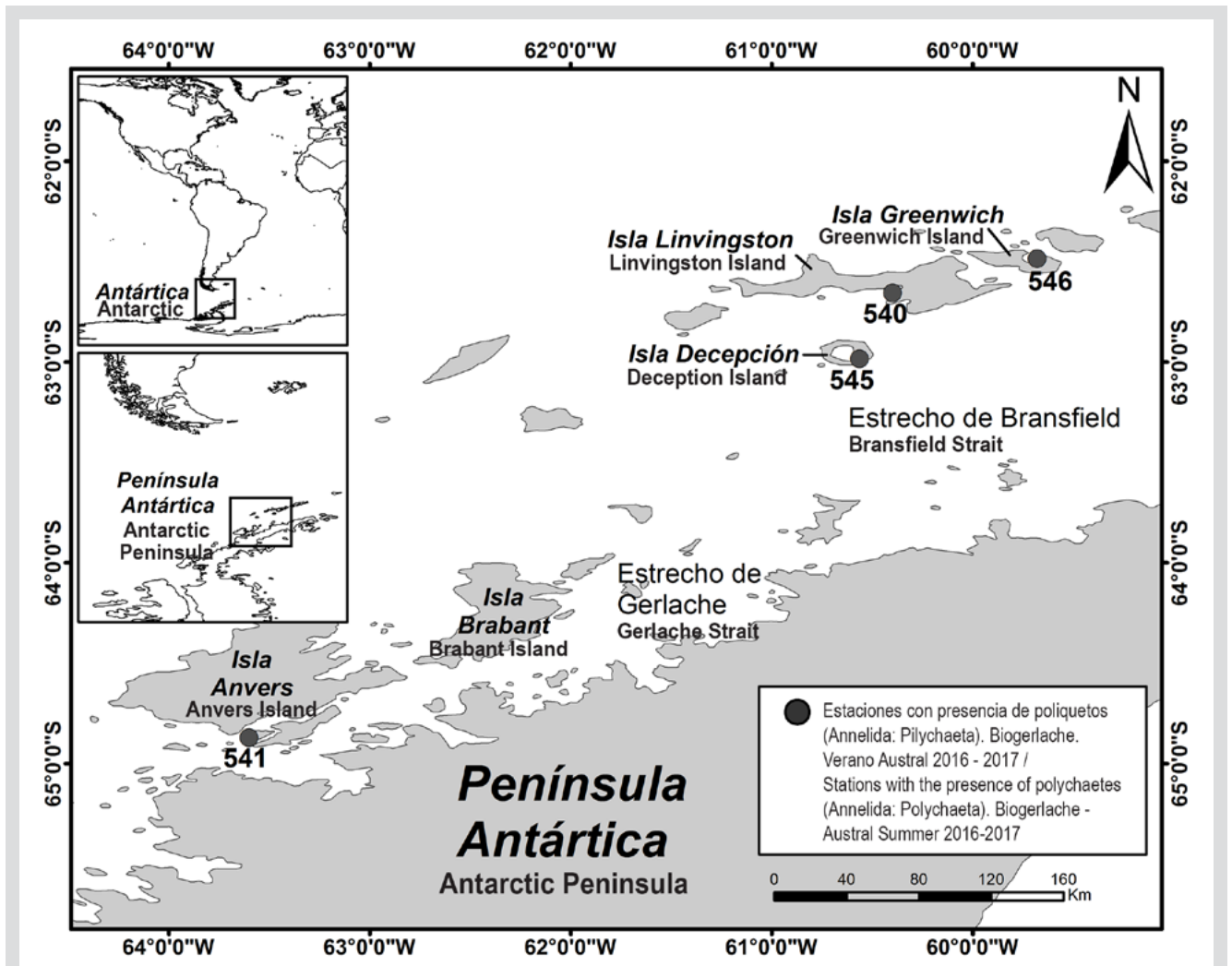


Figura 1. Área de estudio: Estaciones con presencia de poliquetos bentónicos (Annelida: Polychaeta), recolectados en el marco del proyecto “Biogerlache - Antártica”, verano austral (2016-2017).

Figure 1. Study area: Stations with the presence of benthic polychaetes (Annelida: Polychaeta), collected for “Biogerlache - Antarctic” project, austral summer (2016-2017).

Se cuantificaron un total de 326 individuos distribuidos en 12 familias y un suborden, agrupados en dos subclases (Errantia y Sedentaria), dos infraclases y cinco órdenes (Tabla 1, Figura 2). Cirratulidae (110 individuos) y Paraonidae (105 ind.) fueron las familias más abundantes y

A total of 326 individuals of 12 polychaete families and one suborder were quantified, included into two subclasses (Errantia and Sedentaria), two infraclases and five orders (Table 1, Figure 2). Cirratulidae (110 individuals) and Paraonidae (105 ind.) were the most

frecuentes encontrándose en las cuatro estaciones analizadas. Nereididae, Orbiniidae, Serpulidae y Sigalionidae, presentaron la menor abundancia y frecuencia con un individuo cada una (Tabla 2). En cuanto a las estaciones de muestreo, en la estación E546 que es la menos profunda (29 m), ubicada en isla Greenwich, se encontró el mayor número de individuos (123), con predominio de la familia Cirratulidae, y menor número de familias (tres); la estación E545 ubicada en la Isla Decepción a 89 m de profundidad, registró la menor abundancia con 22 individuos distribuidos en seis familias. Por su parte, en la estación E540, a una profundidad de 49 m, se presentó el mayor número de familias (nueve), además del suborden Terebelliformia (registrado únicamente en esta estación), y 80 individuos; en la estación E541, a una profundidad de 54 m, se encontraron 101 individuos distribuidos en nueve familias.

abundant and frequent, being in the four analyzed stations. Nereididae, Orbiniidae, Serpulidae, and Sigalionidae were the less abundant and frequent with one individual, respectively (Table 2). About the sampled stations, E546 located on Greenwich Island with a 29 m depth had the greatest number of individuals (123), most of the family Cirratulidae, and fewer families (3); Station E545 located on Deception Island at 89 m depth registered the least abundance with 22 individuals of six families. On the other hand, at station E540 with 49 m depth, had the greatest number of families (9), besides the suborder Terebelliformia (only registered in this station), and 80 individuals; and in station E541 located in Gerlache strait at 54 m depth, had 101 individuals included in nine families.

Tabla 1. Clasificación taxonómica, abundancia relativa (AR) y frecuencia de ocurrencia (FO) de los poliquetos bentónicos recolectados en el marco del proyecto “Biogerlache – Antártica”, verano austral 2016 – 2017.

Table 1. Taxonomic classification, relative abundance (RA) and frequency of Occurrence (FO) of benthic polychaetes collected for “Biogerlache - Antarctic” project, austral summer (2016-2017).

Subclase / Subclass	Infraclase / Infraclass	Orden / Order	Suborden / Suborder	Familia / Family	AR / RA (%)	FO (%)	
Errantia	-	Eunicida	-	Dorvilleidae	4.9	50	
		Phyllodocida	Aphroditiformia	Sigalionidae	0.3	25	
			Nereidiformia	Nereididae	0.3	25	
				Syllidae	6.4	50	
Sedentaria	Canalipalpata	Sabellida	-	Serpulidae	0.3	25	
		Spionida	Spioniformia	Apistobranchidae	0.9	50	
				Spionidae	0.6	50	
			Terebellida	Cirratuliformia	Cirratulidae	33.7	100
		Terebelliformia		-	3.1	25	
	Scolecida	-	-	-	Capitellidae	5.5	75
		-	-	-	Maldanidae	11.3	75
		-	-	-	Orbiniidae	0.3	25
		-	-	-	Paraonidae	32.2	100
		-	-	-	-	-	-

De las familias encontradas, se ha logrado una identificación preliminar de los géneros *Apistobranchnus* (familia Apistobranchidae – dos ejemplares deteriorados), *Capitella* (familia Capitellidae – 13 ejemplares) y *Neanthes* (familia Nereididae – un ejemplar juvenil), además de dos morfotipos de la familia Cirratulidae y tres morfotipos de

A preliminary taxonomic work has allowed the identification of the genera *Apistobranchnus* (family Apistobranchidae - 2 deteriorated specimens), *Capitella* (family Capitellidae - 13 specimens) and *Neanthes* (family Nereididae - one juvenile specimen), as well as two morphotypes of the family Cirratulidae, and three

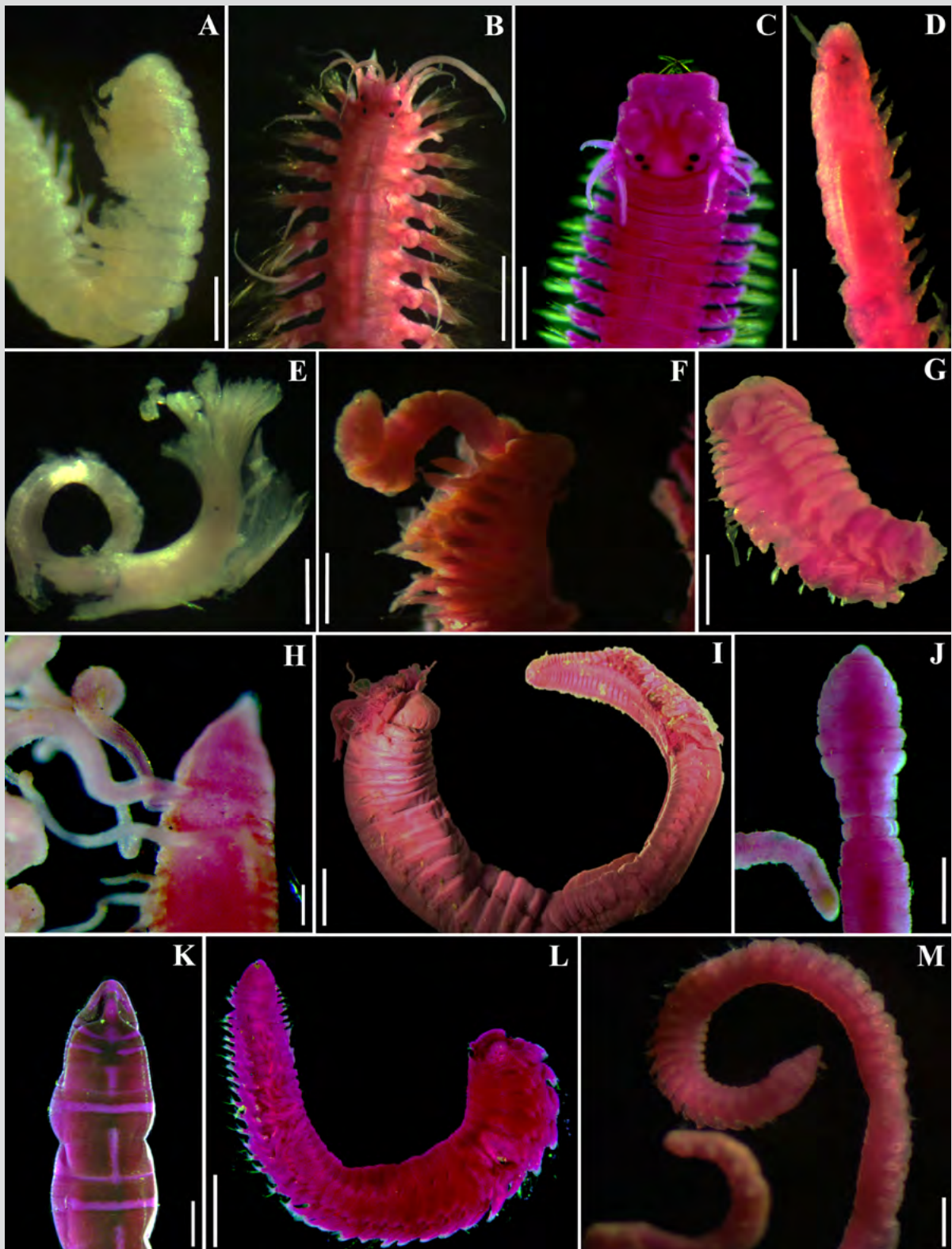


Figura 2. Poliquetos bentónicos recolectados en el marco del proyecto “Biogerlache – Antártica”, verano austral 2016 – 2017: Errantia: **A.** Dorvilleidae (500 μ m), **B.** Sigalionidae (500 μ m), **C.** Nereididae (1 mm), **D.** Syllidae (200 μ m); Sedentaria: **E.** Serpulidae (200 μ m), **F.** Apistobranchidae (500 μ m), **G.** Spionidae (500 μ m), **H.** Cirratulidae (200 μ m), **I.** Terebelliformia (200 μ m), **J.** Capitellidae (500 μ m), **K.** Maldanidae (500 μ m), **L.** Orbiniidae (1 mm), **M.** Paraonidae (200 μ m).

Figure 2. Benthic polychaetes for “Biogerlache - Antarctic” project, austral summer 2016 - 2017: Errantia: **A.** Dorvilleidae (500 μ m), **B.** Sigalionidae (500 μ m), **C.** Nereididae (1 mm), **D.** Syllidae (200 μ m); Sedentary: **E.** Serpulidae (200 μ m), **F.** Apistobranchidae (500 μ m), **G.** Spionidae (500 μ m), **H.** Cirratulidae (200 μ m), **I.** Terebelliformia (200 μ m), **J.** Capitellidae (500 μ m), **K.** Maldanidae (500 μ m), **L.** Orbiniidae (1 mm), **M.** Paraonidae (200 μ m).

las familias Dorvilleidae, Maldanidae, Paraonidae, Syllidae y el suborden Terebelliformia. Cabe resaltar que, pese a que muchos de los ejemplares recolectados se encuentran incompletos o deteriorados, revisiones adicionales que puedan incluir diferentes análisis más detallados son necesarias para considerar mayor precisión en la identidad taxonómica. Así mismo, es recomendado evaluar diferentes tipos de metodologías en expediciones a futuro que permitan una mejor preservación de los ejemplares, tanto para análisis morfológicos como moleculares, y así avanzar de una manera más integral en la caracterización de los taxones propios de la región. El presente trabajo evidencia en términos generales la importancia de este grupo biológico en la composición y estructura bentónica en fondos australes.

AGRADECIMIENTOS

A la tripulación científica y de la Armada durante la III Expedición Colombiana a la Antártida, “Almirante Padilla”. A la Comisión Colombiana del Océano (CCO) por su gestión en el Programa Antártico Colombiano. A Manuel Garrido Linares investigador del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - Invemar, expedicionario de la III Expedición por proveer la información sobre la fase de campo. Al Invemar por el financiamiento y apoyo durante el análisis de las muestras. A los evaluadores anónimos del presente documento. Resolución 0092 de 2016. Código BPIN 2014011000405. Número de contribución: CTRB-1237.

morphotypes of the families Dorvilleidae, Maldanidae, Paraonidae, Syllidae, and the suborder Terebelliformia. It is important to mention that, despite many of the specimens collected are incomplete or deteriorated, additional and more detailed analyzes are necessary to consider greater precision in taxonomic identity of samples. Evenly, we recommended evaluating different collection methodologies for future expeditions that allows the required preservation of the specimens for morphological and molecular analyzes, to advance in the knowledge of polychaete taxa typical the area. The present work shows in general terms the importance of this biological group of the composition and benthic structure of austral bottoms.

