



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 larvarias 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?

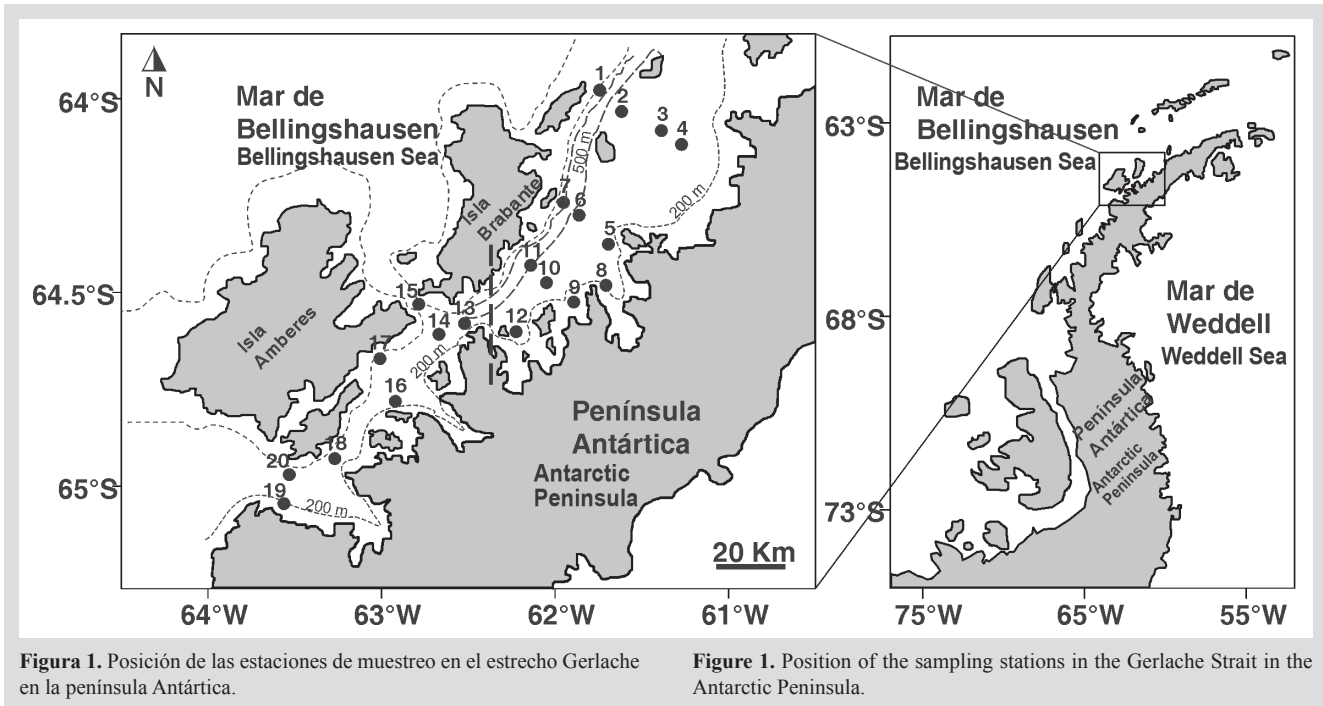
STUDY AREA

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”



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 krigging 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 Motod-type 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.

