



Biomasa del mesozooplankton y ensamblaje de copépodos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (Antártica) durante el verano austral de 2015

Mesozooplankton biomass and epipelagic copepod assemblages in the Gerlache Strait (Antarctica) during the 2015 austral summer

Alan Giraldo¹, María Isabel Críales-Hernández², Mauricio Jeréz-Guerrero^{2,1} y Diego F. Mojica-Moncada³

0000-0001-9182-888X

0000-0001-5608-8943

0000-0002-2408-4849

0000-0002-5570-7527

- ¹ Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento de Biología, Grupo de Investigación en Ciencias Oceanográficas. Cali. alan.giraldo@correounivalle.edu.co, oceanografia@correounivalle.edu.co
- ² Universidad Industrial de Santander, Escuela de Biología, Laboratorio de Hidrobiología, Grupo Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales. Bucaramanga. mcralis@uis.edu.co, jerez.guerrero.mauricio@gmail.com
- ³ Comisión Colombiana del Océano. Asesor de Asuntos Antárticos. Bogotá. **Institución actual:** Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Dirección General Marítima. Cartagena de Indias. asuntosantarticos@gmail.com

RESUMEN

Se estudió la biomasa del mesozooplankton y la composición y distribución del ensamblaje de copépodos epipelágicos en el Estrecho de Gerlache entre el 17 y el 22 de enero de 2015, como parte de la primera expedición colombiana a la Antártica. La biomasa integrada del mesozooplankton generalmente fue baja (<5 mg peso seco /m²) en el área externa de la sección norte del Estrecho de Gerlache (entre el paso Crocker y la bahía Hughes) aunque hubo un notable incremento hacia el sur, con el mayor valor de biomasa (1,02 g peso seco /m²) en la entrada de la bahía Wilhelmina, área central del estrecho. El ensamblaje de copépodos epipelágicos estuvo conformado por 17 especies, de 4 órdenes y 13 familias. La especie dominante en número fue *Oithona similis*, seguida por *O. frigida*, *Ctenocalanus citer*, *Drescheriella glacialis* y *C. acutus*. Se registra por primera vez *Aetideus armatus* en el sector occidental de la península Antártica. Se establecieron diferencias en los ensamblajes de copépodos entre la sección norte y la sección sur del Estrecho de Gerlache. Considerando los resultados previamente registrados acerca de la hidrografía y la composición del fitoplancton en el Estrecho de Gerlache y el análisis sobre la estructura del ensamblaje de copépodos, se sugiere un escenario en el que, al menos durante enero de 2015, cada sección del estrecho presentó un ensamblaje particular de copépodos: una sección norte que estuvo dominada por copépodos de talla pequeña mientras que la sur estuvo dominada por copépodos de talla pequeña y grande.

PALABRAS CLAVE: *Aetideus armatus*, Mar de Bellingshausen, Península Antártica, *Oithona similis*, Zooplankton

ABSTRACT

Mesozooplankton biomass and epipelagic copepod assemblage composition and distribution were studied in the Gerlache Strait from January 17 to 22, 2015, as part of the first Colombian oceanographic expedition to the Antarctic. Mesozooplankton-integrated biomass was generally low (< 5 mg dry weight/m²) in the outer area of the northern section of the Gerlache Strait (between Crocker Passage and Hughes Bay) although there was a notable increase southward, with the highest value (1.02 g dry weight/m²) at the entrance of Wilhelmina Bay in the central zone of the Strait. The epipelagic copepod assemblage comprised 17 species belonging to 4 orders and 13 families. The dominant species by number was *Oithona similis*, followed by *O. frigida*, *Ctenocalanus citer*, *Drescheriella glacialis*, and *Calanoides acutus*. *Aetideus armatus* is reported for the first time in the western sector of the Antarctic Peninsula. Differences in the assemblages of copepods between the northern and southern section of the Gerlache Strait were established. Considering the previous results reported about hydrography and phytoplankton composition in Gerlache Strait and our analysis of the copepod assemblage structure, a scenario is suggested in which, at less during January 2015, each section of the Strait exhibited a particular copepod assemblage structure: a northern section was dominated by small-sized copepods while the southern section was dominated by small-sized and large-sized copepods.

KEY WORDS: *Aetideus armatus*, Antarctic Peninsula, Bellingshausen Sea, *Oithona similis*, Zooplankton

DOI: 10.25268/bimc.invemar.2019.48.1.754.

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 estrecho de Gerlache es parte de la región costera occidental de la Península Antártica, en donde los vientos y tormentas tienen poca influencia y la entrada de agua dulce debido al deshielo incrementa la estabilidad de la superficie de la columna de agua, lo que lleva a una mayor productividad (Smith Jr *et al.*, 1987; Holm-Hansen y Mitchell, 1991; Lancelot *et al.*, 1993; Smith *et al.*, 1996; Isla *et al.*, 2002; Varela *et al.*, 2002; Ducklow *et al.*, 2012). Esta localidad ha sido considerada por varios autores como área principal de forrajeo para numerosos grupos taxonómicos y, por lo tanto, ha sido de interés permanente para la investigación en la Antártica (Hopkins *et al.*, 1985; Brinton, 1991; Huntley y Brinton 1991; Huntley *et al.*, 1991; Whitehouse y Veit, 1994; Zhou *et al.*, 1994; Fraser y Trivelpiece, 1996; Ross *et al.*, 1996; Cabal *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2001).

Considerando la clasificación de biomas marinos de la Antártica, desarrollada por Treguer y Jacques (1992), el estrecho de Gerlache forma parte del ecosistema de la plataforma continental, que se caracteriza por tener altos niveles de biomasa de fitoplancton durante primavera y verano (Smith Jr y Nelson, 1986; Holm-Hansen y Mitchell, 1991; Varela *et al.*, 2002; Ballerini *et al.*, 2014). Además del krill, uno de los grupos taxonómicos que aprovecha la disponibilidad de fitoplancton en esta región son los copépodos, con un impacto de alimentación de hasta 65% de la producción primaria local diaria y un redireccionamiento mediante materia fecal de más de 22% del flujo total de carbono en el área (Gleiber *et al.*, 2012). Estas características hacen de los copépodos un grupo taxonómico clave en la dinámica del ecosistema pelágico de esta región (Gleiber *et al.*, 2016).

La zona occidental de la Península Antártica, sector en donde se encuentra el estrecho de Gerlache, es uno de los lugares en donde se ha registrado la mayor tasa cambio térmico en el planeta originado por el calentamiento global (Vaughan *et al.*, 2003). Esta variación térmica ha provocado un cambio significativo en la estructura de todos los niveles taxonómicos de la trama trófica pelágica (Montes-Hugo *et al.*, 2008; Stammerjohn *et al.*, 2008). En particular, los análisis de series de tiempo de la composición del zooplancton indican que la abundancia de copépodos en esta región ha estado

INTRODUCTION

The Gerlache Strait is part of the shelf region of the Western Antarctic Peninsula. Winds and storms have little influence over this area, and freshwater input due to melting increases the stability of the surface of the water column, which leads to increased productivity (Holm-Hansen and Mitchell 1991, Smith Jr *et al.* 1987, Smith *et al.* 1996, Lancelot *et al.* 1993, Isla *et al.* 2002, Varela *et al.* 2002, Ducklow *et al.* 2012). This area has been considered by different authors as main foraging area for numerous taxonomic groups, and has therefore been of permanent interest for Antarctic research (Hopkins *et al.* 1985, Brinton 1991, Huntley and Brinton 1991, Huntley *et al.* 1991, Whitehouse and Veit . 1994, Zhou *et al.* 1994, Fraser and Trivelpiece 1996, Ross, *et al.* 1996, Silva *et al.* 2001, Cabal *et al.* 2002).

Taking into account the classification of Antarctic marine biomes developed by Treguer and Jacques (1992), the Gerlache Strait is part of the continental platform ecosystem, which is characterized by having high phytoplankton biomass levels during spring and summer (Smith Jr and Nelson 1986, Holm-Hansen and Mitchell 1991, Varela *et al.* 2002, Ballerini *et al.* 2014). In addition to krill, one of the taxonomic groups that take advantage of phytoplankton availability in this region are copepods, with a feeding impact of up to 65% of daily local primary production, and a re-directing through fecal pellets of over 22% of total organic carbon flow in the area (Gleiber *et al.* 2012). These characteristics mean that copepods are a key taxonomic group in the dynamics of the pelagic ecosystem of this region (Gleiber *et al.* 2016).

The Western Antarctic Peninsula, where the Gerlache Strait is located, is one of the locations where the highest rate of thermal change due to global warming has been recorded on the planet (Vaughan *et al.* 2003). This thermal variation has led to a significant change in the structure of all taxonomic levels of the pelagic trophic web (Montes-Hugo *et al.* 2008, Stammerjohn *et al.* 2008). In particular, the analysis of time series of zooplankton composition indicates that copepod abundance in this region has increased significantly over the last two decades (Ross *et al.* 2008, 2014, Steinberg *et al.* 2015). This change could have a significant effect on the efficiency of the biological pump (Steinberg *et al.* 2012). There has even been evidence that the western side of the Antarctic Peninsula has changed from being a system dominated by herbivorous euphausiids, to a system dominated by herbivorous microzooplankton (Sailley *et al.* 2013). In this new scenario copepods would

umentando significativamente durante las últimas dos décadas (Ross *et al.*, 2008, 2014; Steinberg *et al.*, 2015), cambio que puede llegar a tener un efecto significativo en la eficiencia de la bomba biológica (Steinberg *et al.*, 2012). Incluso, se ha presentado evidencia que la zona occidental de la península Antártica, ha pasado de ser un sistema dominado por la herbivoría de los eufaúsidos a un sistema dominado por la herbivoría del microzooplancton (Sailley *et al.*, 2013). En este nuevo escenario, los copépodos actuarían como vínculo directo entre los dos sistemas descritos, debido a su estrategia de alimentación flexible que les permite alimentarse de diatomeas o de micro-zooplancton (Gleiber *et al.* 2016).

El conocimiento sobre las comunidades de copépodos epipelágicos en el estrecho de Gerlache sigue siendo limitado. Por lo tanto, en el presente estudio se registra la biomasa del mesozooplancton y la estructura del ensamblaje de copépodos epipelágicos en el estrecho durante el verano austral de 2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La topografía e hidrografía general del Estrecho de Gerlache ha sido resumida por García *et al.* (2002) y Zhou *et al.* (2002, 2006). El Estrecho de Gerlache está ubicado en la zona occidental de la Península Antártica, entre el archipiélago Palmer y la costa Danco. Tiene casi 200 km de largo y 50 km de ancho en el lado norte y 10 km de ancho en el lado sur; forma la conexión occidental más profunda entre el mar de Bellingshausen (BS) y el estrecho de Bransfield (BSt) (Figura 1). Sin embargo, cerca de la entrada suroccidental, el estrecho de Gerlache tiene fondos inferiores a los 350 m, que restringen la influencia de gran escala de la corriente circumpolar antártica.