ACKNOWLEDGMENTS

To the scientific and Navy crew during the III Expedition “Admiral Padilla” verano austral 2016-2017. To the Colombian Ocean Commission (CCO) for its management in the Colombian Antarctic Program. To Manuel Garrido Linares, researcher at the Institute of Marine and Coastal Research - Invemar, expeditionary of the III Expedition for providing information on the field phase. To Invemar for the financing and support during the analysis of the samples. To the anonymous evaluators of this document. Invemar Resolution 0092 of 2016 financed this work. BPIN Code 2014011000405. Contribution number: CTRB-1237.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Báez, D. y N. Ardila. 2003. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del Caribe colombiano. *Biota Col.*, 4 (1): 89-109.
- Beesley, P.L., G.J.B. Ross and C.J. Glasby. 2000. Polychaetes and allies: the southern synthesis. *Fauna of Australia*. Vol. 4A Polychaeta, Myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. CSIRO Publishing, Melbourne. 465 p.
- Clarke, A. and N.M. Johnston. 2003. Antarctic marine diversity. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 41: 47-114.
- Grassle, J.F. and J.P. Grassle. 1974. Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J. Mar. Res.*, 32: 253-284.
- Rouse, G. and F. Pleijel. 2001. *Polychaetes*. Oxford Univ., New York. 354 p.
- Salazar-Vallejo, S.I. 2000. Contaminación marina: Métodos de evaluación biológica. Centro Investigación Quintana Roo. Chetumal, México.
- Sicinski, J., C. De Broyer, A. Clarke, P. Koubbi, E. Pakhomov, F. Scott, W. Vanden Berghe and B. Danis (Eds.). The SCAR-MarBIN Register of Antarctic Marine Species (RAMS): Polychaeta, [22/04/2020]. World Wide Web electronic publication. Available online at <http://www.marinespecies.org/rams/>
- Warren, L.M. 1981. Respiratory adaptations to temporary hypoxia by the polychaete Cirriformia tentaculata. *Comp. Biochem. Physiol.*, 69A: 321-324.
- WoRMS Editorial Board. 2020. World Register of Marine Species. Available from <https://www.marinespecies.org> at VLIZ. 23/04/2020. doi:10.14284/170

RECIBIDO/RECEIVED: 30/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 3/11/2020






NOTA / NOTE

Observaciones sobre la diversidad genética de la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) a partir del análisis de ADN mitocondrial, en la costa de Danco, península Antártica

Insights into the genetic diversity of the leopard seal (*Hydrurga leptonyx*), inferred from mitochondrial DNA analysis, at Danco Coast, Antarctic Peninsula

Laura Valentina Hernández-Ardila¹, Dalia C. Barragán-Barrera^{1,2,3,4*}, Javier Negrete⁵,
 0000-0003-3652-0027  0000-0003-4023-9908  0000-0001-6853-8307

Sebastián Poljak^{6,7}, Federico G. Riet-Saprizá^{1,8}, Susana Caballero¹
 0000-0001-7972-9352  0000-0002-6568-2802  0000-0002-9285-3873

1. Laboratorio de Ecología Molecular de Vertebrados Acuáticos-LEMVA, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad de los Andes, Carrera 1 No. 18A-10, Bogotá, Colombia. lv.hernandez10@uniandes.edu.co, sj.caballero26@uniandes.edu.co
 2. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe-CIOH, Dirección General Marítima, Barrio Bosque, Sector Manzanillo Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias, Colombia.
 3. Fundación Macuáticos Colombia, Calle 27 # 79 - 167, Medellín, Colombia.
 4. Programa Antártico Colombiano, Comisión Colombiana del Océano, Carrera 86 # 51 - 66 Oficina 306 Edificio World Business Center-WBC, Bogotá, Colombia. daliac.barraganbarrera@gmail.com
 5. Departamento de Biología de Predadores Tope, Instituto Antártico Argentino, Avenida 25 de Mayo, San Martín, Buenos Aires, Argentina. negretejavi@gmail.com
 6. Laboratorio de Ecología Molecular CADIC-CONICET, Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina.
 7. Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales, ICPA-UNTDF, Ushuaia, Tierra del Fuego, Argentina. sebaopoljak@hotmail.com
 8. Instituto Antártico Uruguayo, Av. 8 de Octubre 2958, 11600 Montevideo, Uruguay. frietsapriz@gmail.com
- * Autor de correspondencia.

RESUMEN

La foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) es una especie poco estudiada a nivel genético. Con el fin de realizar la primera evaluación de la diversidad genética de esta especie en la costa de Danco (Península Antártica), se secuenció 423 pb de la Región Control del ADN mitocondrial (ADNmt-CR) de 13 muestras de sangre colectadas en la Base Primavera (62°15'S, 58°39'W) durante el verano austral 2011-2012. Los resultados mostraron una alta diversidad de haplotipos ($h = 0.99$), con varios haplotipos divergentes. Nuestros hallazgos genéticos sugieren que las focas leopardo de la costa de Danco podrían representar diferentes filogrupos; sin embargo, es necesario incluir más marcadores genéticos para confirmar esta hipótesis.

PALABRAS CLAVE: Foca, Pinnípedos, ADNmt, Región Control, Antártida.

ABSTRACT

The leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) is a genetically low-studied species. In order to conduct the first genetic diversity assessment of this species in Danco Coast (Antarctic Peninsula), 423 bp of the mitochondrial DNA Control Region (mtDNA-CR) was sequenced from 13 blood samples collected in Primavera Base (62°15'S, 58°39'W) during the 2011-2012 austral summer. Our results showed high haplotype diversity ($h = 0.99$), with various divergent haplotypes. Our findings suggest that leopard seals in the Danco Coast could represent different phylogroups; however, including more genetic markers are needed to confirm this hypothesis.

KEYWORDS: Seal, Pinnipeds, mtDNA, Control Region, Antarctica.

DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.SuplEsp.951>

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

La foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) es un pinnípedo Antártico con una amplia distribución circumpolar tanto en aguas antárticas como subantárticas (Bester *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2003; Hückstädt, 2015; Rogers, 2018) (ver Figura 1). La foca leopardo es una especie solitaria y pagofílica que se dispersa ampliamente en bajas densidades a lo largo de la plataforma de hielo (Rogers, 2009), y algunos individuos se desplazan hasta zonas subantárticas. Los avistamientos oportunistas de focas leopardo fuera de su rango primario han ocurrido en Argentina (Castello y Rumboll, 1978; Rodríguez *et al.*, 2003; Daneri *et al.*, 2011), Brasil (Pinedo, 1990; Rosas *et al.*, 1992; Ferreira *et al.*, 1995; Silva, 2004; Moura *et al.*, 2011), Chile (Hückstädt, 2015; Acevedo *et al.*, 2017), Uruguay (Juri, 2017), Sudáfrica (Best, 1971; Vinding *et al.*, 2013; Hückstädt, 2015; datos no

The leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) is an Antarctic pinniped with a wide circumpolar distribution that includes both Antarctic and Subantarctic waters (Bester *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2003; Hückstädt, 2015; Rogers, 2018) (see Figure 1). The leopard seal is a solitary and pagophilic species that disperses widely at low densities along the ice shelf (Rogers, 2009), and some individuals move to Subantarctic zones. Opportunistic sightings of leopard seals in several countries outside their primary range include Argentina (Castello and Rumboll, 1978; Rodríguez *et al.*, 2003; Daneri *et al.*, 2011), Brasil (Pinedo, 1990; Rosas *et al.*, 1992; Ferreira *et al.*, 1995; Silva, 2004; Moura *et al.*, 2011), Chile (Hückstädt, 2015; Acevedo *et al.*, 2017), Uruguay (Juri, 2017), South Africa (Best, 1971; Vinding *et al.*, 2013; Hückstädt, 2015; unpublished

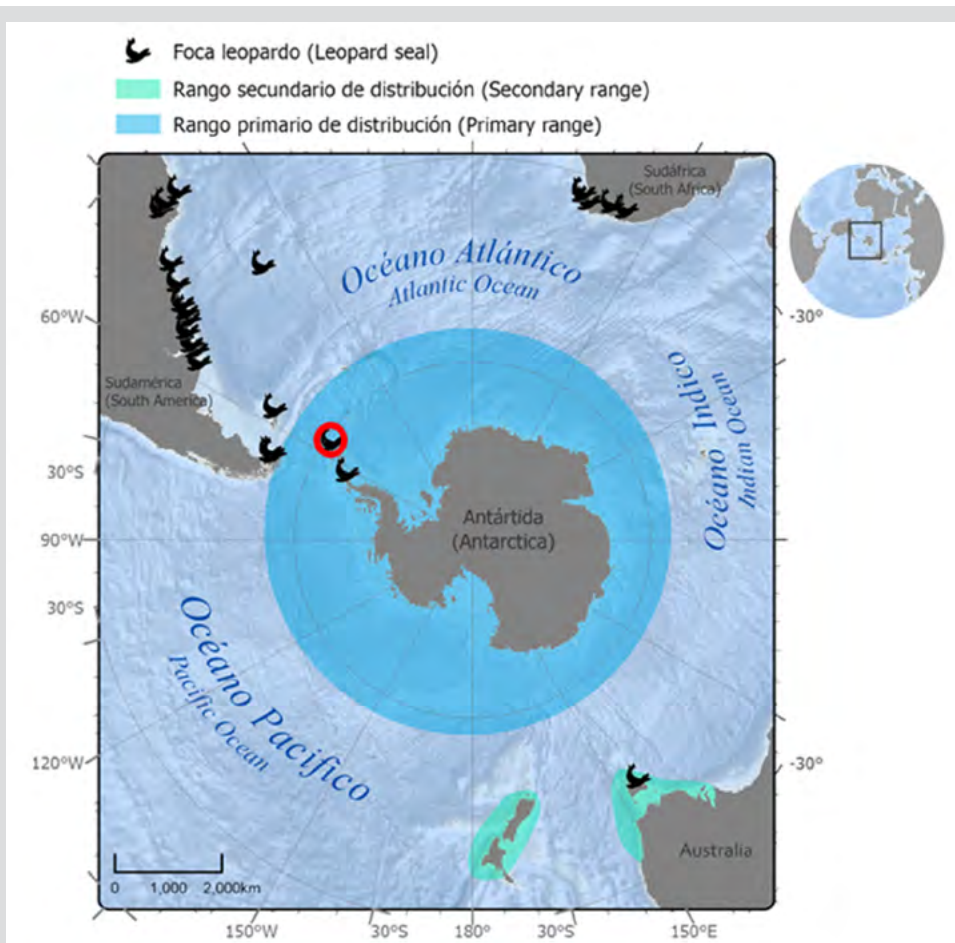


Figura 1. Rango de distribución de la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) en la Península Antártica como área de distribución primaria, incluyendo las ocurrencias fuera de esta zona como área de distribución secundaria (Oceania, Sudáfrica y Suramérica). El círculo rojo indica la ubicación de la Base Antártica Argentina Primavera (62°15'S, 58°39'W), que se encuentra en inmediaciones de la costa de Danco al noroeste de la Península Antártica (64°09'S, 60°57'W), donde las muestras de focas leopardo fueron colectadas para este estudio.

Figure 1. Distribution range of the leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) on the Antarctic Peninsula as primary range, including occurrences outside Antarctic waters as secondary range (Oceania, South Africa, and South America). Red circle indicates location of Argentine Antarctic Base Primavera (62°15'S, 58°39'W), which is located in the vicinity of the Danco Coast northwest of the Antarctic Peninsula (64°09'S, 60°57'W), where leopard seal samples were collected for this study.

publicados de ciencia ciudadana), Nueva Zelanda y Australia (Hückstädt, 2015; Rogers, 2018) (Figura 1, tabla S1 en material complementario). Sin embargo, esta especie muestra un área de acción restringida (Meade *et al.*, 2015) lo que podría resultar en estructura poblacional (Davis *et al.*, 2008).

La foca leopardo muestra un amplio rango dietario y se alimenta de presas desde niveles tróficos bajos como el kril, hasta niveles tróficos altos como peces, cefalópodos, pingüinos e incluso crías de otras especies de focas (Zhao *et al.*, 2004; Hall-Aspland y Rogers, 2004; Casaux *et al.*, 2009; Botta *et al.*, 2018). El cambio climático ha provocado una reducción en los niveles de hielo, que posteriormente ha modificado el ensamblaje del plancton epipelágico (Mendes *et al.*, 2013; Giraldo *et al.*, 2019; Mojica y Franco-Herrera, 2019). En consecuencia, las focas leopardo han mostrado un mayor consumo de kril (Guerrero *et al.*, 2014; Botta *et al.*, 2018). Estas especializaciones dietéticas podrían reflejar divergencias genéticas poblacionales a largo plazo como se ha reportado en las orcas Antárticas (LeDuc *et al.*, 2008).

Divergencias relacionadas con los rasgos de la historia de vida de esta especie han sido reportadas en las vocalizaciones emitidas por individuos de foca leopardo (Thomas y Golladay, 1995; Rogers y Cato, 2002), las cuales se han asociado principalmente con el comportamiento reproductivo (Rogers, 2018). Particularmente, los machos adultos tienden a tener repertorios vocales únicos (Rogers y Cato, 2002; Rogers, 2007), lo que podría tener repercusiones en la estructura poblacional si esta divergencia acústica afecta la selección de pareja por parte de las hembras (Rogers, 2009).

Dada la biología de la foca leopardo, la cual exhibe un área de acción restringida, divergencias en la dieta y en las vocalizaciones asociadas a la reproducción, y fidelidad al sitio de muda y reproducción (Walker *et al.*, 1998; Hiruki *et al.*, 1999; Negrete *et al.*, 2014), es posible que exista algún grado de diferenciación genética entre individuos (Hamilton, 2009). Sin embargo, debido a que los hábitos pagofílicos de la foca leopardo le permiten distribirse ampliamente sobre el hielo errante, también es posible que los individuos puedan mantener la conectividad genética entre poblaciones aisladas. No obstante, los análisis genéticos de la foca leopardo son muy escasos (e.g., Slip *et al.*, 1994; Fyler *et al.*, 2005; Bonillas-Monge, 2018) debido a su distribución amplia y solitaria incluso en áreas remotas (Southwell *et al.*, 2003; Davis *et al.*, 2008), lo que la convierte en una de las especies de fócidos menos estudiadas de la Antártida a nivel poblacional. Por lo tanto, en este estudio se presenta la primera descripción de la diversidad genética de la foca

data from citizen science), New Zealand, and Australia (Shaughnessy *et al.*, 2012; Hückstädt, 2015; Rogers, 2018) (Figure 1, table S1 in supplementary material). However, this species shows area-restricted behaviors (Meade *et al.*, 2015) and as a result, it may potentially show some population structure (Davis *et al.*, 2008).

Leopard seal shows a wide range in diet and feeds on prey from low trophic level such as krill, to high trophic level such as fish, cephalopods, penguins, and even pups of other seal species (Hall-Aspland and Rogers, 2004; Zhao *et al.*, 2004; Casaux *et al.*, 2009; Botta *et al.*, 2018). Climate change has caused a reduction in ice levels, which has subsequently changed the epipelagic plankton assembly (Mendes *et al.*, 2013; Giraldo *et al.*, 2019; Mojica and Franco-Herrera, 2019). Consequently, leopard seals have shown increased consumption of krill (Guerrero *et al.*, 2014; Botta *et al.*, 2018). These dietary specializations could show lead to long-term population genetic divergences as has been reported in Antarctic killer whales (LeDuc *et al.*, 2008).