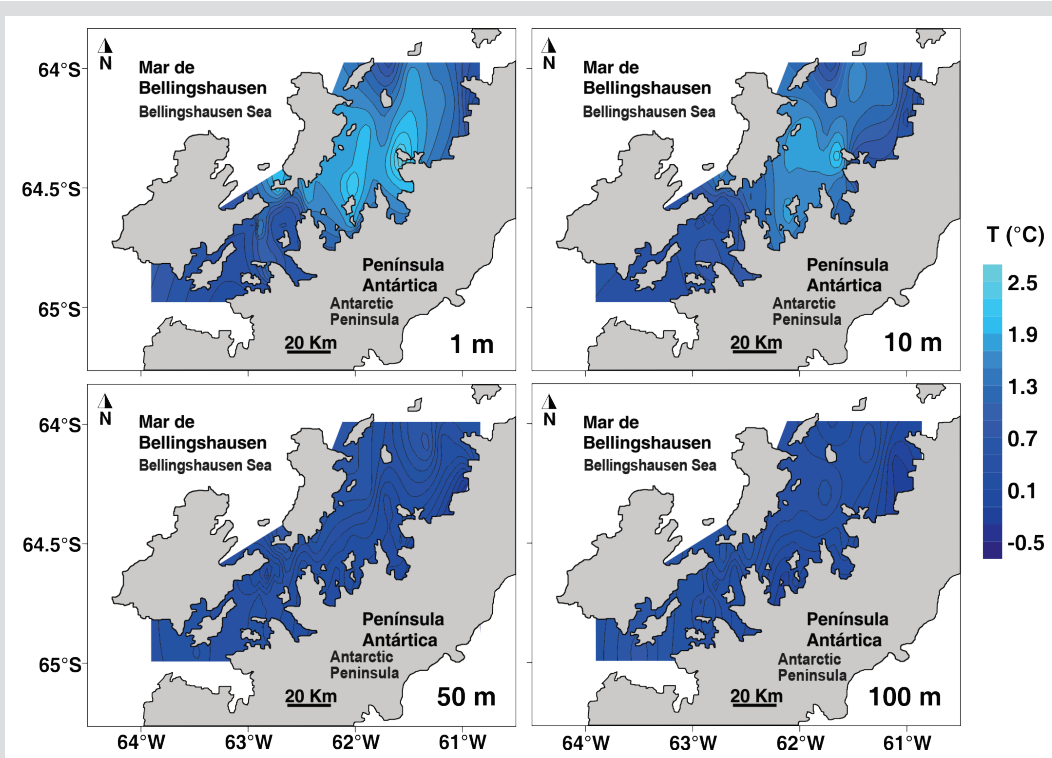


Figura 2. Distribución de la temperatura del mar a 1, 10, 50 y 100 m de profundidad durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

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.

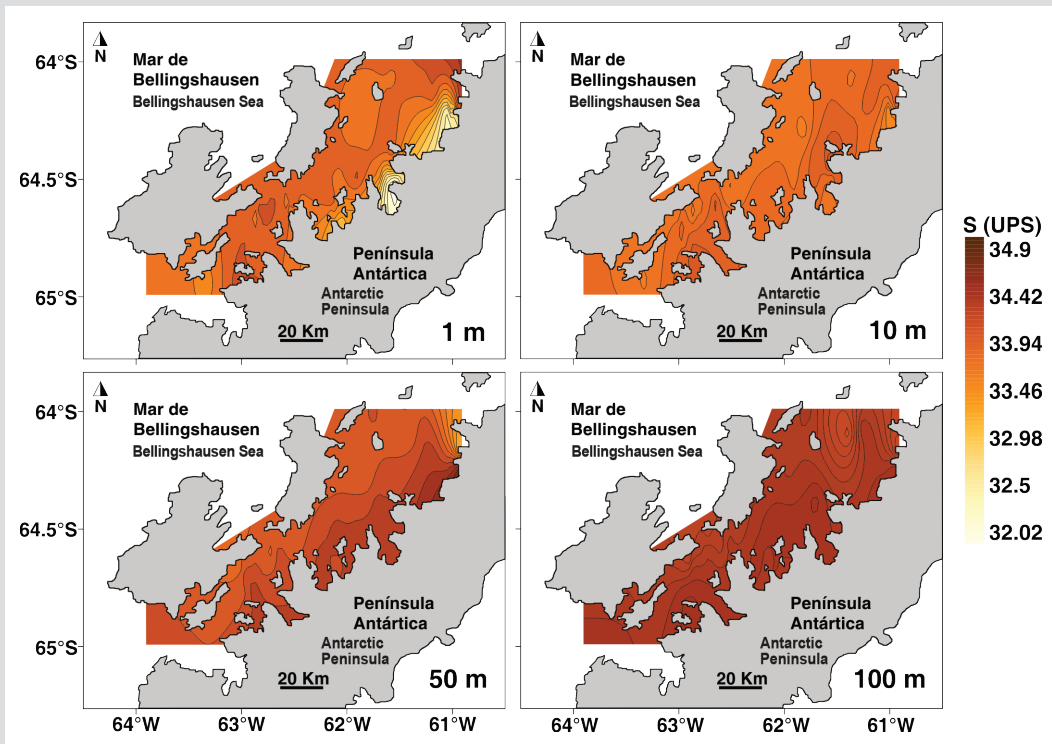


Figura 3. Distribución de la salinidad a 1, 10, 50 y 100 m de profundidad durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

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).

