



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y ECOLOGÍA  
ECOLOGÍA MARINA**

TESINA DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE BIÓLOGA

**ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL, INTERANUAL Y ESPACIAL DEL  
MESOZOOPLANCTON DE CALETA POTTER (ISLA 25 DE MAYO, SHETLAND  
DEL SUR, ANTÁRTIDA) EN UNA SERIE TEMPORAL, EN RELACIÓN CON EL  
CAMBIO GLOBAL DEL CLIMA: INTRODUCCIÓN DE TECNOLOGÍA *ZOOIMAGE***

Alumna: **Antonela del Valle Ottero**

Dirección: **Dra. Julieta Antacli**

Co-dirección: **Dra. Rosana Di Mauro**

**CÓRDOBA, ARGENTINA**

**AÑO: 2023**

Tesina de Grado para optar al título de Bióloga

**Análisis de la variación estacional, interanual y espacial del mesozooplancton de Caleta Potter (Isla 25 de Mayo, Shetland del Sur, Antártida) en una serie temporal, en relación con el cambio global del clima: introducción de tecnología *ZooImage***

Alumna: **Antonela del Valle Ottero**

Dirección: **Dra. Julieta Antacli (CONICET - Instituto de Diversidad y Ecología Animal, IDEA)**

Co-dirección: **Dra. Rosana Di Mauro (CONICET e Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, INIDEP, Mar del Plata)**

**Tribunal Examinador**

- Nombre y Apellido: Dr. Ricardo Sahade..... Firma: .....
- Nombre y Apellido: Dr. Cristian Lager..... Firma: .....
- Nombre y Apellido: Dr. Mariano Sironi..... Firma: .....
- Calificación: .....
- Fecha: .....

## ***Agradecimientos***

A mis directoras, Juli y Roxi, quienes me guiaron y aconsejaron a lo largo de este proceso. Me formaron durante toda la realización del trabajo final, a pesar de los desafíos que la pandemia nos presentó con mucha paciencia y dedicación.

Agradecer al INIDEP como institución por abrirme sus puertas y permitirme usar sus instalaciones y adquirir conocimientos del área.

A los investigadores y personal de la Base Carlini por su dedicación y esfuerzo en condiciones extremas para la toma de muestras.

Al investigador Harold Fenco, del Gabinete de Oceanografía Física del INIDEP por su paciencia y predisposición para enseñar sobre el procesamiento de datos oceanográficos y modelado de mapas.

Al Lic. Germán González del IDEA por su asesoramiento en los análisis estadísticos.

Al Dr. Maximiliano Garcia del CONICET por su buena predisposición y su asesoramiento.

A la Universidad Nacional de Córdoba, por brindar educación de calidad.

Agradecer de forma muy especial a las personas sin cuyo apoyo no hubiese podido llegar hasta aquí:

A mi familia

A mis papás, Marce y Roxi, por haberme apoyado y acompañado durante todo este camino con mucho esfuerzo y sacrificio.

A mi hermana, que ha sido mi pilar, consejera y alentadora durante toda mi carrera;

A mis amigas de la vida, por su aliento constante y sobre todo el aguante de las vivencias postergadas.

A mis amigas de la facu, por su contención en los momentos más estresantes, por los mates y las risas durante las cursadas y por hacer este camino juntas mucho más ameno, este recorrido no hubiese sido el mismo.

A mi compañero de vida Franco, por el aguante y enseñarme a transitar el último tramo de mi carrera con más disfrute y tranquilidad.

---

**ÍNDICE**


---

Resumen.....	4
Palabras clave	
Summary.....	5
Keywords	
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	6
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1. Cambio climático en Antártida y Caleta Potter.....	8
1.2. Importancia del mesozooplankton en los ecosistemas marinos y factores que regulan su biomasa.....	9
1.3. Mesozooplankton en Caleta Potter.....	10
1.4. Series temporales y tecnologías de análisis automáticos ( <i>ZooImage</i> ).....	12
1.5. Preguntas, hipótesis y objetivos.....	14
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
2.1. Área de estudio.....	16
2.2. Diseño de muestreo.....	17
2.3. Recolección de mesozooplankton.....	18
2.4. Corrección de datos y estimación de parámetros hidrográficos.....	19
2.5. Composición, abundancia, biomasa y estructura de tamaño del mesozooplankton.....	20
2.6. Estructura de la comunidad del mesozooplankton (PERMANOVA, ANOSIM, SIMPER).....	23
2.7. Asociaciones de los taxones de mesozooplankton dominantes (PCA) y relación con las variables ambientales (CCA).....	25
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
3.1. Síntesis de las condiciones oceanográficas.....	26
3.2. Composición y patrones de distribución del mesozooplankton.....	31
3.3. Estructura de la comunidad (PERMANOVA, ANOSIM, SIMPER).....	42
3.4. Asociaciones de los grupos mesozooplanktónicos dominante (PCA) y relación con las variables ambientales (CCA y GAM).....	46
<b>4. DISCUSIÓN.....</b>	<b>52</b>
4.1. Condiciones ambientales (hidrográficas y tróficas).....	52
4.2. Estructura y distribución espacial y temporal del mesozooplankton en Caleta Potter.....	54
4.3. Estructura del mesozooplankton en relación con las variables ambientales.....	62
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>67</b>

## RESUMEN

---

Los contenidos de esta Tesina contribuyen a comprender la variación temporal y espacial de las comunidades mesozooplancónicas del ecosistema costero antártico de Caleta Potter (Isla 25 de Mayo, Islas Shetland del Sur, Antártida), en función de las fluctuaciones ambientales inducidas por procesos relacionados con el cambio global del clima.

El estudio se realizó con muestras colectadas los años 2012 a 2014 en dos sectores de la caleta con diferente influencia de la descarga de deshielo glaciario, durante campañas en la Estación Científica Carlini.

Este estudio provee el primer análisis detallado de la estructura y distribución del mesozooplancton de C. Potter abarcando una serie temporal de tres años consecutivos durante todo el ciclo anual, incluyendo meses invernales menos estudiados. Asimismo, constituye el primer trabajo para el área que utiliza un sistema automático de análisis de imágenes (*ZooImage*) para el estudio del mesozooplancton, otorgando rapidez y robustez en los resultados obtenidos.

No se detectaron diferencias espaciales ni temporales significativas en la estructura de la comunidad. Se puso de manifiesto la importancia de los taxones de pequeño tamaño relativo durante todo el ciclo anual, confirmando la predominancia de los copépodos ciclopoideos y calanoideos y de las apendicularias en la conformación de la comunidad mesozooplancónica. La influencia de las variables ambientales consideradas (temperatura, salinidad y clorofila-*a* como *proxy* de alimento) afectaría diferencialmente a los taxones.

La incorporación de *ZooImage* de forma permanente en el monitoreo del zooplancton de C. Potter constituirá una herramienta útil para evaluar el estado de la comunidad en series temporales más extensas influenciada por cambios climáticos.

**Palabras Clave:** mesozooplancton, Caleta Potter, Antártida, análisis automático de imágenes, *ZooImage*, series temporales, cambio climático.

## SUMMARY

---

This Thesis contributes to understanding the temporal and spatial variation of the mesozooplankton communities of the Antarctic coastal ecosystem Potter Cove (25 de Mayo/King George Island, South Shetland Islands Archipelago, Antarctica), depending on the environmental fluctuations induced by processes related to global climate change.

The study was carried out with samples collected during the years 2012 to 2014 in two sectors of the cove with different influences of glacial melt discharge, during campaigns at Carlini Station.

No significant spatial or temporal differences in community structure were detected. The importance of the taxa in the smaller size fraction throughout the annual cycle was revealed, confirming the predominance of cyclopoid, and calanoid copepods, and appendicularians within the mesozooplankton community. The environmental variables' influence (temperature, salinity, and chlorophyll-*a* as a food *proxy*) would differentially affect the taxa.

This study provides the first detailed analysis of the structure and distribution of C. Potter mesozooplankton considering a time series of three consecutive years throughout the annual cycle, including the less-studied winter months. Likewise, it constitutes the first work for the area that uses an automatic image analysis system (*ZooImage*) to study mesozooplankton, providing speed and robustness in the results obtained.

The permanent incorporation of *ZooImage* in the monitoring of C. Potter zooplankton will constitute a useful tool to evaluate the state of the community in a longer time series influenced by climate changes.

**Keywords:** mesozooplankton, Potter Cove, Antarctica, semi-automated image analysis, time series, climate change.

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio. (A) Archipiélago de las Islas Shetland del Sur en la Península Antártica Occidental (recuadro blanco). (B) Isla 25 de Mayo. (C) Caleta Potter y la Estación de Investigación Científica Carlini (de <i>Google Earth</i> , 2023). Los sitios de muestreo (E1 y E3) se localizaron en dos áreas de muestreo dentro de la caleta con diferentes influencias de la descarga de deshielo glaciario. Se indican las áreas geográficas principales y la circulación en la caleta.....	17
<b>Figura 2.</b> Análisis de las muestras en el sistema <i>ZooImage</i> . (A) Muestras conservadas. (B) Muestras teñidas. (C) Distribución de las placas de poliestireno sobre la superficie del escáner. (D) Ejemplos de imágenes individuales de organismos mesozooplanctónicos.....	22
<b>Figura 3.</b> Dinámica temporal de las variables oceanográficas en Caleta Potter. Perfiles verticales de (A, B) temperatura (°C), (C, D) salinidad y (E, F) clorofila- <i>a</i> (Cl- <i>a</i> , mg/m <sup>3</sup> ) a lo largo del año durante el periodo 2012-2014 por sitio (E1 y E3).....	30
<b>Figura 4.</b> Composición de la comunidad mesozooplanctónica de Caleta Potter, identificada a partir del método automático <i>ZooImage</i> . (A) Copépodo calanoideo. (B) Copépodo ciclopoideo. (C) Copépodo harpacticideo. (D) Anfípodo. (E) Quetognato. (F) Eufáusido. (G) Pterópodo. (H) Salpa. (I) Sifonóforo. (J) Larva de poliqueto. (K) Larva de ascidia. (L) Cladóceros. (M) Apendicularia. (N) Larva de decápodo. (Ñ) Larva brachiolaria. (O) Larva nauplio. (P) Molusco. (Q) Huevos. (R) Ostrácodo. (S) Larva pluteus.....	32
<b>Figura 5.</b> Abundancia relativa o frecuencia numérica ( <i>FN</i> ) (panel derecho) y frecuencia de ocurrencia ( <i>FO</i> ) (panel izquierdo) de los grupos/taxones mesozooplanctónicos durante los años 2012, 2013 y 2014.....	37
<b>Figura 6.</b> Abundancia relativa de los grupos/taxones mesozooplanctónicos por sitios (E1 y E3) y estratos de profundidad (superficie y fondo) durante los años (A) 2012, (B) 2013 y (C) 2014.....	38
<b>Figura 7.</b> Biomasa relativa de los grupos/taxones mesozooplanctónicos por sitios (E1 y E3) y estratos de profundidad (superficie y fondo) durante los años (A) 2012, (B), 2013 y (C) 2014.....	39
<b>Figura 8.</b> Valores de abundancia y biomasa promedio (valores transformados a escala log <sub>10</sub> ) por mes del año, desde febrero 2012 a noviembre 2014, para los grupos/taxones dominantes mesozooplanctónicos en Caleta Potter.....	41
<b>Figura 9.</b> Histogramas de frecuencia para el área corporal (mm <sup>2</sup> ) del mesozooplancton por año y por estación del año. La línea continua sobre los histogramas representa la probabilidad de densidad Kernel en la distribución de los datos. Los valores en el eje-x se trazaron en escala log <sub>10</sub> para una mejor claridad de la distribución de los datos. El eje-y indica el número de individuos por clase de tamaño.....	41
<b>Figura 10.</b> Contribución porcentual de las variables (grupos/taxones mesozooplanctónicos) a cada factor (C <sub>1</sub> y C <sub>2</sub> ) del PCA.....	47
<b>Figura 11.</b> Círculo de correlación con la proyección de las variables (grupos/taxones) sobre el plano de los factores C <sub>1</sub> y C <sub>2</sub> , mostrando la estructura de correlación entre los grupos/taxones mesozooplanctónicos dominantes en Caleta Potter en general para los tres años.....	48

<b>Figura 12.</b>	Diagramas de dispersión correspondientes al factor $C_1$ y $C_2$ , en relación con las variables ambientales incluidas en el PCA, temperatura, salinidad, clorofila- <i>a</i> . Grupos/taxones correlacionados con el factor $C_1$ : Apendicularias, meroplancton, krill, nauplii, quetognatos, copépodos calanoideos y ciclopoideos. Taxones correlacionados con el factor $C_2$ : Pterópodos, copépodos harpacticoideos y anfípodos.....	51
<b>Tabla 1.</b>	Datos de los muestreos del mesozooplancton y de las características ambientales realizados durante las campañas antárticas de verano e invierno 2012, 2013 y 2014 en Caleta Potter en dos estaciones fijas (E1 y E3) a dos niveles de profundidad (S, superficie = 3-8 m; F, profundidad del fondo = 15-20 m). X = muestreo mensual. XX = muestreo quincenal...	19
<b>Tabla 2.</b>	Valores de temperatura (°C), salinidad y clorofila- <i>a</i> (Cl- <i>a</i> , mg/m <sup>3</sup> ) (promedio±desvío estándar D.E. y rango de valores mínimo y máximo) por año (2012-2014), sitio (E1 y E3), estación del año y estrato de profundidad (superficie y fondo) en Caleta Potter. sd = sin datos.....	28
<b>Tabla 3.</b>	Composición de grupos/taxones mesozooplanctónicos identificados en Caleta Potter durante 2012, 2013 y 2014. <i>FN</i> = frecuencia numérica. <i>FO</i> = frecuencia de ocurrencia.....	31
<b>Tabla 4.</b>	Valores de abundancia (ind/m <sup>3</sup> ) y biomasa (µg/m <sup>3</sup> ) (total, promedio±desvío estándar D.E., rango de valores mínimo y máximo) de los grupos/taxones mesozooplanctónicos identificados por año (2012-2014) en Caleta Potter.....	33
<b>Tabla 5.</b>	Análisis de Permutación realizado para analizar las diferencias significativas en las abundancias y biomásas del mesozooplancton (variables respuesta) entre años, estaciones del año, sitios de muestreo (E1 y E3), profundidades, y sus interacciones (variables explicativas). Los valores estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95 % están en negrita.....	43
<b>Tabla 6.</b>	Efecto temporal (Factores Año y Estaciones del año) sobre las abundancias y biomásas del mesozooplancton. Comparaciones <i>Post Hoc</i> (Test de Tukey) sobre los valores promedio de abundancias y biomásas de mesozooplancton entre periodos de tiempo.....	44
<b>Tabla 7.</b>	ANOSIM de una vía, evaluando las diferencias en la estructura de la comunidad de mesozooplancton entre los tres años (2012, 2013 y 2014), las cuatro estaciones del año, los dos sitios (E1 y E3) y las dos profundidades (superficie y fondo) en Caleta Potter.....	45
<b>Tabla 8.</b>	Análisis SIMPER. Lista de grupos/taxones mesozooplanctónicos con la mayor contribución a la disimilitud en los años (2012, 2013 y 2014), por sitios (E1 y E3) y profundidades (superficie y fondo) en Caleta Potter. Se indican el porcentaje de contribución a la disimilitud entre los grupos (%) y el cociente entre la similitud promedio y el desvío estándar de la similitud. Los grupos/taxones típicos están en negrita.....	45
<b>Tabla 9.</b>	Índice de importancia de los grupos/taxones mesozooplanctónicos identificados en Caleta Potter en el periodo 2012-2014. En negrita, grupos/taxones importantes ( $I_i \geq 20\%$ ).....	46
<b>Tabla 10.</b>	Correlaciones entre las abundancias de los grupos/taxones mesozooplanctónicos dominantes y los factores $C_1$ y $C_2$ . En negrita, máximo valor de correlación para cada grupo/taxón. Las máximas correlaciones para todos los grupos/taxones analizados estuvieron representadas en los dos primeros factores ( $C_1 - C_2$ ).....	49
<b>Tabla 11.</b>	Análisis del Modelo Aditivo Generalizado (GAM) para cada factor ( $C_1$ y $C_2$ ) del CCA, realizado para analizar la influencia de cada variable ambiental (T, S, Cl- <i>a</i> ) sobre los grupos/taxones mesozooplanctónicos asociados a cada factor. Los valores estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95 % están en negrita.....	51

## **1. INTRODUCCIÓN**

---

### **1.1. Cambio climático en Antártida y Caleta Potter**

El cambio climático global es cada vez más evidente, especialmente en las regiones polares debido al derretimiento de los glaciares (IPCC, 2021). La región de la Península Antártica Occidental ha experimentado el mayor calentamiento atmosférico promedio del siglo XX, acompañado de un calentamiento significativo de las aguas superficiales y profundas, y cambios en la salinidad y la dinámica del hielo (Vaughan *et al.*, 2003; Trenberth *et al.*, 2007; Henley *et al.*, 2019). Dichos cambios ambientales se hacen sentir en los ecosistemas costeros de altas latitudes en forma directa, a través del aumento de la temperatura y la disminución de la salinidad en las capas superficiales del mar. Esto último se debe al incremento del aporte de agua dulce desde la costa como resultado de precipitaciones más intensas y por el derretimiento del hielo glaciar. En algunas zonas la extensión de los glaciares ha alcanzado hasta un retroceso del 87 % (Cook *et al.*, 2005). El grado de cambio en el entorno físico y las respuestas biológicas y biogeoquímicas hacen de las áreas costeras de la Península Antártica Occidental un sistema modelo para estudiar cómo los cambios en el clima, el hielo marino y la biota podrían reestructurar los ecosistemas de altas latitudes (Smith *et al.*, 2008; Clarke *et al.*, 2009).