Divergences related with life history traits of this species have been reported in vocalizations emitted by leopard seal individuals (Thomas and Golladay, 1995; Rogers and Cato, 2002), which are mainly associated with reproductive behavior (Rogers, 2018). Particularly, adult males tend to have more unique vocal repertoires (Rogers and Cato, 2002; Rogers, 2007), which could have repercussions on the population's structure if this acoustic divergence affects partner selection by females (Rogers, 2009).

Given the leopard seal's biology traits as area-restricted behaviors, divergences in diet and vocalizations related to reproduction, and fidelity to molting and reproduction sites (Walker *et al.*, 1998; Hiruki *et al.*, 1999; Hall-Aspland *et al.*, 2004; Negrete *et al.*, 2014), it is possible that there is some degree of genetic differentiation among individuals (Hamilton, 2009). Nevertheless, because the leopard seal's pagophilic habits allows an expanded distribution onto the pack ice, it is also possible that individuals can keep genetic connectivity between isolated populations. However, genetic analyses of the leopard seal are very scarce (e.g., Slip *et al.*, 1994; Fyler *et al.*, 2005; Bonillas-Monge, 2018) due to its wide solitary distribution even in remote areas (Southwell *et al.*, 2003; Davis *et al.*, 2008), making it one of the least studied species of Antarctica's phocids at the population level. Therefore, here we present the first description of

leopardo en la costa de Danco, cerca de la Base Primavera de la Península Antártica, utilizando un fragmento de 423 pares de bases (pb) de la Región Control de ADN mitocondrial (ADNmt-CR) heredada por linaje materno.

Se colectaron muestras de sangre de 13 focas leopardo adultas durante el verano austral de 2011-2012 cerca de la Base Primavera (62°15'S, 58°39'O) en la costa de Danco (64°09'S, 60°57'O, Figura 1). Los animales fueron inmovilizados usando un sistema de lanzamiento de dardos con una pistola de aire de teleinyección desde el hielo o desde un bote, dependiendo de la ubicación de los individuos (Botta *et al.*, 2018). La determinación del sexo se realizó mediante inspección visual de los órganos genitales externos. Se tomaron muestras de sangre de la vena intervertebral epidural y se almacenaron en EDTA (ácido etilendiaminetetraacético) a -20 °C para los análisis genéticos posteriores.

Se extrajo ADN de cada muestra usando el kit *Stratec molecular*® para sangre y tejido siguiendo el protocolo estándar de extracción de sangre. Se amplificó un fragmento de ADNmt-CR mediante una Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) utilizando los primers TRO directo (5'-CCTCCCTAAGACTCAAGG-3') e inverso (3'-GTAGACCAAGAATGAAGTCC-5') (Slade *et al.*, 1994), siguiendo el protocolo descrito por Barragán-Barrera *et al.* (2017). Los productos de PCR se purificaron siguiendo el protocolo de polietilenglicol (PEG al 20 %) y se secuenciaron utilizando el método de Sanger (Sanger y Coulson, 1975).

Las secuencias obtenidas de ADNmt-CR se recortaron a 423 pb, se editaron y alinearon utilizando el algoritmo Muscle en el software Geneious versión 11 (Drummond *et al.*, 2009). La caracterización de haplotipos se realizó utilizando el software MacClade (Maddison y Maddison, 2011). Se utilizó el software Network (Bandelt *et al.*, 1999) para construir una red haplotípica con las secuencias obtenidas y la única secuencia de ADNmt-CR disponible en NCBI para la foca leopardo publicada por Slade *et al.* (1994) (número de acceso en GenBank U03590.1), utilizando el método de *Median Joining* (M-J) (Bandelt *et al.*, 1999). Finalmente, se utilizó el software Arlequin versión 3.5 (Excoffier y Lischer, 2010) para evaluar la diversidad genética, incluidos los índices de diversidad haplotípica (h) y nucleotídica (π).

Se encontraron trece haplotipos en los 14 individuos analizados (12 haplotipos de 13 muestras de la costa de Danco, y un haplotipo reportado por Slade *et al.* (1994)), de los cuales solo el haplotipo llamado HL6 fue compartido por dos individuos. Las 12 secuencias de haplotipos identificadas

the genetic diversity of leopard seals in the Danco Coast, near Base Primavera in the Antarctic Peninsula, using a 423 base pairs (bp) fragment of the maternally inherited mitochondrial DNA Control Region (mtDNA-CR).

Blood samples of 13 adult leopard seals were collected during the austral summer of 2011-2012 near the Base Primavera (62°15'S, 58°39'W) at the Danco Coast (64° 09' S, 60° 57' W, Figure 1). The animals were immobilized using a dart launch system with a tele-injection air gun from either the ice or from a boat depending on the individuals' location (Botta *et al.*, 2018). Sex determination was performed by visual inspection of the external genital organs. Blood samples were taken from extradural intervertebral vein and stored in EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) at -20 °C for subsequent genetic analyses.

DNA was extracted using the *Stratec molecular*® kit for blood and tissue following standard blood extraction protocol. A fragment of approximately 450 bp of mtDNA-CR was amplified by a Polymerase Chain Reaction (PCR) using the primers forward TRO (5'-CCTCCCTAAGACTCAAGG-3') and reverse D (3'-GTAGACCAAGAATGAAGTCC-5') (Slade *et al.*, 1994), following the protocol described in Barragán-Barrera *et al.* (2017). The PCR products were purified following the Polyethylene glycol protocol (20 % PEG), and the DNA was sequenced using Sanger's method (Sanger and Coulson, 1975).

Sequences were trimmed to 423 bp, edited and aligned using the Muscle algorithm in the software Geneious version 11 (Drummond *et al.*, 2009). Haplotype characterization was performed using MacClade's software (Maddison and Maddison, 2011). The software Network (Bandelt *et al.*, 1999) was used to build a haplotype network with sequences obtained and the only mtDNA-CR sequence available in NCBI for the leopard seal published by Slade *et al.* (1994) (GenBank accession number U03590.1), using the *Median Joining* (M-J) method. Finally, the software Arlequin 3.5 (Excoffier and Lischer, 2010) was used to assess genetic diversity including the haplotypic (h) and nucleotide (π) diversity indexes.

Thirteen haplotypes were found in the 14 analyzed individuals (12 haplotypes from 13 Danco Coast samples, and one haplotype reported by Slade *et al.* (1994)), of which only the haplotype named HL6 was shared by two individuals. The 12 haplotypes sequences identified in Danco Coast were submitted to GenBank as

en la costa de Danco se publicaron a GenBank con los números de acceso MW168801 a MW168812 (ver tabla S2 en material complementario).

En la red de haplotipos, el haplotipo reportado por Slade *et al.* (1994) y nombrado en este estudio como CR1, estaba conectado por un paso mutacional al haplotipo HL1, el cual parece ser el haplotipo más ancestral debido a su posición central y al número de conexiones con otros haplotipos que se originan de él (Caballero *et al.*, 2015). Los haplotipos HL2 y HL3 también se conectaron a HL1 por un paso mutacional, mientras que los haplotipos HL7, HL8, HL9, HL10 y HL12 se conectaron a HL1 por más de un paso mutacional (Figura 2). Por ejemplo, HL7, HL8, HL10 y HL12 parecen ser los haplotipos más divergentes, separados de HL1 por un mayor número (> 5) de pasos mutacionales.

En cuanto a la diversidad haplotípica (h) y nucleotídica (π), en este estudio se encontraron altos valores para la foca leopardo ($h = 0,99$; $\pi = 1,76$ %; $N = 14$), similares a los valores reportados para otras especies de pinnípedos que se reproducen en el hielo errante, como la foca de casco (*Cystophora cristata*; $h = 0,96$; $\pi = 1,47$ %; $N = 123$; Davis *et al.*, 2008). Estas especies pagofílicas muestran una alta diversidad genética, probablemente debido a la naturaleza inestable del hábitat de hielo, lo que dificulta la fidelidad del sitio, y por tanto resulta en una gran población reproductiva.

accession numbers MW168801 to MW168812 (table S2 in supplementary material).

In the haplotype network, the haplotype that was reported by Slade *et al.* (1994), named here as CR1, was connected by one mutational step to haplotype HL1, which appears to be the most ancestral, due to their central position and the number of connections to other haplotypes originating in it (Caballero *et al.*, 2015). Haplotypes HL2, and HL3 were also connected to HL1 by one mutation step, while haplotypes HL7, HL8, HL9, HL10, and HL12 were connected to HL1 by more than one mutational step (Figure 2). For example, HL7, HL8, HL10, and HL12 appear to be the more divergent haplotypes, separated from HL1 by a higher number (> 5) of mutational steps.

Regarding haplotype (h) and nucleotide (π) diversities, in this study we found high values for the leopard seal ($h = 0.99$; $\pi = 1.76$ %; $N = 14$), similar to values reported for other pinniped species that reproduce on pack ice such as the hooded seal (*Cystophora cristata*; $h = 0.98$; $\pi = 1.47$ %; $N = 123$; Davis *et al.*, 2008). These pagophilic species show high genetic diversities likely due to the unstable nature of ice habitat, which hinders site fidelity, resulting in a large reproductive population. In fact, it has been suggested that pagophilic pinniped distribution at low densities along pack ice does not favor

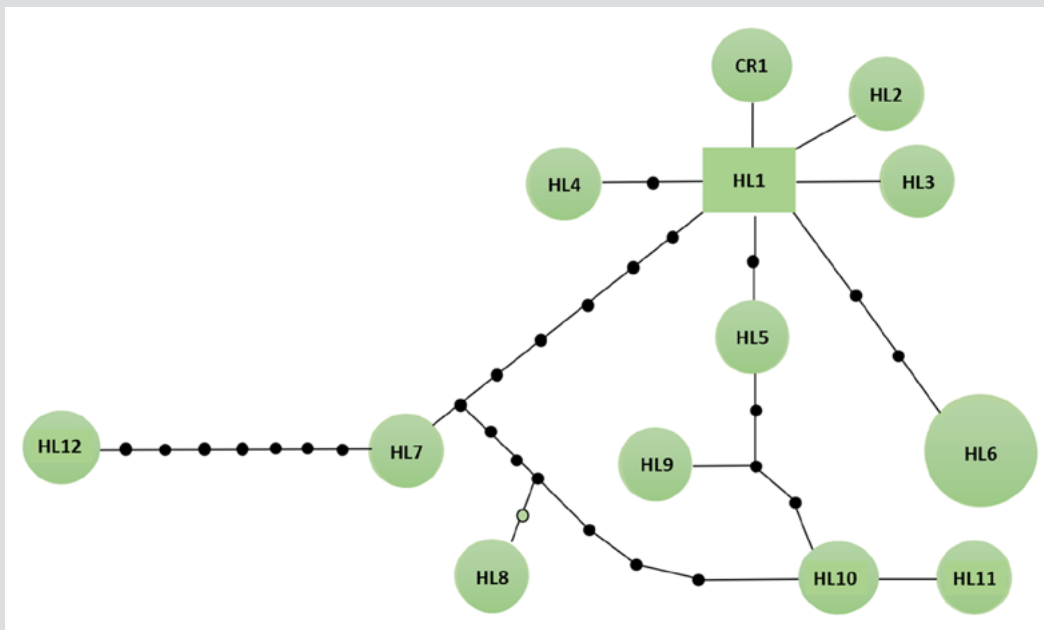


Figura 2. Red haplotípica de individuos de focas leopardo (*Hydrurga leptonyx*) presentes en la costa de Danco, Península Antártica. El haplotipo CR1 corresponde a la única secuencia publicada en NCBI por Slade *et al.* (1994).

Figure 2. Haplotypic network of leopard seals individuals (*Hydrurga leptonyx*) presented in the Danco Coast, Antarctic Peninsula. CR1 haplotype corresponds to the unique published sequence in NCBI by Slade *et al.* (1994).

De hecho, se ha sugerido que la distribución de pinnípedos pagofílicos a lo largo de los bloques de hielo errante en densidades bajas no favorece el desarrollo de la estructura de la población, incluso si los individuos regresan a las áreas natales (Davis *et al.*, 2008).

Nuestros resultados sugieren que la población de focas leopardo muestreadas cerca de la Base Primavera tiene una alta diversidad genética, representada por un número muy bajo de haplotipos compartidos (a excepción del haplotipo HL6), así como algunos haplotipos divergentes, lo cual es particularmente interesante considerando el bajo tamaño de la muestra y que todos los individuos fueron muestreados en la misma área. Es posible que las focas leopardo muestreadas en la costa de Danco puedan representar diferentes filogrupos, probablemente porque esta especie muestra fidelidad de sitio a las áreas reproductivas a pesar de su amplia distribución favorecida por sus hábitos pagofílicos (Rogers, 2018). Sin embargo, es posible que el cambio climático pueda afectar su distribución y potencialmente su estructura genética, particularmente en el oeste de la Península Antártica donde se han reportado temperaturas más altas (Vaughan *et al.*, 2003; IPCC, 2014; Mojica-Moncada *et al.*, 2019). Es posible que una mayor presencia de bloques de hielo pueda mantener una conectividad genética más amplia o pueda restringir el flujo de genes debido al descongelamiento prematuro de los bloques de hielo. Se necesitan más estudios genéticos que incluyan la evaluación de genes nucleares y la inclusión de un mayor número de muestras de otras regiones geográficas a lo largo de la Península Antártica para determinar así la estructura genética de la foca leopardo en esta región, dada su potencial vulnerabilidad a los efectos de cambio climático (Vaughan *et al.*, 2003; IPCC, 2014; Mojica-Moncada *et al.*, 2019).

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias a la cooperación internacional desarrollada en el marco de la II Expedición Científica de Colombia a la Antártida “Almirante Lemaître”. Apreciamos el apoyo de la Dirección Nacional del Antártico Argentino y del Instituto Antártico Argentino, que proporcionó toda la logística necesaria para realizar el trabajo de campo. Un agradecimiento especial al Programa Antártico Colombiano, a la Armada Nacional de Colombia, la Comisión Colombiana del Océano, y a la tripulación del buque “ARC 20 Julio” por su valioso apoyo para el desarrollo exitoso de las Expediciones Científicas de Colombia a la Antártida. Agradecemos a Diego F. Mojica-Moncada por

the development of population structure even if individuals return to natal areas (Davis *et al.*, 2008).