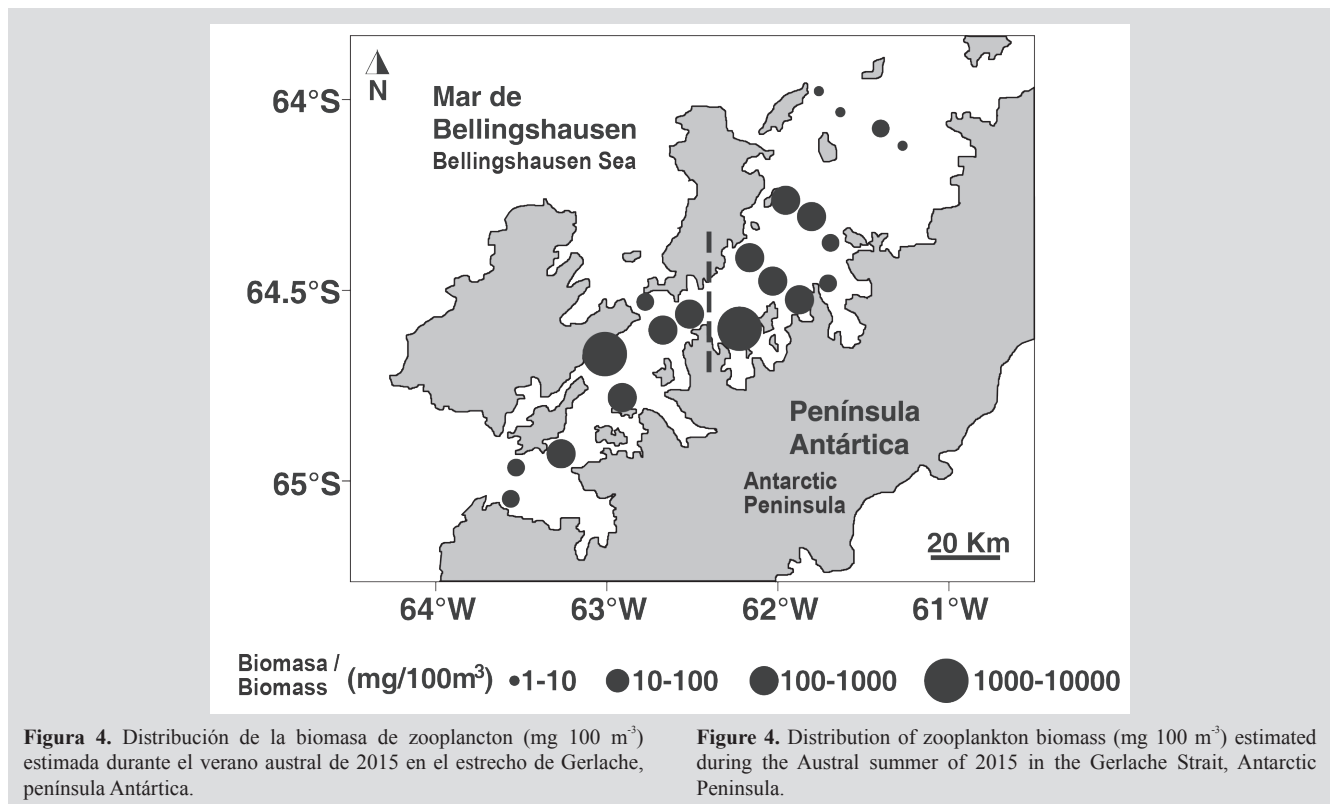
Los eufáusidos fueron capturados en 70 % de las estaciones de muestreo, identificando cuatro especies: *Euphausia crystallorophias* Holt y Tattersall 1906 (79,7 %), *E. superba* Dana 1850 (11,4 %), *Thysanoessa* sp. (7,6 %) y *T. macrura* Sars 1883 (1,3 %). La máxima abundancia de eufáusidos fue de *E. 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.*