Una de dichas áreas costeras antárticas es la Caleta Potter, un fiordo ubicado en el extremo sudoeste de la Isla 25 de Mayo (Archipiélago de las Islas Shetland del Sur) en la Bahía Maxwell. Este brazo tributario protegido posee características hidrológicas y morfológicas únicas (*e.g.*, Lim, 2014; Wöfl *et al.*, 2014; Ruiz Barlett *et al.*, 2021). En la Isla 25 de Mayo, la mayoría de los glaciares se están derritiendo a una velocidad sin precedentes. En el caso particular del área circundante a C. Potter, el glaciar Fourcade muestra un progresivo y considerable retroceso (aproximadamente 1,5 km<sup>2</sup> en las últimas seis décadas), causando corrientes masivas de agua de deshielo con descarga de sedimentos en la caleta (Eraso & Domínguez, 2007). Esta descarga no solo afecta el carácter hidrográfico de la caleta (Rückamp *et al.*, 2011; Schloss *et al.*, 2012; Bers *et al.*, 2013; Monien *et al.*, 2017), sino también a la fisiología de los organismos acuáticos (Philipp *et al.*, 2011; Torre *et al.*, 2012, 2014; Fuentes *et al.*, 2016). El ingreso de sedimentos al sistema de la caleta se reconoce

actualmente como un impulsor de cambios a nivel de ensamblajes de las comunidades, con efectos a largo plazo sobre la biomasa y composición de especies (Gutt *et al.*, 2015; Sahade *et al.*, 2015; Valdivia *et al.*, 2020). Las comunidades planctónicas son particularmente sensibles a los cambios ambientales (*e.g.*, Lin *et al.*, 2021, y referencias allí mencionadas). Se han realizado varios estudios sobre la dinámica del fitoplancton (Schloss *et al.*, 2002, 2012, 2014; Hernando *et al.*, 2015; Hernando *et al.*, 2018; Antoni *et al.*, 2020; Antacli *et al.*, 2021) y del zooplancton (Fuentes & Hoffmeyer, 2005; Garcia, 2015; Fuentes *et al.*, 2016; Garcia *et al.*, 2016a, 2019, 2020) de C. Potter en relación con los cambios ambientales. A partir de estos estudios se sabe que los cambios en los valores de temperatura y salinidad del agua, generados por el aumento de la temperatura del aire y por el derretimiento de los glaciares, generan estrés y variaciones en el metabolismo y el crecimiento de los productores primarios, afectando la composición taxonómica, abundancia y metabolismo de las comunidades planctónicas, pudiendo propagarse estos efectos hacia los niveles superiores de las redes tróficas.

## **1.2. Importancia del mesozooplancton en los ecosistemas marinos y factores que regulan su biomasa**

El mesozooplancton, organismos entre 0,2 y 20 mm de longitud (Sieburth *et al.*, 1978), ocupa una posición clave en los flujos biogeoquímicos y en las tramas tróficas pelágicas marinas, por su rol en la transferencia de la energía orgánica producida por las algas fitoplanctónicas hacia los niveles tróficos superiores, ya que es un recurso alimenticio para las larvas de peces durante el período de primera alimentación (*e.g.*, Cushing, 1990; Planque *et al.*, 1997; Tandem *et al.*, 2000). El mesozooplancton también interviene activamente en el flujo vertical de partículas en la columna de agua; por sedimentación de los pellets fecales liberados proporciona alimento a las comunidades bentónicas, a la vez que por la transferencia y enterramiento de compuestos carbonados en el fondo oceánico, contribuye a la remoción del exceso de CO<sub>2</sub> antropogénico de la atmósfera (Lenz, 2000).

Las comunidades marinas mesozooplanctónicas responden dinámicamente (en espacio y tiempo) a las condiciones ambientales, tanto hidrográficas (*e.g.*, temperatura, salinidad) como de disponibilidad de alimento. Las fluctuaciones espaciales y estacionales en la composición y abundancia de las comunidades de fitoplancton y protozooplancton entre 2 y 200  $\mu\text{m}$  (principal alimento del mesozooplancton) afectan la dinámica del

mesozooplancton consumidor y, por lo tanto, modifican todo el ecosistema (Quetin & Ross, 2001; Smith *et al.*, 2001).

Los copépodos constituyen el grupo más abundante del mesozooplancton en los océanos, representando *ca.* 80 % de la biomasa, y estacionalmente incluso la casi totalidad (Verity & Smetacek, 1996; Kiørboe, 1997; Bradford-Grieve *et al.*, 1999), de manera que sus interacciones tróficas específicas tienen un papel importante en la dinámica de las comunidades planctónicas. La regulación de la biomasa de los niveles tróficos se puede explicar a partir de dos hipótesis existentes. Una propone un control desde abajo o ascendente (*bottom-up*), por el que la biomasa de un nivel está directamente determinada por el nivel inmediato inferior. La otra hipótesis considera un control desde arriba o descendente (*top-down*), donde la biomasa de un nivel está determinada por el efecto del nivel inmediato superior a través de la depredación y el pastoreo. Estas dos hipótesis tienen diferentes efectos en la naturaleza dado que el control ascendente gobierna las tasas de reproducción y crecimiento individual y poblacional a través de la disponibilidad de recursos, mientras que el control descendente regula las poblaciones a través de la depredación y el pastoreo. Al comer y ser comidos, los organismos del mesozooplancton actúan como importantes mediadores del flujo vertical de material biogénico en el océano (*e.g.*, Svensen & Nejstgaard, 2003). Son significativos consumidores de fito- y protozooplancton (Atkinson, 1996) y constituyen un enlace trófico importante con los invertebrados y peces. El mesozooplancton también juega un rol fundamental en el océano exportando, redistribuyendo y re-empaquetando carbono y nutrientes (Banse, 1995).

### **1.3. Mesozooplancton en Caleta Potter**

En Antártida uno de los grupos de organismos más importantes del zooplancton son los copépodos, junto con el krill y las salpas, ubicados en el centro de la red trófica, siendo alimento de peces, aves y mamíferos (Ballerini *et al.*, 2014). En el ecosistema de C. Potter en particular el zooplancton ocupa una importante posición cercana a la base y una variedad de taxones zooplanctívoros domina los niveles intermedios, poniendo de manifiesto su importancia para la productividad del ecosistema (Marina *et al.*, 2018). El mesozooplancton en C. Potter en particular es un componente esencial, ya que constituye el nexo con larvas y juveniles de peces, cumpliendo un rol trófico fundamental, ya que varios organismos de los niveles tróficos superiores se alimentan principal o exclusivamente de sus componentes

(e.g., Barrera Oro & Casaux, 1990; Barrera Oro & Piacentino, 2007). Este es el caso de los eufáusidos, anfípodos y salpas, que son muy abundantes en verano, y constituyen presas principales de los peces Nototénidos (e.g., Barrera Oro *et al.*, 1990, 2002, 2019).

A pesar de su reconocida importancia en las cadenas tróficas, el conocimiento referido al zooplancton en C. Potter es todavía parcial y mayormente restringido al verano, lo que obedece a cuestiones climáticas y logísticas en relación con las posibilidades de muestreo durante el otoño-invierno. El conocimiento actual sobre el zooplancton del área de C. Potter deriva principalmente de trabajos realizados por Elwers & Dahms (1998), Fuentes (Fuentes, 2006; Fuentes *et al.*, 2008) y Garcia (Garcia, 2015; Garcia *et al.*, 2016a). En la mayoría de estos estudios se utilizaron redes de plancton gruesas, con mallas de tamaño de poro de 200  $\mu\text{m}$  o superior. Fue a partir de estos trabajos que se determinó la dominancia de los copépodos de pequeño tamaño corporal ( $< 1$  mm de longitud total) en el mesozooplancton durante el verano, como *Oithona similis* y *Oncaea curvata*, mientras que los copépodos de mayor tamaño ( $> 1$  mm), tales como *Calanus propinquus*, *Calanoides acutus* y *Metridia gerlachei*, y estadios larvales de eufáusidos (caliítopes y furciliás) fueron menos frecuentes y abundantes (Elwers & Dahms, 1998; Fuentes, 2006; Garcia *et al.*, 2016a). En un trabajo posterior, Garcia *et al.* (2020) describen la comunidad mesozooplanctónica de C. Potter en el período diciembre 2010-diciembre 2011 dominada en invierno por organismos de talla pequeña, como copépodos y larvas de krill, en tanto que en primavera y verano se registró un aumento en la abundancia relativa de organismos mesozooplanctónicos de tamaño mediano y grande como copépodos calanoideos, anfípodos y juveniles y adultos de krill.

Dentro de los organismos zooplanctónicos omnívoros, los copépodos pequeños pueden consumir nanoplancton y otros elementos tróficos, como los pellets fecales y partículas de detrito (Pond & Ward, 2011), mientras que los copépodos grandes y eufáusidos consumen principalmente diatomeas y microzooplancton (Atkinson *et al.*, 1996). Recientemente, se ha estudiado la influencia de la retracción del glaciar sobre la composición del micro y mesozooplancton (Garcia *et al.*, 2020) y las tasas de pastoreo del microzooplancton (Garcia *et al.*, 2016b), a partir del análisis de muestras de agua tomadas en sitios dentro y fuera de la caleta afectados por distintos grados de impacto debido al derretimiento glaciar. Los resultados de estos estudios sugieren que los efectos del aporte de agua de derretimiento glaciar sobre la estratificación de la columna de agua y los procesos de consumo actuarían de manera combinada, afectando la fijación de carbono de las costas antárticas.

Los organismos mesozooplanctónicos son capaces de pastorear sobre un amplio espectro trófico y muestran dietas muy diversas, que varían espacio-temporalmente. En términos generales los organismos del fitoplancton y protozooplancton (compuesto de nano- y microheterótrofos) constituyen los principales recursos alimenticios del mesozooplancton. La biomasa fitoplanctónica en C. Potter es típicamente baja, comparada con otros ambientes de plataforma antárticos, alcanzando valores promedio en primavera-verano inferiores a 1 mg clorofila-*a* (Cl-*a*) /m<sup>3</sup> (Schloss *et al.*, 2014). La abundancia del microzooplancton en C. Potter es muy variable, y sus variaciones están influenciadas por la presencia de hielo marino y por la estratificación de la columna de agua (García *et al.*, 2020). En primavera cuando comienza el deshielo se registra un aumento en abundancia de microzooplancton (García *et al.*, 2020), pero en general exhiben una abundancia muy baja en todo el sector. Tales condiciones significarían un escenario tróficamente desfavorable para las comunidades mesozooplanctónicas.

#### **1.4. Series temporales y tecnologías de análisis automáticos (*ZooImage*)**

Estudios previos en C. Potter indican que las comunidades de zooplancton varían tanto en el tiempo como en el espacio, por lo que se debe realizar un gran esfuerzo de muestreo para describir sus patrones estacionales y de mayor escala (Elwers & Dahms, 1998; Fuentes *et al.*, 2005; Fuentes, 2006; García, 2015; García *et al.*, 2016b). Desde 1991 se está estudiando la comunidad mesozooplanctónica de C. Potter, en dos sitios de muestreo ubicadas en el interior y exterior de la caleta, con una frecuencia quincenal desde septiembre a abril, y mensual durante el resto de los meses. Este muestreo se realiza en el marco de un programa Ecología Costera (ECOS) del Instituto Antártico Argentino (IAA), a partir del cual se obtienen muestras cuali- y cuantitativas de fito- y zooplancton, junto con datos de variables oceanográficas (temperatura, salinidad, nutrientes, clorofila). El programa ECOS del IAA lleva a cabo la primera adquisición multianual costera de datos biológicos y oceanográficos en la región de la Península Antártica Occidental, siendo uno de los programas de monitoreo a largo plazo más importantes en toda la ciencia del Océano Austral, en parte porque presenta mediciones de invierno que son difíciles de obtener. Este tipo de diseño de muestreo resulta fundamental para monitorear las comunidades zooplanctónicas, ya que los ciclos de vida de la mayoría de las especies van desde unos pocos meses hasta un

año, y los cambios en la estructura de las poblaciones zooplanctónicas responden a variaciones en las condiciones ambientales (Benfield *et al.*, 2007). Además, los cambios en el tamaño corporal de los individuos de una población puede producirse lo suficientemente rápido como para detectar cambios estacionales a interanuales en el ambiente (Mackas & Beaugrand, 2010). En este sentido, las series de tiempo de las comunidades planctónicas, junto con las observaciones de las características físicas y químicas del agua, proporcionan información fundamental para comprender las interacciones entre el ambiente físico y los niveles tróficos que componen los ecosistemas marinos (Richardson, 2008; Mackas & Beaugrand, 2010).

Los estudios de series temporales aplicando métodos tradicionales de observación de muestras bajo lupa binocular implican un proceso altamente demandante en términos de tiempo, y requieren personal capacitado para la identificación y cuantificación de una gran diversidad de organismos de diferentes formas y tamaños, y su medición para calcular la biomasa. Esto limita significativamente el número de muestras que se pueden analizar en un periodo de tiempo determinado y, como consecuencia, la resolución espacio-temporal puede verse afectada, ocasionando una interpretación errónea de los patrones y procesos ecológicos (Culverhouse *et al.*, 2006; Bell & Hopcroft, 2008). Por estas razones, se han propuesto una variedad de métodos que combinan las ventajas del análisis de imágenes y la identificación automática, para acelerar el procesamiento de las muestras de zooplancton (Benfield *et al.*, 2007). Estos métodos se basan en la digitalización de muestras de zooplancton a alta resolución, y el análisis posterior de las imágenes mediante la utilización de programas diseñados para identificar y medir organismos zooplanctónicos de forma automática, empleando algoritmos de inteligencia artificial. El programa *ZooImage* (Benfield *et al.*, 2007; Grosjean & Denis, 2007; Lorenzo-Navarro *et al.*, 2018) es gratuito y ha demostrado ser una herramienta útil para la identificación y medición de zooplancton, permitiendo realizar estimaciones de abundancia (Bell & Hopcroft, 2008; Gislason & Silva, 2009), biomasa (Alcaraz *et al.*, 2003), y estudiar las variaciones de la comunidad zooplanctónica a partir de la estructura de tamaños (Gislason & Silva, 2009). Los estudios previos que han aplicado esta metodología, como herramienta para la identificación del zooplancton, reportaron una precisión del 70 – 80 % en la identificación automática, de hasta 20 categorías taxonómicas (*e.g.*, Plourde *et al.*, 2008; Gislason & Silva, 2009). Este procedimiento exige que el usuario manualmente clasifique una fracción representativa de imágenes de los individuos en taxones con relevancia ecológica, para construir un clasificador (el algoritmo), el que se utiliza para identificar el resto de los individuos digitalizados de las muestras. Al

mismo tiempo, para obtener la mayor eficiencia en la utilización de esta metodología, es fundamental que el clasificador sea construido acorde a la escala espacial (zona/región) y temporal (periodo del año). Estos conceptos están descriptos en detalle en Alpaydin (2004).

En este marco, este trabajo constituye el primer estudio realizado a partir de la implementación de la metodología *ZooImage*, para aplicar en el análisis de series temporales de mesozooplancton de C. Potter, con el objetivo principal de aportar conocimientos para la comprensión de la variabilidad interanual, interestacional, y espacial de las comunidades mesozooplanctónicas de C. Potter, en relación con las fluctuaciones del ambiente, y de sentar las bases para construir los clasificadores que permitan automatizar el monitoreo del zooplancton en la caleta. Cabe aclarar que el presente estudio se enmarca dentro de los objetivos y alcances del programa ECOS (IAA), y en particular del proyecto denominado “Zooplancton Carlini”, cuyo propósito es estudiar los efectos del cambio climático sobre el zooplancton de C. Potter.

### **1.5. Preguntas, hipótesis y objetivos**

#### **Preguntas de investigación:**

- 1) ¿Cuáles son las características hidrográficas y tróficas para las comunidades mesozooplanctónicas durante los tres años estudiados en C. Potter?
- 2) ¿Cómo cambia la distribución espacial y la estructura (composición, abundancia, biomasa y estructura de tallas) de las comunidades mesozooplanctónicas de C. Potter a lo largo de los años estudiados?
- 3) ¿Cuáles son las relaciones más significativas entre el ambiente físico-químico y trófico y las comunidades mesozooplanctónicas, que expliquen su estructura, y patrones de distribución espacial y temporal durante los tres años estudiados?

#### **Hipótesis**

- 1) Las condiciones hidrográficas (de salinidad y temperatura) de la columna de agua en el área de estudio varían temporal (estacional e interanualmente) y espacialmente durante los años estudiados (2012-2014) determinando situaciones variables de disponibilidad de alimento (fitoplancton y protozooplancton) para las comunidades mesozooplanctónicas.
- 2) Las comunidades mesozooplanctónicas de C. Potter presentan una estructura (abundancia, biomasa, distribución, composición taxonómica) variable en escala estacional e interanual, y una distribución espacial heterogénea entre profundidades, y sitios más o menos alejados de la influencia del glaciar.

3) Las condiciones fluctuantes del ambiente, hidrográficas y tróficas, influyen en la diferenciación temporal y espacial de la estructura y distribución de las comunidades mesozooplanctónicas de C. Potter.