Our results suggest that the leopard seal population sampled near the Primavera Base has a high genetic diversity, represented by a very low number of shared haplotypes (except for the HL6 haplotype), as well as some divergent haplotypes, which is particularly interesting considering the low sample size and that all the individuals were sampled in the same area. It is possible that leopard seals sampled in the Danco Coast could represent different phylogroups, likely because this species shows site fidelity to reproductive sites despite to its wider distribution favored by their pagophilic habits (Rogers, 2018). However, it is possible that climate change may affect its distribution and potentially its genetic structure, particularly in the western Antarctic Peninsula where higher temperatures have been reported (Vaughan *et al.*, 2003; IPCC, 2014; Mojica-Moncada *et al.*, 2019). Likely, more ice pack presence can maintain a wider genetic connectivity or can restrict gene flow due to premature thawing ice pack. Further genetic studies including the evaluation of nuclear genes and the inclusion of a higher number of samples from other geographical regions along the Antarctic Peninsula is necessary to determine the genetic status of the leopard seal in this region, given its potential vulnerability to the effects of climate change.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was made possible thanks to the international cooperation developed within the framework of the II Scientific Expedition of Colombia to the Antarctica “Admiral Lemaître”. We really appreciate the support of the Dirección Nacional del Antártico Argentino and the Instituto Antártico Argentino who provided all needed logistic to conduct fieldtrips. Special thanks to the Colombian Antarctic Program, to the Armada Nacional de Colombia, the Comisión Colombiana del Océano, and to the crew of the “ARC 20 Julio” vessel for their valuable support for the successful development of Colombia’s Scientific Expeditions to Antarctica. We thank to Diego F. Mojica-Moncada for his logistic support. We also thank to the technical team of laboratory in the Universidad de los Andes, and Sonia Quintanilla for their valuable support in laboratory work. The Colombian Sciences Ministry (MinCiencias) is acknowledged for providing to Dalia C. Barragán-Barrera a postdoctoral fellowship through Francisco José de Caldas Fund (Call No. 848 of 2019).



su apoyo logístico. También agradecemos al equipo técnico de laboratorio de la Universidad de los Andes, y a Sonia Quintanilla por su valioso apoyo en el trabajo de laboratorio. Se agradece al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia (MinCiencias) por otorgar una beca postdoctoral a Dalia C. Barragán-Barrera a través del Fondo Francisco José de Caldas (Convocatoria No. 848 de 2019).

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Acevedo, J., A. González, S. Garthe, I. Gonzalez, R. Gómez and A. Aguayo-Lobo. 2017. Births of leopard seal *Hydrurga leptonyx* in southern Chile. *Polar Biol.*, 40: 713–717.
- Bandelt, H.J., P. Forster and A. Röhl. 1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Mol. Biol. Evol.*, 16: 37–48.
- Barragán-Barrera, D.C., L. J. May-Collado, G. Tezanos-Pinto, V. Islas-Villanueva, C. Correa-Cárdenas, C.A. and S. Caballero. 2017. High genetic structure and low mitochondrial diversity in bottlenose dolphins of the archipelago of Bocas del Toro, Panama: a population at risk? *PLoS One*, 12(12): e0189370.
- Best, P. B. 1971. A leopard seal from Hout bay, South Africa. *Zool. Afr.*, 6: 177–179.
- Bester, M. N., J. W. H. Ferguson and F. C. Jonker. 2002. Population densities of pack ice seals in the Lazarev Sea, Antarctica. *Antarct. Sci.*, 14(2): 123–127.
- Bonillas-Monge, M. 2018. Historical dynamics of Leopard Seal (*Hydrurga leptonyx*) and Southern Elephant Seal (*Mirounga leonina*) populations in the Southern Ocean. Master thesis, Durham University, Durham. Abstract. 151 p.
- Botta, S., E. R. Secchi, T. L. Rogers, J. H. F. Pradao, R. C. de Lima, P. Carlini and J. Negrete. 2018. Isotopic niche overlap and partition among three Antarctic seals from the Western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. Pt. II.*, 149: 240–249.
- Caballero, S., Correa-Cárdenas, C. A. and F. Trujillo. 2013. Population Structure and Genetic Diversity of the Endangered South American Giant Otter (*Pteronura brasiliensis*) from the Orinoco Basin in Colombia: Management Implications and Application to Current Conservation Programs. *J Heredity*, 106: 469–477.
- Casaux, R., A. Baroni, A. Ramón, A. Carlini, M. Bertolin and C. Y. DiPrinzio. 2009. Diet of the leopard seal *Hydrurga leptonyx* at the Danco Coast, Antarctic Peninsula. *Polar Biol.*, 32(2): 307–310.
- Castello H.P. and M. Rumboll. 1978. Extension of range of the leopard seal, *Hydrurga leptonyx*, for the Argentine coast. *Mammalia*, 42: 135–137.
- Coltman, D. W., G. Stenson, M. O. Hammill, T. Haug, C. S. Davis and T. L. Fulton. 2007. Panmictic population structure in the hooded seal (*Cystophora cristata*). *Mol. Ecol.*, 16(8): 1639–1648.
- Daneri G. A., E. A. Varela, C. C. Di Martino, A. Harrington and R. A. Montiel R.A. 2011. Atypical records of pinniped specimens housed in the Museo Argentino de Ciencias Naturales. *Lat. Amer. J. Aquat. Mamm.*, 9: 150–153.
- Davis, C. S., I. A. N. Stirling, C. Strobeck and D. W. Coltman. 2008. Population structure of ice-breeding seals. *Mol. Ecol.*, 17(13): 3078–3094.
- Drummond, A. J., B. Ashton, M. Cheung, J. Heled, M. Kearse, R. Moir, S. Stones-Havas, T. Thierer and A. Wilson. 2009. Geneious Pro. Version 4.8.5., ver. <http://www.geneious.com>.
- Excoffier, L. and H. E. L. Lischer. 2010. Arlequin suite version 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Mol. Ecol. Res.*, 10: 564–567.
- Ferreira H.D.O., A. N. Zerbini A.N. and S. Siciliano. 1995. Occurrence of crabeater and leopard seals in Southern Brazil. XI Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals. Diciembre 1995. Orlando, USA.
- Fyler, C. A., T. W. Reeder, A. Berta, G. Antonelis, A. Aguilar and E. Androukaki. 2005. Historical biogeography and phylogeny of monachine seals (Pinnipedia: Phocidae) based on mitochondrial and nuclear DNA data. *J. Biogeogr.*, 32(7): 1267–1279.
- Giraldo, A., M. I. Criales-Hernández, M. Jeréz-Guerrero and D. F. Mojica-Moncada. 2019. Mesozooplankton biomass and epipelagic copepod assemblages in the Gerlache Strait (Antarctica) during the 2015 austral summer. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 48(1): 9–26.
- Guerrero, A., J. Negrete, M. Márquez, J. Menucci, K. Zaman and T. Rogers. 2014. Fatty acid composition suggests leopard seals are no longer apex predators in the Western Antarctic Peninsula ecosystem. XXXIII Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). Open Science Conference. Agosto 2014. Auckland, New Zealand.
- Hall-Aspland, S. A. and T. L. Rogers. 2004. Summer diet of leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) in Prydz Bay, Eastern Antarctica. *Polar Biol.*, 27(12): 729–734.

- Hall-Aspland, S. A., T. L. Rogers and R. B. Canfield. 2005. Stable carbon and nitrogen isotope analysis reveals seasonal variation in the diet of leopard seals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 305: 249–259.
- Hall-Aspland, S. A. and T. L. Rogers. 2007. Identification of hairs found in leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) scats. *Polar Biol.*, 30(5): 581.
- Hamilton, M. 2009. Population Genetics. John Wiley & Sons, Chichester, UK. 424 p.
- Hiruki, L.M., M. K. Schwartz and P. L. Boveng. 1999. Hunting and social behaviour of leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) at Seal Island, South Shetland Islands, Antarctica. *J. Zool.*, 249, 97–109.
- Hückstädt, L. 2015. *Hydrurga leptonyx*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T10340A45226422, <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T10340A45226422.en>
- IPCC. 2014. Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En: Pachauri, R. K. and L.A. Meyer (Eds.). IPCC. Geneva, Switzerland. 151 p.
- Juri, E. 2017. Ocurrencia de focas (Mammalia, Carnivora, Phocidae) en Uruguay. *Bol. Soc. Zool. Uruguay (2a época)*, 26(1): 30–36.
- Kuhn, C. E., B. I. McDonald, S. A. Shaffer, J. Barnes, D. E. Crocker, J. Burns and D. P. Costa. 2006. Diving physiology and winter foraging behavior of a juvenile leopard seal (*Hydrurga leptonyx*). *Polar Biol.*, 29: 303–307.
- Laws, R.M. 1953. The seals of the Falkland Islands and dependencies. *Oryx*, 2: 87–97.
- LeDuc, R. G., K. M. Robertson and R. L. Pitman. 2008. Mitochondrial sequence divergence among Antarctic killer whale ecotypes is consistent with multiple species. *Biol. Lett.*, 4: 426–429.
- Maddison, D. R. and W. P. Maddison. 2011. MacClade 4: Analysis of phylogeny and character evolution. Version 4.08a., <http://macclade.org>
- Meade, J., M. B. Ciaglia, D. J. Slip, J. Negrete, M. E. I. Márquez, J. Mennucci and T.L. Rogers. 2015. Spatial patterns in activity of leopard seals *Hydrurga leptonyx* in relation to sea ice. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 521: 265–275.
- Mendes, C. R. B., V. M. Tavano, M. C. Leal, M. S. de Souza, V. Brotas and C. A. E. García. 2013. Shifts in the dominance between diatoms and cryptophytes during three late summers in the Bransfield Strait (Antarctic Peninsula). *Polar Biol.*, 36: 537–547.
- Mojica L., L. H. and A. Franco-Herrera. 2019. Zooplankton composition and taxonomic abundance from South Pacific until Antarctic Peninsula 2016-2017. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 48(2): 119–142.
- Mojica-Moncada, D. F., C. Cárdenas, J. F. Mojica-Moncada, D. Holland and G. Casassa. 2019. Estudio del Glaciar Lange y su impacto por cambio climático en la Bahía de Almirantazgo, Isla Rey Jorge, Antártica durante el verano austral 2018 – 2019. Libro de Memorias del XVIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Octubre 2019. Barranquilla, Colombia. 400–401.
- Moura J., B. Di Dario and S. Siciliano. 2011. Occurrence of pinnipeds on the coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Mar. Biodivers. Rec.*, 4: 1–10.
- Negrete J., E. A. Depino, P. Carlini, J. G. Galliari, S. Leonardi, M. Bobinac, C. M. Loza, M. E. I. Márquez, J. A. Mennucci y T. Rogers. 2014. Fidelidad al sitio de muda de la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) en costa Danco, Península Antártica. XXVII Jornadas Argentinas de Mastozoología. Noviembre 2014. Esquel, Provincia de Chubut, Argentina.
- Pinedo M.C. 1990. Ocorrência de Pinípedes na costa brasileira. *Garcia de Orta (Série Zoológica)*, 15: 37–48.
- Rodríguez, D., R. Bastida, S. Morón, S. R. Heredia and J. Loureiro. 2003. Occurrence of leopard seals in northern Argentina. *Lat. Amer. J. Aquat. Mamm.*, 2(1): 51–54.
- Rogers, T. L. 2007. Age-related differences in the acoustic characteristics of male leopard seals *Hydrurga leptonyx*. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 122: 596–605.
- Rogers, T. L. 2009. Leopard seal: *Hydrurga leptonyx*. 673–674. In: Perrin, W. F., Würsig, B. and J. G. M. Thewissen (Eds.). *Encyclopedia of marine mammals*, 2nd Ed. Academic Press. San Diego, USA. 1352 p.
- Rogers, T. L. 2018. Leopard seal: *Hydrurga leptonyx*. 673–674. In: Würsig, B., J.G.M. Thewissen and K. Kovacs (Eds.). *Encyclopedia of marine mammals*, 3rd Ed. Academic Press. London, UK. 1190 p.
- Rogers, T.L. and D.H. Cato. 2002. Individual variation in the acoustical behaviour of the adult male leopard seal, *Hydrurga leptonyx*. *Behaviour*, 139: 1267–1286.
- Rosas F.C.W., L. C. Capistrano, A. P. Di Benedetto and R. Ramos. 1992. *Hydrurga leptonyx* recovered from the stomach of a tiger shark captured off Rio de Janeiro coast, Brazil. *Mammalia*, 56: 153–155.
- Sanger, F. and A. R. Coulson. 1975. A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA polymerase. *J. Mol. Biol.*, 94(3): 441–446.



- Silva K. G. 2004. Os pinípedes no Brasil. Ocorrências, estimativas populacionais e conservação. PhD Thesis. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brazil. 242 pp.
- Slade, R. W., C. Moritz and A. Heideman. 1994. Multiple nuclear-gene phylogenies: application to pinnipeds and comparison with a mitochondrial DNA gene phylogeny. *Mol. Biol. Evol.*, 11(3): 341–356.
- Slade, R. W., Moritz, C., A. R. Hoelzel and H. R. Burton. 1998. Molecular population genetics of the southern elephant seal *Mirounga leonina*. *Genetics*, 149(4): 1945–1957.
- Slip, D. J., K. Green, H. R. Burton, P. J. Mitchell and M. A. R. K. Adams. 1994. Allozyme variation in the leopard seal, *Hydrurga leptonyx*. *J. Aust. Mammal. Soc.*, 17: 1–5.
- Southwell, C., K. Kerry, P. Ensor, E. J. Woehler and T. Rogers. 2003. The timing of pupping by pack-ice seals in East Antarctica. *Polar Biol.*, 26(10): 648–652.
- Thomas, J. A. and C. L. Golladay. 1995. Geographic variation in leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) underwater vocalizations. 201–222. In: Kastelein, R. A., J.A. Thomas and P. E. Nachtigall (Eds.). *Sensory Systems of Aquatic Mammals*. De Spil Publishers, Woerden, The Netherlands.
- Varela, M., E. Fernandez and P. Serret. 2002. Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995–1996. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 49(4-5): 749–768.
- Vaughan, D., G. Marshall, W. Connolley, C. Parkinson, R. Mulvaney, D. Hodgson, J. C. King, C. J. Pudsey and J. Turner. 2003. Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula, *Clim. Chang.*, 60: 243–274.
- Vinding, K., M. Christiansen, G. J. Hofmeyr, W. Chivell, R. McBride and M. N. Bester. 2013. Occurrence of vagrant leopard seals, *Hydrurga leptonyx*, along the South African coast. *S. Afr. J. Wildl. Res.*, 43(1): 1–3.
- Walker, T.R., I. L. Boyd, D. J. McCafferty, N. Huin, R. I. Taylor and K. Reid. 1998. Seasonal occurrence and diet of leopard seals (*Hydrurga leptonyx*) at Bird Island, South Georgia. *Antarct. Sci.*, 10: 75–81.
- Widholzer, F. L. 1982. Registro de uma nova espécie de mamífero para Brasil, *Hydrurga leptonyx* (Blainville) (Carnivora: Phocidae). Resumos IX Congresso Brasileiro de Zoologia. February 1982. Porto Alegre, Brazil. 263.
- Ximenez, A., P. C. Simões-Lopes and R. Praderi. 1987. Notas sobre mamíferos marinos de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Pinnipedia, Cetacea). Anais II Reunião de Trabalho de Especialistas em Mamíferos Aquáticos da América do Sul. August 1987. Rio de Janeiro, Brazil. 100–103.
- Zhao, L., M. Castellini, T. Mau and S. Trumble. 2004. Trophic interactions of Antarctic seals as determined by stable isotope signatures. *Polar Biol.* 27, 368–373.

RECIBIDO/RECEIVED: 29/09/2019

ACEPTADO/ACCEPTED: 24/11/2020

MATERIAL SUPLEMENTARIO / SUPPLEMENTARY MATERIAL

Tabla S1. Ocurrencias de la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) representadas en la Figura 1, alrededor Península Antártica como su área de distribución primaria y en Oceanía, Sudáfrica y Suramérica como áreas de distribución secundaria. Para cada ocurrencia, se incluyó el país, localidad, latitud decimal, longitud decimal y la referencia del estudio.