La columna de agua típica del área suroccidental del estrecho de Gerlache está dominada por agua superficial antártica y agua profunda circumpolar local subyacente. Mientras que el área nororiental tiene una capa superior de aguas zonales transicionales con influencia del Mar de Bellingshausen y una capa subyacente de aguas zonales transicionales con influencia del Mar de Weddell, con intrusión intermedia limitada de agua profunda circumpolar local (García *et al.*, 2002). La corriente superficial principal es la Corriente del estrecho

serve as a direct link between the two systems described, due to their flexible feeding strategy that allows them to browse on diatoms or on microzooplankton (Gleiber *et al.* 2016).

In the Gerlache Strait, our knowledge of epipelagic copepod communities remains limited. Therefore, in the present study, we report on mesozooplankton biomass and the structure of the epipelagic copepod assemblage in the Gerlache Strait during the 2015 austral summer.

MATERIALS AND METHODS

The area of study

The general topography and hydrography of Gerlache Strait has been summarized by García *et al.* 2002 and Zhou *et al.* (2002, 2006). The Gerlache Strait is located on the west side of the Antarctic Peninsula, between the Palmer Archipelago and the Danco Coast. It is almost 200 km long with 50 km wide on the northern end and 10 km wide on the southern, and forms the deepest western connection between the Bellingshausen Sea (BS) and Bransfield Strait (BSt) (Figure 1). However, near to the southwest entrance, the Gerlache Strait has sill shallower than 350 m that restrict the influence of largescale circumpolar flow.

The typical water column at the southwestern part of the Gerlache Strait is dominated by Antarctic surface water and an underlying local circumpolar Deep Water, while in the northeast part consist of an upper layer of transitional zonal waters with Bellingshausen Sea influence and an underlying of transitional zonal waters with Weddell Sea influence, with limited intermediate intrusion of local circumpolar Deep Water (García *et al.*, 2002). The main surface current is the Gerlache Strait Current, that follows northeastward at the middle deep channel of the strait, exceeding 30 cm s⁻¹. Its main flow, that feeds the Bransfield Strait Current, could advect a particle outside the GS in 7 to 10 days. However, in the shallow bay or around island of Gerlache Strait the particles would be trapped inside anticyclonic eddies for more to 70 days (Zhou *et al.* 2002, 2006, Jiang *et al.* 2013).

Sample collection

We conducted zooplankton hauls in the Gerlache Strait between 17 January and 22 January 2015 aboard the “ARC 20 Julio” as part of the “Caldas Expedition”, first expedition of the Colombian Antarctic program. Zooplankton for copepods analysis were collected at 20 station encompassing the northern and southern zone of the Gerlache Strait (Figure1) with an oblique net tows within

de Gerlache, que avanza hacia el nororiente en el centro del canal profundo del estrecho, superando 30cm s-1. Su flujo principal, que alimenta la corriente del estrecho de Bransfield, podría generar la advección de una partícula del Estrecho en 7 a 10 días. Sin embargo, en las bahías somera, o en los alrededores de las islas del estrecho de Gerlache, las partículas quedarían atrapadas dentro de corrientes de vórtice anticiclónicas durante más de 70 días (Zhou *et al.*, 2002, 2006; Jiang *et al.*, 2013).

the upper 100 m using a 0.7 m circular frame net with 200 mm mesh, equipped with one Hydro Bios digital flow meter and non-filtering cod end. Towing speed was about 3 knots and filtered water volumes were calculated, considering net speed and flow data. On board, zooplankton samples were preserved in 4% borax-buffered formalin solution until analysis was performed in Colombia. Vertical profiles of temperature and salinity were taken with a SeaBird® CTD-19 and CTD-25 attached to a carousel system.

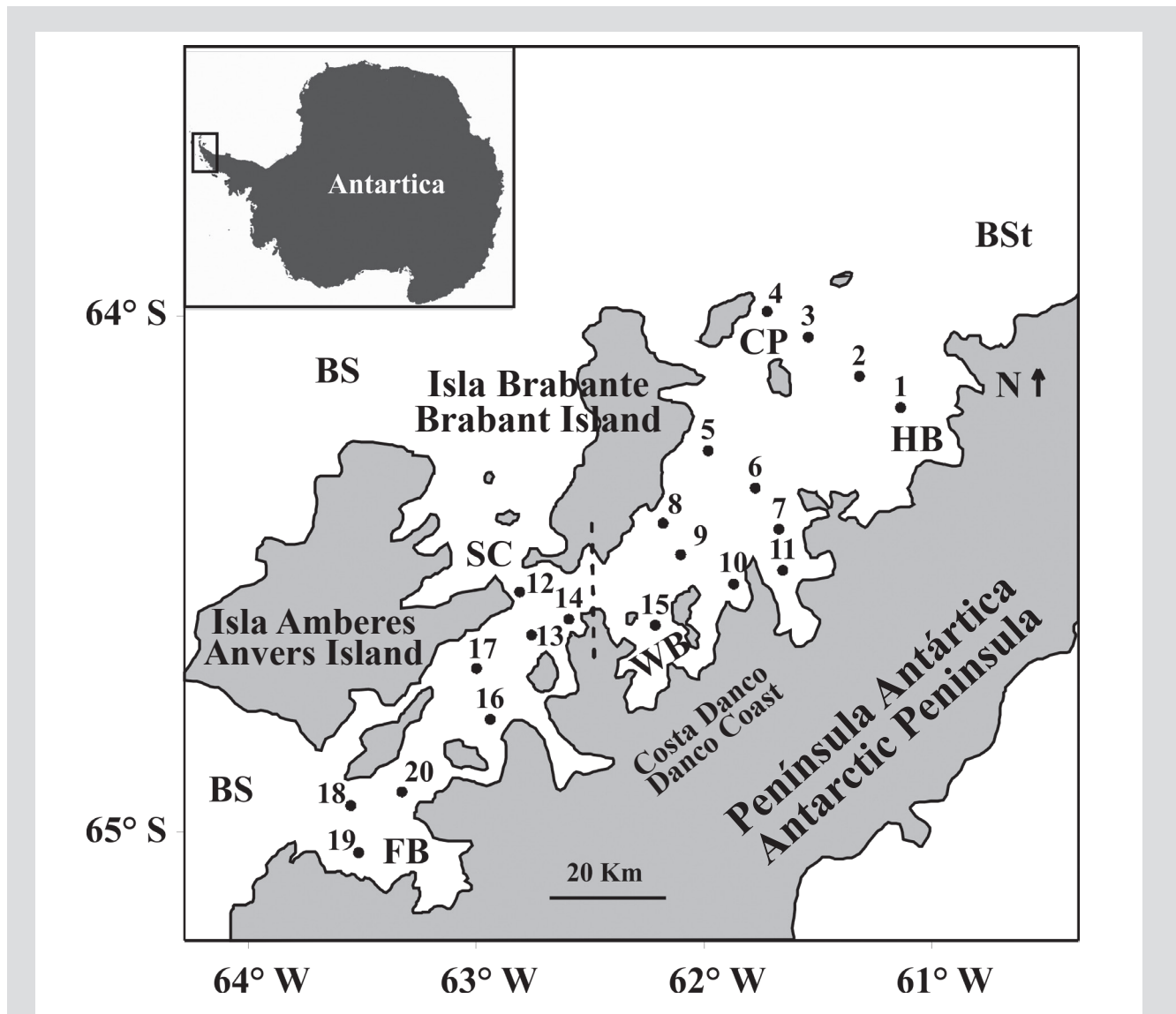


Figura 1. Mapa del área de estudio que muestra las estaciones de muestreo de zooplancton en el estrecho de Gerlache durante la primera Expedición Colombiana a la Antártica. La línea punteada divide el Estrecho en una sección norte (estaciones 1 a la 11, incluyendo la 15) y una sección sur (estaciones 12 a la 20, excluyendo la 15). BS: Mar Bellingshausen, BSt: Estrecho de Bransfield, SC: Canal Schollaert, FB: Bahía Flandres, WB: Bahía Wilhelmina, HB: Bahía Hughes, CP: Pasaje Crocker.

Figure 1. Map of the study area showing the sampling stations for zooplankton in the Gerlache Strait during the I Colombian Antarctic Expedition. The dotted line divides the Gerlache Strait into a northern section (stations 1 to 11, including station 15), and a southern section (stations 12 to 20, excluding station 15). BS: Bellingshausen Sea, BSt: Bransfield Strait, SC: Schollaert Channel, FB: Flanders Bay, WB: Wilhelmina Bay, HB: Hughes Bay, CP: Crocker Passage.

Recolección de muestras

Se realizaron capturas de zooplancton en el estrecho de Gerlache entre el 17 y el 22 de enero de 2015, a bordo del “ARC 20 Julio”, como parte de la “Expedición Caldas”, la primera expedición del programa colombiano en la Antártica. El zooplancton para el análisis de copépodos se recolectó en 20 estaciones que abarcaban las porciones norte y sur del estrecho de Gerlache (Figura 1) con arrastres oblicuos desde los 100 m hasta superficie empleando una red de marco circular de 0,7 m de diámetro y con malla de 200 μm , equipada con un medidor de flujo digital Hydro Bios y un copo no filtrante. La velocidad de arrastre fue de cerca de 5,6 km h^{-1} , y se calcularon los volúmenes de agua filtrada, teniendo en cuenta la velocidad neta y el flujo. A bordo, las muestras de zooplancton se preservaron en una solución de formalina tamponada con bórax a 4%, hasta que se realizó su análisis en Colombia. Los perfiles verticales de temperatura y salinidad se tomaron con un CTD-19 y CTD-25 SeaBird® unidos a un sistema de carrusel.

Análisis de muestras

Se analizó un total de 20 muestras. Las muestras preservadas en formaldehído se dividieron, y un cuarto de la muestra se empleó para realizar la clasificación de copépodos y otro cuarto para determinar las biomásas de zooplancton secando lotes a 60° C y pesándolos en una microbalanza (0,0001g) (Postel *et al.*, 2000). Estos valores luego se multiplicaron por 1,25 para ajustar la pérdida de tejido en el formaldehído (Hopkins, 1971). La identificación taxonómica de los copépodos se realizó mediante microscopía óptica hasta el nivel de especie (Razouls *et al.*, 2019). Se construyeron gráficos para describir la variación espacial de la biomasa de zooplancton, de la abundancia total de copépodos (teniendo en cuenta las etapas de desarrollo), y de la abundancia de cada especie identificada en el área de estudio.