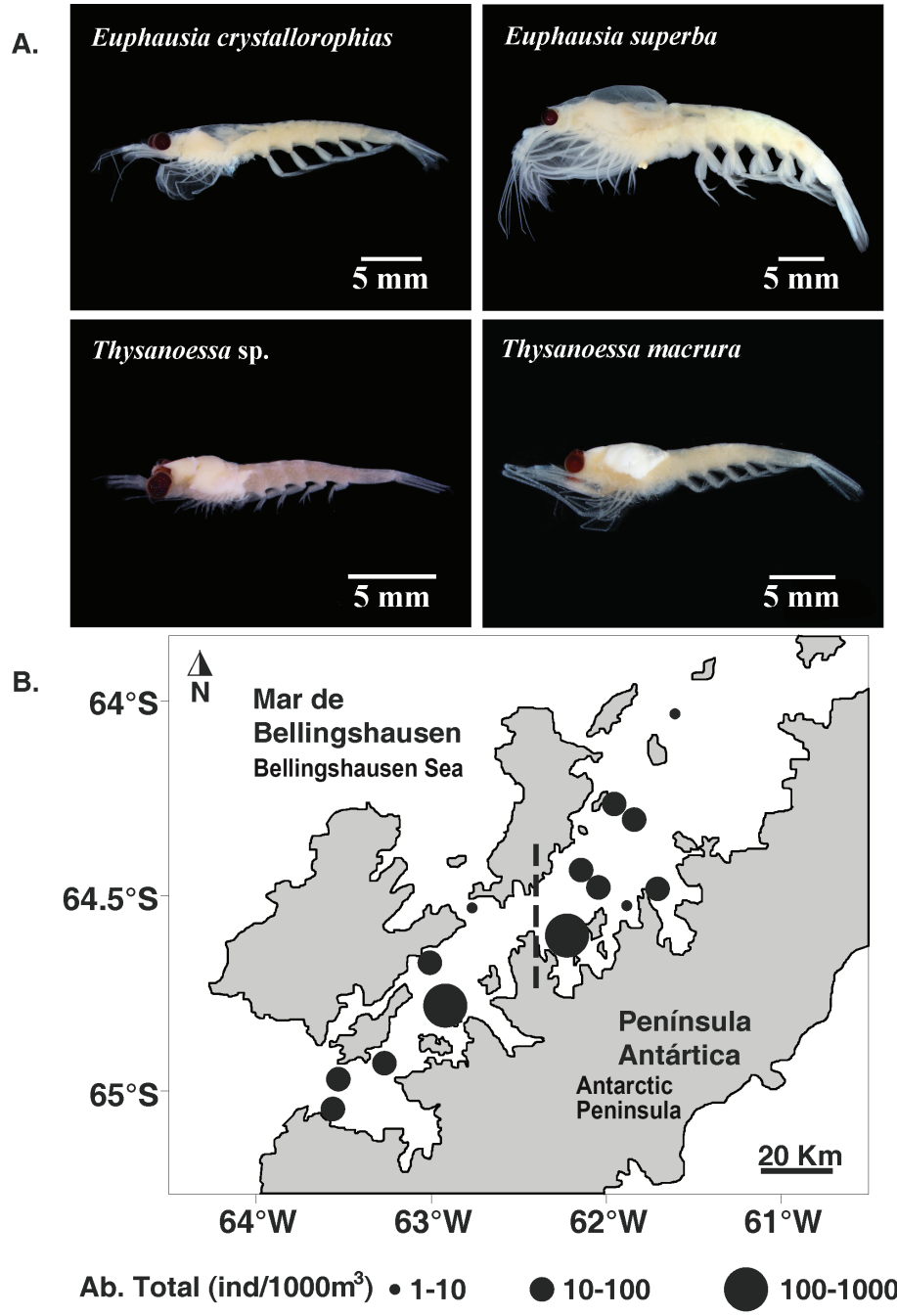


Figura 5. A. Fotografías de las especies recolectadas. **B.** Distribución de la abundancia total de eufáusidos (ind 1000 m⁻³) durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

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.