Table S1. Leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) occurrences represented in Figure 1, on the Antarctic Peninsula as primary range, and in Oceania, South Africa, and South America as secondary range. For each occurrence, the country, locality, decimal latitude, decimal longitude, and study reference were included.

País / Country	Localidad / Locality	Latitud decimal / Decimal latitude	Longitud decimal / Decimal longitude	Referencia / Study reference
Antártida / Antarctica	Base Primavera / Primavera Base	62.25	58.65	Este estudio / This study
Antártida / Antarctica	Falkkand Islands / Islas Malvinas	51.75	59.00	Laws, 1953
Antártida / Antarctica	Adelaide Island	66.85	66.40	Kuhn <i>et al.</i> , 2006
Argentina	Puerto Quequén	38.56	58.72	Castello y Rumboll, 1978
Argentina	Mar de las Pamapas	37.32	57.03	Rodríguez <i>et al.</i> , 2003
Argentina	San Clemente del Tuyú	36.35	56.72	Rodríguez <i>et al.</i> , 2003

País / Country	Localidad / Locality	Latitud decimal / Decimal latitude	Longitud decimal / Decimal longitude	Referencia / Study reference
Argentina	Buenos Aires	36.33	38.58	Castello y Rumboll, 1978
Australia	Tasmania (Darlington Beach)	42.58	148.05	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Adventure Bay)	43.32	147.33	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Fortescue Bay)	43.13	147.95	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Sandford)	40.37	148.02	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Musselroe Point)	40.83	148.15	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Shark Point Road)	40.40	147.47	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Cox Bight)	43.52	146.23	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Primrose Sand)	42.88	147.83	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Ocean Beach)	42.13	145.18	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Prince of wales Bay)	42.82	147.28	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Remarkable Cave)	43.18	147.83	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Roaring Beach)	43.08	147.67	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Fortescue Bay)	43.13	147.88	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Marion Bay)	41.13	146.58	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Bakers Beach)	40.75	145.28	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Stanley)	42.33	145.42	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Macquarie Harbour)	42.33	145.42	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Tasmania (Wineglass Bay)	42.17	148.30	Australian Mammals Society, 1991
Australia	Middleton Beach	35.51	138.71	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Middleton Beach	35.51	138.71	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Granite Island, Encounter Bay	35.55	138.62	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Port Adelaide, Bower Rd	34.83	138.50	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Parham	34.43	138.25	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kellidie Bay	34.61	135.48	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Waitpinga Beach	35.63	138.49	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	21 km SE Southend	37.73	140.24	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Goolwa Beach	35.51	138.77	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Carpenter Rocks	37.92	140.41	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Seacliff, Adelaide	35.03	138.52	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Henley Beach, Adelaide	34.92	138.49	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	West Beach, Adelaide	34.96	138.51	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012



País / Country	Localidad / Locality	Latitud decimal / Decimal latitude	Longitud decimal / Decimal longitude	Referencia / Study reference
Australia	Kangaroo Island (South West River)	36.02	136.85	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kangaroo Island (Seal Slide)	36.01	137.54	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kangaroo Island (Bales Beach)	35.99	137.35	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kangaroo Island (West Bay)	35.89	136.54	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	North coast of Kangaroo Island	35.67	137.62	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kangaroo Island (Mouth Flat Beach)	35.86	137.94	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kangaroo Island (D'Estrees Bay)	35.95	137.58	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kangaroo Island (Pennington Bay)	35.86	137.74	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Encounter Bay	35.58	138.60	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Fishery Bay, Eyre Peninsula	34.92	135.69	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Coffin Bay	34.62	135.47	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Waterloo Bay, Elliston	33.64	134.87	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Hindmarsh River mouth	35.54	138.63	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Younghusband Peninsula, Murray Mouth	35.71	139.13	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Nora Creina	37.33	139.85	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Hindmarsh River mouth	35.54	138.63	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Kangaroo Island (Castle Rock Beach, Vivonne Bay)	35.99	137.18	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Goolwa Beach	35.51	138.77	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Younghusband Peninsula	35.66	139.07	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Australia	Younghusband Peninsula	35.84	139.31	Shaughnessy <i>et al.</i> , 2012
Brasil / Brazil	Estado de rio de Janeiro	22.00	41.00	Moura <i>et al.</i> , 2011
Brasil / Brazil	Estado de rio de Janeiro	22.17	44.33	Moura <i>et al.</i> , 2011
Brasil / Brazil	Estado de rio de Janeiro	22.00	43.25	Moura <i>et al.</i> , 2011
Brasil / Brazil	Florianópolis	27.59	48.55	Ximenez <i>et al.</i> , 1987
Brasil / Brazil	Praia de Cidreira	30.00	50.21	Widholzer, 1982
Brasil / Brazil	Praia do Cassino	32.12	52.16	Pinedo, 1990
Brasil / Brazil	Albardão	33.25	52.71	Ferreira <i>et al.</i> , 1995
Chile	Parry Fjord	54.07	69.34	Acevedo <i>et al.</i> , 2017
Chile	Parry Fjord	54.68	69.51	Acevedo <i>et al.</i> , 2017
Sudáfrica / South Africa	Die Dam Beach (Western Cape)	34.76	19.71	Vinding <i>et al.</i> , 2013

País / Country	Localidad / Locality	Latitud decimal / Decimal latitude	Longitud decimal / Decimal longitude	Referencia / Study reference
Sudáfrica / South Africa	Hout Bay (Cape Province)	34.01	18.35	Best, 1971
Sudáfrica / South Africa	Marion Prince Edward Island	34.01	23.37	Hückstädt, 2015 (Red List web page: https://www.iucnredlist.org/species/10340/45226422)
Sudáfrica / South Africa	Plettenberg Beach	46.89	37.74	Citizen science: https://www.capetownetc.com/cape-town/rare-sighting-of-leopard-seal-on-plett-beach/
Sudáfrica / South Africa	Cape Recife Beach (Algoa Bay)	33.83	25.83	Citizen science: https://www.heraldlive.co.za/news/2020-07-06-rare-leopard-seal-carcass-found-on-cape-recife-beach/
Sudáfrica / South Africa	Cape Town (Milnerton Beach)	33.87	18.50	Citizen science: https://www.news24.com/news24/southafrica/news/pic-leopard-seal-spotted-on-cape-town-beach-residents-cautioned-20190828
Uruguay	Isla Verde	34.82	55.31	Juri, 2017
Uruguay	Punta Palmar	34.07	53.55	Juri, 2017
Uruguay	Piriápolis	34.87	55.27	Juri, 2017

Tabla S2. Relación de la muestra de cada foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*) colectada en la costa de Danco con cada haplotipo identificado por Slade *et al.* (1994) y en este estudio. Para cada individuo, se incluyó el ID de la secuencia en NCBI, el número de acceso a *Genbank*, el nombre del haplotipo utilizado en la gráfica de la red (Figura 2), el sexo y la referencia del estudio.

Table S2. Relationship of the sample of each individual leopard seal (*Hydrurga leptonyx*) collected on the Danco Coast with each haplotype identified by Slade *et al.* (1994) and in this study. For each individual, NCBI Sequence ID, GenBank accession number, haplotype name used in network plot (Figure 2), sex, and study reference were included.

ID Secuencia NCBI / NCBI Sequence ID	Número de acceso a <i>GenBank</i> / <i>GenBank</i> Accession number	Haplotipo / Haplotype	Sexo / Sex	Referencia / Reference
HLU03590	-	CR1	-	Slade <i>et al.</i> (1994)
HL1CD	MW168803	HL1	Hembra / Female	Este estudio / This study
HL2CD	MW168801	HL2	Macho / Male	Este estudio / This study
HL3CD	MW168811	HL3	Macho / Male	Este estudio / This study
HL4CD	MW168812	HL4	Macho / Male	Este estudio / This study
HL5CD	MW168809	HL5	Hembra / Female	Este estudio / This study
HL6CD	MW168805	HL6	Hembra / Female	Este estudio / This study
HL7CD	MW168810	HL7	Macho / Male	Este estudio / This study
HL8CD	MW168806	HL8	Macho / Male	Este estudio / This study
HL9CD	MW168802	HL9	Macho / Male	Este estudio / This study
HL10CD	MW168807	HL10	Hembra / Female	Este estudio / This study
HL11CD	MW168808	HL11	Hembra / Female	Este estudio / This study
HL12CD	MW168804	HL12	Macho / Male	Este estudio / This study



Información de publicaciones científicas / Scientific publications information

#	Año / Year	Título / Title	Autores / Authors	Revista / Journal	Factor de impacto - Cuartil / Impact Factor - Quartil /	DOI
1	1976	Relationship of Radiolarian Assemblages to Sediment Types and Physical Oceanography in the Atlantic and Western Indian Ocean Sectors of the Antarctic Ocean	José Lozano & James D. Hays	Memoir of the Geological Society of America	N/A	https://doi.org/10.1130/MEM145-p303
2	2013	La Bioprospección Antártica: indefiniciones e incompatibilidades con el sistema del tratado Antártico	Fernando Villamizar Lamus	International Law: Revista Colombiana de Derecho Internacional	N/A	N/A
3	2014	Molecular systematics of the deep-sea bamboo corals (Octocorallia: Isididae: Keratoisidinae) from New Zealand with descriptions of two new species of Keratoisis	Luisa F. Dueñas, Phil Alderslade & Juan A. Sánchez	Molecular Phylogenetics and Evolution	3.496 / Q1	https://doi.org/10.1016/j.ympev.2014.01.031
4	2015	A hydrodynamic model of Gerlache Strait (Antarctic) during summer of the southern hemisphere	Serguei Lonin	Boletín Científico CIOH	N/A	https://doi.org/10.26640/22159045.283
5	2015	Avistamiento de Hielos sobre el Mar en la Bahía de Fildes y el Estrecho de Gerlache durante el Verano Austral 2015	Julián Eduardo Trujillo Jiménez, Julio Cesar Ramírez Cárdenas, María Fernanda Vargas, Rosana del Pilar Adames Prada & Nelson Enrique Murillo Gómez	Revista Derrotero	N/A	N/A
6	2015	Characterization of the Antarctic sea urchin (<i>Sterechinus neumayeri</i>) transcriptome and mitogenome: a molecular resource for phylogenetics, ecophysiology and global change biology	Geoffrey F. Dilly, Juan Diego Gaitán-Espitia & Gretchen E. Hofmann	Molecular Ecology Resources	7.059 / Q1	https://doi.org/10.1111/1755-0998.12316
7	2016	Expression pattern of heat shock proteins during acute thermal stress in the Antarctic sea urchin, <i>Sterechinus neumayeri</i>	Karina González, Juan Gaitán-Espitia, Alejandro Font, César A. Cárdenas & Marcelo González-Aravena	Revista Chilena de Historia Natural	1.680 / Q2	https://doi.org/10.1186/s40693-016-0052-z
8	2016	The Antarctic Circumpolar Current as a diversification trigger for deep-sea octocorals	Luisa F. Dueñas, Dianne M. Tracey, Andrew J. Crawford, Thomas Wilke, Phil Alderslade & Juan A. Sánchez	BMC Evolutionary Biology	3.045 / Q1	https://doi.org/10.1186/s12862-015-0574-z

#	Año / Year	Título / Title	Autores / Authors	Revista / Journal	Factor de impacto - Cuartil / Impact Factor - Quartil /	DOI
9	2017	Efectos del ejercicio aeróbico en la composición corporal, resistencia cardiovascular, ciclo circadiano, síndrome T3 Polar en la primera misión de Colombia a la Antártida	Juan Miguel Castro Herrera	Ciencia y Poder Aéreo	N/A	https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.562
10	2018	An initial approximation to the meteo-marine conditions of south bay (Doumer island) and comparison of the meteorological behavior between Doumer and Anvers islands, Antarctica (austral summer 2016-2017).	Nancy Villegas, Igor Málikov & César Cárdenas	Anales Instituto Patagonia (Chile)	N/A	http://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2018000100023
11	2019	Effects of an Explosive Polar Cyclone Crossing the Antarctic Marginal Ice Zone	Marcello Vichi, Clare Eayrs, Alberto Alberello, Anriette Bekker, Luke Bennetts, David Holland, Ehlke de Jong, Warren Joubert, Keith MacHutchon, Gabriele Messori, Jhon F. Mojica, Miguel Onorato, Clinton Saunders, Sebastian Skatulla & Alessandro Toffoli	Geophysical Research Letters	4.580 / Q1	https://doi.org/10.1029/2019GL082457
12	2019	Mesozooplankton biomass and epipelagic copepod assemblages in the Gerlache Strait (Antarctica) during the 2015 austral summer	Alan Giraldo, María Isabel Criales-Hernández, Mauricio Jeréz-Guerrero & Diego F. Mojica-Moncada	Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras / Bulletin of Marine and Coastal Research	0.333 / Q4	https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.1.754
13	2019	Zooplankton composition and taxonomic abundance from South Pacific until Antarctic Peninsula 2016-2017	Luz Helena Mojica-López & Andrés Franco-Herrera	Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras / Bulletin of Marine and Coastal Research	0.333 / Q4	https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2019.48.2.769
14	2020	Beach litter distribution in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica	Giorgio Anfuso, Hernando José Bolívar-Anillo, Francisco Asensio-Montesinos, Rogério Portantiolo Manzolli, Luana Portz & Diego Andrés Villate Daza	Marine Pollution Bulletin	4.049 / Q1	http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111657



#	Año / Year	Título / Title	Autores / Authors	Revista / Journal	Factor de impacto - Cuartil / Impact Factor - Quartil /	DOI
15	2020	Colombia in the Antarctica: Approaches to a scientific/social investigation... A call to the academy/state/society	William Mauricio Lopera Ramírez	Revista Boletín Redipe	N/A	https://doi.org/10.36260/rbr.v9i12.1145
16	2020	Diversity and Functioning of Antarctic Seaweed Microbiomes	Juan Diego Gaitán-Espitia & Matthias Schmid	Antarctic Seaweeds (Springer)	N/A	https://doi.org/10.1007/978-3-030-39448-6_14
17	2020	Estructura y distribución de la comunidad microfitoplanctónica a lo largo del estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019	Luis Alberto De La Hoz Barrientos, Mary Luz Cañón Páez & Daniela Rojas Sánchez	Boletín Científico CIOH	N/A	https://doi.org/10.26640/22159045.2020.501
18	2020	From Space to Earth: physical and biological impacts of glacier dynamics in the marine system by means of Remote Sensing at Almirantazgo Bay, Antarctica	Carlos Cárdenas, Gino Casassa, Ximena Aguilar, Diego Mojica, Erling Johnson & Fabián Brondi	IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	4.415 / Q1	https://doi.org/10.1109/LAGIRS48042.2020.9165686
19	2020	Hydrographic conditions during two austral summer situations (2015 and 2017) in the Gerlache and Bismarck straits, northern Antarctic Peninsula	Rafael Ricardo Torres Parra, Ana Lucía Caicedo Laurido & José David Iriarte Sánchez	Deep-Sea Research Part I	2.848 / Q1	https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103278
20	2020	Installing a prototype wind turbine to produce energy in Antarctica to allow a permanent Colombian scientific base to be established	César Lozano Jiménez	Advances in Polar Science	N/A	https://doi.org/10.13679/j.advps.2020.0031
21	2020	Projected shifts in the foraging habitat of crabeater seals along the Antarctic Peninsula	Luis A. Hückstädt, Andrea Piñones, Daniel M. Palacios, Birgitte I. McDonald, Michael S. Dinniman, Eileen E. Hofmann, Jennifer M. Burns, Daniel E. Crocker & Daniel P. Costa	Nature Climate Change	20.893 / Q1	https://doi.org/10.1038/s41558-020-0745-9
22	2020	Stereo-Photogrammetric Measurement Of Spatio-Temporal Velocity Fields At Lange Glacier, King George Island	Ellen Schwalbe, Robert Koschitzki, Erling Johnson, Diego Fernando Mojica Moncada, Benjamin Schröter, Carlos Cardenas, Gino Casassa & Hans-Gerd Maas	IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	4.415 / Q1	https://doi.org/10.1109/LAGIRS48042.2020.9165565