Se creó una representación gráfica de la estructura salina y térmica del estrecho de Gerlache durante el periodo de muestreo mediante interpolaciones, usando el método de kriging en el programa Surfer®. Teniendo en cuenta las condiciones geomorfológicas e hidrodinámicas descritas para el estrecho de Gerlache por Zhou *et al.* (2002), así como la estructura salina y térmica de la capa superficial de la columna de agua durante el periodo de muestreo, el estrecho se dividió en dos secciones: una norte que se comunica directamente con el estrecho de Bransfield y una sur que tiene una conexión

Sample Analysis

A total of 20 samples were analyzed. The formaldehyde-preserved samples were split, and one quarter of the sample was used to copepod sorting and another quarter was used to determine zooplankton biomasses by drying batches at 60°C and weighing on a microbalance (0.0001 g) (Postel *et al.*, 2000). These values were then multiplied by 1.25 as an adjustment for tissue loss in formaldehyde (Hopkins 1971). Taxonomy was performed by optical microscopy and the copepods were classified to the species level (Razouls *et al.*, 2019). Graphs of the spatial variation of zooplankton biomass, total copepod abundance (taking into account developmental stages), and abundance of each species identified in the study area were carried out.

A graphic representation of the thermal and haline structure of the Gerlache Strait during the sampling period was created by interpolation using the kriging method in the Surfer® program. Taking into account the geomorphological and hydrodynamic conditions described for the Gerlache strait by Zhou *et al.* (2002), as well as the thermal and haline structure of the superficial layer of the water column during sampling period, the strait was divided into two sections: a northern section that communicates directly with the Bransfield Strait and a southern section that has a restricted connection with the Bellingshausen Sea (Figure 1), in order to compare the temperature, salinity, mesozooplankton biomass and copepod abundance in the upper 100m of water column a Mann-Whitney comparison test (MW) was carried out.

Ensemble structure was evaluated in terms of abundance (ind 1000 m^{-3}) of the species occurring in samples with a Whittaker rank/abundance graph (Krebs, 1999). Furthermore, a similarity matrix was constructed based on the log-transformed abundance data ($\text{Log}_{10} X + 1$). Transformation was used to down-weight the importance of the dominant species and to increase the weighting of rarer ones (Clarke and Warwick, 2001). A similarity analysis (ANOSIM) was carried out to establish the significance of a priori grouping (Clark 1993, Clarke and Warwick, 1994). Additionally, ordination analysis of non-metrical multidimensional scaling (MDS) was performed to graphically represent the relations of the structure of the assemblages (Clarke and Ainsworth 1993). Taking into account the clusters established by prior analysis, a Simper analysis was performed to determine which species contributes to the similarity within each group and dissimilarity between groups (Clarke and Warwick, 2001). These analyses were performed using Primer® software.

restringida con el mar de Bellingshausen (Figura 1), con el propósito de comparar la temperatura, salinidad, biomasa de mesozooplankton y abundancia de copépodos en los 100 m superiores de la columna de agua utilizando una prueba de comparación de Mann-Whitny.

La estructura del ensamble se evaluó en términos de la abundancia ($\text{ind } 1000 \text{ m}^{-3}$) de las especies que fueron identificadas en las muestras utilizando un gráfico de rango/abundancia de Whittaker (Krebs, 1999). Además, se construyó una matriz de similitud basada en los datos de abundancia transformados con $\log(\text{Log}_{10} X + 1)$. Se usó esta transformación para reducir la importancia de las especies dominantes y para aumentar la ponderación de las especies más raras (Clarke y Warwick, 2001). Se realizó un análisis de similitud (ANOSIM) para establecer la importancia de la agrupación a priori (Clark, 1993; Clarke y Warwick, 1994). Finalmente, se realizó un análisis de ordenación de escalamiento multidimensional no métrico (MDS) para representar gráficamente las relaciones de la estructura de los ensamblajes (Clarke y Ainsworth, 1993). Teniendo en cuenta las agrupaciones establecidas previamente, se realizó un análisis Simper para determinar qué especies contribuyen a la similitud dentro de cada grupo y a la disimilitud entre grupos (Clarke y Warwick, 2001). Estos análisis se realizaron utilizando el software Primer®.

RESULTADOS

Condiciones de temperatura y salinidad del área de estudio

La temperatura media del agua de 0 a 100 m de profundidad fue significativamente más alta en la sección norte que en la sección sur del estrecho de Gerlache durante el período de muestreo. Así mismo, la columna de agua de la cual se tomaron muestras en la sección norte estuvo estratificada térmicamente, con un ámbito de variación térmica equivalente a $1,2^{\circ} \text{C}$, mientras que la sección sur estuvo térmicamente homogénea, con un ámbito de variación de solo $0,2^{\circ} \text{C}$ entre 0 y 100 m de profundidad (Figura 2). La salinidad media del agua de 0 a 100 m de profundidad fue similar en ambas secciones del estrecho. Además, por debajo de 30 m de profundidad, la columna de agua exhibió fuertes condiciones de estratificación salina en ambas secciones. Sin embargo, en la sección sur del estrecho se detectaron aguas superficiales con baja salinidad (Figura 2).

RESULTS

Temperature and salinity condition of study area

Median water temperature from 0 to 100 m depth was significantly higher in the northern than in the southern section of the Gerlache Strait during the sampling period. Furthermore, water column sampled in the northern section was thermally stratified, with a range of thermal variation equivalent to 1.2°C , while in the Southern section was thermally homogeneous with only 0.2°C range of variation between 0m to 100 m depth (Figure 2). Median water salinity from 0 to 100 m depth was similar in both sections of Gerlache Strait. Moreover, below of 30 m depth, the water column exhibited strong saline stratification conditions in both sections. However, in the southern section of Gerlache Strait surface water with low salinity were detected (Figure 2).

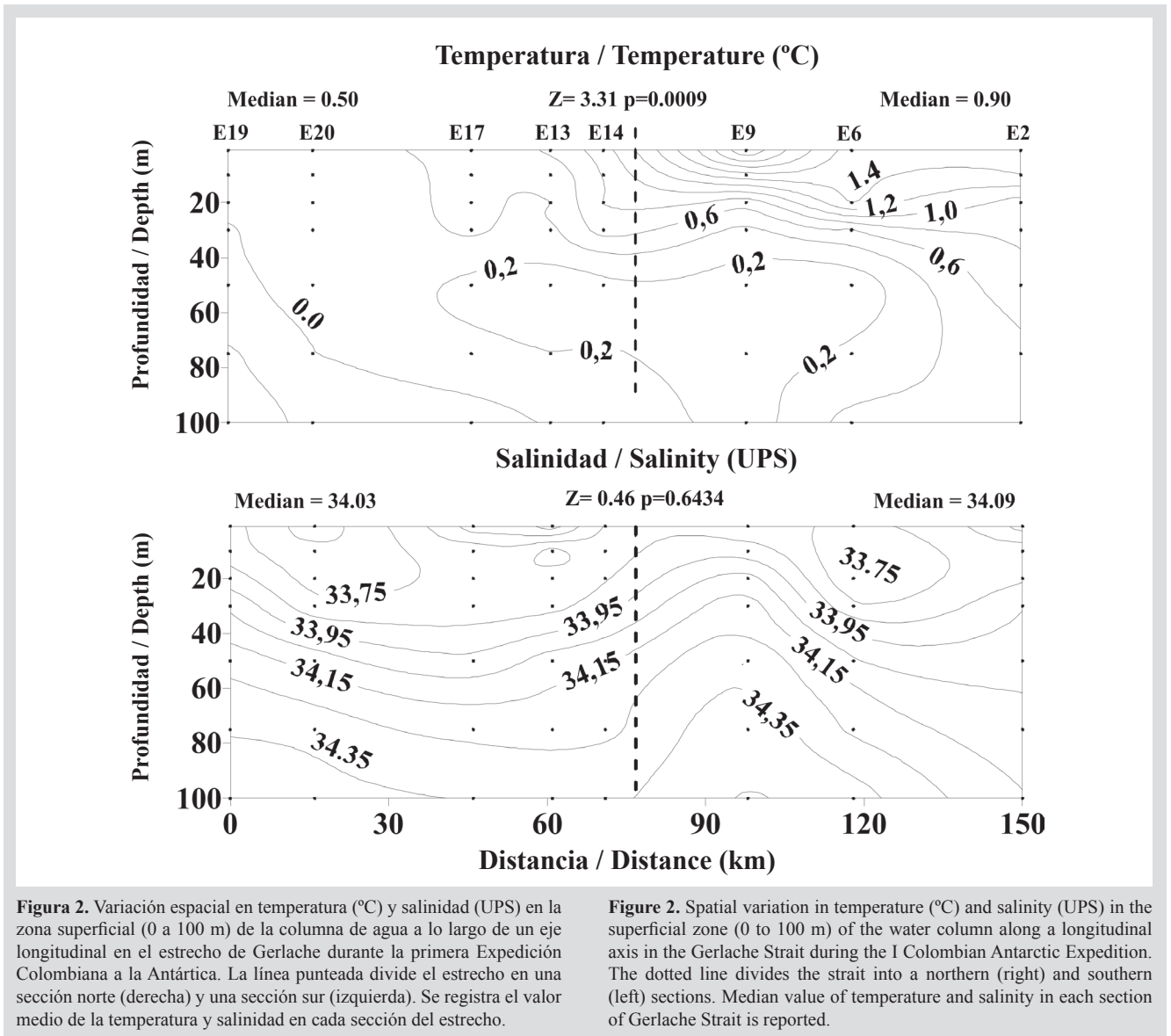
Mesozooplankton Biomass and Copepod Abundance

Average mesozooplankton biomass was $125.89 \pm 82.07 \text{ mg dry weight / m}^2$ in the Northern section of Gerlache Strait and $123.98 \pm 44.29 \text{ mg dry weight / m}^2$ in the Southern section of Gerlache Strait. No significant differences in mesozooplankton biomass were detected between section of Gerlache Strait (MW, $Z = -1.23$, $p = 0.2380$). However, the zooplankton biomass between Crocker Passage and Hughes Bay (outer Northern section) was one order of magnitude lower than in the stations near to Flanders Bay (outer Southern section), although the higher biomass ($1.02 \text{ g dry weight / m}^2$) was observed at the entrance of Wilhelmina Bay, in the central zone of Gerlache Strait (Figure 3A).