Con el fin de responder las preguntas y poner a prueba las hipótesis postuladas, se formularon los siguientes objetivos y actividades específicas:

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar las variaciones temporales y espaciales de las comunidades mesozooplanctónicas del ecosistema costero antártico de C. Potter, en función de las fluctuaciones ambientales inducidas por procesos relacionados con el cambio global del clima, aplicando metodologías de análisis de imágenes.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1) Examinar las características hidrográficas y tróficas del ambiente en el que se desarrollaron las comunidades mesozooplanctónicas durante el periodo estudiado de tres años consecutivos en C. Potter.

*Este objetivo fue abordado a través del análisis de las principales propiedades hidrográficas (temperatura y salinidad de fondo y superficie) y los niveles de clorofila-a (como proxy de biomasa fitoplanctónica/alimento de las comunidades del mesozooplancton) coexistentes.*

2) Analizar los patrones espaciales y temporales de distribución y estructura (composición, concentración, biomasa, estructura de tallas) de las comunidades mesozooplanctónicas de C. Potter durante un periodo de tres años consecutivos.

*Para alcanzar este objetivo, se estudiaron la composición taxonómica, abundancia, biomasa y estructura de tallas de las comunidades del mesozooplancton a partir de muestras digitalizadas correspondientes a una serie temporal de tres años consecutivos en dos sitios (y dos profundidades) de C. Potter con diferente influencia del glaciar.*

3) Explorar las posibles influencias de las fluctuaciones ambientales (hidrográficas y tróficas), inducidas por procesos relacionados con el cambio global del clima, en los patrones de distribución espacial y temporal y estructura de las comunidades mesozooplanctónicas de C. Potter.

*Con este propósito, se analizaron las asociaciones entre el mesozooplancton y las variables ambientales.*

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

---

### 2.1 Área de estudio

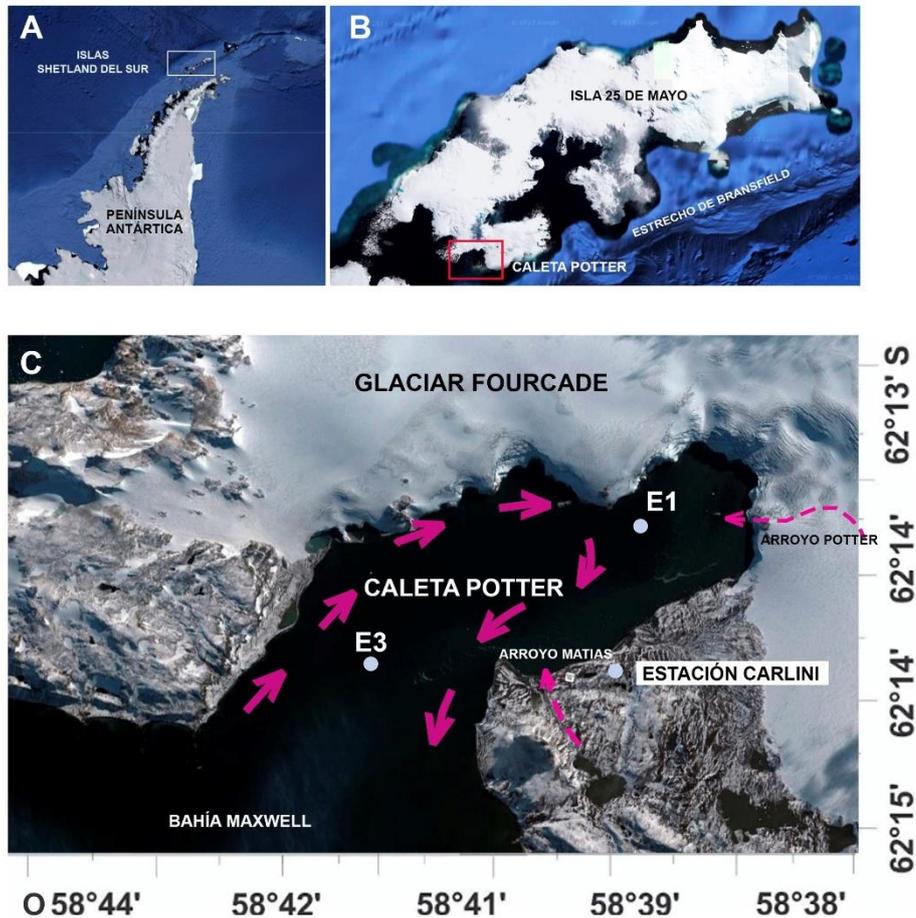
La Caleta Potter está ubicada en el extremo sudoeste de la Isla 25 de Mayo, en el Archipiélago de las Islas Shetland del Sur, Antártida (62°14' S, 58°38' W) (Fig. 1A-C). Es un pequeño fiordo tributario de la bahía Guardia Nacional (Bahía Maxwell), de entrada pequeña y poco profunda, rodeada al norte y este por el glaciar Fourcade, mientras que su costa sur es una playa de arena gruesa y grava, y se encuentra libre de hielo (Wölf *et al.*, 2014). En base a la topografía del fondo, la caleta se puede separar en una zona interna (30-50 m, fondos de sedimento fino y fangoso) y otra externa (~100-200 m, fondo predominante rocoso). Los vientos predominantes provienen desde el noroeste y el este (Klöser *et al.*, 1994; Roese & Drabble, 1998; Schloss *et al.*, 2012).

La columna de agua en C. Potter está fuertemente influenciada por la circulación ciclónica, la que permite la renovación de las aguas provenientes del sector norte desde la Bahía Maxwell (Roese & Drabble, 1998; Schloss *et al.*, 2002; Ruiz Barlett *et al.*, 2021) (Fig. 1C). Este proceso se ve influenciado en gran medida por el efecto de las mareas y los vientos (Schloss, 1997). Existe una celda de circulación vertical con vientos intensos (superiores a  $5 \text{ ms}^{-1}$ ) que producen surgencias (*upwelling*) o hundimientos (*downwelling*) en el borde este de la caleta durante eventos de vientos del oeste (Roese & Drabble, 1998).

Durante el verano, el patrón de circulación en C. Potter está dominado por plumas superficiales de aguas diluidas relativamente cálidas y turbias que fluyen desde la costa sur hacia fuera del fiordo (*e.g.*, Klöser *et al.*, 1993, 1994) y depende del nivel de estratificación controlado por el ingreso de agua dulce (Syvitski, 1998). Durante la estación de deshielo en C. Potter se forma una capa superficial de baja salinidad por el ingreso de aguas glaciales y bloques de deshielo flotantes provenientes también de la Bahía Maxwell. A su vez, por el derretimiento glaciario en la costa sur se genera un sistema de arroyos durante esta época (arroyos Potter, “Oscar” y “Carlini”), que descargan sedimentos finos hacia la caleta (Domínguez & Eraso, 2007; Wölf *et al.*, 2014; Monien *et al.*, 2017), además de un arroyo originado por las precipitaciones (Arroyo Matías).

La Estación de Investigación Científica Argentina Carlini (en adelante estación Carlini), está ubicada en la costa este de la isla (Fig. 1C). Esta estación permanece activa

durante todo el año, y tiene una capacidad para aproximadamente 100 personas (personal militar, científicos y visitantes) durante el verano y 20 personas durante el invierno (COMNAP, 2019). La estación Carlini ofrece una plataforma única en términos de investigación sistemática e interdisciplinaria para el estudio de las consecuencias del calentamiento global.



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio. (A) Archipiélago de las Islas Shetland del Sur en la Península Antártica Occidental (recuadro blanco). (B) Isla 25 de Mayo. (C) Caleta Potter y la Estación de Investigación Científica Carlini (de *Google Earth*, 2023). Los sitios de muestreo (E1 y E3) se localizaron en dos áreas de muestreo dentro de la caleta con diferentes influencias de la descarga de deshielo glaciar. Se indican las áreas geográficas principales y la circulación en la caleta.

## 2.2 Diseño de muestreo

Las muestras a partir de las cuales se realizó este estudio se colectaron en el transcurso de tres campañas de investigación, realizadas consecutivamente entre enero de

2012 y diciembre de 2014 (Campañas Antárticas de Verano CAV e Invierno CAI 2012, 2013 y 2014) en la estación Carlini, en el marco del Programa ECOS del IAA.

Los muestreos se realizaron sobre dos estaciones fijas separadas por aproximadamente 2,49 millas (4 km) a dos niveles de profundidad, superficie (3-8 m) y fondo (15-20 m) (Fig. 1): la Estación 1 (E1, 62,23°S, 58,66°W) se ubica en la zona interna de la caleta, cerca de la base del glaciar Fourcade, en una zona altamente expuesta al ingreso/aportes de agua de deshielo del glaciar; la Estación 3 (E3, 62,25°S y 58,71°W) se encuentra en la zona externa de la caleta, en la boca de la ensenada cerca de la Bahía Maxwell (Fig. 1). La frecuencia del muestreo fue quincenal para enero y diciembre de 2013, pero en general fue mensual y dependiente de las condiciones climáticas (Tabla 1).

A lo largo de todas las estaciones oceanográficas se registraron los perfiles de temperatura, salinidad y fluorimetría, con un CTD *Sea-Bird 19plus-V2* y un fluorómetro montado CTD. Para calibrar los datos de salinidad se colectaron muestras de agua utilizando botellas Niskin. Se colectaron además muestras de agua para estudiar la distribución de clorofila-*a* (Cl-*a*) en cada estación, utilizada como *proxy* de biomasa fitoplanctónica/alimento disponible para el mesozooplancton. Las concentraciones de Cl-*a* se determinaron mediante la aplicación del método de análisis de Strickland & Parson (1972), que considera la concentración corregida para feopigmentos.

### **2.3. Recolección de mesozooplancton**

El muestreo de mesozooplancton se llevó a cabo en las dos estaciones mediante lances oblicuos, aproximadamente desde el fondo hasta la superficie, con una red cónica de 0,575 m<sup>2</sup> de apertura, provista con una red de 200 µm de tamaño de poro (Tabla 1). Los lances se realizaron desde una profundidad máxima de 20 m hasta la superficie, manteniendo la red sumergida, mediante la utilización de un depresor (una pieza de 5 kg adosada al marco del muestreador). El ángulo del cable con relación a la vertical se midió con un inclinómetro, y se registró la cantidad de cable filado para alcanzar la profundidad de muestreo. Los arrastres se realizaron a poca velocidad (aprox. 2 nudos), y tuvieron una duración de 15 minutos. Los volúmenes filtrados se midieron con flujómetros digitales (*Hydro-Bios*, con traba hacia atrás para operación vertical) montados en la boca de la red, los que trabajaron a 0,3 rpm. El valor promedio de agua filtrada por la red considerando los tres años (2012-

2014) fue 4533,4 m<sup>3</sup>. El volumen filtrado (VF) se calculó a partir de la estimación del área de un círculo de radio (r), multiplicado por el factor del flujómetro (f):

$$VF = \pi \cdot (r)^2 \cdot f$$

El factor del flujómetro se calculó restando el número de vueltas iniciales al número de vueltas finales. En los casos en los que no se contó con el flujómetro, el volumen filtrado se estimó multiplicando el área de la apertura de red (m<sup>2</sup>), por la distancia recorrida por la red (m) y por el tiempo de arrastre (s). Las muestras se fijaron *in situ* con formaldehído neutralizado al 4 % para su posterior análisis en el laboratorio.

**Tabla 1.** Datos de los muestreos del mesozooplankton y de las características ambientales realizados durante las campañas antárticas de verano e invierno 2012, 2013 y 2014 en Caleta Potter en dos estaciones fijas (E1 y E3) a dos niveles de profundidad (S, superficie = 3-8 m; F, profundidad del fondo = 15-20 m). X = muestreo mensual. XX = muestreo quincenal.

Mes/estrato	E1						E3					
	2012		2013		2014		2012		2013		2014	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
Enero		x	xx	xx	x	x		x	xx	xx	x	x
Febrero			x	x	x	x			x	x	x	x
Marzo	x	x	x				x	x	x	x		
Abril	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x
Mayo		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Junio			x		x	x			x		x	x
Julio				x	x	x			x	x	x	x
Setiembre												
Octubre	x				x	x					x	x
Noviembre							x	x				
Diciembre	x	x	x				x	x	xx	x		

## 2.4 Corrección de datos y estimación de parámetros hidrográficos

Los datos de temperatura y salinidad fueron obtenidos con una sonda de profundidad (CTD) marca *Sea-Bird 19plus-V2*. Como resultado de los tres años de muestreos incluidos en este estudio, se obtuvieron datos sobre un total de 49 muestreos oceanográficos en los que se midieron estos parámetros desde la superficie hasta el fondo en las dos estaciones fijas (24 colectas de datos en E1 y 25 en E3).

El procesamiento de los datos crudos obtenidos por el CTD se realizó siguiendo una serie de pasos basados en el Manual SBE 19plus. En primer lugar, se verificó la presencia de valores atípicos en los datos utilizando el programa *SEASAVE* v.7.26.7.121 (Manual *SBE Data Processing*). Luego, los datos se calibraron aplicando varias rutinas (*Data conversión, Filter, Align CTD, Cell Thermal Mass, Loop Edit, Derive* y *Bin Average*) del programa *SBE Data Processing* v.7.26.7 (Manual *SBE Data Processing*). Los datos hexadecimales (.hex) se convirtieron a unidades ingenieriles (cnv). Se aplicaron filtros a los datos de temperatura, conductividad y presión con las constantes correspondientes del CTD.

Se alinearon los datos para corregir posibles desfases físicos de los sensores usando una constante de 0,5 segundos para la presión. Para garantizar la precisión de los datos de conductividad se aplicó la rutina *Cell Thermal Mass*, la cual corrigió la inercia térmica en la celda de conductividad del CTD mediante los parámetros estipulados por el instrumento (0,04 y beta 8,0). A continuación, se utilizaron los datos de presión, temperatura y conductividad para calcular los parámetros oceanográficos de densidad, profundidad y salinidad mediante la rutina *Derive*. Finalmente, se aplicó la rutina *Bin Average* para promediar los datos en los rangos de presión, profundidad y número de *scans*. Finalmente, se realizaron los perfiles de distribución horizontal y vertical de cada variable hidrográfica con el programa *Ocean Data View*.

## **2.5. Composición, abundancia, biomasa y estructura de tamaño del mesozooplankton**

El análisis de las muestras de mesozooplankton se realizó a partir del método de análisis de imágenes digitalizadas utilizando un escáner comercial *Epson Perfection V600 Photo*, y el programa *ZooImage* (Grosjean & Denis, 2007). El volumen de muestra analizado en la digitalización dependió de la concentración de organismos registrada en las alícuotas. Cuando la densidad de organismos en las muestras fue escasa, se examinó toda la muestra. La muestra se homogeneizó y se tomó una alícuota con una cuchara con volumen definido (22 ml). La alícuota se guardó en un recipiente para su posterior digitalización, y el resto de la muestra se devolvió a su recipiente original (Fig. 2A). Las alícuotas se tiñeron con Rosa de Bengala por 24 h con el fin de aumentar el contraste y destacar los contornos de los organismos en las imágenes (Fig. 2B). La tinción es especialmente importante para el zooplankton gelatinoso y semitransparente (medusas, ctenóforos, larváceos y quetognatos). Previo a su digitalización, las muestras se lavaron con agua destilada para eliminar el

excedente de colorante y formol, y se distribuyeron en tres placas transparentes de poliestireno (125 mm x 84 mm), colocadas sobre la superficie del escáner. Los organismos se distribuyeron homogéneamente sobre la superficie de las placas con una aguja vegetal (espina de cactus) para evitar la superposición de los individuos en las imágenes (Fig. 2C). Las imágenes se procesaron con el programa *ZooImage*, mediante el cual se segmentaron para obtener imágenes individuales de los organismos (viñetas) (Fig. 2D), y las mediciones de forma y tamaño asociadas a cada una de ellas. Las viñetas se enumeraron y clasificaron de manera manual en categorías hasta el menor nivel taxonómico posible. Las identificaciones taxonómicas se efectuaron teniendo en cuenta las características corporales distinguibles para cada individuo, sobre la base de bibliografía relevante (Boltovskoy *et al.*, 1999; Johnson & Allen, 2012). Se realizó la validación de la identificación taxonómica de los organismos mediante el sistema *ZooImage*, a partir de la observación de los individuos bajo lupa estereoscópica.

Los resultados de los conteos en las imágenes se organizaron en cuatro grupos, que se establecieron en función de sus abundancias relativas y tamaño corporal: (1) Mesozooplankton de mayor tamaño relativo, en general menos abundante (*e.g.*, anfípodos, misidáceos, eufáusidos, quetognatos, pterópodos, salpas, sifonóforos); (2) copépodos de gran tamaño relativo (Calanoida); (3) copépodos de talla mediana y pequeña (*e.g.*, Harpacticoida, Cyclopoida), ostrácodos y apendicularias; (4) otros ítems de menor tamaño relativo, tales como larvas y huevos.