#	Año / Year	Título / Title	Autores / Authors	Revista / Journal	Factor de impacto - Cuartil / Impact Factor - Quartil /	DOI
23	2021	Interannual Climate Variability in the West Antarctic Peninsula under Austral Summer Conditions	Eduardo Santamaria-del-Ángel, Mary-Luz Cañon-Páez, Maria-Teresa Sebastián-Frasquet, Adriana González-Silveira, Angelica-L. Gutierrez, Jesús-A. Aguilar-Maldonado, Jorge López-Calderón, Víctor Camacho-Ibar, Andrés Franco-Herrera & Alejandra Castillo-Ramírez	Remote Sensing	4.509 / Q1	https://doi.org/10.3390/rs13061122
24	2021	Site Selection of the Colombian Antarctic Research Station Based on Fuzzy-Topsis Algorithm	Jairo R. Coronado-Hernández, Wilson A. Rios-Angulo, Camilo Segovia, Diana Urrego-Niño & Alfonso R. Romero-Conrado	Advances in Swarm Intelligence. ICSI 2020.	N/A	https://doi.org/10.1007/978-3-030-53956-6_60



Guía de autores / Author's guide

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* (título abreviado: Bol. Investig. Mar. Costeras) es una publicación indexada de acceso abierto, periodicidad semestral y arbitrada bajo la modalidad ciego. Está dirigida a la comunidad científica y a las personas relacionadas con temas medioambientales en zonas marino-costeras, con particular énfasis en América tropical. Considera para su publicación trabajos inéditos sobre cualquier tópico de investigación en el mar o en ambientes acuáticos de la zona costera, realizados en las áreas tropicales y subtropicales de América.

La revista es editada desde 1967 por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” (Invemar). Hasta el volumen 8 llevó el nombre de *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín* y entre los volúmenes 9 y 24 se denominó *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*. A partir del año 2008 se publican dos números por volumen anual, periodicidad que se mantiene hasta la fecha. El primer número se publica en el mes de junio y el segundo, en el mes de diciembre.

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* únicamente considera para publicación trabajos originales, es decir, aquellos que incluyan resultados significativos que no hayan sido publicados ni estén siendo considerados para publicación en otra revista. Se reciben artículos de investigación, notas científicas y artículos de revisión que compilen y resuman adecuadamente el trabajo en un campo particular y señalen líneas de investigación a seguir. La revista se publica en inglés y español en formato PDF. Cuenta con una versión digital que puede ser consultada en www.invemar.org.co/boletin y con una versión impresa que es distribuida nacional e internacionalmente a través del sistema de canje y donación. La revista se encuentra indexada en Scopus desde 2016 (Q4 del Scimago Journal Ranking en la categoría “Animal Science and Zoology”) y en Publindex (categoría B).

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* es una publicación de acceso abierto, por lo que no existen cargos para lectura o descarga de información, basado en el principio de que ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones ayuda a un mayor intercambio global de conocimiento. Su distribución y divulgación es libre, siempre y cuando se respeten los respectivos créditos de los manuscritos. Los autores no deben pagar por someter o publicar sus manuscritos, a excepción de los costos de impresiones a color descritos más adelante en esta guía. Se tendrán en cuenta los manuscritos ajustados al siguiente formato:

Idiomas: español e inglés americano. El Boletín recibe artículos en sometimiento escritos en ambos idiomas o en uno solo. En este último caso, el resumen, el *abstract* y las palabras clave deben ser enviados originalmente en español e inglés americano. Por su parte, las notas científicas deben ser sometidas en ambos idiomas. A partir del año 2021, las disposiciones sobre la traducción de los artículos que culminen satisfactoriamente el proceso editorial serán informadas a través del sitio web del Boletín. Los autores no podrán retirar el manuscrito una vez este haya sido aceptado.

Presentación: para someter su artículo, debe cargarlo junto a la carta de sometimiento a través de la página. Puede hacerlo registrándose en el sitio web o ingresando con su usuario y contraseña, si ya cuenta con uno. El archivo debe ir en un solo archivo en formato Word (.doc ó .docx), con las tablas y figuras incluidas (inicialmente en baja resolución). La carta de sometimiento debe ir en formato PDF *debidamente firmada*, al menos, por el líder de correspondencia, conforme el formato disponible para descarga en el sitio web, en la sección “Guía de autores”. Si el manuscrito es aceptado para publicación, se solicitará a los autores el envío de las gráficas en formato editable (.xml [excel], .eps o .pdf vectorial) y con los textos en español e inglés americano, así como las fotos en formato JPG o TIF, con

Bulletin of Marine and Coastal Research (title abbreviation: Bull. Mar. Coast. Res.) is an open-access, semi-annual, indexed publication, refereed under the single-blind modality. It is aimed at the scientific community and people related to environmental issues in coastal and marine areas, with particular emphasis on tropical America. It considers unedited works about research topics on the sea or coastal aquatic environments, undertaken in the tropical and subtropical areas of the Americas.

The journal is edited since 1967 by the “José Benito Vives de Andrés” Marine and Coastal Research Institute (Invemar). Until volume 8 it was called *Mitteilungen aus dem Instituto Colombo-Alemán de Investigaciones Científicas Punta de Betín*, and between volumes 9 and 24, it was called *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*. Since 2008, two issues are published per annual volume, a frequency that has been maintained to date. The first issue is published in June and the second in December.

Bulletin of Marine and Coastal Research only considers for publication original works, that is, those that include significant results that have not been published nor are being considered for publication in another journal. Research articles, scientific notes, and review articles are received that adequately compile and summarize work in a particular field and indicate lines of research to be followed. The journal is published in English and Spanish in PDF format. It has a digital version that can be consulted at www.invemar.org.co/boletin and a printed version that is distributed nationally and internationally through the exchange and donation system. The journal is indexed on Scopus since 2016 (Q4 Scimago Journal Ranking on “Animal Science and Zoology” category) and on Publindex (category B).

The Bulletin is an open-access journal, so there is no charge for reading or downloading information, based on the principle that providing free access to research helps to increase global knowledge exchange. Its distribution and dissemination are free, respecting each credit and authorship of the manuscripts. Authors do not pay for submitting or publishing a manuscript, except color prints as mentioned in this guide. Authors should follow the subsequent instructions:

Languages: Spanish and American English. The Bulletin receives articles in submissions written in both languages or in one language only. In the latter case, the *abstract* and keywords must be submitted originally in Spanish and American English. Scientific notes must be submitted in both languages. From 2021, the instructions on the translation of articles that successfully complete the editorial process will be reported through the Bulletin’s website. Authors will not be able to withdraw their manuscript once it has been accepted.

Presentation: To submit your article, you must upload it together with the complementary files through the page. You must register on the website or enter with your user and password if you already have one. The file must be in a single file in Word format (.doc or .docx), with the tables and figures included (initially in low resolution). The letter of submission must be in PDF format, *duly signed* by, at least, the correspondence leader, according to the format available for download on the website, in the “Author’s Guide” section. If the manuscript is accepted for publication, the authors will be asked to send the graphics in an editable format (.xml [excel], .eps or .pdf vectorial) and with the texts in Spanish and American English, as well as the photos in JPG or TIF format, with a resolution of at least 360 dpi. Colors must correspond to the CMYK scale.

una resolución de, al menos, 360 dpi. Los colores deben corresponder a la escala CMYK.

FORMATO:

Fuente: Times New Roman, tamaño 11, configuración de página tamaño carta e interlineado a doble espacio.

Márgenes: izquierdo y superior de 3 cm y derecho e inferior de 2 cm como mínimo.

Títulos: en negrilla. El *título del trabajo* debe ir en altas y bajas y centrado. Además, ha de incluir al comienzo del *abstract* una traducción fiel al inglés cuando el manuscrito sea en español y viceversa cuando sea en inglés. Los títulos de *primer nivel* deben ir en mayúscula sostenida y centrados (aplica para los nombres científicos), dejando un espacio para comenzar el párrafo. Los títulos de *segundo nivel* deben ir en minúscula y en el centro, sin dejar espacio para comenzar el párrafo. Los títulos de *tercer nivel* deben ir en minúscula y alineados a la izquierda, sin dejar espacio para comenzar el párrafo.

Nota: tenga en cuenta que el título debe incitar la lectura del artículo y no ser muy extenso. El ideal son 40 caracteres. Google, por ejemplo, no lee más de 50-60 caracteres. Evite el uso de guiones, signos de admiración e interrogación.

Todas las hojas deben estar **numeradas** consecutivamente.

Texto: los manuscritos se deben redactar en tercera persona del singular (impersonal).

Los **artículos** deben tener una extensión máxima de 6000 palabras incluyendo figuras y tablas, pero sin contar bibliografía, resumen y *abstract*. Solo en casos excepcionales y justificados, se aceptarán manuscritos más extensos, para lo cual los autores tendrán que enviar una nueva carta de sometimiento que contenga dicha justificación. Los artículos deben tener la siguiente estructura: título, autor(es), OrcID, filiación institucional y correo electrónico de todos los autores, resumen, *abstract*, palabras clave, introducción, área de estudio, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y bibliografía. Este formato puede ser modificado si la naturaleza del trabajo lo exige. Aquellas instituciones o empresas que tengan su nombre registrado en inglés pueden utilizar dicha versión.

Por su parte, las **notas científicas** deben tener una extensión máxima de 1500 palabras, sin contar bibliografía y sin división en secciones como los artículos. Deben venir en ambos idiomas (español e inglés americano) y tener la siguiente estructura: resumen, *abstract*, palabras clave, texto, agradecimientos y bibliografía.

Resumen: debe tener máximo 30 renglones en un solo párrafo y el *abstract* ha de ser una traducción fiel de lo escrito en el resumen. Ambos deben llevar al final y en renglón aparte máximo cinco (5) palabras clave escritas en minúscula, tanto en la versión en español como en inglés.

Nota: es importante escoger bien las palabras clave. Recuerde que cualquier persona puede encontrar su trabajo en la web por intermedio de ellas. Recomendamos revisarlas a la luz del Tesoro Marino Ambiental Costero del Centro de Documentación del Invemar.

Tablas: elaboradas en procesador de texto con la opción Tabla, sin líneas verticales. La leyenda debe ir encima, en minúscula, y ser suficientemente explicativa. Las tablas deben ser numeradas consecutivamente y ubicadas conforme son citadas por primera vez dentro del texto. La información incluida en las tablas no puede aparecer repetida en las figuras.

Figuras: incluyen mapas, esquemas, dibujos, fotografías y láminas. La leyenda debe ir en el margen inferior, en minúscula, y ser suficientemente explicativa. Las figuras deben tener letras y símbolos en tamaño apropiado, de modo que al reducirlas no pierdan su nitidez. Además, deben ser

FORMAT:

Type of font: Times New Roman, size 11, letter-size page setup, and double spaced.

Margins: Left and upper, 3 cm; right and lower, 2 cm.

Titles: Must be written in boldface type. The *manuscript title* must be written in uppercase and lowercase and centered. It should be given in both languages too. *Main titles* must be written in capital letters, centered (even scientific names), and must be one space before the first line of the text. *Subtitles* must be also centered but as lowercase letters and there, *third titles* must be written on the left side of the paper, as lower-case letter, and also with no space.

Note: Special attention should be given to titles. The title should be attractive and no longer than 40 characters. Google, for example, does not take titles longer than 50-60 characters. Avoid the use of hyphens, exclamation, or interrogation marks.

All pages must be **numbered** consecutively.

Text: Manuscripts should be written in the third person singular (impersonal).

Articles must have a maximum of 6000 words including tables and figures but excluded literature cited, *resumen*, and abstract. Only in exceptional and justified cases, more extensive manuscripts will be accepted, for which the authors will have to send a new letter of submission containing such justification. The text must be structured as follows: title, author(s), OrcID, institutional affiliation, author's email, abstract, abstract in Spanish (*resumen*), introduction, study area, materials and methods, results, discussion, conclusions, acknowledgments, and literature cited. This format can be modified depending on the type of work. Those institutions or companies that have a registered English name can use that English version.

Scientific notes must have a maximum of 1500 words (excluding literature cited), without divisions and subtitles like the long manuscripts. Notes must be submitted in two languages: Spanish and American English and divided only in the abstract, abstract in Spanish (*resumen*), text, acknowledgments, and literature cited.

Abstract: Must be one paragraph and should not exceed 30 lines. **Resumen** should be an exact translation of the abstract, both must include at the end a maximum of five (5) keywords in lowercase letters.

Note: Special attention should be paid to keywords. Remember the people can find your article on the internet through them. We recommend reviewing them in light of the Coastal Environmental Marine Thesaurus of the Invemar Documentation Center.

Tables: Must be processed using the Table tool as text file, without vertical lines. Table legends must be placed on the top, in lowercase letters, and present clearly the content. Tables must be enumerated consecutively and placed as they are first cited in the text. The information included in tables cannot be repeated in figures.

Figures: They include illustrations such as maps, schemes, pictures, photographs, and plates. Figure legends must be placed on bottom, in lowercase letters, and present clearly the content. Letters and symbols on figures should have a suitable size so that if they get reduced they will not lose their shape and details. Moreover, they must be numbered and placed as they are first cited in the text.

The journal covers the costs of publishing black and white **photographs**. If there are color images in the manuscript, the authors will have to afford color page fees*. We suggest sending images for the first version in 72



numeradas consecutivamente y ubicadas conforme son citadas por primera vez dentro del texto.

La revista asume los costos de publicar **fotografías** en blanco y negro. Los costos de fotografías e imágenes a color deben ser asumidos por el (los) autor(es)*. Se recomienda que en la primera versión del manuscrito se utilice una resolución de 72 dpi en escala RGB para facilitar la carga del archivo en la plataforma.

* *El cobro de figuras a color estará sometido a cotización al momento de aceptar el manuscrito para su publicación. Es posible que no se apliquen cargos por ello. Para más información, escribir a boletin@invemar.org.co*

Abreviaturas: pueden usarse abreviaturas o símbolos comunes tales como m, cm, km, g, kg, mg, mL, L, % o °C, siempre y cuando acompañen números. Evitar los puntos al final de las abreviaturas. Todas las cifras decimales deben separarse con coma cuando el manuscrito está escrito en español y con punto cuando está escrito en inglés, excepto cuando se incluyan en tablas. En esos casos, los decimales deben ir con punto, independientemente del idioma.