More than 92% of Copepods collected in both sections were adults (Figure 3B) and the proportion of stage development were no different between Northern and Southern sections ($\chi^2=55.2$, $p = 0.0001$). The abundance of adult's copepods in the Northern section was one order of magnitude lower than in the Southern section of Gerlache Strait (MN, $Z = -2.78$, $p = 0.0055$), being the higher abundances registered in the entrance of Schollaert Canal, which communicates the Gerlache Strait and the Bellingshausen Sea, and in the Flandres Bay, both locations in the Southern section of Gerlache Strait (Figure 3C).

Copepod Assemblage

A total of 17 copepod species belonging to four orders and 13 families were identified in the study area (Table 1). Copepodite stages, ranging from copepodite II (C2) to copepodite V (C5), were identified for *Oithona similis* (C2, C4, C5), *Calanoides acutus* (C2, C3, C4),



Biomasa del mesozooplankton y abundancia de copépodos

La biomasa promedio del mesozooplankton fue de $125,89 \pm 82,07$ mg peso seco/m² en la sección norte del Estrecho de Gerlache y de $123,98 \pm 44,29$ mg peso seco/m² en la sección sur del estrecho. No se detectaron diferencias significativas en la biomasa del mesozooplankton entre las secciones del estrecho (MW, Z = -1,23, p = 0,2380). Sin embargo, la biomasa del zooplankton entre el pasaje Crocker y la bahía Hughes (sección norte externa) fue un orden de magnitud menor que en las estaciones cercanas a la bahía Flandres (sección sur externa), aunque la mayor biomasa (1,02 g peso seco/m²) se observó a la entrada de la bahía Wilhelmina, en la porción central del Estrecho (Figura 3A).

Alteuta potter (C2, C3, C4), *Subeucalanus mucronatus* (C3, C4), *Calanus propinquus* (C4), and *Clausocalanus laticeps* (C4). However, only adult copepods were considered for assemblage structure analysis (Figure 4).

In terms of abundance, the assemblage of the both sections in Gerlache Strait were dominated by *Oithona similis* (Figure 4). The abundance of this specie was one order of magnitude higher than *Oithona frigida*, *Ctenocalanus citer*, *Drescheriella glacialis*, and *Calanoides acutus* and three order of magnitude higher than *Aetideus armatus*, *Calanus propinquus*, *Phaenna spinifera*, *Rhincalanus gigas*, *Subeucalanus. mucronatus*, and *Temora discaudata* that were the least abundant copepod species in Gerlache Strati during sampling period (Figure 4, Figure 5).

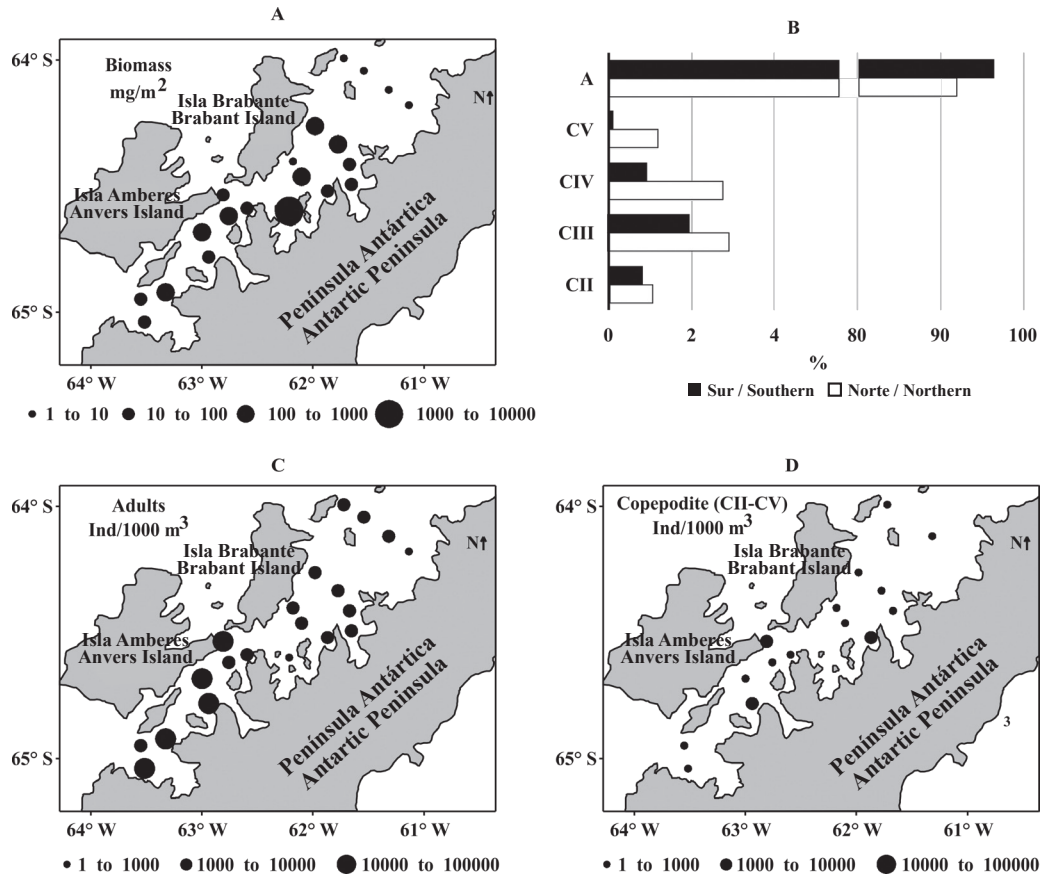


Figura 3. Variación espacial de biomasa del zooplancton y abundancia de copépodos (copepoditos y adultos) en el estrecho de Gerlache durante la primera Expedición Colombiana a la Antártica. A. Biomasa. B. Etapa de desarrollo. C. Abundancia de adultos. D. Abundancia de copepoditos.

Figure 3. Spatial variation of zooplankton Biomass and Copepod abundance (Copepodite and Adults) in the Gerlache Strait during the I Colombian Antarctic Expedition. A. Biomass. B. Development stage. C. Adult Abundance. D. Copepodite abundance

Más de 92% de los copépodos recolectados en ambas secciones fueron adultos (Figura 3B) y la proporción de etapa de desarrollo no fue diferente entre las secciones norte y sur ($\chi^2 = 55,2$; $p = 0,0001$). La abundancia de copépodos adultos en la sección norte fue un orden de magnitud menor que en la sección sur del estrecho de Gerlache (MN, $Z = -2,78$; $p = 0,0055$), con las abundancias más altas registradas en la entrada del canal Schollaert, que comunica al estrecho con el mar de Bellingshausen y la bahía de Flandres, ambos lugares ubicados en la sección sur del estrecho (Figura 3C).

Ensamblaje de copépodos

En el área de estudio se identificaron en total 17 especies de copépodos pertenecientes a 4 órdenes y 13 familias (Tabla 1). Se identificaron etapas de copepoditos, desde copepodito II (C2) hasta copepodito V (C5), para *Oithona similis* (C2, C4, C5), *Calanoides acutus* (C2, C3, C4), *Alteuta*

Large multivariate differences in the structure of Copepod assemblages were apparent between sections of the Gerlache Strait (Figure 6). That is, assemblage on Southern section (Figure 6: black circles) are located to the upper-left of assemblages on Northern section (Figure 6: white circle) in the nMDS plot. Furthermore, pairwise comparisons suggested that the composition of copepod assemblages on Gerlache Strait differed significantly between Southern and Northern section (Anosim, $R = 0.31$, $p = 0.01$).

Comparisons of Bray-Curtis dissimilarity percentages (Simpser test) supported this interpretation. Dissimilarities between Northern and Southern section of Gerlache Strait was 52%, generated by the contribution of *O. frigida*, *C. acutus*, *D. glacialis*, and *C. citer* (Table 2). Furthermore, Bray-Curtis similarity percentage in Southern section was 57.2% and in Northern section was 67.8% (Table 2).

Tabla 1. Copépodos epipelágicos recolectados durante la primera Excursión Colombiana a la Antártica en el estrecho de Gerlache durante el verano austral de 2015. ID: acrónimo. *Razouls *et al.* (2019).

Table 1. Epipelagic copepods collected during the first Colombian Antarctic Expedition in the Gerlache Strait during the 2015 austral summer. ID: acronym. *Razouls *et al.* 2019.

Orden / Order	Familia / Family	Especie / Species	ID	Distribución* / Distribution*
Calanoida	Aetideidae	<i>Aetideus armatus</i>	Aarma	Cosmopolita (No Ártica) / Cosmopolitan (Not Arctic)
	Calanidae	<i>Calanoides acutus</i>	Cacu	Subantártica – Antártica / Subantarctic - Antarctic
		<i>Calanus propinquus</i>	Cpro	Subantártica – Antártica / Subantarctic - Antarctic
	Clausocalanidae	<i>Clausocalanus laticeps</i>	Clati	Subantártica – Antártica / Subantarctic - Antarctic
		<i>Ctenocalanus citer</i>	Cciter	Subantártica – Antártica / Subantarctic - Antarctic
	Phaennidae	<i>Phaenna spinifera</i>	Pspin	Cosmopolita (No Ártica) / Cosmopolitan (Not Arctic)
	Rhincalanidae	<i>Rhincalanus gigas</i>	Rgiga	Cosmopolita Hemisferio Sur / Cosmopolitan Southern Hemisphere
	Stephidae	<i>Stephos longipes</i>	Slongi	Antártica / Antarctic
	Subeucalanidae	<i>Subeucalanus mucronatus</i>	Smucro	Cosmopolita (No Ártica) / Cosmopolitan (Not Arctic)
	Temoridae	<i>Temora discaudata</i>	Tdisca	Cosmopolita Hemisferio Sur / Cosmopolitan Southern Hemisphere
Cyclopoida	Oithonidae	<i>Oithona frigida</i>	Ofrigi	Subantártica – Antártica / Subantarctic - Antarctic
		<i>Oithona similis</i>	Osimil	Global
Harpacticoida	Peltidiidae	<i>Alteutha potter</i>	Apot	Antártica / Antarctic
	Tisbidae	<i>Drescheriella glacialis</i>	Dglaci	Antártica / Antarctic
Poecilostomatoida	Corycaeidae	<i>Corycaeus</i> sp.	Csp	Cosmopolita (No Ártica) / Cosmopolitan (Not Arctic)
	Oncaeidae	<i>Oncaea curvata</i>	Ocurva	Subantártica – Antártica / Subantarctic - Antarctic
		<i>Triconia conifera</i>	Tconi	Global