Para cada grupo/taxón particular se realizaron estimaciones de abundancia (individuos/m<sup>3</sup>) y de peso seco (µg/m<sup>3</sup>) como indicador de biomasa. Las abundancias se obtuvieron multiplicando el número de individuos de cada grupo/taxón por el factor de dilución correspondiente a cada muestra, y dividiendo por el volumen filtrado por la red:

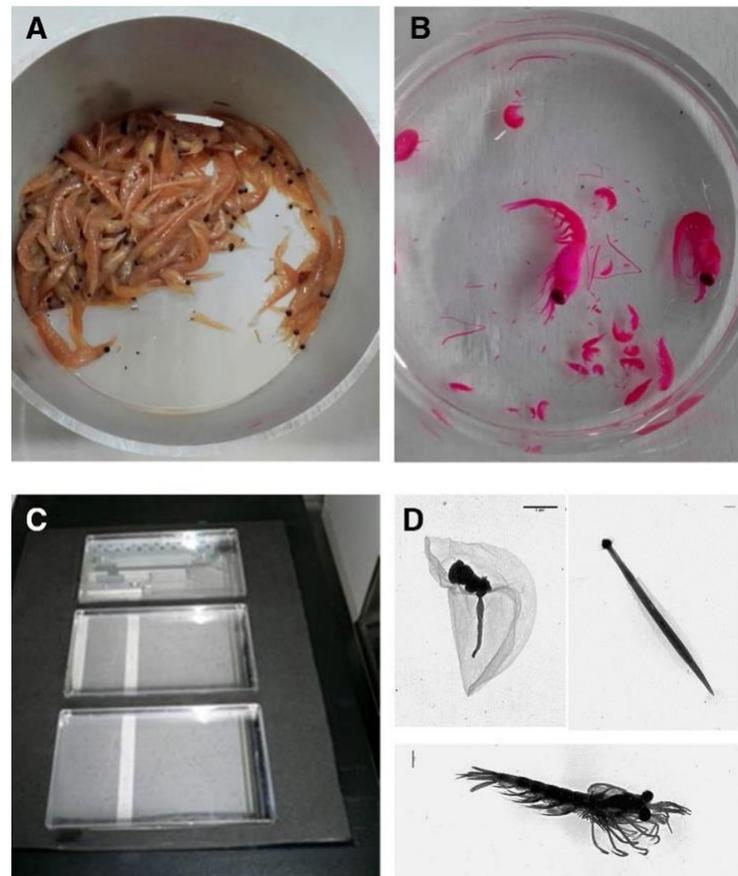
$$\text{Abundancia (individuos/m}^3\text{)} = N \text{ (individuos)} * \text{factor dilución} / VF$$

Las estimaciones de peso seco (DW) se calcularon a partir de la ecuación determinada por Hernández-León *et al.* (2009) para zooplankton antártico, que relaciona el peso seco con el área corporal (S, mm<sup>2</sup>) medida automáticamente:

$$DW (\mu\text{g}) = 42.38 * S^{1.47}$$

Para cada grupo/taxón, se calcularon (por año, por estación del año, por sitio de muestreo y para los tres años en conjunto) las abundancias relativas o frecuencias numéricas  $FN$ , *i.e.*, la contribución promedio (%) de un grupo/taxón particular a la abundancia total, y las frecuencias de ocurrencia  $FO$ , *i.e.*, el porcentaje de sitios donde se registró la presencia de un grupo/taxón particular.

La estructura de tamaños de las comunidades mesozooplancónicas fue descrita a partir de histogramas de frecuencia por clases de tamaño sobre la base de las mediciones del área corporal de todos los individuos presentes en las muestras. Este parámetro es el más preciso que se puede obtener de forma digital como indicador del tamaño, ya que se calcula automáticamente a partir de las siluetas de los organismos en las imágenes (Alcaraz *et al.*, 2003).



**Figura 2.** Análisis de las muestras en el sistema *Zoolmage*. (A) Muestras conservadas. (B) Muestras teñidas. (C) Distribución de las placas de poliestireno sobre la superficie del escáner. (D) Ejemplos de imágenes individuales de organismos mesozooplancónicos.

## 2.6. Estructura de la comunidad del mesozooplancton (PERMANOVA, ANOSIM, SIMPER)

Todos los datos se analizaron con el programa R v4.2.0 (R Core Team, 2022 URL. <https://www.R-project.org/>). Se creó una matriz inicial de datos con las abundancias (ind/m<sup>3</sup>) y biomásas (µg/m<sup>3</sup>) totales de los 14 grupos/taxones de mesozooplancton registrados en las dos estaciones de muestreo en los tres años analizados. Los grupos/taxones con baja frecuencia de ocurrencia y baja abundancia relativa también se incluyeron (Clarke & Warwick, 1994). Los datos de abundancia se estandarizaron y se transformaron logarítmicamente mediante  $x' = \ln(x+1)$  con el fin de reducir la influencia de los grupos/taxones más abundantes y dar mayor importancia a aquellos menos representadas.

La significancia de los efectos de los factores (variables explicativas) consideradas *a priori*: año (2012, 2013, 2014), estación del año (primavera, verano, otoño e invierno), profundidad (superficie y fondo) y sitio (E1 y E3) y sus interacciones sobre las abundancias y biomásas del mesozooplancton, para cada grupo/taxón separadamente, y para toda la comunidad mesozooplanctónica en su conjunto (variables respuesta), se exploró aplicando un análisis no-paramétrico de Permutación (PERMANOVA). En todos los casos, la asunción de la normalidad se chequeó visualmente usando un gráfico Q-Q plot, y la asunción de esfericidad que refiere a la homogeneidad de la varianza se verificó por medio de los residuos *versus* los *plot* fijos (*fitted*). Debido a que los datos no confirmaron estas asunciones, se realizó un análisis no-paramétrico. La ventaja de usar el método de Permutación en comparación con otros análisis no-paramétricos (tales como Kruskal-Wallis, Wilcoxon, o Friedman) es que permite modelar diseños experimentales más complejos con varios factores, analizando todos los factores al mismo tiempo (Anderson, 2001). El modelo se ajustó con una interacción cuádruple (año\*estación del año\*profundidad\*sitio) y se aplicó la función *dredge* del paquete *MuMIn* para seleccionar los modelos mediante el índice de Akaike (AIC). El mejor modelo incluyó el factor 'profundidad' en el análisis de la abundancia de toda la comunidad, mientras que en el análisis de la biomasa de la comunidad en su conjunto no se encontraron factores significativos. En cuanto al análisis de las abundancias y biomásas de los grupos/taxones por separado, la selección de factores y sus interacciones fue variable. Los efectos significativos se asumieron a un  $\alpha = 0,05$ . Cuando se encontraron efectos significativos de los factores sobre las abundancias/biomásas de los taxones a una variable dada, se realizaron comparaciones *Post Hoc* de los valores medios entre variables usando Test de Tukey.

A partir de la matriz inicial de datos ln-transformados se calculó una matriz de similitud entre las especies mediante el coeficiente de similitud de Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957). Sobre la base de la matriz de similitud anterior se efectuó un análisis no-paramétrico de similitud de una vía (ANOSIM) con el fin de analizar las diferencias en las abundancias/biomasas de mesozooplankton entre años, estaciones del año, profundidades y sitios. El ANOSIM es análogo al ANOVA y utiliza el estadístico R, el cual da una medida absoluta de cuán separados están los grupos, en una escala de valores entre -1 y 1. En términos generales, los valores cercanos a 1 indican grandes diferencias entre los grupos, los valores cercanos a cero indican pequeñas diferencias entre los grupos, y los valores negativos indican que las diferencias dentro de los grupos son mayores que entre grupos (Clarke & Warwick, 1994). Para valores de  $R > 0,75$  se consideraron grupos bien separados, valores de  $R > 0,5$  fueron grupos solapados pero diferentes, y valores de  $R < 0,25$  constituyeron grupos poco separados (Clarke & Gorley, 2001). El ANOSIM es un análisis multivariado, es decir, considera todas las variables respuesta (en este caso abundancias de taxones) al mismo tiempo, a diferencia del PERMANOVA que al ser un análisis univariado considera de una variable respuesta a la vez.

A partir de la matriz inicial de datos ln-transformados se aplicó un análisis de porcentajes de similitud (SIMPER) con el fin de identificar los taxones de mesozooplankton que contribuyeron en mayor medida a la disimilitud entre los grupos (años, estaciones del año, profundidades, sitios). Este análisis discrimina los taxones que dominan en abundancia total en muchos grupos, de aquellos que aparecen consistentemente en los grupos, pero con abundancias más bajas. Compara las abundancias promedio y examina la contribución de cada taxón a los patrones de disimilitud dentro de los grupos (Clarke & Warwick, 1994, 2001). Aquellos taxones que contribuyeron con, al menos, un 10 % de disimilitud promedio ( $S_i$ ) a la disimilitud total se consideraron discriminantes o típicos de los grupos (Bulleri *et al.*, 2005). Los taxones típicos más frecuentes fueron aquellos cuyo cociente entre la disimilitud promedio y el desvío estándar de la disimilitud [ $\underline{S}_i$  / d.e. ( $\underline{S}_i$ )] fue relativamente alto (Clarke & Warwick, 1994). Este cociente da una idea de cuán consistentemente los taxones contribuyen a la disimilitud, es decir, cuando el valor de este cociente es alto no sólo significa que el taxón contribuye mucho a la disimilitud entre los grupos, sino que también lo hace consistentemente en las comparaciones de todas las muestras de los grupos.

## 2.7. Asociaciones de los taxones de mesozooplankton dominantes (PCA) y relación con las variables ambientales (CCA)

Los datos de abundancia de los taxones de mesozooplankton (individuos/m<sup>3</sup>) se transformaron logarítmicamente, como  $x_i = \ln(x_i+1)$ , para reducir la influencia de los taxones más abundantes. Con el fin de examinar la presencia de valores atípicos (*outliers*) en las abundancias, los valores estandarizados se compararon con el valor crítico a dos colas de la distribución *t-Student*, considerando la corrección de Bonferroni (Morrison, 1976) sobre el nivel de significación ( $\alpha' = 0,05 / n$ ). Esto determinó un valor crítico igual a 3,46. Así, los valores de abundancia previamente ln-transformados y estandarizados, superiores a 3,46 o inferiores a -3,46 se los consideró *outliers*. Los taxones dominantes se identificaron mediante la determinación de un índice de importancia, calculado para cada taxón ( $I_i$ ), como el promedio entre la abundancia relativa y la frecuencia de ocurrencia en cada muestra.

Seguidamente, la matriz inicial de datos se limitó a los taxones cuyo índice de importancia resultó  $> 20 \%$ .

Con el fin de explorar las asociaciones de los taxones de mesozooplankton dominantes identificados anteriormente, se desarrolló un análisis de componentes principales (PCA) a partir de la matriz de correlaciones. Las asociaciones entre taxones se exploraron a partir del círculo de correlación derivado de ese análisis.

Para estudiar la relación de los taxones de mesozooplankton con las principales variables ambientales, se realizó un análisis de componentes canónicos (CCA) basado en la matriz de covarianzas, de manera que cada taxón mostrará su variabilidad propia (aunque atenuada por la transformación  $\ln(x_i+1)$ ). A partir de dicho análisis se obtuvieron los valores correspondientes y los valores de correlación entre las especies y los factores. De este modo, se identificaron los factores con los que cada taxón presentó mayor correlación, a fin de asociar cada taxón con un factor dado. De esta forma, cada factor resume un conjunto de taxones con los que se encuentra correlacionado. Seguidamente, se consideraron directamente los factores, y se establecieron las relaciones entre las variables ambientales y los factores en sí mismos. Las variables ambientales incluidas fueron temperatura superficial y de fondo (°C), salinidad superficial y de fondo, y Cl-a superficial y de fondo (mg/m<sup>3</sup>). La posible co-linealidad entre las variables ambientales se analizó gráficamente, a los efectos de eliminar variables redundantes y evitar así problemas de orden numérico.

### **3. RESULTADOS**

---

#### **3.1. Síntesis de las condiciones hidrográficas**

Durante el año 2012, los valores de TS y TF fueron en general superiores que en 2013 y 2014. En 2012 los valores de temperatura superficial (TS) variaron entre  $-1,01^{\circ}$  y  $1,79^{\circ}\text{C}$ , en 2013 entre  $-1,76^{\circ}$  y  $1,34^{\circ}\text{C}$  y en 2014 entre  $-1,85^{\circ}$  y  $1,53^{\circ}\text{C}$ . Por su parte, la TF varió entre  $-1,05^{\circ}$  y  $1,80^{\circ}\text{C}$  en 2012,  $-1,75^{\circ}$  y  $1,13^{\circ}\text{C}$  en 2013 y entre  $-1,86^{\circ}$  y  $1,48^{\circ}\text{C}$  en 2014. En los tres años los valores máximos de TS y TF se registraron en verano y los menores en invierno, de acuerdo con la disminución de la radiación solar (Tabla 2). Sin embargo, la ocurrencia de los valores máximos y mínimos variaron interanualmente para TS y TF, siendo los máximos más altos en 2012 (TS:  $1,78^{\circ}\text{C}$ ; TF:  $1,77^{\circ}\text{C}$ ), que en 2013 (TS:  $1,06^{\circ}\text{C}$ ; TF:  $0,94^{\circ}\text{C}$ ) y 2014 (TS:  $1,22^{\circ}\text{C}$ ; TF:  $1,01^{\circ}\text{C}$ ), y el valor mínimo fue mayor en 2012 (TS:  $-1,01^{\circ}\text{C}$ ; TF:  $-1,05^{\circ}\text{C}$ ), que en 2013 (TS:  $-1,74^{\circ}\text{C}$ ; TF:  $-1,75^{\circ}\text{C}$ ) y 2014 (TS:  $-1,86^{\circ}\text{C}$ ; TF:  $-1,86^{\circ}\text{C}$ ). En general, en 2012 y 2013 los valores de TS y las TF fueron mayores en el sitio más alejado del glaciar (E3) que en el más cercano (E1) para la mayoría de las estaciones del año. De manera opuesta, en 2014 para la mayor parte del año, los valores promedio de TS y TF fueron mayores en E1 que en E3 (Tabla 2).

La estructura vertical de la columna de agua fue relativamente homogénea durante los tres años estudiados y principalmente en otoño/invierno en ambos sitios de la caleta. En el inicio del verano de los tres años estudiados la columna de agua se encontró levemente estratificada térmicamente, con una termoclina a aproximadamente 5 m de profundidad, que fue debilitándose hacia fines de verano/inicios de otoño (Fig. 3A, B).

Los valores de salinidad superficial (SS) y salinidad de fondo (SF) fueron similares a lo largo de los tres años estudiados, aunque levemente más bajos en 2012 que en los dos años siguientes (Tabla 2). En 2012 la salinidad osciló entre 33,77 - 34,17 en superficie y 33,87 - 34,17 en el fondo, en 2013 entre 33,86 - 34,23 en superficie y 34 - 34,20 en el fondo, en 2014 estuvo entre 33,58 - 34,27 y 33,73 - 34,17, en superficie y fondo, respectivamente. En general en todo el periodo 2012-2014, las aguas superficiales fueron más diluidas que las de fondo, y en ambos estratos los valores de S fueron menores en E1 que en E3. En 2012, los valores promedio de S fueron  $33,98 \pm 0,10$  en superficie y  $34 \pm 0,07$  en el fondo para la E1, mientras que en la E3 en estratos superiores fueron  $34 \pm 0,11$  y en el fondo  $34,02 \pm 0,09$ .

En el año 2013, los valores de S promedio fueron  $34,04 \pm 0,06$  en superficie y  $34,09 \pm 0,05$  en el estrato de fondo sobre E1, mientras que en E3 fueron  $34,11 \pm 0,05$  y  $34,11 \pm 0,04$  en superficie y fondo, respectivamente. En 2014 se registraron valores de S de  $33,95 \pm 0,15$  en superficie y  $34,02 \pm 0,11$  hacia el fondo en E1, y en E3 de  $34,06 \pm 0,03$  en superficie y  $34,05 \pm 0,04$  en el fondo. Este gradiente salino puede ser debido a la influencia de aporte de agua dulce proveniente del derretimiento glaciario, que se extiende desde la zona de E1 por la capa superficial de la caleta hacia E3. En general durante los tres años, los valores de salinidad aumentaron desde finales de verano hacia los meses más fríos, particularmente en los primeros 5 m de profundidad (verano: 33,70 - 33,92; invierno: 34,02 - 34,10). En particular en 2012 se registraron picos de salinidad en marzo-abril en E3, y en los meses de julio a octubre en ambos sitios en superficie (promedio otoño E1 33,82 y E3 34,02; máximo 34,5) (Fig. 3 C, D), y los valores mínimos de SS ( $< 34$ ) en verano sobre la E1 (33,70), en comparación con los años 2013 (33,90) y 2014 (33,92). En 2012 asimismo se destaca una abrupta diferencia en los valores de SS y SF en E1 a partir de *ca.* 10 m de profundidad. En 2013 se registraron los valores más altos de SF, con promedios de  $34,09 \pm 0,05$  para la E1 y  $34,11 \pm 0,04$  para la E3 (Tabla 2; Fig. 3C, D).