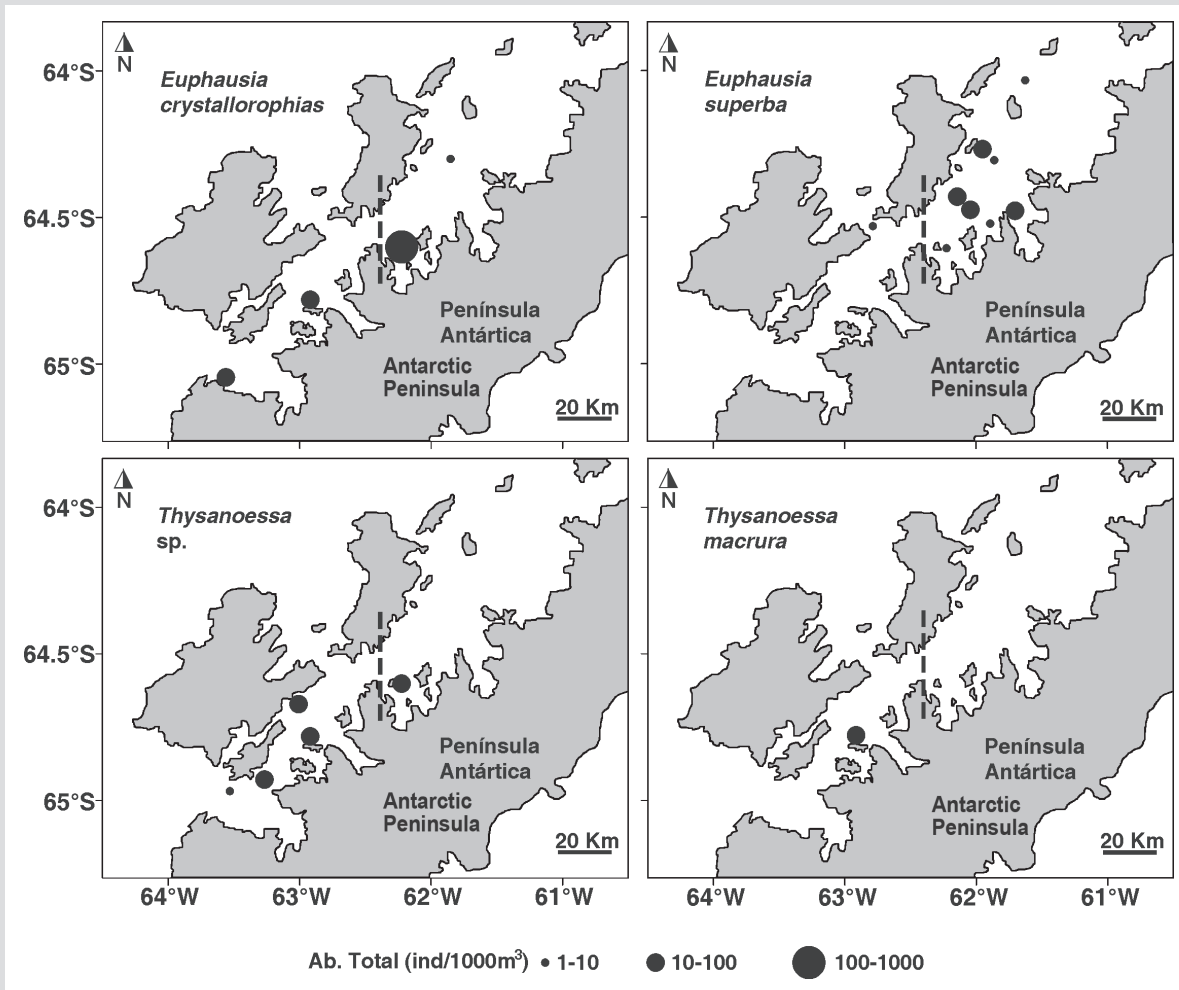


Figura 6. Distribución de la abundancia de eufáusidos por especie (ind 1000 m⁻³) durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

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 %).