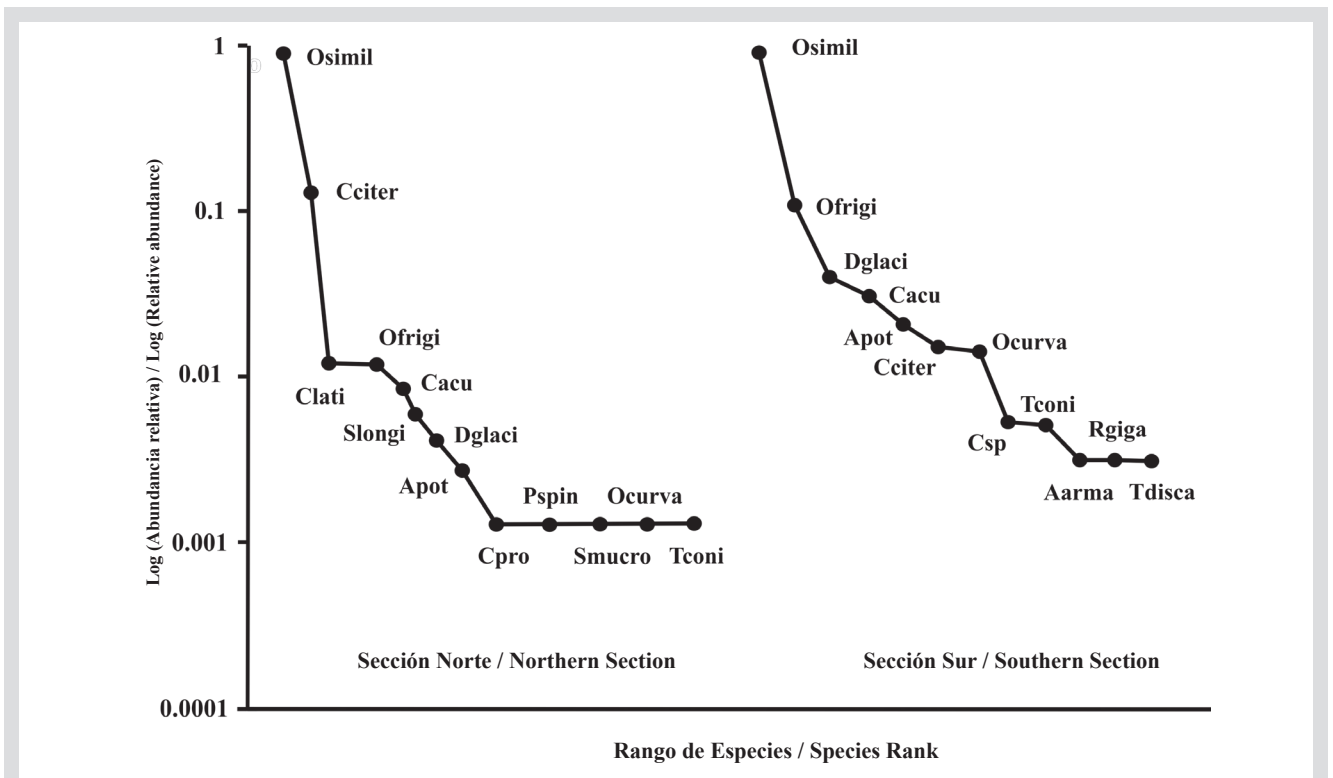


Figura 4. Estructura y composición del ensamblaje de copépodos en la zona epipelágica del estrecho de Gerlache durante la primera Expedición Colombiana a la Antártica.

Figure 4. Structure and composition of the copepod assemblage in the epipelagic zone of the Gerlache Strait during the first Colombian Antarctic Expedition.

potter (C2, C3, C4), *Subeucalanus mucronatus* (C3, C4), *Calanus propinquus* (C4), y *Clausocalanus laticeps* (C4). Sin embargo, solo se consideraron los copépodos adultos para el análisis de la estructura del ensamblaje (Figura 4).

En términos de abundancia, el ensamblaje de ambas secciones del estrecho de Gerlache estuvo dominado por *Oithona similis* (Figura 4). La abundancia de esta especie fue un orden de magnitud mayor que la de *Oithona frigida*, *Ctenocalanus citer*, *Drescheriella glacialis* y *Calanoides acutus* y tres órdenes de magnitud mayor que la de *Aetideus armatus*, *Calanus propinquus*, *Phaenna spinifera*, *Rhincalanus gigas*, *Subeucalanus mucronatus* y *Temora discaudata* que fueron las especies de copépodos menos abundantes en el estrecho durante el periodo de muestreo (Figuras 4 y 5).

DISCUSSION

With exception of *Aetideus armatus*, all copepod species registered in upper 100m of Gerlache Strait during summer 2015 have been previously reported from Antarctic Peninsula region (Hopkins 1985, Calbet *et al.* 2005, Gleiber 2014, Kouwenberg *et al.* 2014). This appear to be the first record of this species in the western region of Antarctica, specifically, in the southern section of the Gerlache Strait.

Average mesozooplankton biomass was in the range of the values cited in the literature for Western Antarctic Peninsula, including Bransfield and Gerlache Strait, in summer season (Hernández-León *et al.* 1999, 2000, Cabal 2002, Calbet *et al.* 2005). According to previous

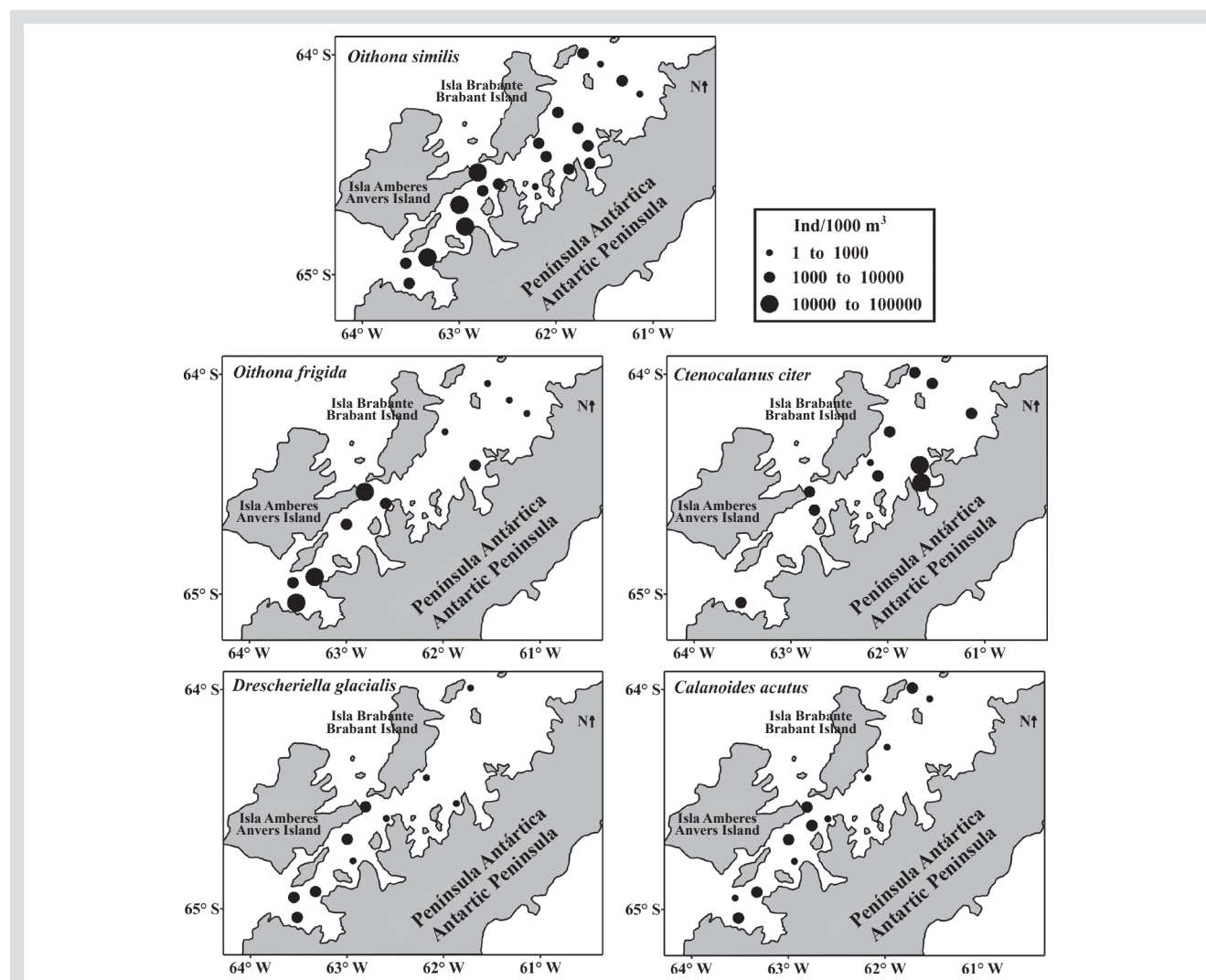
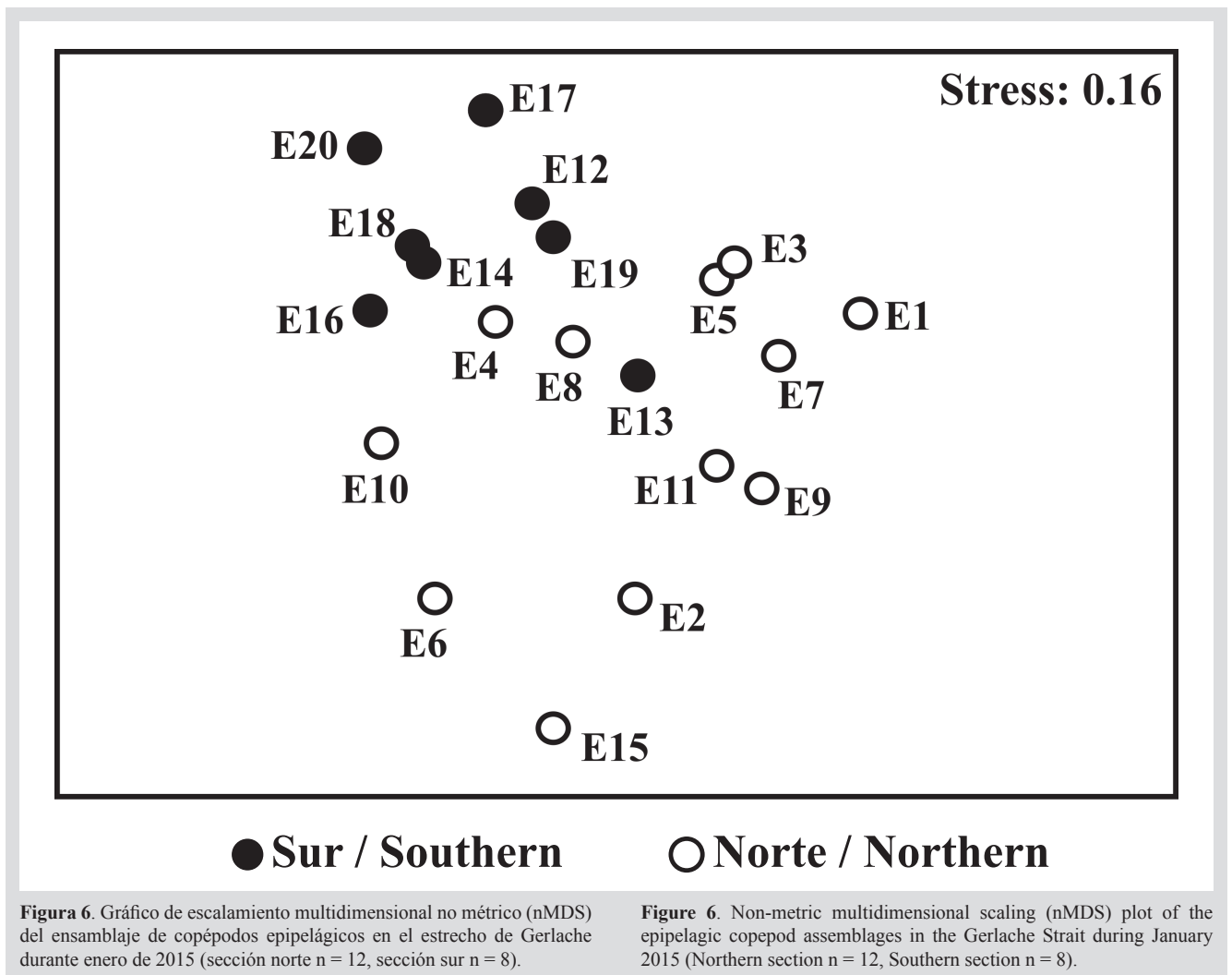