Citas: No se aceptan citas de citas. Por ejemplo: Pérez, 2007 (En: Fernández, 2008).

Dentro del texto, debe citarse como sigue (sin usar *op. cit.*):

“La especie vive sobre sustratos rocosos y coralinos (Pérez, 1980; Darwin y Scott, 1991), aunque, según García (1992), prefiere fondos de cascajo”.

Cuando la referencia involucra a *más de dos autores*, debe citarse como Castro *et al.* (1965) o (Castro *et al.*, 1965). *et al.* debe aparecer siempre en letra cursiva.

Las **comunicaciones personales** deben evitarse en lo posible, pero serán aceptadas a juicio del editor a cargo de cada artículo, según sea el caso. Su estructura será la siguiente:

Nombre completo (punto) Institución (punto) Ciudad (coma) País (punto) Año (punto) Com. Pers.

Referencias: se deben incluir todas aquellas que están citadas en el texto, en orden alfabético por apellido y en orden cronológico cuando haya varios trabajos del mismo autor. El símbolo &, comúnmente usado en la literatura en inglés, deberá reemplazarse por la letra “y” o la palabra “and”, de acuerdo con el idioma de la referencia citada. La exactitud de las referencias es responsabilidad únicamente de los autores. No se admiten citas de trabajos que no hayan sido aceptados para publicación.

Nota: de acuerdo con los estándares internacionales, es preferible incluir el DOI en aquellas referencias que lo tengan.

Los **artículos en prensa** deben incluir el volumen, el año y el nombre de la revista en que serán publicados.

Los artículos publicados en **revistas periódicas** se deben citar de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Nombre de la revista (coma) Volumen (dos puntos) Rango de páginas (punto).

Ejemplo: Blanco, J.A., J.C. Nárvaez y E.A. Viloría. 2007. ENSO and the rise and fall of a tilapia fishery in northern Colombia. *Fish. Res.*, 88: 100-108.

En los casos en que la referencia incluya la *totalidad de las páginas de la revista periódica*, se debe citar así:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Nombre de la revista (coma) Volumen (coma) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Pang, R.K. 1973. The systematics of some Jamaican excavating sponges. *Postilla*, 161, 75 p.

Cuando el nombre de la revista esté formado por más de una palabra, debe abreviarse siguiendo la información presentada en www.ncbi.nlm.nih.gov/

dpi resolution, in RGB scale, so that files are not too heavy to charge in the platform.

* *The charge for color figures will be subject to the quotation at the time of acceptance of the manuscript for publication. There may be no charge for this. For more information, write to boletin@invemar.org.co*

Abbreviations: Abbreviations may be used and also common symbols, such as m, km, g, mg, %, or °C, as long as they are next to numbers. Do not use period marks after symbols or abbreviations. All decimal numbers have to be separated by comma (Spanish version) and points (English version), except when they are included in tables. In those cases, the decimals must be with a period, regardless of the language.

Citation style: There are not accepted indirect references like Pérez 2007 (In: Fernández, 2008). In the text, reference the bibliography as follows, avoiding the use of *op. cit.*:

“The species lives in rocky and coral substrates (Pérez, 1980; Darwin and Scott, 1991), although following García (1992), it prefers gravel substrate.”

When the reference includes *more than two authors*, it has to be quoted as Castro *et al.* (1965) or (Castro *et al.*, 1965), with *et al.* always written in italics.

Personal communications should not be used but they may be accepted by the editor depending on the specific case. If they are included, they should be presented as:

Complete name (period) Institution (period) City (comma) Country (period) Year (period) Pers. Comm.

References: The literature cited must include all and just the references cited in the text, in alphabetical order, and in chronological order when there is more than one article by the same author(s). The symbol &, frequently used, should be changed for the word “and” or “y” according to the original language of the cited reference. The accuracy of the references is the sole responsibility of the authors. Citations of papers that have not been accepted for publication are not allowed.

Note: Considering international standards, please includes DOI in all references.

If a **manuscript in press** has to be cited, it should include information about the issue, year, and title of the journal of the future publication.

Journals must be cited in the next format:

Author (period) Year (period) Title (period) Journal’s title (comma) Volume (two points) Page rank (period).

i.e.: Blanco, J.A., J.C. Nárvaez y E.A. Viloría. 2007. ENSO and the rise and fall of a tilapia fishery in northern Colombia. *Fish. Res.*, 88: 100-108.

When the reference included *all pages of the journal*, must be cited in the next format:

Author (period) Year (period) Title (period) Journal’s title (comma) Volume (comma) Total number of pages (p.).

i.e.: Pang, R.K. 1973. The systematics of some Jamaican excavating sponges. *Postilla*, 161, 75 p.

When the journal’s title has more than one word, it should be abbreviated following the information presented at www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog (or at www.abbreviations.com, when the journal is not found on the previous website). For no *listed journals*, use the complete title.

For **books**, must follow next format:

Author (period) Year (period) Title (period) Publishing house (comma) City (period) Total number of pages (p.).

nlmcatalog (o en www.abbreviations.com, cuando en el anterior sitio web no se encuentre la revista). Para *revistas no listadas*, debe presentarse el nombre completo.

Los **libros** se deben citar de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Editorial (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Dahl, G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Inderena, Bogotá. 391 p.

Los **capítulos de libros** se deben citar de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título del capítulo (punto) Rango de páginas (punto). En: Editores (punto) (Ed.). Título del libro (punto) Editorial (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Álvarez-León, R. y J. Blanco. 1985. Composición de las comunidades ictiofaunísticas de los complejos lagunares estuarinos de la bahía de Cartagena, ciénaga de Tesca y Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. 535-555. En: Yáñez-Arancibia, A. (Ed.). Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons. UNAM, México D.F. 653 p.

Las **memorias de reuniones y documentos inéditos** y de escasa divulgación (**tesis y literatura gris**) solo se citarán a criterio del editor del manuscrito.

Las **tesis** se deben citar como los libros.

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Tesis y abreviatura del programa de estudios (coma) Universidad (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Arboleda, E. 2002. Estado actual del conocimiento y riqueza de peces, crustáceos decápodos, moluscos, equinodermos y corales escleractíneos del océano Pacífico colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 125 p.

Los **informes** se citan de la siguiente manera:

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) Informe final (coma) Entidad (coma) Ciudad (punto) Número total de páginas (p.).

Ejemplo: Pedraza, R.A., S. Suárez y R. Julio. 1979. Evaluación de captura en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final, Inderena, Bogotá. 39 p.

Los **documentos electrónicos** varían constantemente dentro de los sitios web. Por lo tanto, se prefiere que los autores citen documentos de este tipo únicamente en los casos en que sea indispensable hacerlo. Serán aceptados a juicio del editor a cargo de cada artículo. Si el documento tiene DOI, añádalo.

Autor (punto) Año (punto) Título (punto) URL completa (sin punto) Fecha de consulta [DD/MM/AAA] (punto).

Ejemplo: Hammer, O., D.A.T. Harper y P.D. Ryan. 2008. PAST - Palaeontological Statistics, ver. 1.81. <http://folk.uio.no/ohammer/past/past.pdf>. 08/06/2008

Otras disposiciones:

- No se admiten notas de pie de página.
- Los nombres científicos de géneros y especies deben escribirse en cursiva. Todos ellos deben estar sujetos a los códigos de nomenclatura zoológica o botánica.
- Los registros taxonómicos deben hacerse siguiendo los códigos internacionales de nomenclatura, para lo cual el Boletín tiene un modelo con ejemplos, disponible para quien lo solicite.
- Las medidas se deben expresar en unidades del sistema métrico decimal. Los valores de salinidad deben presentarse sin unidades o símbolos.
- Al postular su manuscrito, los autores deben indicar su nombre completo, filiación institucional, dirección de correspondencia, correo

i.e.: Dahl, G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Inderena, Bogotá. 391 p.

For the **chapter of books**, must follow the next format:

Author (period) Year (period) Chapter name (period) Page rank (period). In: Editors' name (period) (Ed.). Title of the book (period) Publishing house (comma) City (period) Total number of pages (p.).

i.e.: Álvarez-León, R. y J. Blanco. 1985. Composición de las comunidades ictiofaunísticas de los complejos lagunares estuarinos de la bahía de Cartagena, ciénaga de Tesca y Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. 535-555. En: Yáñez-Arancibia, A. (Ed.). Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons. UNAM, México D.F. 653 p.

Memoirs of meetings and unpublished documents of limited circulation (**theses and grey literature**) will be cited only at the discretion of the editor of the manuscript.

Theses should be cited like books.

Author (period) Year (period) Title (period) Title (period) Tesis and Abbreviation of study program (comma) University (comma) City (period) Total number of pages (p.).

i.e.: Arboleda, E. 2002. Estado actual del conocimiento y riqueza de peces, crustáceos decápodos, moluscos, equinodermos y corales escleractíneos del océano Pacífico colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 125 p.

Reports are quoted as follows:

Author (period) Year (period) Title (period) Informe final (comma) Organization (comma) City (period) Total number of pages (p.).

i.e.: Pedraza, R.A., S. Suárez y R. Julio. 1979. Evaluación de captura en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Informe final, Inderena, Bogotá. 39 p.

Web documents vary constantly. Therefore, they should be avoided as references in the manuscripts if it is not really necessary. In special cases, it will be the editor's decision to accept it or not. Add DOI whether it is possible. If they are included, they should be presented as:

Author (period) Year (period) Title (period) Complete URL (without a period) Consultation date [DD/MM/YYYY] (period).

i.e.: Hammer, O., D.A.T. Harper, and P.D. Ryan. 2008. PAST - Palaeontological Statistics, ver. 1.81. <http://folk.uio.no/ohammer/past/past.pdf>. 08/06/2008.

Other dispositions:

- Use of footnotes in the text is strongly discouraged.
- Scientific names of genera and species must be written in italics type or underlined. All of them must be subject to the zoological or botanical nomenclature.
- Taxonomic reports should be made following the international nomenclature code, for which the journal has a model with examples, available upon request.
- Measurements have to be marked using the metric system. Salinity values have to be presented without symbols or units.
- When submitting their manuscript, authors should indicate their complete name, institutional affiliation, correspondence address, e-mail, and OrcID. If one does not have it, you can get it for free at <https://orcid.org/>
- The names of at least three evaluators should be suggested for the submitted manuscript, including the necessary contact information (institutional affiliation and e-mail). It should be clarified that



electrónico y OrcID. Si alguno no lo tiene, puede obtenerlo de forma gratuita en <https://orcid.org/>

- Se deben sugerir los nombres de tres evaluadores, mínimo, para el manuscrito sometido, incluyendo la información necesaria para contactarlos (filiación institucional y correo electrónico). Es preciso aclarar que las personas sugeridas no necesariamente serán los evaluadores del manuscrito; las sugerencias están sujetas a revisión por parte del editor encargado.
- A los manuscritos publicados en el Boletín se les asignará DOI tanto en la versión electrónica como en impresa. Tener esto en cuenta para la respectiva referencia bibliográfica.

PROCESO DE REVISIÓN

1. Los autores deben registrarse en la plataforma para obtener un usuario y contraseña y cargar el manuscrito a la plataforma. El registro se realiza una sola vez, por lo que con solo ingresar a su cuenta podrá ver el estado de su manuscrito o someter uno nuevo.
2. Junto con el artículo o nota científica, cargue la carta de sometimiento en formato PDF. Recuerde que el texto debe incluir inicialmente las figuras y tablas en baja resolución.
3. Una vez cargado el documento, este es sometido a una revisión preliminar por parte del asistente de comité editorial. Con su visto bueno, se envía invitación al comité editorial y, posteriormente, el manuscrito es asignado a un editor de sección.
4. El editor de sección define si el manuscrito pasa a evaluación por pares, si debe corregirse antes de ser evaluado o si se rechaza. Cuando el manuscrito obtiene el visto bueno del editor, pasa a evaluación por pares. Si es rechazado, los autores reciben una comunicación oficial de no aceptación del manuscrito.
5. El proceso de evaluación en el *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* es realizado por pares expertos en cada una de las temáticas que aborda la revista y se efectúa en modalidad simple ciego. Los evaluadores cuentan con 30 días calendario (contados a partir del momento en que reciben la invitación a evaluar por la plataforma) para enviar sus apreciaciones haciendo uso de la ficha de evaluación de manuscritos. Si desean hacer observaciones en el manuscrito, pueden hacerlo con el control de cambios activo y dejando comentarios al margen, siempre de forma anónima.
6. Una vez se reciben las evaluaciones, el editor determina si el manuscrito es aceptado para publicación (sin o con cambios mínimos), si requiere cambios menores o importantes, si debe pasar a una nueva ronda de evaluación o si se rechaza. Cuando el manuscrito obtiene el visto bueno del editor, los autores reciben una comunicación oficial de aceptación del manuscrito. Si es rechazado, los autores reciben una comunicación oficial de no aceptación del manuscrito. Para artículos de investigación y artículos de revisión, se emite un concepto editorial con al menos dos evaluaciones; para notas científicas, con al menos una evaluación.
7. Una vez aprobado para publicación, se inicia la edición y producción del manuscrito, que incluye las fases de corrección de estilo, traducción, maquetación y pruebas de galera.
8. Publicación en línea e impresión.
9. Difusión y divulgación en línea y distribución física.

Nota: en cualquier parte del proceso, los autores pueden visualizar el estado de su manuscrito ingresando con su usuario y contraseña a la plataforma. El proceso editorial puede tomar alrededor de diez (10) meses. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los tiempos dependen directamente de los actores que intervienen en el proceso, esto es, autores, editores y evaluadores.

the persons suggested will not necessarily be the evaluators of the manuscript; the suggestions are subject to review by the section editor.

- The manuscripts published since this number are going to have DOI, in electronic and printed version, therefore it must be referenced.

REVIEW PROCESS

1. Authors must register on the platform to obtain a username and password and upload the manuscript to the platform. The registration is done only once, so just by logging into your account, you can see the status of your manuscript or submit a new one.
2. Together with the article or scientific note, please upload the submission letter in PDF format. Remember that the text must initially include the figures and tables in low resolution.
3. Once the document is uploaded, it is submitted to a preliminary review by the Assistant Editorial Committee. With his approval, an invitation is sent to the editorial committee and the manuscript is then assigned to a section editor.
4. The section editor defines whether the manuscript goes to peer review, whether it must be corrected before being evaluated, or whether it is rejected. When the manuscript is approved by the editor, it goes into peer review. If it is rejected, the authors receive an official communication of non-acceptance of the manuscript.
5. The evaluation process in the *Bulletin of Marine and Coastal Research* is carried out by expert peers in each of the topics covered by the journal and is done in a single-blind modality. Evaluators have 30 calendar days (counted from the moment they receive the invitation to evaluate through the platform) to send their assessments using the manuscript evaluation form. If they wish to make comments on the manuscript, they can do so with active change control and leaving comments in the margin, always anonymously.
6. Once the evaluations are received, the editor determines whether the manuscript is accepted for publication (with or without minimal changes), whether it requires minor or major changes, whether it should go into a new round of evaluation, or whether it is rejected. When the manuscript is approved by the editor, the authors receive an official communication of acceptance of the manuscript. If it is rejected, the authors receive an official communication of non-acceptance of the manuscript. The evaluation process is single-blind. For research and review articles, an editorial concept with at least two evaluations is issued; for scientific notes, with at least one evaluation.
7. Once approved for publication, the editing, and production of the manuscript begins, which includes the phases of copyediting and proofreading, translation, layout, and galley proofs.
8. Online publishing and printing.
9. On-line diffusion and distribution of copies.