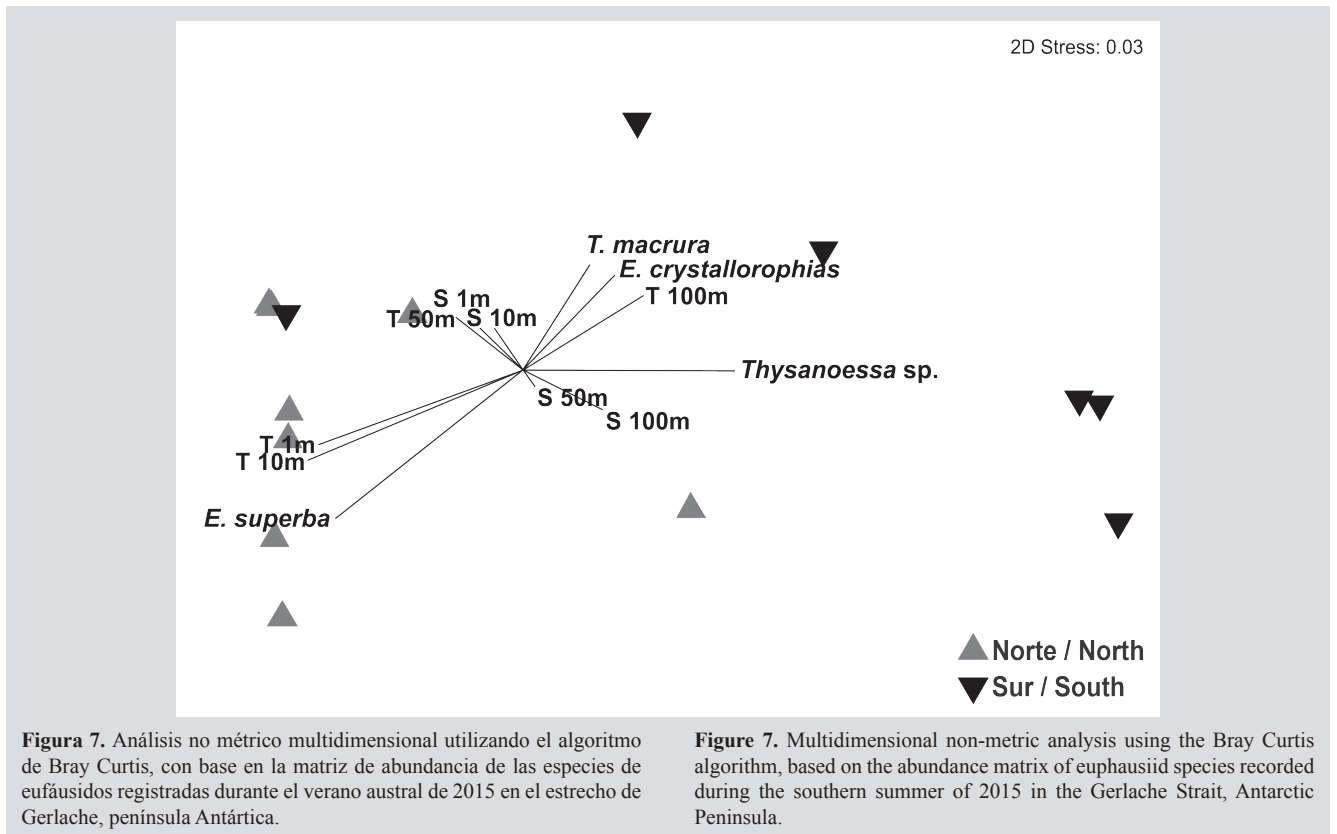


Figura 7. Análisis no métrico multidimensional utilizando el algoritmo de Bray Curtis, con base en la matriz de abundancia de las especies de eufáusidos registradas durante el verano austral de 2015 en el estrecho de Gerlache, península Antártica.

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 eupausídeo 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