Figure 5. Variación espacial de las especies más frecuentes (frecuencia > 50%) y abundantes de copépodos en la zona epipelágica del estrecho de Gerlache durante la primera Expedición Colombiana a la Antártica.

Figure 5. Spatial variation of the most frequent (frequency > 50%) and abundant species of copepods in the epipelagic zone of the Gerlache Strait during the I Colombian Antarctic Expedition.

Fueron evidentes grandes diferencias multivariadas en la estructura de los ensamblajes de copépodos entre las secciones del estrecho de Gerlache (Figura 6). Es decir, en el gráfico del análisis nMDS el ensamblaje en la sección sur (Figura 6: círculos negros) se ubicó en la parte superior izquierda del ensamblaje de la sección norte (Figura 6: círculo blanco). Así mismo, las comparaciones pareadas sugirieron que la composición de los ensamblajes de copépodos difirieron significativamente entre la sección sur y norte del estrecho de Gerlache (Anosim, $R = 0,31$; $p = 0,01$).

studies, the New Scotia Sea and shelf waters of Antarctic Peninsula is characterized by unexpectedly highly variable mesozooplankton biomass (Hernández-León *et al.* 2000, 2013, Cabal *et al.* 2002, Ward *et al.* 2004, 2005, Calbet *et al.* 2005, Gleiber 2014). Therefore, the low mesozooplankton biomass registered during early spring in the region would be indicated an delayed spring bloom in the region due to temporal variability of solar irradiance, variability in the upwelling of iron-rich subsurface water, seawater temperature increase or a variable sea-ice melting rate (Smith *et al.* 1998, Ducklow *et al.* 2007, Marrari *et al.* 2008).



Las comparaciones de los porcentajes de disimilitud de Bray-Curtis (prueba de Simper) respaldaron esta interpretación. Las diferencias entre las secciones norte y sur del estrecho de Gerlache fueron del 52%, generadas por la contribución de *O. frigida*, *C.*

Epipelagic copepod assemblage in Gerlache Strait appears quiet variable during January 2015, with a dominant species in common for all Strait, but suggestively different assemblage structure in each section. *Oithona similis* was numerically the most abundant species in all Gerlache Strait

acutus, *D. glacialis* y *C. citer* (Tabla 2). Adicionalmente, el porcentaje de similitud de Bray-Curtis en la sección sur fue de 57,2% y en la sección norte fue de 67,8% (Tabla 2).

during sampling period. This species, has been reported in all Antarctic sectors like a dominant copepod in the upper part of water column. (Razouls *et al.*, 2000; Giron, 2004; Ayón *et al.*, 2007; Atkinson *et al.*, 1996, 2012). In our samples, this species represented 80% of copepod relative abundance in all study area.

Tabla 2. Contribución de especies a la similitud del ensamblaje de copépodos epipelágicos dentro del sector norte y sur del estrecho de Gerlache durante el verano austral de 2015. Se registra una disimilitud entre los sectores.

Table 2. Specie contribution to similarity of the epipelagic copepods assemblage within the northern and southern sector of Gerlache Strait during austral summer of 2015. Dissimilarity among sectors is reported.

Norte (similitud = 57,2%) / Northern (similarity=57.2%)			Sur (similitud = 67,6%) / Southern (similarity =67.6%)		
Especie / Specie	C (%)	Ac (%)	Especie / Specie	C (%)	Ac (%)
Osimil	69.5	69.5	Osimil	38.4	38.4
Cciter	18.1	87.6	Cacu	19.6	58.1
Ofrigi	5.2	92.8	Dglaci	13.8	71.9
			Ofrigi	12.7	84.6
			Ocurva	6.2	90.8
Norte vs. Sur (disimilitud = 52,2%) / Northern vs Southern (dissimilarity = 52.2%)					
		Especie / Specie	C (%)	Ac (%)	
		Ofrigi	14.5	14.5	
		Cacu	13.5	27.9	
		Dglaci	13.1	41.1	
		Cciter	11.9	53.0	
		Apot	9.8	62.8	
		Ocurva	9.3	72.5	
		Osimil	6.7	79.2	

DISCUSIÓN

Con excepción de *Aetideus armatus*, todas las especies de copépodos registradas en los 100 m superiores del estrecho de Gerlache durante el verano de 2015, han sido citadas previamente en la región de la península Antártica (Hopkins, 1985; Calbet *et al.*, 2005; Gleiber, 2014; Kouwenberg *et al.*, 2014). Este parece ser el primer registro de esta especie en la región occidental de la Antártica, específicamente en la sección sur del estrecho.

La biomasa promedio de mesozooplankton se ubicó en el ámbito de los valores citados en la literatura sobre la región Occidental de la Península Antártica, incluyendo el estrecho de Bransfield y el de Gerlache, en la temporada de verano (Hernández-León *et al.*, 1999, 2000; Cabal, 2002; Calbet *et al.*, 2005). De acuerdo con estudios previos, el mar de Nueva Escocia y las aguas de la plataforma de la península Antártica se caracterizan por una biomasa de mesozooplankton inesperadamente muy variable (Hernández-León *et al.*, 2000,

In addition to *Oitona similis*, the copepod assemblage in the Northern section was dominated by one small Cyclopoidae (*Oitona similis*) and another small Calanoidae species (*Ctenocalanus citer*) while in the Southern section of Gerlache Strait was dominated by two small Cyclopoidae species (*Oitona similis* and *O. frigida*), one species of Hapticoidea associated to sea ice (*Drescheriella glacialis*) and one large species of Calanoidae (*Calanus acutus*). All small-sized pelagic copepod registered in our samples feed on microplankton. *O. similis* and *O. frigida* feeds preferably on microzooplankton ciliates and mobile microphytoplankton (Nishida, 1985; Eiane and Ohman, 2004; Calbet and Saiz, 2005; Atkinson *et al.*, 2012), while *C. citer* feeds preferably on small-sized phytoplankton throughout the year (Pasternak and Schnack-Schiel, 2007). On the other hand, the large-sized copepod, *C. acutus*, has been traditionally viewed like a large-size mostly herbivorous specie of copepod and it is

2013; Cabal *et al.*, 2002; Ward *et al.*, 2004, 2005; Calbet *et al.*, 2005; Gleiber, 2014). Por lo tanto, la baja biomasa de mesozooplankton registrada durante el inicio de la primavera en la región podría estar indicando un retraso en la floración de la primavera debido a la variabilidad temporal de la radiación solar, la variabilidad en el surgimiento del agua subsuperficial rica en hierro, el aumento de la temperatura del agua de mar o una tasa variable de deshielo (Smith *et al.*, 1998; Ducklow *et al.*, 2007; Marrari *et al.*, 2008).

El ensamblaje de copépodos epipelágicos en el estrecho de Gerlache fue un poco variable durante enero de 2015, con una especie dominante en común para todo el estrecho, pero una estructura de ensamblaje sugestivamente diferente en cada sección. *Oithona similis* fue numéricamente la especie más abundante en todo el estrecho durante el período de muestreo. Esta especie ha sido registrada en todos los sectores antárticos como un copépodo dominante en la parte superior de la columna de agua (Atkinson *et al.*, 1996, 2012; Razouls *et al.*, 2000; Giron, 2004; Ayón *et al.*, 2007). En las muestras estudiadas, esta especie representó 80% de la abundancia relativa de copépodos en todas las áreas de estudio.

Además de *Oitona similis*, el ensamblaje de copépodos en la sección norte estuvo dominado por una especie Ciclopoidae pequeña (*Oitona similis*) y una especie Calanoidae pequeña (*Ctenocalanus citer*), mientras que la sección sur del estrecho de Gerlache estuvo dominada por dos especies pequeñas de Ciclopidae (*Oitona similis* y *O. frigida*), una especie de Heparticoidea asociada con el hielo marino (*Drescheriella glaciales*) y una especie grande de Calanoidae (*Calanus acutus*). Todos los copépodos pelágicos de tamaño pequeño registrados en nuestras muestras se alimentan de microplankton. *Oitona similis* y *O. frigida* se alimentan preferiblemente de ciliados de microzooplankton y microfitoplancton móvil (Nishida, 1985; Eiane y Ohman, 2004; Calbet y Saiz, 2005; Atkinson *et al.*, 2012), mientras que *C. citer* se alimenta preferiblemente de fitoplancton de tamaño pequeño durante todo el año (Pasternak y Schnack-Schiel, 2007). Por otro lado, el copépodo de gran tamaño *C. acutus* tradicionalmente se ha considerado como una especie principalmente herbívora y se considera un importante consumidor de la producción primaria en aguas antárticas (Huntley y Escritor, 1991; Pasternak y Schanck-Schiel, 2001; Calbet *et al.*, 2006), mientras que el copépodo pequeño, *D. glaciales*, se alimenta de microfitobentos y diatomeas epífitas que crecen en asociación con el hielo marino (Schnack-Schiel *et al.*, 2001).