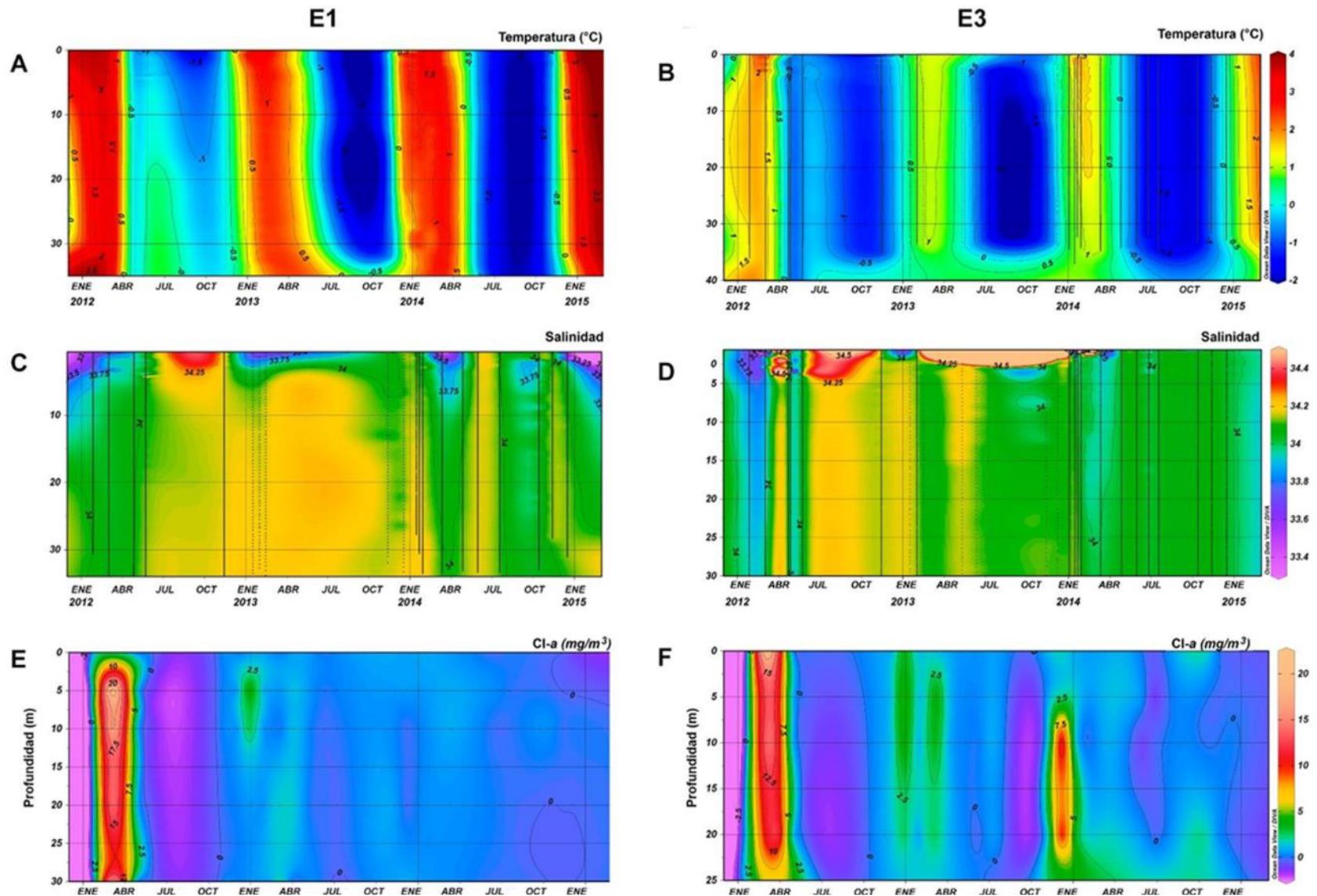
Los valores de concentración de Cl-*a* en la columna de agua en el periodo estudiado variaron ampliamente, registrándose entre 0,07 - 26,56 mg/m<sup>3</sup> en superficie y entre 0,13 - 20,02 mg/m<sup>3</sup> en el fondo. Los valores máximos de Cl-*a* se encontraron en el año 2012, con valores promedio entre 2,9 y 4,7 mg/m<sup>3</sup> y valores excepcionalmente altos de 26,57 mg/m<sup>3</sup> en la E1 y 20,76 mg/m<sup>3</sup> y E3 hacia fines de marzo. En verano de 2012, se registraron valores promedio elevados en comparación con los dos años siguientes, alcanzando  $5,84 \pm 8,90$  mg/m<sup>3</sup> en la E1 y  $7,76 \pm 6,83$  mg/m<sup>3</sup> en la E3. En 2013 y 2014 fueron comparativamente menores, siendo cercanos a 1 mg/m<sup>3</sup> (0,29 - 1,68 mg/m<sup>3</sup>) durante la mayor parte del año. En particular en el año 2013 los promedios rondaron entre 0,17 - 1,68 mg/m<sup>3</sup>, con valores máximos de 14,69 mg/m<sup>3</sup> en superficie y 12,68 mg/m<sup>3</sup> en fondo de la E3, durante la primavera. Durante el 2014 se registraron los valores más bajos de Cl-*a*, variando entre 0,29 y 0,59 mg/m<sup>3</sup>, siendo en general menores en E1 que en E3. En particular en 2014, se registraron valores relativamente mayores en la E3 durante los meses más cálidos, tanto en superficie como en el fondo ( $1,06 \pm 0,59$  mg/m<sup>3</sup> y  $1,39 \pm 0,96$  mg/m<sup>3</sup>, respectivamente) (Tabla 2; Fig. 7E, F).

**Tabla 2.** Valores de temperatura (°C), salinidad y clorofila-*a* (Cl-*a*, mg/m<sup>3</sup>) (promedio±desvío estándar D.E. y rango de valores mínimo y máximo) por año (2012-2014), sitio (E1 y E3), estación del año y estrato de profundidad (superficie y fondo) en Caleta Potter. sd = sin datos.

Año	Sitio	Estación del año	Estrato	Temperatura (°C)		Salinidad		Cl- <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )			
				Promedio ± D.E.	Mín.-Máx.	Promedio± D.E.	Mín.-Máx.	Promedio ±D.E.	Mín.-Máx.		
2012	E1	Verano	Superficie	1,82±0,14	1,66-1,78	33,70±0,19	33,77-33,93	5,84±8,90	1,94-26,57		
			Fondo	1,64±0,09	1,45-1,75	33,95±0,03	33,82-33,98	5,48±8,64	0,93-20,03		
		Otoño	Superficie	(-0,83)±0,09	(-0,83)-(-0,69)	33,82±1,41	33,88-34,01	0,30±0,11	0,13-0,47		
			Fondo	(-0,61)±0,12	(-0,74)-(-0,48)	34,02±0,03	33,98-34,06	0,32±0,18	0,13-0,47		
		Invierno	Superficie	sd	sd	sd	sd	sd	sd		
			Fondo	sd	sd	sd	sd	sd	sd		
		Primavera	Superficie	(-0,61)±0,02	(-0,63)-(-0,62)	34,12±0,03	34,10-34,12	0,76±0,44	0,76-1,20		
			Fondo	(-0,64)±0,02	(-0,66)-(-0,62)	34,11±0,01	34,10-34,12	0,42±0,33	0,13-0,87		
		2013	E1	Verano	Superficie	1,04±0,23	0,62-1,10	33,90±0,21	33,57-34,12	0,73±0,44	0,00-1,54
					Fondo	0,73±0,29	0,46-0,87	34,12±0,05	34,09-34,14	1,57±0,75	0,60-2,67
Otoño	Superficie			(-0,71)±0,50	(-1,19)-(-0,20)	34,05±0,05	34,06-34,11	0,88±0,71	0,19-2,00		
	Fondo			(-0,65)±0,44	(-1,20)-(-0,07)	34,11±0,06	34,11-34,19	0,61±0,80	0,00-2,14		
Invierno	Superficie			(-1,75)±0,02	(-1,75)-(-1,74)	34,10±0,02	34,10-34,11	0,49±0,20	0,27-0,67		
	Fondo			(-1,74)±0,01	(-1,75)-(-1,74)	34,12±0,01	34,11-34,12	0,00±0,09	0,00-0,00		
Primavera	Superficie			0,33±0,86	(-0,84)-(0,70)	34,00±0,03	33,95-34,04	0,80±0,43	0,00-1,20		
	Fondo			(-0,09)±0,69	(-1,11)-(-0,40)	34,00±0,03	34,02-34,07	0,92±0,62	0,00-1,34		
2014	E1			Verano	Superficie	1,15±0,27	1,06-1,44	33,92±0,24	33,76-34,07	1,02±0,31	0,53-1,34
					Fondo	0,83±0,31	0,80-0,99	34,08±0,08	33,88-34,11	0,78±0,11	0,67-0,93
		Otoño	Superficie	(-0,54)±0,40	(-1,09)-(-0,11)	33,89±0,16	33,86-34,11	sd	sd		
			Fondo	(-0,58)±0,51	(-1,12)-(-1,01)	34,06±0,04	34,07-34,11	sd	sd		
		Invierno	Superficie	(-1,84)±0,02	(-1,86)-(-1,83)	34,02±0,02	33,99-34,02	0,26±0,25	0,00-0,67		
			Fondo	(-1,85)±0,01	(-1,86)-(-1,85)	34,03±0,00	34,02-34,03	0,08±0,46	0,13-0,40		
		Primavera	Superficie	(-0,36)±1,13	(-0,63)-(-0,62)	33,84±0,32	33,58-34,05	0,19±0,32	0,00-0,93		
			Fondo	(-0,64)±0,91	(-0,63)-(-0,63)	34,00±0,08	33,73-34,06	0,01±0,03	0,00-0,07		

Tabla 2. Continuación.

Año	Sitio	Estación del año	Estrato	Temperatura (°C)		Salinidad		Cl-a (mg/m <sup>3</sup> )	
				Promedio± D.E.	Mín.-Máx.	Promedio ± D.E.	Mín.-Máx.	Promedio± D.E.	Mín.-Máx.
2012	E3	Verano	Superficie	1,87±0,36	1,58-1,79	33,83±0,20	33,81-33,90	7,76±6,83	1,94-20,76
			Fondo	1,62±0,08	1,58-1,79	33,95±0,03	33,91-33,97	5,47±4,99	1,87-13,22
		Otoño	Superficie	(-0,61)±0,09	(-0,63)-(-0,49)	34,02±0,05	34,03-34,08	4,17±5,73	0,20-12,68
			Fondo	(-0,60)±0,08	(-0,54)-(-0,42)	34,02±0,02	34,03-34,09	4,78±6,87	0,27-13,68
		Invierno	Superficie	sd	sd	sd	sd	sd	sd
			Fondo	sd	sd	sd	sd	sd	sd
		Primavera	Superficie	(-0,84)±0,16	(-1,01)-(-0,83)	34,16±0,07	34,11-34,18	0,90±0,06	0,80-0,93
			Fondo	(-1,03)±0,02	(-1,05)-(-0,97)	34,15±0,00	34,13-34,16	0,88±0,15	0,67-1,00
2013	E3	Verano	Superficie	0,83±0,14	0,50-1,03	34,12±0,03	34,05-34,16	1,87±1,38	0,40-4,47
			Fondo	0,65±0,27	0,45-1,00	34,12±0,04	34,05-34,16	1,60±1,01	0,27-2,67
		Otoño	Superficie	(-0,40)±0,48	(-0,73)-(-0,18)	34,17±0,04	34,13-34,22	0,49±0,32	0,00-1,00
			Fondo	(-0,26)±0,40	(-0,69)-(-0,15)	34,14±0,02	34,13-34,18	0,59±0,38	0,00-1,07
		Invierno	Superficie	(-1,46)±0,01	(-1,46)-(-1,44)	34,10±0,00	34,09-34,10	0,87±0,20	0,67-1,07
			Fondo	(-1,47)±0,01	(-1,47)-(-1,46)	34,10±0,00	34,10-34,10	0,97±0,14	0,87-1,07
		Primavera	Superficie	0,45±0,67	(-0,84)-(-0,97)	34,03±0,03	34,01-34,05	3,58±5,45	0,93-14,69
			Fondo	(-0,21)±0,66	(-1,11)-(-0,89)	34,07±0,04	34,02-34,10	3,70±6,00	0,27-12,68
2014	E3	Verano	Superficie	1,40±0,37	0,96-1,00	34,06±0,11	33,96-34,10	1,06±0,59	0,27-2,07
			Fondo	0,96±0,22	0,83-1,03	34,10±0,03	33,95-34,11	1,39±0,96	0,53-2,54
		Otoño	Superficie	(-0,31)±0,72	(-0,94)-(-0,07)	34,04±0,05	34,04-34,08	0,31±0,54	0,00-0,93
			Fondo	0,09±0,82	(-0,93)-(-0,07)	34,04±0,04	34,04-34,08	0,57±0,24	0,40-0,73
		Invierno	Superficie	(-1,53)±0,01	(1,59)-(-1,52)	34,04±0,00	34,02-34,05	0,04±0,08	0,00-0,20
			Fondo	(-1,51)±0,01	(-1,58)-(-1,51)	34,05±0,00	34,04-34,05	0,06±0,07	0,00-0,13
		Primavera	Superficie	(-0,82)±0,60	(-0,81)-(-0,79)	34,06±0,02	34,05-34,07	0,26±0,68	0,00-2,07
			Fondo	(-0,70)±0,73	(-0,79)-(-0,78)	34,06±0,02	34,07-34,08	0,42±0,93	0,00-2,30



**Figura 3.** Dinámica temporal de las variables oceanográficas en Caleta Potter. Perfiles verticales de (A, B) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), (C, D) salinidad y (E, F) clorofila-*a* (CI-*a*,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) a lo largo del año durante el periodo 2012-2014 por sitio (E1 y E3).

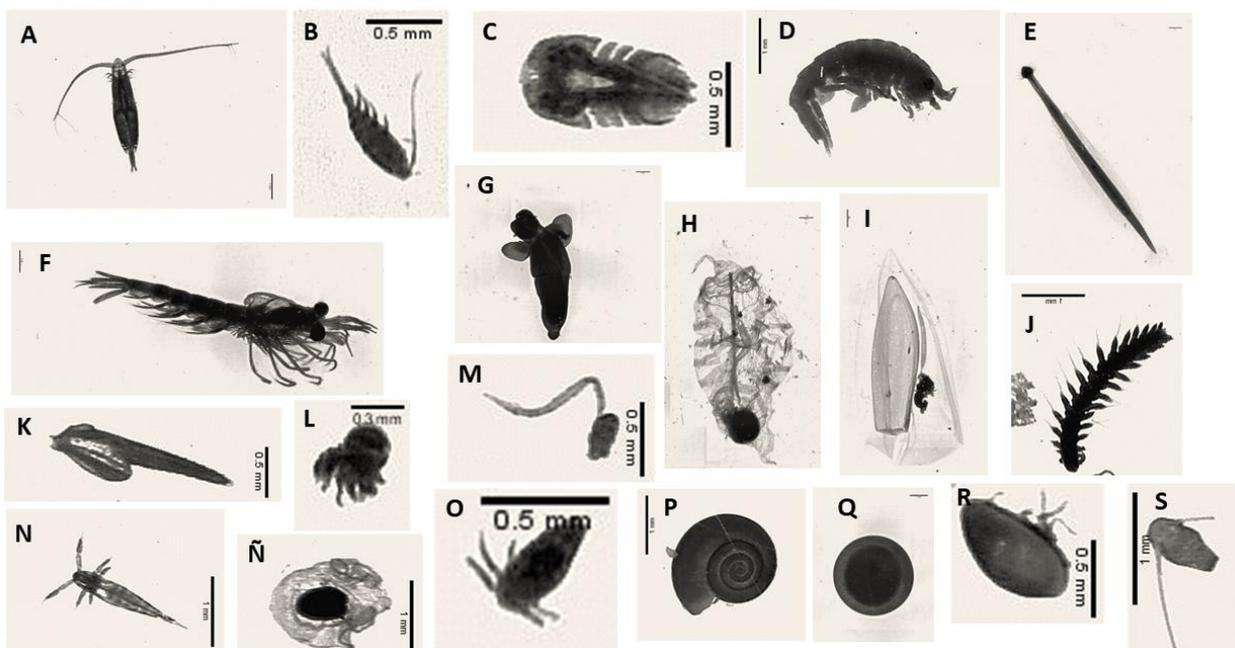
### 3.2. Composición y patrones de distribución del mesozooplancton

En un total de 78 muestras digitalizadas, se obtuvieron 360 imágenes, a partir de las cuales se identificaron un total de 35500 individuos del mesozooplancton, pertenecientes a 14 grupos/taxones (Tabla 3). La clasificación del mesozooplancton se realizó hasta el menor nivel taxonómico posible, el cual fue variable en cada caso. En total, el mesozooplancton estuvo representado por 19 categorías taxonómicas, considerando todos los niveles que se lograron identificar. En particular, los copépodos identificados se distribuyeron en tres órdenes (Calanoidea, Cyclopoida y Harpacticoida). Entre las apendicularias se identificaron representantes de los géneros *Fritillaria* y *Oikopleura*. El resto de los taxones fueron identificados hasta niveles taxonómicos superiores, entre los que se encontraron Amphipoda, Euphausiidae (krill), Chaetognatha, Salpida, Siphonophora, Pteropoda, Cladocera y Cnidaria (medusas). Además, se encontraron organismos del meroplancton, tales como larvas nauplio, zoea, pluteus, larvas de decápodos, poliquetos, braquiolarios y ascidias, y huevos (Fig. 4).

**Tabla 3.** Composición de grupos/taxones mesozooplanctónicos identificados en Caleta Potter durante 2012, 2013 y 2014. *FN* = frecuencia numérica; *FO* = frecuencia de ocurrencia.