Note: At any part of the process, authors can view the status of their manuscript by logging in with their username and password to the platform. The editorial process can take about ten (10) months. However, it must be taken into account that the times depend directly on the actors involved in the process, that is, authors, editors, and peer reviewers.

Ética de publicación / Publication ethics

El *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* sigue las recomendaciones de COPE (Committee on Publication Ethics) para garantizar la transparencia en el proceso de publicación para todas las partes implicadas (autores, revisores, editores).

Las contribuciones son completa responsabilidad de sus autores, no del *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, de su cuerpo editorial o del Invenmar. El envío de un manuscrito se entiende como una declaración explícita por parte de los autores de que se trata de un trabajo original, que no ha sido publicado ni aceptado para su publicación ni se encuentra bajo consideración en otra revista o medio de difusión científica. Si el manuscrito incluye textos, tablas o figuras con reserva de derechos, los autores declaran en la carta de sometimiento que cuentan con la autorización para su reproducción.

La revista no cobra a los autores por publicar ni paga a los pares evaluadores. Asimismo, el trabajo de nuestro comité editorial es *ad honorem*.

Confidencialidad: todos los manuscritos sometidos al *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* son tratados como documentos confidenciales. El comité editorial se compromete a proteger la integridad y confidencialidad del trabajo de cada autor y el anonimato de cada evaluador. Por su parte, los evaluadores se comprometen a proteger el carácter confidencial del manuscrito asignado, teniendo en cuenta que el proceso de evaluación es simple ciego, es decir, los autores desconocen la identidad de los evaluadores, pero los evaluadores conocen la identidad de los autores.

Copyright: el *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* está bajo la licencia de Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual 4.0 Internacional (BY-NC-SA 4.0).

Declaración de conflicto de interés: cuando los autores someten su manuscrito al *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, deben acompañar el envío con una carta de sometimiento en la que declaran, entre otras cosas, que han leído y aprobado el manuscrito remitido en su contenido, organización, presentación y orden de autoría, por lo que no existe conflicto de interés entre ellos. En la carta, los autores también pueden solicitar que una persona no sea escogida como par evaluador cuando consideran que podrían presentarse conflicto de interés.

Los miembros del comité editorial, que fungan como editores encargados dentro de la revista, tienen la responsabilidad de declarar si presentan conflicto de interés con el manuscrito asignado. De igual manera, los pares evaluadores deben declarar si presentan conflicto de intereses al conocer el nombre de los autores del manuscrito asignado, considerando que el proceso de evaluación en la revista es simple ciego.

Responsabilidades de los autores: los autores están obligados a participar del proceso de evaluación respetando los tiempos estipulados de revisión y cumpliendo con los plazos de entrega. Los manuscritos que tardan más de sesenta (60) días en ser entregados por los autores cuando se les soliciten correcciones se retirarán automáticamente del *Boletín* y deberán ser sometidos nuevamente, salvo casos debidamente justificados.

El sometimiento de un manuscrito debe estar acompañado por una carta dirigida al editor general de la revista, en la que los autores firman y declaran que:

- Todos han leído y aprobado el manuscrito remitido en su contenido, organización, presentación y orden de autoría, por lo que no existe conflicto de intereses.

Bulletin of Marine and Coastal Research follows the recommendations of COPE (Committee on Publication Ethics) to ensure transparency in the publication process for all parties involved (authors, reviewers, editors).

Contributions are the complete responsibility of their authors, not of the *Bulletin of Marine and Coastal Research*, its editorial board, or Invenmar. Submission of a manuscript is understood as an explicit statement by the authors that it has not been published or accepted for publication in another journal or scientific dissemination medium. If the manuscript includes texts, tables, or figures with reserved rights, the authors declare in the submission letter that they have the authorization to reproduce them.

The journal does not charge for publication and does not pay peer reviewers. Also, the work of our Editorial Committee is *ad honorem*.

Confidentiality: All manuscripts submitted to the *Bulletin of Marine and Coastal Research* are treated as confidential documents. The Editorial Committee is committed to protecting the integrity and confidentiality of each author's work and the anonymity of each reviewer. For their part, the evaluators are committed to protecting the confidentiality of the assigned manuscript, taking into account that the evaluation process is single-blind, that is, the authors do not know the identity of the evaluators, but the evaluators know the identity of the authors.

Copyright: *Bulletin of Coastal and Marine Research* is under Creative Commons license BY-NC-SA 4.0.

Declaration of conflict of interest: When authors submit their manuscript to the *Bulletin of Coastal and Marine Research*, they must accompany the submission with a letter of submission in which they declare, among other things, that they have read and approved the submitted manuscript in its content, organization, presentation, and order of authorship, so that no conflict of interest exists between them. In the letter, the authors can also request that a person not be chosen as an evaluator couple when they consider that a conflict of interest could arise.

The members of the Editorial Board, who act as commissioned editors within the journal, have the responsibility to declare whether they have a conflict of interest with the assigned manuscript. Similarly, peer reviewers must declare whether they present a conflict of interest by knowing the name of the authors of the assigned manuscript, considering that the evaluation process in the journal is single-blind.

Author's responsibilities: Authors are required to participate in the evaluation process by respecting the stipulated review times and meeting deadlines. Manuscripts that take more than sixty (60) days when corrections are requested will be automatically withdrawn from the journal and must be resubmitted, except in duly justified cases.

The submission of a manuscript must be accompanied by a letter addressed to the journal's editor-in-chief, where the authors sign and declare that:

- All of them have read and approved the manuscript submitted in its content, organization, presentation, and order of authorship, so there is no conflict of interest.
- The manuscript is the result of an original work, which has not been published, is not under consideration in any publication, and will not be submitted to another journal until to know the response of the Editorial Board of the *Bulletin of Marine and Coastal Research*.
- If the manuscript is accepted, its publication, reproduction, and dissemination are authorized under the rules and license established by the journal.



- El manuscrito es resultado de un trabajo original, el cual no ha sido publicado, no se encuentra bajo consideración en ninguna publicación y no se someterá a otra revista hasta conocer la respuesta del comité editorial del *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*.
- En caso de que el manuscrito sea aceptado, se autoriza su publicación, reproducción y difusión bajo las normas y licenciamiento establecidos por la revista.
- El documento no incluye textos, tablas o figuras con reserva de derechos. Si los tuviere, se cuenta con la autorización para su uso y reproducción.
- El documento no contiene citas o transcripciones de obras que carecen de referencias bibliográficas debidamente citadas.
- Se aceptan los términos y condiciones expresados por la revista en la guía de autores.

Responsabilidades de los evaluadores: los evaluadores son investigadores invitados por la revista para que revisen *ad honorem* los manuscritos sometidos. Cada semestre se incluye al inicio del número correspondiente el listado de evaluadores que participaron en la revisión de los manuscritos publicados. Sus funciones son las siguientes:

- Evaluar los manuscritos asignados y emitir una decisión debidamente justificada.
- Adoptar una posición imparcial, crítica y constructiva frente a los trabajos que evalúan.
- Proteger el carácter confidencial de los manuscritos que revisan.
- Declarar si presentan conflicto de intereses.

Responsabilidad del comité editorial: el comité editorial es responsable de la gestión de la revista. Está integrado por investigadores de entidades nacionales e internacionales, asegurando la presencia de pluralidad en las disciplinas y líneas de investigación marina y costera. Sus funciones son las siguientes:

- Garantizar la calidad del contenido de los artículos y notas científicas sometidos a la revista.
- Declarar si presentan conflicto de intereses.
- Proteger la integridad y confidencialidad del trabajo de cada autor y el anonimato de cada evaluador.
- Aceptar o rechazar los manuscritos sometidos.
- En el caso de errores, promover la corrección o retractación en la publicación.

Sanciones: en caso de encontrar alguna violación de los apartes anteriores, se aplicarán las siguientes sanciones:

- Rechazo inmediato y retiro del manuscrito de la revista.
- Prohibición a todos los autores para presentar nuevos manuscritos a la revista, ya sea de forma individual o colectiva. Esta sanción tendrá vigencia por dos años a partir de su notificación.
- El editor general y el director de la revista se reservan el derecho de imponer sanciones adicionales a las descritos anteriormente, si lo consideran necesario.

- The manuscript does not include text, tables, or figures with copyright. If you have them, you have the authorization for their use and reproduction.
- The manuscript does not contain citations or transcriptions of works that lack properly cited bibliographic references.
- All of them accept all terms and conditions expressed in the author's guide.

Reviewers' responsibilities: Reviewers are researchers invited by the journal to revise *ad honorem* the manuscripts submitted. Every semester, the respective volume includes at the beginning of the complete list of reviewers who participated in the review. The functions of the reviewers are:

- Evaluating assigned manuscripts and give a substantiated decision.
- Adopting an impartial, critical and constructive position towards the manuscripts they evaluate.
- Protecting the confidentiality of the manuscripts reviewed.
- Declaring whether there is a conflict of interest.

Editorial Board responsibilities: The Editorial Board is responsible for the journal's management. It is composed of researchers from national and international institutions, ensuring plurality in the different disciplines and research lines of marine and coastal topics. The functions of the Editorial Board are:

- Guaranteeing the quality of the articles and scientific notes submitted to the journal.
- Declaring whether there is a conflict of interest.
- Protecting the integrity and confidentiality of the author's work and the anonymity of each reviewer.
- Accepting or refusing the submitted manuscripts.
- Promoting correction or retraction in the publication, in case of errors.

Sanctions: In any violation of the above paragraphs, the following sanctions will be applied:

- Immediate rejection and withdrawal of the manuscript from the journal.
- Prohibition for all authors to submit new manuscripts to the journal, either individually or collectively. This sanction will be in force for two years from its notification.
- The general editor and the director of the journal reserve the right to impose additional sanctions to those described above, if they consider it necessary.

BOLETÍN DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS

Bulletin of Marine and Coastal Research

(Bol. Investig. Mar. Costeras)

Vol. 50 (Supl. Esp.) Santa Marta, Colombia, 2021

TABLA DE CONTENIDO / CONTENTS

ARTÍCULOS / ARTICLES

Mary Luz Cañón Páez, Eduardo Santamaría del Ángel

Identificación de florecimientos fitoplanctónicos en el estrecho de Gerlache, Península Oeste Antártica
Identification of phytoplankton blooms in the Gerlache Strait, West Antarctic Peninsula. 13

**Susana Caballero, Debbie Steel, Logan Pallin, Natalia Botero-Acosta, Fernando Felix, Carlos Olavarria,
Maria Claudia Diazgranados, Sandra Bessudo, Ari Friedlander y C. Scott Baker**

Conexión migratoria entre zonas de cría del Pacífico Este y áreas de alimentación en la
Península Antártica basado en coincidencias de genotipos individuales
Migratory connections among breeding grounds off the Eastern Pacific and feeding areas
in the Antarctic Peninsula based on genotype matching 31

Jhon F. Mojica, David M. Holland, Julio Monroy

Características de mezcla de submesoescalas en las bahías del Estrecho de Gerlache (Antártida)
Submeso-scale Mixing Features in the Gerlache Strait Bays (Antarctica). 41

**Diego F. Mojica-Moncada, Carlos Cárdenas, Jhon F. Mojica-Moncada, Fabian Brondi, Dalia C. Barragán-Barrera,
Cedomir Marangunic, David Holland², Andrés Franco Herrera y Gino Casassa**

Estudio del glaciar Lange y su impacto debido al aumento de temperatura en la bahía Almirantazgo, isla Rey Jorge, Antártica
Study of the Lange Glacier and its impact due to temperature increase in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica 59

Giomar H. Borrero-Pérez y Daniela Yepes-Gaurisas

Lista anotada e ilustrada de los equinodermos recolectados durante las expediciones científicas colombianas a la Antártica (2016-2019)
Annotated and illustrated list of echinoderms collected during the Colombian scientific expeditions to the Antarctica (2016-2019) 85

Víctor Raul Poma-Llantoy, Pablo Antonio Mendoza-Hidalgo y Constanza Ricaurte-Villota

Caracterización de radionúclidos en los sedimentos marinos del monte submarino Orca, bahía Almirantazgo y ensenada Mackellar
Characterization of radionuclides in the marine sediments of Orca Seamount, Admiralty Bay, and Mackellar Cove 109

Marisol Rivera-Gómez, Alan Giraldo y Diego F. Mojica-Moncada

Ensamblaje de eufáusidos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (península Antártica) durante enero 2015
Epipelagic euphausiids assemblage in the Gerlache Strait (Antarctic Peninsula) during January 2015. 129

Cristian Rodrigo, Andrés Varas-Gómez, César Grisales, Diana Quintana-Saavedra y Ricardo Molares

Flujos de sedimento glaciomarino en pequeñas bahías de la costa de Danco, península Antártica
Glacimarine sediment flows in small bays on the Danco Coast, Antarctic Peninsula 149

Edgar Fernando Dorado-Roncancio y Cristina Cedeño-Posso

Copépodos, hidromedusas y sifonóforos: diversidad y distribución en el estrecho de Gerlache, Península Antártica
Copepods, hydromedusae and siphonophores: Diversity and distribution in the Gerlache Strait, Antarctic Peninsula. 169

Adriana Osorno-Arango y Jaime Cantera-Kintz

Moluscos bentónicos recolectados en la Antártida occidental durante las expediciones “Caldas”,
“Almirante Padilla” y “Almirante Campos” en los veranos australes de 2014-2015, 2016-2017 y 2018-2019
Benthic molluscs collected in Western Antarctica during the “Caldas”,
“Admiral Padilla” and “Admiral Campos” expeditions, southern summers 2014-2015, 2016-2017 and 2018-2019. 187

NOTAS / NOTES

Natalia Rincón-Díaz, Erasmo Macaya y Sara E. Guzmán-Henao

Aportes al conocimiento de las macroalgas del estrecho de Gerlache - Antártica

Contributions to the knowledge of macroalgae of the Gerlache Strait - Antarctica 213

Catalina Arteaga-Flórez y Maryela Bolaño-Lara

Poliquetos bentónicos recolectados en la III Expedición “Almirante Padilla” verano austral 2016-2017, al norte de la península Antártica

Benthic polychaetes collected in the III Expedición “Admiral Padilla” Austral Summer 2016-2017, to the north of the Antarctic Peninsula . . . 221

Laura Valentina Hernández-Ardila, Dalia C. Barragán-Barrera, Javier Negrete,

Sebastián Poljak, Federico G. Riet-Sapriza, Susana Caballero

Observaciones sobre la diversidad genética de la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*)

a partir del análisis de ADN mitocondrial, en la costa de Danco, península Antártica

Insights into the genetic diversity of the leopard seal (*Hydrurga leptonyx*),

inferred from mitochondrial DNA analysis, at Danco Coast, Antarctic Peninsula. 227

Información de publicaciones científicas / Scientific publications information 239

Guía de autores / Author's guide 243

Ética de publicación / Publication ethics 248

Este suplemento especial contó con el apoyo de:



invemar

www.invemar.org.co/boletin