Utilizando datos de los veranos de 1995 y 1996, Varela *et al.* (2002) describieron el Estrecho de Gerlache como uno de los cuerpos de agua más productivos de la

considered an important consumer of primary production in Antarctic waters (Huntley and Escritor 1991, Pasternak and Schanck-Schiel 2001, Calbet *et al.*, 2006), while the small-sized copepod, *D. glaciales*, feeds on microphytobenthos and epiphytic diatoms that grows associated with sea ice (Schnack-Schiel *et al.* 2001).

Using data from summers of 1995 and 1996, Varela *et al.* (2002) described the Gerlache Strait as one of the most productive water bodies in the Antarctic peninsula, where primary production ranged between 0.87 and 4.54 g C m⁻² d⁻¹, chlorophyll a between 90 and 270 mg Chl a m⁻², and microplankton (>10 μm) dominated the phytoplankton accounting for about 80% of total chlorophyll, whereas nanoplankton (2–10 μm) and picoplankton (0.2–2 μm) represented 7% and 15%, respectively, in the upper 50 m. This energy source, can be addressed by the large-sized herbivores zooplankton, as Calanoidae copepods, Salps or Krill (Hernández-León *et al.* 2001, Bernard *et al.* 2012, Lee *et al.* 2013) to support populations of top predators, such as seabirds, seals, and whales, and to inject particulate organic matter into deep water or benthic ecosystems via fecal pellets (Ducklow *et al.* 2007, Ross *et al.* 2008, Loeb and Santora 2012, Steinberg *et al.* 2012).

Recently, a shift in phytoplankton community composition from large diatoms to small flagellated cryptophytes has been reported for Bransfield Strait (Mendes *et al.* 2013) and Gerlache Strait (Mendes *et al.* 2018). According with our results, the dominance of small calanoids and cyclopoids over the large calanoids in the Gerlache Strait during summer 2015 suggests that their role in the energy flow of this locality may be underestimated. Small-sized copepods are not only important by their number but also by their grazing impact on primary production and on by their impact on microzooplankton flagellate populations (Froneman and Perissinotto 1996, Caron *et al.* 2000, Garzio and Steingerg 2013). Therefore, a transition from diatoms to cryptophytes represents a fundamental decrease in the size spectrum of the phytoplankton community, which would promote an increase in the abundance of small-sized copepods (Sailley *et al.*, 2013, Gleiber 2014), as we reported for both sections of the Gerlache Strait.

In conclusion, based on data presented here, and considering the results reported by García *et al.* (2002), Zhou *et al.* (2002, 2006), Jiang *et al.* (2013), Varela *et al.* (2002), Rodríguez *et al.* 2002a, 2002b, Gonçalves-Araujo *et al.* 2015 and Mendes *et al.* (2018) about hydrography and phytoplankton composition of Gerlache Strait, we

península Antártica, donde la producción primaria oscilaba entre 0,87 y 4,54 g C m⁻² d⁻¹, la clorofila *a* entre 90 y 270 mg Chl *a* m⁻², y el microplancton (> 10 μm) dominaba el fitoplancton, representando aproximadamente 80% de la clorofila total, mientras que el nanoplancton (2–10 μm) y el picoplancton (0,2–2 μm) representaban 7% y 15%, respectivamente, en los 50 m superiores. Esta fuente de energía puede ser direccionada por el zooplancton herbívoro de gran tamaño, como copépodos Calanoidae, sálpas o krill (Hernández-León *et al.*, 2001; Bernard *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013), para sustentar a las poblaciones de los principales depredadores, como aves marinas, focas y ballenas, y para inyectar materia orgánica particulada a aguas profundas o ecosistemas bentónicos a través de empaquetamientos fecales (Ducklow *et al.*, 2007; Ross *et al.*, 2008; Loeb y Santora, 2012; Steinberg *et al.*, 2012).

Recientemente, se ha registrado un cambio en la composición de la comunidad fitoplanctónica del estrecho de Bransfield y el estrecho Gerlache, de grandes diatomeas a pequeñas criptofitas flageladas (Mendes *et al.*, 2013, 2018). De acuerdo con nuestros resultados, el predominio de calanoides pequeños y ciclopoides por encima de calanoides grandes en el estrecho durante el verano de 2015 sugiere que su papel en el flujo de energía de esta área puede estar subestimado. Los copépodos de tamaño pequeño no solo son importantes por su número sino también por su impacto alimentario en la producción primaria y por su impacto en las poblaciones de microplancton flagelado (Froneman y Perissinotto, 1996; Caron *et al.*, 2000; Garzio y Steingerg, 2013). Por lo tanto, una transición de diatomeas a criptofitas representa una disminución fundamental en el espectro del tamaño de la comunidad de fitoplancton, lo que promovería un incremento en la abundancia de copépodos de tamaño pequeño (Sailley *et al.*, 2013; Gleiber, 2014), como se registra para ambas secciones del estrecho de Gerlache.

En conclusión, con base en los datos presentados aquí, y teniendo en cuenta los resultados registrados por García *et al.* (2002), Rodríguez *et al.* (2002a, 2002b), Varela *et al.* (2002), Zhou *et al.* (2002, 2006), Jiang *et al.* (2013), Gonçalves-Araujo *et al.* (2015) y Mendes *et al.* (2018) sobre la hidrografía y la composición del fitoplancton del estrecho de Gerlache, se sugiere que el ensamblaje de copépodos en este lugar está siendo afectado por condiciones específicas en cada sección del estrecho (por ejemplo, estratificación térmica, ingreso de hielo derretido, tiempo de residencia, composición del tamaño del fitoplancton y conexión con mares adyacentes), que estaría resultando en una estructura particular del ensamblaje de copépodos: la sección norte dominada solo por copépodos de tamaño pequeño y la sección sur dominada por copépodos de tamaño pequeño y grande.

believe that copepod assemblage in this locality is being affected by specific conditions in each section of the Strait (e.g. thermic stratification, melting ice input, residence time, phytoplankton size composition and connection with adjacent seas), that may result in an copepod assemblage structure particular: a Northern section dominated only by small-sized copepods and a Southern section dominated by both, small-sized and large-sized copepods.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Marisol Rivera, Andrés Cuellar, Diego Córdoba, Isabel Cristina Calle, and Juan José Gallego for their help during the separation of biological samples. We thank the ARC 20 de Julio crew for their valuable collaboration during sampling and the Colombian Navy for allowing the use of the sampling platform. This study was co-financed by Universidad del Valle, Universidad Industrial de Santander, the Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, and the Colombian Commission of the Ocean (CCO) within the Colombian Antarctic Program.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Marisol Rivera, Andrés Cuellar, Diego Córdoba, Isabel Cristina Calle, y Juan José Gallego por su ayuda durante la separación de las muestras biológicas. Igualmente, al personal de ARC 20 de Julio por su valiosa colaboración durante el muestreo y a la Armada de la República de Colombia por permitir el uso de la plataforma de muestreo. Este estudio fue cofinanciado por la Universidad del Valle, Universidad Industrial de Santander, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y Comisión Colombiana del Océano (CCO) dentro del Programa Antártico Colombiano.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Atkinson, A., R.S. Shreeve, E.A. Pakhomov, J. Priddle, S.P. 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.P.V. Hunt, E.A. Pakhomov and G.W. Hosie. 2012. An overview of Southern Ocean Zooplankton data: Abundance, biomass, feeding and functional relationships. *CCAMLR Science*, 19: 171–218.
- Ayón, P., E. Pinedo y D. Lopez. 2007. Estructura comunitaria del zooplankton Antártico en el Estrecho de Bransfield y alrededores de la Isla Elefante, verano Austral 2007 ANTAR XVII. *Bol. Inst. Del Mar del Perú.*, 31(1):121-127.
- Ballerini, T., E. E. Hofmann, D. G. Ainley, K. Daly, M. Marrari, C. A. Ribic, W. O. Smith Jr. and J. H. Steele. 2014. Productivity and linkages of the food web of the southern region of the western Antarctic Peninsula continental shelf. *Prog. Oceanogr.*, 122: 10-29.
- Bernard, K. S., D. K. Steinberg and O. M. Schofield. 2012. Summertime grazing impact of the dominant macrozooplankton off the Western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 62:111-122.
- 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. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 38: 1169–1194.
- Cabal, J. A., F. Alvarez-Marqués, J. L. Acuña, M. Quevedo, R. Gonzalez-Quirós, I. Huskin, D. Fernandez, C. 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. Part II: Top. Stud. Oceanogr.*, 49(4-5): 869-882.
- Calbet, A. and E. Saiz. 2005. The ciliate-copepod link in marine systems. *Aquat. Microb. Ecol.*, 38: 157–167.
- Calbet, A., M. Alcaraz, D. Atienza, E. Broglio and D. Vaqué. 2005. Zooplankton biomass distribution patterns along the western Antarctic Peninsula (December 2002). *J. Plankton Res.*, 27(11): 1195-1203.
- Calbet, A., D. Atienza, E. Broglio, M. Alcaraz and D. Vaque. 2006. Trophic ecology of *Calanoides acutus* in Gerlache strait and Bellingshausen Sea waters (Antártica, diciembre de 2002). *Polar Biol.*, 29(6): 510-518.
- Caron, D. A., M. R. Dennett, D. J. Lonsdale, D. M. Moran and L. Shalapyonok. 2000. Microzooplankton herbivory in the Ross sea, Antarctica. *Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr.* 47(15-16): 3249-3272.
- 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. 1994. Similarity-based testing for community pattern: the two-way layout with no replication. *Mar. Biol.*, 118(1): 167-176.
- Clarke, K.R. and R. M. Warwick. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Primer-E. Plymouth, UK.
- Ducklow, H.W, K. Baker, D. G. Martinson, L. B. Quetin, R. M. Ross, R. C. Smith, S. E. Stammerjohn, M. Vernet and W. Fraser. 2007. Marine pelagic ecosystems: the West Antarctic Peninsula. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B.*, 362: 67–94.
- Ducklow, H.W., A. Clarke, R. Dickhut, S. C. Doney, H. Geisz, K. Huang, D. G. Martinson, O. M. E. Schofield, S. E. Stammerjohn, D. K. Steinberg and W. R. 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.
- Eiane, K. and M. D. Ohman. 2004. Stage specific mortality of *Calanus finmarchicus*, *Pseudocalanus elongatus* and *Oithona similis* on Fladen Ground, North Sea, during a spring bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 268: 183-193.
- Fraser, W. R. and W. Z. Trivelpiece. 1996. Factors controlling the distribution of seabirds: winter–summer heterogeneity in the distribution of Adelie penguin populations. *Antarct. Res. Ser.*, 70: 257–272.