Año	2012		2013		2014	
	Abundancia (Ind/m <sup>3</sup> )		Abundancia (Ind/m <sup>3</sup> )		Abundancia (Ind/m <sup>3</sup> )	
	<i>FN</i>	<i>FO</i>	<i>FN</i>	<i>FO</i>	<i>FN</i>	<i>FO</i>
Grupos/ taxones						
Copépodos	79,10	100	90,31	100	48,61	100
<i>Ciclopoideos</i>	84,82	100	73,12	100	68,31	100
<i>Calanoideos</i>	14,69	100	26,01	100	19,08	100
<i>Harpacticoideos</i>	0,50	86	0,88	100	12,62	100
Apendicularias	16,78	100	0,40	75	0,11	29
Anfípodos	0,42	86	6,52	88	27,93	86
Meroplancton	2,91	100	0,93	100	0,62	100
Cladóceros	0,004	29	0,01	13	0	0
Huevos	0,23	71	0,14	63	21,76	71
Eufáusidos	0,22	86	0,15	100	0,56	71
Ostracódos	0,06	57	1,21	50	0,03	71
Pterópodos	0,07	43	0,13	75	0,001	14
Chaetognatos	0,20	57	0,17	100	0,29	100
Sifonóforos	0,001	43	0,03	50	0,08	14
Moluscos	0,01	29	0	0	0	0
Salpas	0	0	0,0001	25	0,01	43
Medusas	0,001	14	0	0	0	0

Durante la serie temporal de tres años estudiados, los copépodos constituyeron el grupo más abundante de todo el mesozooplancton representando entre el 49 - 91 % del total (Fig. 5), con abundancias promedio similares en los tres años:  $2,72 \pm 21,02$  ind/m<sup>3</sup> en 2012,  $3,58 \pm 19,82$  ind/m<sup>3</sup> en 2013, y  $2,96 \pm 11,34$  ind/m<sup>3</sup> en 2014 (Tablas 3 y 4). En términos relativos, en 2013 la abundancia respecto a los otros grupos del mesozooplancton fue mayor que en 2012 y 2014, mientras que en 2014 fue la menor. Entre los copépodos, los ciclopoideos fueron el orden dominante durante los tres años, representando entre el 68 - 85 % del total de copépodos (Tabla 3), alcanzando una abundancia máxima de 236,42 ind/m<sup>3</sup>, y promedios entre  $14,31 \pm 55,47$  y  $4,57 \pm 11,38$  ind/m<sup>3</sup>. Los copépodos calanoideos fueron el segundo orden de copépodos más abundante (15-26 %), con un valor máximo de 68,84 ind/m<sup>3</sup>, y promedios entre  $3,88 \pm 13,38$  y  $1,06 \pm 2,29$  ind/m<sup>3</sup>. Por último, los copépodos harpacticoideos alcanzaron abundancias relativas entre 1 y 13 %, y un máximo de 204,31 ind/m<sup>3</sup>. Las abundancias relativas de los grupos taxonómicos menos abundantes que los copépodos resultaron muy variables para los tres años estudiados.



**Figura 4.** Composición de la comunidad mesozooplanctónica de Caleta Potter, identificada a partir del método automático *Zoolmage*. (A) Copépodo calanoideo. (B) Copépodo ciclopoideo. (C) Copépodo harpacticoideo. (D) Anfípodo. (E) Quetognato. (F) Eufáusido. (G) Pterópodo. (H) Salpa. (I) Sifonóforo. (J) Larva de poliqueto. (K) Larva de ascidia. (L) Cladóceros. (M) Apendicularia. (N) Larva de decápodo. (Ñ) Larva brachiolaria. (O) Larva nauplio. (P) Molusco. (Q) Huevos. (R) Ostrácodo. (S) Larva pluteus.

**Tabla 4.** Valores de abundancia (ind/m<sup>3</sup>) y biomasa (µg/m<sup>3</sup>) (total, promedio±desvío estándar D.E., rango mínimo y máximo) de los grupos/taxones mesozooplactónicos identificados por año (2012-2014) en Caleta Potter.

Taxones	2012			2013			2014		
	Total	Promedio±D.E.	Mín.-Máx.	Total	Promedio±D.E.	Mín.-Máx.	Total	Promedio±D.E.	Mín.-Máx.
<b>Abundancias (ind/m<sup>3</sup>)</b>									
Copépodos	354,1	2,72±21,02	0,0001-236,42	455,05	3,58±19,82	0,0001-204,31	325,42	2,96±11,34	0,0001-81,27
Apendicularias	75,12	2,35±6,17	0,0001-31,80	1,99	0,18±0,44	0,0001-1,50	0,74	0,19±0,27	0,004-0,58
Anfípodos	1,89	0,14±0,44	0,00004-1,66	32,85	1,83±7,56	0,0001-32,11	187	10,39±42,18	0,0005-179,33
Meroplancton	13,01	0,19±0,79	0,00004-5,0	4,7	0,08±0,38	0,0001-2,92	4,14	0,10±0,21	0,0001-1,09
Cladóceros	0,02	0,005±0,005	0,002-0,01	0,042		0-0,042	0	0	0
Huevos	1,02	0,10±0,26	0,0004-0,83	0,73	0,09±0,15	0,002-0,43	145,65	13,24±43,65	0,0002-144,84
Eufáusidos	0,96	0,06±0,21	0,001-0,83	0,78	0,05±0,08	0,0001-0,25	3,75	0,21±0,40	0,0001-1,44
Ostrácodos	0,26	0,05±0,11	0,0001-0,26	6,07	0,76±2,05	0,0003-5,84	0,2	0,03±0,06	0,004-0,15
Pterópodos	0,32	0,03±0,04	0,0006-0,14	0,66	0,06±0,10	0,0001-0,33	0,004	-	0-0,004
Quetognatos	0,91	0,10±0,27	0,0007-0,83	0,83	0,06±0,09	0,0001-0,28	1,94	0,16±0,35	0,0002-1,20
Sifonóforos	0,006	0,002±0,001	0,0003-0,003	0,16	0,02±0,04	0,0002-0,11	0,55	-	0-0,55
Moluscos	0,03	0,01±0,010	0,004-0,02	0	0	0	0	0	0
Salpas	0	0	0	0,0003	0,0002±0,00002	0,0001-0,0002	0,08	0,02±0,03	0,002-0,06
Medusas	0,003	-	0-0,003	0	0	0	0	0	0
<b>Biomásas (µg/m<sup>3</sup>)</b>									
Copépodos	23535,38	1307,52± 5179,43	0,16-22026,49	6671,58	208,49±559,76	0,10-2974,81	13108,59	468,16±1499,31	0,006-7786,55
Apendicularias	272,34	16,02 ±35,50	0,0005-136,17	4,34	0,39±0,88	0,0001-2,95	2,99	1,20±1,21	0,006-2,54
Anfípodos	41294,75	5161,84 ±14074,68	0,0005-39978,47	7673,44	426,30±1577,05	0,06-6718,34	4,52x10 <sup>5</sup>	2,5x10 <sup>4</sup> ±1,03x10 <sup>5</sup>	0,46-4,36x10 <sup>5</sup>
Meroplancton	105,19	7,01±25,28	0,001-98,39	486,4	23,16±85,06	0,003-390,35	39,08	3,40±5,95	0,0001-27,73
Cladóceros	0,10	-	0-0,10	0,20	-	0-0,20	0	0	0
Huevos	2442,55	152,66±603,01	0,001-2413,93	2,50x10 <sup>4</sup>	403,14±1009,58	0,003-4358,40	3557,52	36,3±43,96	0,0003-167,41
Eufáusidos	348,23	34,82±53,78	0,67-179,51	6174,88	385,93±733,38	0,001-2732,47	6841,94	360,11±709,69	0,04-2267,67
Ostrácodos	0,007	-	0-0,007	15,77	1,97±5,41	0,0006-15,37	0,61	0,10±0,20	0,007-0,52
Pterópodos	282,47	40,35±89,23	0,005-242,27	2774,44	231,2±520,27	0,04-1693,27	0,15	-	0-0,15
Quetognatos	1800,23	300,04±692,17	0,05-1712,27	1231,07	82,07±183,85	0,0001-718,88	2105,99	300,86±546,04	0,03-1492,29
Sifonóforos	1,9	0,47±0,66	0,02-1,42	225,74	25,08±61,54	0,03-188,48	98,73	-	0-98,73
Moluscos	7,33	3,66±1,25	2,78-4,55	19,21	-	0-19,21	0	0	0
Salpas	0	0	0	0,02	0,01±0,005	0,006-0,01	164,88	82,44±2,67	80,55-84,3
Medusas	0,92	-	0-0,92	0	0	0	0	0	0

En 2012, las apendicularias ocuparon el segundo lugar en términos de abundancia, luego de los copépodos, representando el 17 % del total del mesozooplankton, con un promedio de  $2,35 \pm 6,17$  ind/m<sup>3</sup> y un máximo de 31,80 ind/m<sup>3</sup> (Fig. 5; Tablas 3 y 4). El meroplancton representó el 3 % del total, con una abundancia promedio de  $0,19 \pm 0,79$  ind/m<sup>3</sup> y un máximo de 5 ind/m<sup>3</sup>. Entre las categorías menos abundantes se encontraron los anfípodos (0,42 %), eufáusidos (0,22 %) y quetognatos (0,20 %), con abundancias promedio de  $0,14 \pm 0,44$  ind/m<sup>3</sup>,  $0,06 \pm 0,21$  ind/m<sup>3</sup> y  $0,10 \pm 0,27$  ind/m<sup>3</sup>, respectivamente. El resto de los grupos (cladóceros, ostrácodos, pterópodos, sifonóforos, medusas, moluscos y huevos) presentaron frecuencias numéricas menores a 0,1 % (0,0001 - 0,14 ind/m<sup>3</sup>) y abundancias promedio en general  $< 0,1$  ind/m<sup>3</sup>.

En 2013, los anfípodos fueron el segundo taxón más abundante luego de los copépodos, aunque con una frecuencia numérica marcadamente menor ( $FN = 7$  %), y una abundancia promedio de  $1,83 \pm 7,56$  ind/m<sup>3</sup>. Los ostrácodos y el meroplancton representaron aproximadamente el 1 % del total cada uno, con abundancias promedio de  $0,76 \pm 2,05$  y  $0,08 \pm 0,38$  ind/m<sup>3</sup>, respectivamente, mientras que el resto de los grupos alcanzaron valores menores a 0,2 ind/m<sup>3</sup>.

Por último, en 2014, al igual que en 2013, los anfípodos fueron el grupo taxonómico más abundante luego de los copépodos (28 %), con una abundancia promedio de  $10,39 \pm 42,18$  ind/m<sup>3</sup>, y máxima de 179,33 ind/m<sup>3</sup>. Se registraron huevos planctónicos con una frecuencia numérica del 22%, y una abundancia promedio similar a los anfípodos de  $13,24 \pm 43,65$  ind/m<sup>3</sup>. El meroplancton y los eufáusidos presentaron abundancias promedio de  $0,10 \pm 0,21$  y  $0,21 \pm 0,40$  ind/m<sup>3</sup>, respectivamente, alcanzando entre 0,6 – 1 % del total. El resto de los taxones presentaron frecuencias numéricas notoriamente menores (0,0002 – 1,20 ind/m<sup>3</sup>) (Fig. 5; Tablas 3 y 4).

La frecuencia de ocurrencia de los distintos taxones a lo largo de la serie temporal fue en general variable. Los únicos taxones que estuvieron presentes en todas las muestras examinadas ( $FO = 100$  %) durante los tres años fueron los copépodos y el meroplancton. Las apendicularias fueron muy frecuentes, principalmente en 2012 ( $FO = 100\%$ ) y en 2013 (75 %). Los eufáusidos se registraron con una ocurrencia del 86 % en las muestras de 2012, del 100 % en 2013, y 71 % en 2014, mientras que, los quetognatos fueron muy frecuentes, principalmente en 2013 y 2014 ( $FO = 100$  % en cada año), y aunque en menor medida, también prevalecieron en 2012 ( $FO = 57\%$ ). Los anfípodos fueron, asimismo, muy frecuentes (86 - 88 %) durante los tres años. Los ostrácodos estuvieron muy bien representados durante toda la serie temporal, con valores de ocurrencia de 57 %, 50 % y 71 %

de 2012 a 2014, respectivamente. Los pterópodos presentaron una frecuencia de ocurrencia muy variable los tres años, siendo poco frecuentes en 2012 (43 %), muy frecuentes en 2013 (75 %) y más bien raros en 2014 (14 %). Los sifonóforos variaron de frecuentes a raros los tres años, con una *FO* de 43 % en 2012, 50 % en 2013 y 14 % en 2014. Los cladóceros fueron poco frecuentes en 2012 y 2013 (29 -13 %) y estuvieron ausentes en 2014. Las salpas estuvieron ausentes en 2012 y fueron poco frecuentes en 2013 (25 %) y 2014 (43 %). Por último, los moluscos y medusas fueron ítems muy raros, presentes únicamente en 2012 con *FO* < 15 %.

En términos de variabilidad espacial del mesozooplankton (Fig. 6), en general los copépodos dominaron en ambos sitios y estratos de profundidad con abundancias relativas entre 43 y 96 %. En particular en 2012, en el sitio E1, las apendicularias dominaron alcanzando valores promedio de  $2,95 \pm 4,41$  ind/m<sup>3</sup> y  $4,03 \pm 9,98$  ind/m<sup>3</sup> en superficie y fondo, respectivamente; el resto de los grupos presentaron *FN* < 0,1 % (0,0001 - 0,83 ind m<sup>3</sup>) (Fig. 6A). En cambio, en la E3 en 2012 los copépodos dominaron en ambos estratos, alcanzando promedios de  $0,67 \pm 1,73$  ind/m<sup>3</sup>, y  $11,79 \pm 49,38$  ind/m<sup>3</sup> en superficie y fondo respectivamente, seguidos por las apendicularias y el meroplancton (Fig. 6A).

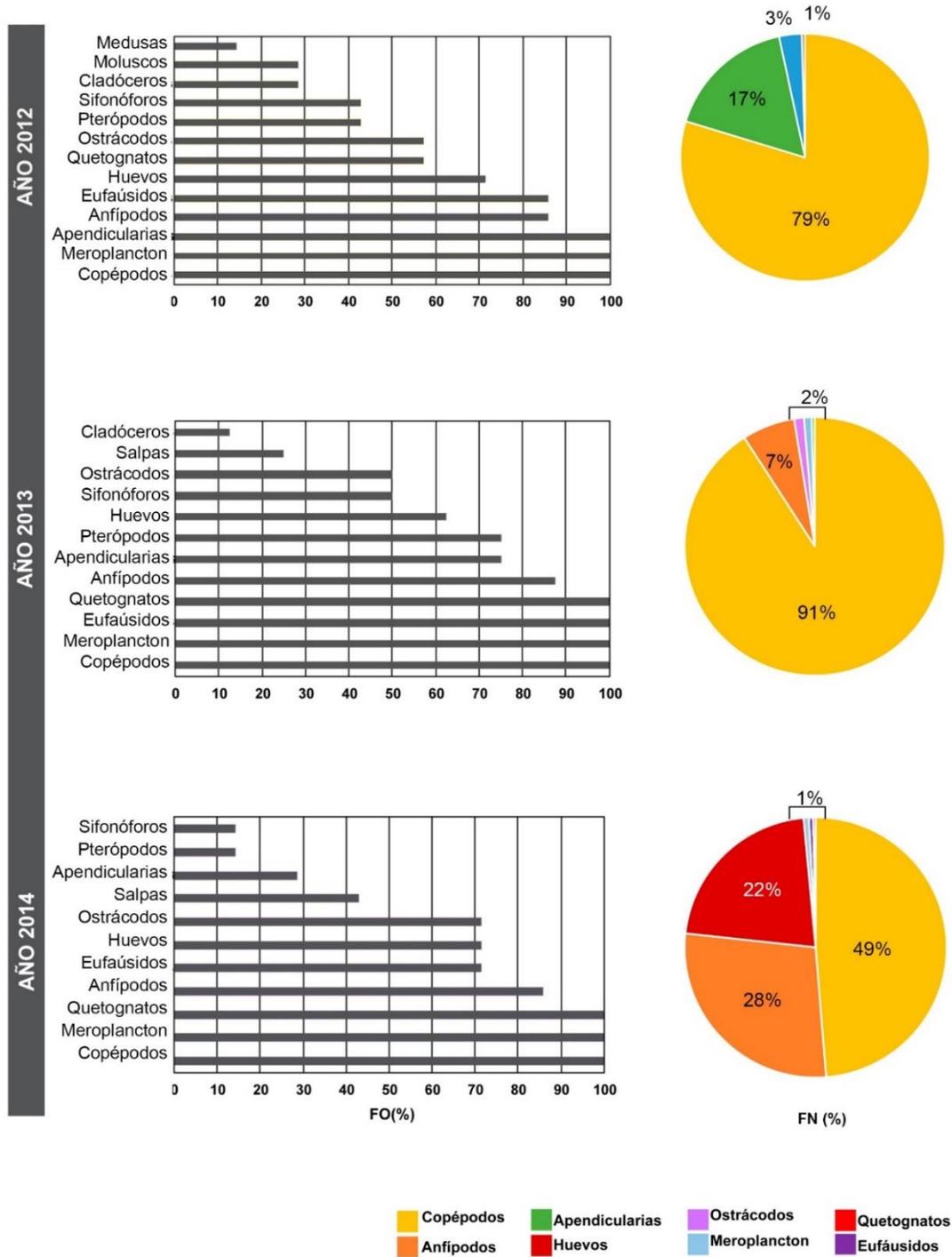
En el 2013 (Fig. 6B), los copépodos dominaron en abundancia en ambos sitios y en ambos estratos, representando entre el 85 y 96 % del total, con valores promedio que variaron entre  $0,33 \pm 0,39$  ind/m<sup>3</sup> y  $3,24 \pm 4,48$  ind/m<sup>3</sup> en E1, y entre  $0,30 \pm 1,04$  ind/m<sup>3</sup> y  $11,98 \pm 37,3$  ind/m<sup>3</sup> en E3, para los estratos superficie y fondo, respectivamente. Las apendicularias, meroplancton y anfípodos, entre otros, siguieron en abundancia a los copépodos en 2013. Durante el 2014 (Fig. 6C), en ambas estaciones los copépodos fueron el grupo más numeroso representando en términos generales entre el 80 - 85 % del total en la superficie con valores entre  $2,89 \pm 4,99$  ind/m<sup>3</sup> y  $1,12 \pm 1,34$  ind/m<sup>3</sup> en el sitio E1 y E3, respectivamente. El estrato de fondo de la E1 también estuvo dominado por los copépodos, pero su abundancia relativa fue menor (43 %,  $8,89 \pm 20,96$  ind/m<sup>3</sup>) seguida de cerca por anfípodos (31 %,  $30,04 \pm 73,14$  ind/m<sup>3</sup>) y huevos (25 %,  $72,43 \pm 102,41$  ind/m<sup>3</sup>) (Fig. 6C). En la E3 en superficie el krill siguió a los copépodos con  $0,35 \pm 0,62$  ind/m<sup>3</sup>. El resto de los grupos alcanzaron concentraciones mucho menores (*FN* < 8 % y abundancias < 0,1 ind/m<sup>3</sup>).