- Froneman, P. and R. Perissinotto. 1996. Microzooplankton grazing in the Southern Ocean: Implications for the carbon cycle. *Mar Ecol*, 17(1-3): 99-115.
- García, M. A., C. G. Castro, A. F. Rios, 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.
- Garzio, L.M. and D.K. Steinberg. 2013. Microzooplankton community composition along the Western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 77: 36-49.
- Giron, M. 2004. Zooplankton e ictioplankton antártico durante el verano Austral del 2003. *Inf. Inst. del Mar del Perú.*, 32(4):359-363.
- Gleiber M.R. 2014. Long-term change in copepod community structure in the Western Antarctic Peninsula: Linkage to climate and implications for carbon cycling. Master's thesis. Gloucester Point (VA): Virginia Institute of Marine Science, United States. 189 p.
- 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. Prog. Ser.*, 471: 23–36.
- Gleiber, M. R., D. K. Steinberg and O. M. Schofield. 2016. Copepod summer grazing and fecal pellet production along the Western Antarctic Peninsula. *J. Plankton Res.*, 38(3): 732-750.
- Gonçalves-Araujo, R., M. S. de Souza, V. M. Tavano and C.A.E. Garcia. 2015. Influence of oceanographic features on spatial and interannual variability of phytoplankton in the Bransfield Strait, Antarctica. *J. Marine Sys.*, 142: 1-15.
- Hernández-León, S., S. Torres, M. Gomez, I. 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., 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: 679–690.
- 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.
- Hernández-León, S., P. Sangrà, P. Lehette, L. Lubián, C. Almeida, S. Putzeys, P. Bécognée and M. P. Andrade. 2013. Zooplankton biomass and metabolism in the frontal zones of the Bransfield Strait, Antarctica. *J. Marine Sys.*, 111: 196-207.
- Holm-Hansen, O. and B. G. Mitchell. 1991 Spatial and temporal distribution of phytoplankton and primary production in the western Bransfield Strait region. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 38: 961–980.
- 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.
- Hopkins, T. L. 1985. The zooplankton community of Croker passage, Antarctic Peninsula. *Polar Biol.*, 4(3): 161-170.
- Huntley, M. E. 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 II. Top. Stud. Oceanogr.*, 38: 1213–1240.
- Huntley, M. E. and F. Escritor. 1991. Dynamics of *Calanoides acutus* (Copepoda: Calanoida) in antarctic coastal waters. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 38: 1145–1167.
- Huntley, M.E., D.M. Karl, P.P. Niiler and O. Holm-Hansen. 1991. Research on Antarctic coastal ecosystem rates (RACER): an interdisciplinary field experiment. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 38: 911–941.
- Isla, E., P. Masqué, A. Palanques, J.A. Sanchez-Cabeza, J.M. Bruach, J. Guillén and P. Puig. 2002. Sediment accumulation rates and carbon burial in the bottom sediment in a high-productivity area: Gerlache Strait (Antarctica). *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 49(16): 3275-3287.
- Jiang, M., M. A. Charette, C. I. Measures, Y. Zhu y 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.
- Kouwenberg J. H. M., C. Razouls y 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. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge.* 498 p.
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological Methodology*. 2nd Ed. Benjamin Cummings. Menlo Park, CA, USA. 624 p.
- Lancelot, C., S. Mathot, C. Veth, and H. W. de Baar. 1993. Factors controlling phytoplankton ice-edge blooms in the marginal ice-zone of the Northwestern Weddell Sea during sea ice retreat 1988. Field observations and mathematical model. *Polar Biol.*, 13 (6): 377–387.
- 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(8): 1215-1230.
- Loeb, V. J. and J.A. Santora. 2012. Population dynamics of *Salpa thompsoni* near the Antarctic Peninsula: growth rates and interannual variations in reproductive activity (1993–2009). *Prog Oceanogr*, 96(1): 93-107.
- Marrari, M., K. L. 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. Top. Stud. Oceanogr.*, 55(3-4): 377-392.
- 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.



- Mendes, C. R. B., V. M. Tavano, T. S. Dotto, R. Kerr, M. S. De Souza, C. A. E. García 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.
- Montes-Hugo, M., M. Vernet, D. G. Martinson, R. Smith and R. A. Iannuzzi. 2008. Variability on phytoplankton size structure in the western Antarctic Peninsula (1997–2006). *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 55: 2106–2117.
- Nishida, S. 1985. Taxonomy and distribution of the family Oithonidae (Copepoda, Cyclopoida) in the Pacific and Indian Oceans. *Bull. Ocean Res. Inst. U. Tokyo.*, 20: 1-167.
- Pasternak, A. F. and S. B. Schnack-Schiel. 2001. Feeding patterns of dominant Antarctic copepods: an interplay of diapause, selectivity, and availability of food. *Hydrobiol.*, 453(1): 25-36.
- Pasternak, A. F. and S. B. Schnack-Schiel. 2007. Feeding of *Ctenocalanus citer* in the eastern Weddell Sea: low in summer and spring, high in autumn and winter. *Polar Biol.*, 30(4): 493-501.
- 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 Press, London, U.K. 684 p.
- Razouls, S., C. Razouls and F. De Bovee. 2000. Biodiversity and Biogeography of Antarctic copepods. *Antarct. Sci.*, 12(3): 343-362.
- Razouls C., F. de Bové, J. Kouwenberg and N. Desreumaux. 2019. 2005-2018- Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods. Sorbonne Université, CNRS. Available: <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en/04/01/2019>
- 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. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 49(4): 723-747.
- Rodríguez, J., F. Jiménez-Gómez, J. M. Blanco and F.L. Figueroa. 2002b. 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(4): 693-706.
- Ross, R. M., E. E. Hofmann and L. B. Quetin. (Eds.). 1996. Foundations for ecological research west of the Antarctic Peninsula. AGU Antarctic research series, vol. 70. American Geophysical Union, Washington, DC. 448 p.
- Ross, R. M., L. B. Quetin, D. G. Martinson, R. A. Iannuzzi, S. E. Stammerjohn and R. C. Smith. 2008. Palmer LTER: patterns of distribution of five dominant zooplankton species in the epipelagic zone west of the Antarctic Peninsula, 1993–2004. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 55: 2086–2105.
- Ross, R. M., L. B. Quetin, T. Newberger, C. T. Shaw, J. L. Jones, S. A. Oakes and K. J. Moore. 2014. Trends, cycles, interannual variability for three pelagic species west of the Antarctic Peninsula 1993-2008. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 515: 11–32.
- Sailley, S. F., H. W. Ducklow, H. V. Moeller, W. R. Fraser, O. M. Schofield, D. K. Steinberg, L. M. Garzio, and S. C. Doney. 2013. Carbon fluxes and pelagic ecosystem dynamics near two western Antarctic Peninsula Adélie penguin colonies: an inverse model approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 492: 253-272.
- Schnack-Schiel, S. B., D.N. Thomas, C. Haas, G.S. Dieckmann and R. Alheit. 2001. The occurrence of the copepods *Stephos longipes* (Calanoida) and *Drescheriella glacialis* (Harpacticoida) in summer sea ice in the Weddell Sea, Antarctica. *Antarct Sci.*, 13(2): 150-157.
- Silva, M. P., M. Favero, S. Copello and R. Bastida. 2001. Does access to high-quality pelagic prey increase the breeding success of kelp gulls *Larus dominicanus* in the Antarctic peninsula. *Mar Ornithol.*, 28: 85-88.
- Smith, R.C., H. M. Diersen and M. Vernet. 1996. Phytoplankton biomass and productivity in the western Antarctic Peninsula region. *Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula. Antarctic Research Series*, 70: 333–356.
- Smith, R. C., K. S. 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.
- Smith Jr., W. O. and D. M. Nelson. 1986. Importance of the iceedge phytoplankton production in the Southern Ocean. *Bio Sci.*, 36(4): 251–257.
- Smith Jr., W.O., M. E. M. Baumann, D. L. Wilson and L. Aletsee. 1987. Phytoplankton biomass and productivity in the marginal ice zone of the Fram Strait during summer 1984. *J. Geophys. Res.*, 92: 6777–6786.
- Stammerjohn, S. E., D.G. Martinson, R.C. Smith and R.A. Iannuzzi. 2008. Sea ice in the western Antarctic Peninsula region: spatiotemporal variability from ecological and climate change perspectives. *Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr.*, 55: 2041–2058.
- Steinberg, D. K., D.G. Martinson and D.P. Costa. 2012. Two decades of pelagic ecology of the Western Antarctic Peninsula. *Oceanography*, 25: 56–67
- Steinberg, D. K., K. E. Ruck, M. R. Gleiber, L. M. Garzio, J. S. Cope, K. S. Bernard, S. E. Stammerjohn, O. E. M. Schofield, L. B. Quetin and R. M. Ross. 2015. Long-term (1993–2013) changes in microzooplankton off the western Antarctic Peninsula. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 101: 54–70.
- Treguer, P. and G. Jacques. 1992. Dynamics of nutrients and phytoplankton, and fluxes of carbon, nitrogen and silicon in the Antarctic Ocean. *Polar Biol.*, 12: 149–162
- 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): 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

- 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.
- Whitehouse, M. J. and R. R. Veit. 1994. Distribution and abundance of seabirds and fur seals near the Antarctic Peninsula during the austral winter, 1986. *Polar biol.*, 14(5): 325-330.
- Zhou, M., W. Nordhausen, and M. E. Huntley. 1994. ADCP measurements of the distribution and abundance of euphausiids near the Antarctic Peninsula in winter. *Deep-Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 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.
- Zhou, M., P. P. Niiler, 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: 26/04/2018

ACEPTADO / ACCEPTED: 24/01/2019