En términos de biomasa (µg/m<sup>3</sup>), los anfípodos constituyeron el grupo preponderante, con valores promedio muy variables los tres años ( $5161,84 \pm 14074,68$  µg/m<sup>3</sup> en 2012,  $426,30 \pm 1577,05$  µg/m<sup>3</sup> en 2013, y  $2,5 \times 10^4 \pm 1,03 \times 10^5$  µg/m<sup>3</sup> en 2014). Las biomásas relativas de los grupos taxonómicos que le siguieron a los anfípodos fueron muy variables los tres años estudiados. En 2012, los copépodos fueron el segundo grupo con

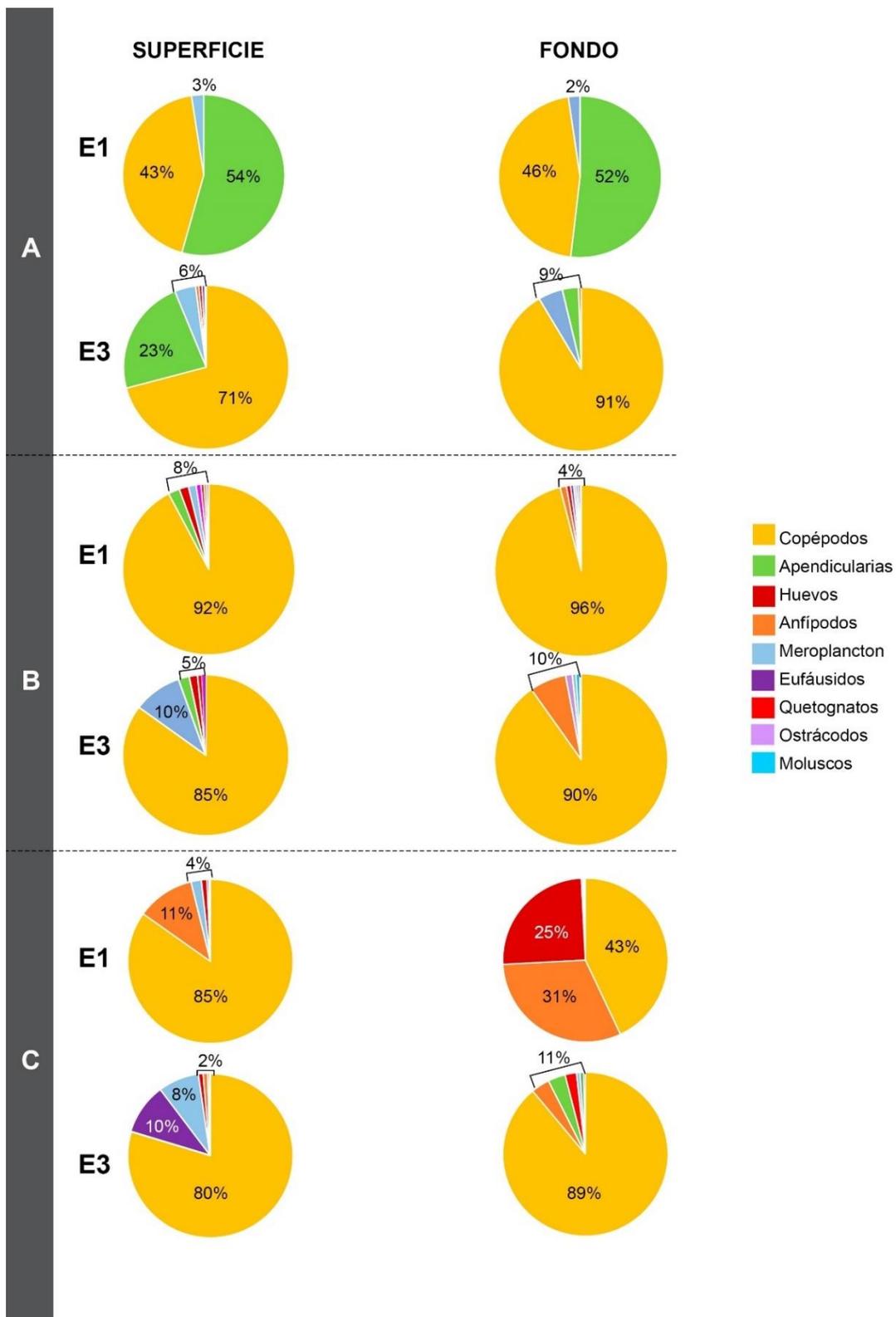
mayor biomasa (promedio:  $1307,5 \pm 5179,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Tabla 4), seguidos por los quetognatos y huevos ( $300,04 \pm 692,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $152,66 \pm 603,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente). Luego se encontraron los pterópodos, eufáusidos y apendicularias con valores relativamente menores (promedios:  $40,35 \pm 89,23$ ,  $34,82 \pm 53,78$ ,  $16,02 \pm 35,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), y el resto de los grupos alcanzaron valores de biomasa significativamente menores ( $0,47 \pm 0,66$ ,  $7,01 \pm 25,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En 2013, los huevos ( $403,14 \pm 1009,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y eufáusidos ( $385,93 \pm 733,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ocuparon el segundo y tercer lugar luego de los anfípodos (Tabla 4). Los pterópodos, copépodos y quetognatos representaron biomazas de  $231,2 \pm 520,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $208,49 \pm 559,76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $82,07 \pm 183,85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Los sifonóforos y meroplancton, con valores mucho más bajos, alcanzaron valores promedio de  $25,08 \pm 61,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $23,16 \pm 85,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y el resto de los grupos presentaron niveles de biomasa considerablemente inferiores (rango:  $0,01 - 1,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En 2014, los copépodos, eufáusidos y quetognatos siguieron a los anfípodos con promedios de  $468,16 \pm 1499$ ,  $360,11 \pm 709,69$  y  $300,8 \pm 546 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Los grupos restantes tuvieron biomazas entre  $82,44$  y  $0,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabla 4).

La distribución espacial de la biomasa de los taxones mesozooplancónicos fue muy variable a lo largo de los sitios y estratos en toda la serie temporal de tres años (Figs. 7, 8). En 2012 (Fig. 7A), en E1 los copépodos prevalecieron en superficie (promedio:  $330,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mientras que en el fondo dominaron los pterópodos con un 51 % (promedio:  $242,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), seguidos por los copépodos y el krill. En E3, por su parte, dominaron los anfípodos tanto en superficie (promedio:  $653,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) como en el fondo ( $2 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), seguidos por el krill en superficie (promedio:  $48,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y por los copépodos en el fondo (promedio:  $4,41 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Fig. 7A). En 2013 (Fig. 7B), en E1 los pterópodos prevalecieron en superficie representando el 67 % del total, seguidos por los copépodos y el krill, mientras que en las capas más profundas dominó el krill representando el 45 % del total, seguido por copépodos y pterópodos (Fig. 7B). Por otro lado, la biomasa del mesozooplancton en las capas superficiales de E3 estuvo mayormente representada por el krill (67 %) seguido por el meroplancton (20%) y otros grupos menores, mientras que hacia el fondo dominaron los anfípodos (51 %) seguidos por los copépodos (33 %) (Fig. 7B). En 2014 (Fig. 7C), la distribución de la biomasa espacialmente estuvo representada mayormente por los anfípodos en E1 (82 % en superficie y 97 % en el fondo), seguidos por los copépodos con valores mucho menores; en E3, la distribución de la biomasa varió en ambos estratos, siendo en

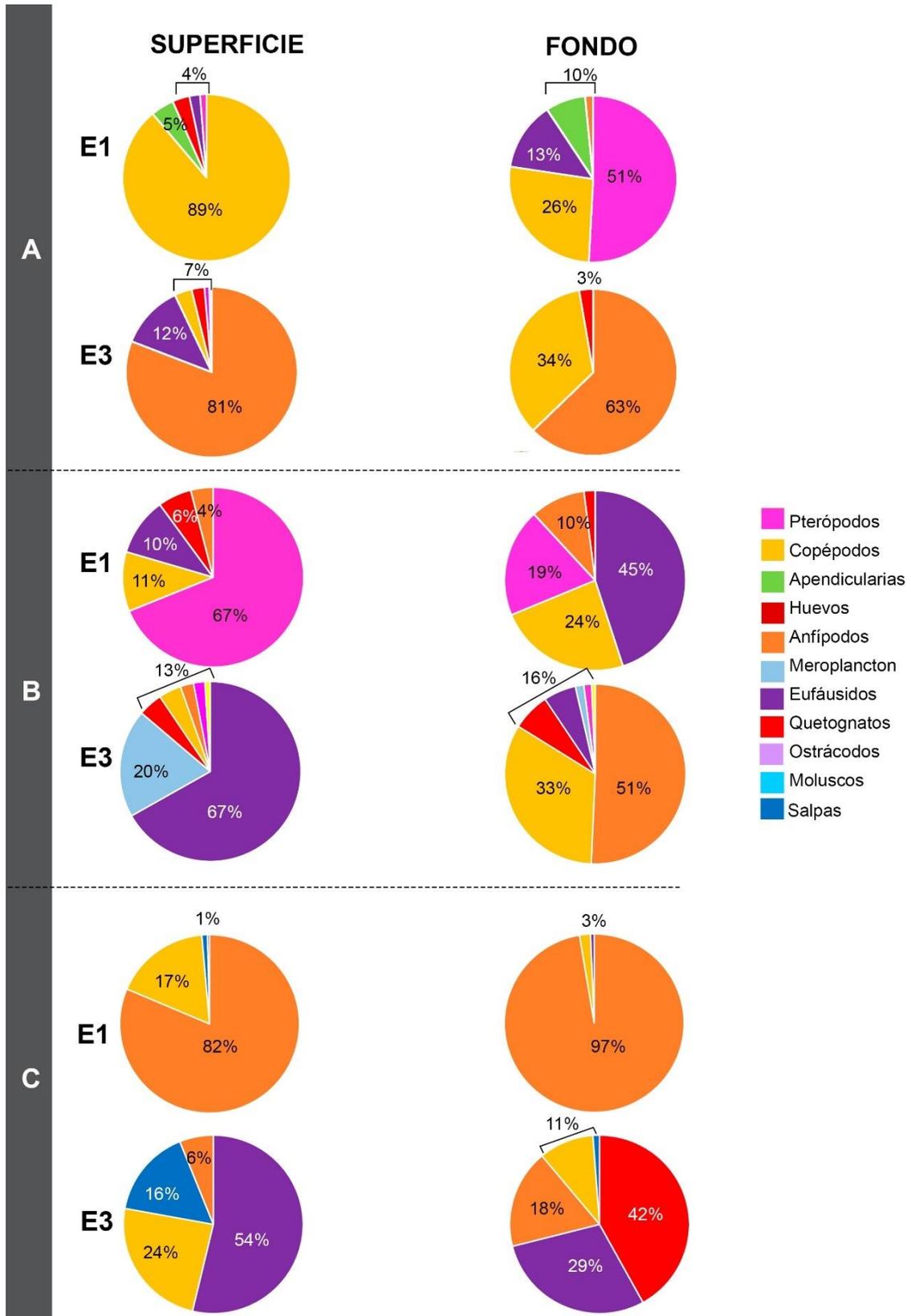
superficie dominante el krill, seguido de copépodos y salpas, y en el fondo dominaron los quetognatos (42 %), seguidos por el krill (29 %) y los anfípodos (18 %) (Fig. 7C).



**Figura 5.** Abundancia relativa o frecuencia numérica (*FN*) (panel derecho) y frecuencia de ocurrencia (*FO*) (panel izquierdo) de los grupos/taxones mesozooplanktónicos durante los años 2012, 2013 y 2014.



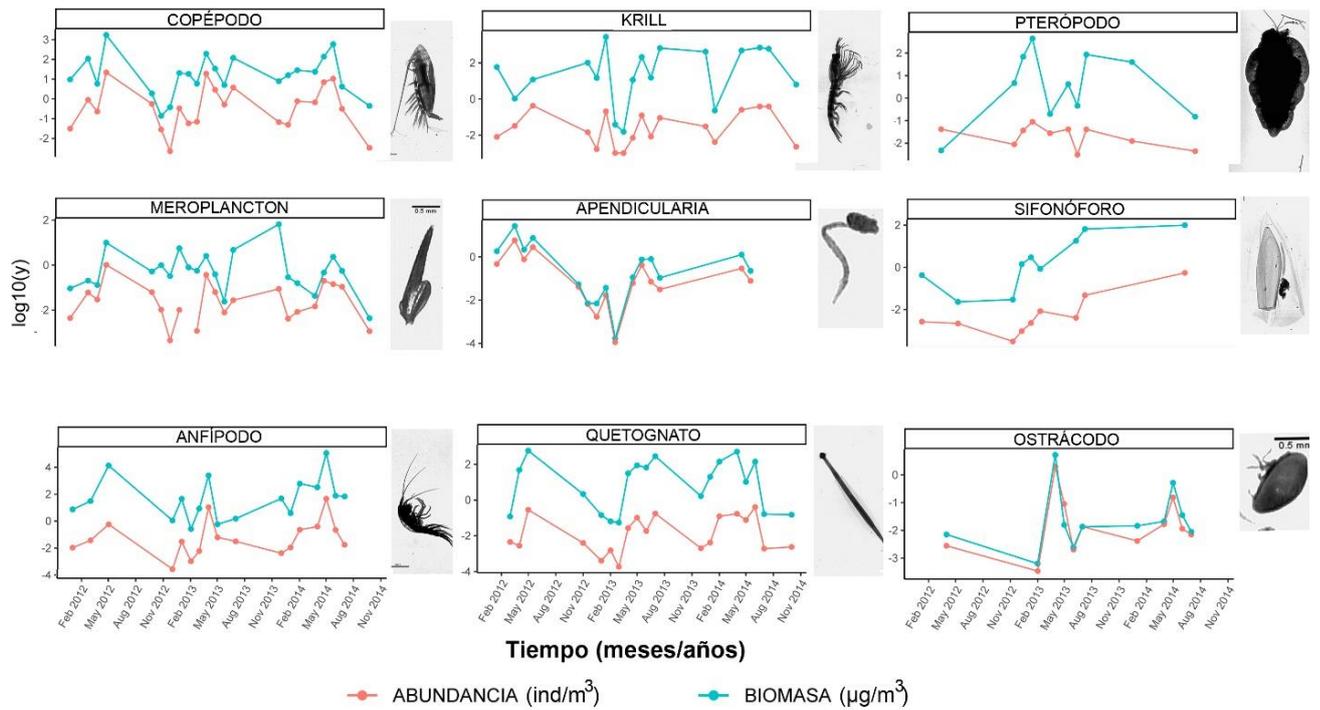
**Figura 6.** Abundancia relativa de los grupos/taxones mesozooplanktónicos por sitios (E1 y E3) y estratos de profundidad (superficie y fondo) durante los años (A) 2012, (B) 2013, (C) 2014.



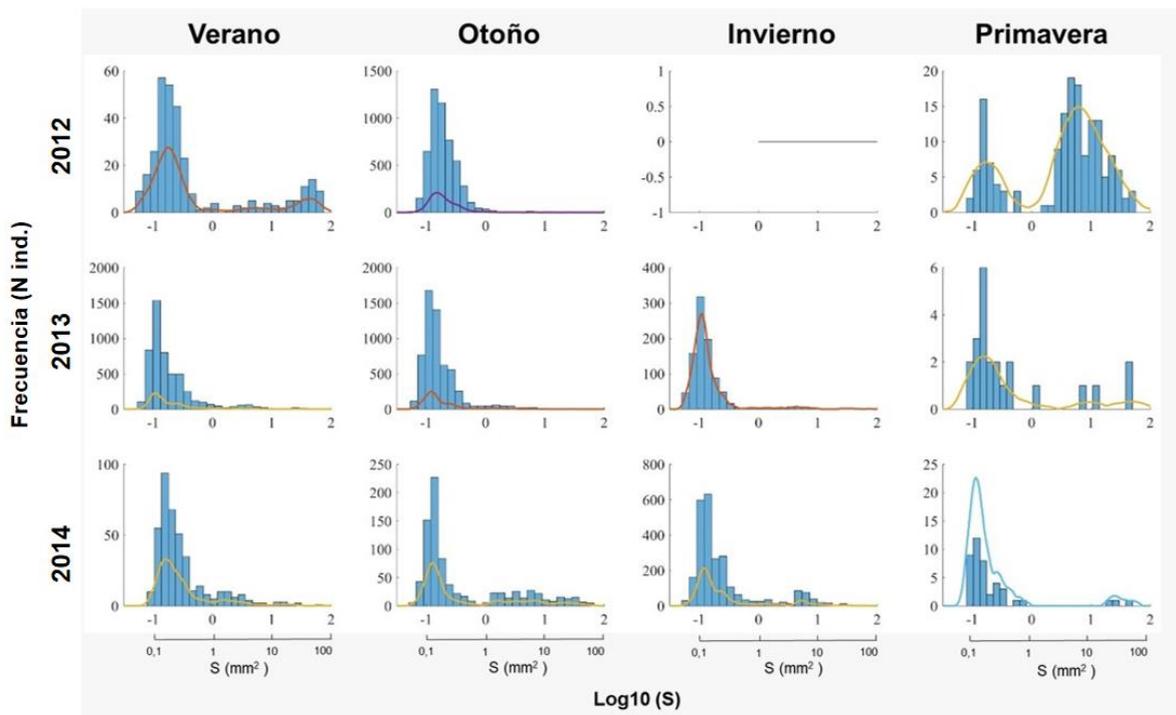
**Figura 7.** Biomasa relativa de los taxones/grupos mesozooplanctónicos por sitios (E1 y E3), y estratos de profundidad (superficie y fondo) durante los años (A) 2012, (B) 2013, (C) 2014.

La variación temporal (estacional e interanual) de la abundancia y la biomasa de los grupos/taxones a lo largo de los tres años estudiados fue marcada (Fig. 8). En términos generales, abundancias y biomásas mostraron una tendencia similar a lo largo del tiempo. Los copépodos, anfípodos, meroplancton, quetognatos y apendicularias presentaron los valores más altos de ambos parámetros durante el otoño. Por otro lado, los eufáusidos no presentaron un patrón tan definido como los grupos anteriores, quienes presentaron picos de abundancia en invierno y de biomasa en verano, los tres años estudiados. Los pterópodos, sifonóforos y ostrácodos fueron taxones menos frecuentes en las muestras, por lo cual su patrón de variación estacional e interanual fue menos claro (Fig. 8).

Un 73 % del total de organismos mesozooplanctónicos medidos ( $N = 31996$  ind.), fueron de tamaño relativamente pequeño, rondando entre  $0,1 - 1 \text{ mm}^2$ , y alcanzando una media de  $0,2 \text{ mm}^2$ . Se observaron variaciones estacionales e interanuales en la estructura de tamaño corporal del mesozooplancton durante los tres años de estudio (Fig. 9). En general, la distribución continua del área corporal del mesozooplancton mostró formas más bien asimétricas en los tres años y todas las estaciones del año, centradas mayormente entre  $0,1 - 1,0 \text{ mm}^2$ , correspondiente a las clases de menor tamaño relativo. En particular, en la primavera del 2012, si bien los rangos de menor tamaño relativo fueron asimismo frecuentes, la distribución del área corporal mostró valores mayormente centrados en clases de tamaño de mayor tamaño relativo, entre  $1,89 - 73,25 \text{ mm}^2$ , alcanzando abundancias máximas de  $\sim 20$  ind / $\text{m}^3$ . Los individuos con un área corporal entre  $0,1 - 1 \text{ mm}^2$  mostraron una concentración máxima variable en las distintas estaciones del año y años estudiados: por ejemplo, durante el verano fue de  $\sim 60$ ,  $1500$  y  $\sim 100$  ind/ $\text{m}^3$  en 2012, 2013 y 2014 respectivamente (Fig. 9). La distribución de tamaños observada se asocia con la composición taxonómica del mesozooplancton en las distintas estaciones del año.



**Figura 8.** Valores de abundancia y biomasa promedio (valores transformados a escala  $\log_{10}$ ) por mes del año, desde febrero 2012 a noviembre 2014, para los grupos/taxones dominantes mesozooplancónicas en Caleta Potter.



**Figura 9.** Histogramas de frecuencia para el área corporal ( $\text{mm}^2$ ) del mesozooplankton por año y por estación del año. La línea continua sobre los histogramas representa la probabilidad de densidad Kernel en la distribución de los datos. Los valores en el eje-x se trazaron en escala  $\log_{10}$  para una mejor claridad de la distribución de los datos. El eje-y indica el número de individuos por clase de tamaño.

### 3.3. Estructura de la comunidad mesozooplanctónica (PERMANOVA, ANOSIM, SIMPER)

El análisis de permutación detectó un efecto significativo de la profundidad sobre la abundancia de toda la comunidad mesozooplanctónica en conjunto ( $p = 0,04$ ); no se encontraron efectos significativos de ninguna variable explicativa considerada *a priori* sobre el total de biomasa del mesozooplancton (Análisis de Permutación,  $p < 0,05$ , valores F, Tabla 5).

Se detectó un efecto significativo del año de muestreo únicamente para los sifonóforos (Análisis de Permutación,  $p < 0,05$ , valores F, Tabla 5), los que fueron más abundantes en el 2014 que durante 2012 y 2013 (Tabla 5). La estación del año fue un factor significativo sobre las abundancias de copépodos, eufáusidos y salpas, así como sobre la biomasa de salpas (valores  $p$ , Tabla 5). En el caso de los copépodos, las diferencias estuvieron específicamente entre verano y otoño (efecto temporal, valores  $p$ , comparaciones *Post Hoc*, Test Tukey, Tabla 6), con valores promedio superiores en otoño que en verano (Fig. 8). El rango de abundancias promedio ( $\pm$  D.E.) para los copépodos en otoño, considerando los tres años, estuvo entre  $3,57 \pm 8,96$  y  $9,38 \pm 33,74$  ind/m<sup>3</sup> y para verano entre  $0,03 \pm 0,08$  -  $0,46 \pm 0,97$  ind/m<sup>3</sup>. Las comparaciones *Post Hoc* no detectaron diferencias entre estaciones del año para las abundancias de eufáusidos y salpas, ni para biomasa de salpas. Sin embargo, acorde a los valores promedio de abundancia por estación del año, los eufáusidos fueron más abundantes en invierno que en el resto del año, los tres años estudiados (Fig. 8; 2013:  $0,09 \pm 0,05$  ind/m<sup>3</sup>; 2014:  $0,39 \pm 0,56$  ind/m<sup>3</sup>). Del mismo modo, las salpas alcanzaron abundancias y biomasa promedio mayores en invierno que en el resto del año (Fig. 8; 2014:  $0,02 \pm 0,03$  ind/m<sup>3</sup> y  $221,59 \pm 305,77$   $\mu$ g/m<sup>3</sup>).

Se encontraron efectos significativos del sitio de muestreo sobre la abundancia de pterópodos y salpas, y para la biomasa de salpas (Análisis de Permutación,  $p < 0,05$ , valores F, Tabla 5). Las concentraciones y biomasa de las salpas fueron superiores en E3, mientras que las abundancias de los pterópodos fueron superiores en E1 (Tabla 4). El factor profundidad fue significativo sobre la abundancia de los copépodos, quetognatos y salpas, y sobre la biomasa de salpas (Análisis de Permutación,  $p < 0,05$ , valores F, Tabla 5). Los copépodos y quetognatos registraron mayores concentraciones en el estrato del fondo, mientras que las abundancias y biomasa de las salpas fueron mayores en superficie (Fig. 6 y 7). Para el resto de los grupos/taxones, el sitio de muestreo y la profundidad no fueron factores explicativos de sus abundancias y biomasa.

**Tabla 5.** Análisis de Permutación realizado para analizar las diferencias significativas en las abundancias y biomasa del mesozooplancton (variables respuesta) entre años, estaciones del año, sitios de muestreo (E1 y E3), profundidades, y sus interacciones (variables explicativas). Los valores estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95% están en negrita.

Variables respuesta/Variabes explicativas					
Abundancia	Valor-F	Valor-p	Biomasa	Valor-F	Valor-p
<b>Mesozooplancton total</b>	4,39	<b>0,04</b>			
<b>Copépodos</b>			<b>Quetognatos</b>		
Profundidad	6,69	<b>0,01</b>	Profundidad	4,11	0,051
Estación	2,74	<b>0,043</b>	<b>Pterópodos</b>		
<b>Meroplancton</b>			Sitio	3,53	0,076
Profundidad	2,92	0,09	<b>Ostrácodos</b>		
Estación	1,83	0,145	Profundidad	3,27	0,094
<b>Eufáusidos</b>			<b>Salpas</b>		
Estación	3,07	<b>0,039</b>	Profundidad	28388	<b>0,004</b>
<b>Quetognatos</b>			Sitio	33212	<b>0,003</b>
Profundidad	4,58	<b>0,04</b>	Estación	10619	<b>0,007</b>
<b>Pterópodos</b>					
Sitio	4,49	<b>0,048</b>			
<b>Ostrácodos</b>					
Profundidad	3,1	0,102			
<b>Sifonóforos</b>					
Año	144,04	<b>&lt;0,001</b>			
<b>Salpas</b>					
Profundidad	1993,26	<b>0,014</b>			
Sitio	2404,53	<b>0,013</b>			
Estación	769,04	<b>0,027</b>			

El análisis de similitud de una vía entre los grupos considerados *a priori* como potencialmente diferentes (ANOSIM, Tabla 7) indicó que no hubo diferencias significativas espaciales horizontales (*i.e.*, entre sitios de muestreo E1 y E3) ni verticales (*i.e.*, entre los dos estratos de profundidad superficie y fondo), ni temporales (entre años ni estaciones del año) en la estructura de la comunidad de mesozooplancton. Estos resultados mostraron una comunidad relativamente homogénea en toda el área de estudio. Los valores bajos de *R* (en general  $R < 0,25$ ) indicaron que los grupos presentaron pequeñas diferencias entre sí, mientras que negativos del estadístico *R* muestran que las diferencias dentro de los grupos fueron mayores que entre los grupos.

El análisis de disimilitud porcentual (SIMPER) mostró que los grupos/taxones típicos (i.e., aquellos que explicaron el mayor porcentaje de disimilitud entre sitios y profundidades en toda el área) fueron los copépodos ciclopoideos y calanoideos, los que a la vez fueron los dos taxones más abundantes y frecuentes en toda el área. Las apendicularias también contribuyeron en gran medida a la disimilitud entre sitios y profundidades, aunque únicamente en 2012 (Tabla 8). En menor medida, y diferencialmente cada año, el meroplancton, pterópodos, los copépodos harpacticoideos, anfípodos y eufáusidos, con abundancias y ocurrencias variables, pero relativamente importantes, contribuyeron significativamente a la disimilitud en el área (Tabla 8).

**Tabla 6.** Efecto temporal (Factores Año y Estaciones del año) sobre las abundancias y biomásas del mesozooplancton. Comparaciones *Post Hoc* (Test de Tukey) sobre los valores promedio de abundancias y biomásas de mesozooplancton entre periodos de tiempo.

Taxón	Variable respuesta	Comparación	Dif.	Inferior	Superior	P aju.
Copépodos	Abundancia	V-O	6,92	0,04	13,80	<b>0,05</b>
		V-I	4,22	-4,85	13,29	0,63
		V-P	-0,19	-9,64	9,26	0,99
		O-I	-2,70	-11,56	6,16	0,86
		O-P	-7,11	-16,36	2,14	0,19
		I-P	-4,41	-15,39	6,57	0,73
Eufáusidos	Abundancia	V-O	0,18	-0,13	0,48	0,42
		V-I	0,30	-0,02	0,62	0,07
		V-P	-0,01	-0,31	0,29	0,99
		O-I	0,12	-0,20	0,45	0,74
		O-P	-0,18	-0,49	0,12	0,39
		I-P	-0,31	-0,63	0,01	0,07
Sifonóforos	Abundancia	2013-2012	0,02	-0,03	0,07	0,64
		2014-2012	0,54	0,45	0,64	<b>&lt;0,0001</b>
		2014-2013	0,53	0,44	0,61	<b>&lt;0,0001</b>
Salpas	Abundancia	V-O	0,00	-0,20	0,20	1,00
		V-I	0,02	-0,14	0,17	0,92
		V-P	0,00	-0,19	0,20	0,99
		O-I	0,02	-0,14	0,17	0,92
		O-P	0,00	-0,19	0,20	0,99
		I-P	-0,02	-0,17	0,14	0,94
	Biomasa	V-O	-0,01	-2086,78	2086,77	1,00
		V-I	221,58	-1428	1871,32	0,91
		V-P	37,54	-2049,23	2124,31	0,99
		O-I	221,59	-1428	1871,33	0,91
		O-P	37,55	-2049	2124,32	0,99
		I-P	-184,04	-1833,78	1465,70	0,94

**Tabla 7.** ANOSIM de una vía, evaluando las diferencias en la estructura de la comunidad de mesozooplankton entre los tres años (2012, 2013 y 2014), las cuatro estaciones del año, los dos sitios (E1 y E3) y las dos profundidades (superficie y fondo) en Caleta Potter.

<b>Factores</b>	<b>R Global</b>	<b>Nivel de significancia (%)</b>
<b>Sitio</b>		
General	-0,008	0,616
2012	0,005	0,322
2013	-0,048	0,820
2014	0,003	0,370
<b>Profundidad</b>		
General	-0,008	0,588
2012	-0,090	0,966
2013	-0,019	0,530
2014	-0,049	0,941

**Tabla 8.** Análisis SIMPER. Lista de grupos/taxones mesozooplancónicos con la mayor contribución a la disimilitud en los años (2012, 2013, 2014), por sitios (E1 y E3) y profundidades (superficie y fondo) en Caleta Potter. Se indican el porcentaje de contribución a la disimilitud entre los grupos (%) y el cociente entre la similitud promedio y el desvío estándar de la similitud. Los grupos/taxones típicos están en negrita.

<b>Año</b>	<b>Grupo/taxón</b>	<b>Contribución a la disimilitud (%)</b>		<b>S/de(Si)</b>	
		<b>Sitio</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Sitio</b>	<b>Profundidad</b>
<b>2012</b>	<b>Ciclopoideos</b>	<b>23,90</b>	<b>24,20</b>	1,28	1,35
	<b>Apendicularias</b>	<b>21,60</b>	<b>20,60</b>	1,07	1,07
	<b>Calanoideos</b>	<b>14,00</b>	<b>13,00</b>	1,51	1,52
	Meroplancton	5,20	5,80	1,17	1,23
	Pterópodos	4,80	3,60	0,29	0,27
<b>2013</b>	<b>Ciclopoideos</b>	<b>35,60</b>	<b>36,30</b>	1,67	1,81
	<b>Calanoideos</b>	<b>16,60</b>	<b>18,30</b>	1,53	1,67
	Meroplancton	4,80	5,40	0,71	0,99
	Harpacticoideos	4,60	5,10	0,89	0,77
<b>2014</b>	<b>Ciclopoideos</b>	<b>25,50</b>	<b>25,60</b>	1,71	1,73
	<b>Calanoideos</b>	<b>18,50</b>	<b>18,30</b>	1,44	1,41
	Harpacticoideos	8,40	7,90	0,95	0,92
	Anfípodos	5,20	5,00	0,79	0,79
	Eufáusidos	5,10	4,80	0,73	0,70

### 3.4. Asociaciones de los grupos mesozooplanctónicos dominantes (PCA) y relación con las variables ambientales (CCA y GAM)

El análisis de componentes principales (PCA) se concentró en los grupos/taxones que se determinaron más importantes o dominantes de acuerdo con el promedio entre la abundancia relativa ( $FN$ ) y la frecuencia de ocurrencia ( $FO$ ) (Índice de importancia  $I_i$ ) (Tabla 9). Sobre un total de 14 grupos/taxones mesozooplanctónicos identificados, 9 se consideraron importantes ( $I_i > 20\%$ ). No se registraron *outliers* en los valores de abundancia ni co-linealidad entre las variables ambientales.

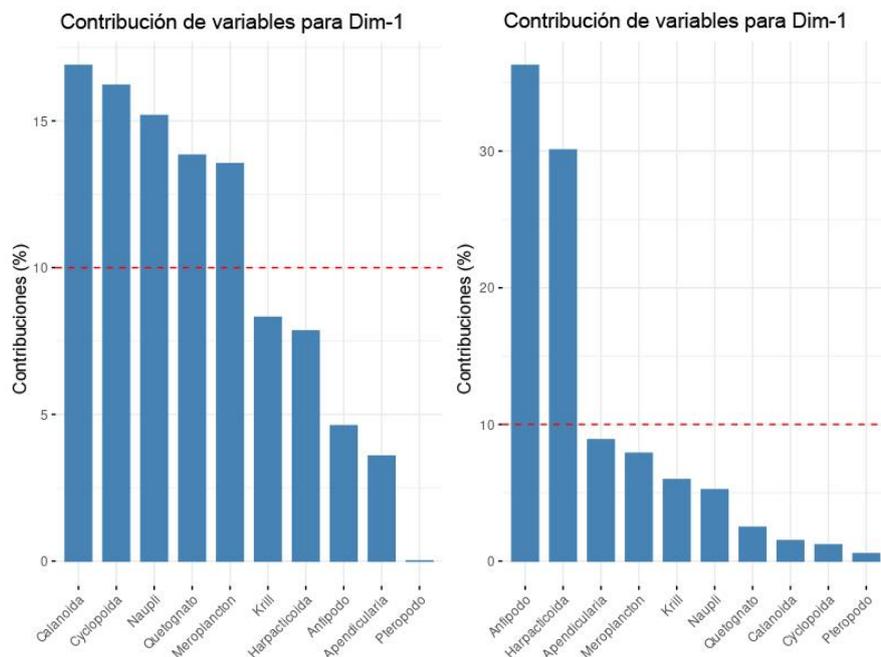
**Tabla 9.** Índice de importancia de los grupos/taxones mesozooplanctónicos identificados en Caleta Potter en el periodo 2012-2014. En negrita, taxones/grupos importantes ( $I_i \geq 20\%$ ).

Grupo/taxón	$I$	Grupo/taxón	$I$
<b>Ciclopoideos</b>	<b>69,78</b>	Pterópodos	13,62
<b>Calanoideos</b>	<b>61,19</b>	Sifonóforos	10,06
<b>Harpacticoideos</b>	<b>44,96</b>	Ostrácodos	8,58
<b>Meroplancton</b>	<b>44,94</b>	Salpas	4,96
<b>Anfípodos</b>	<b>31,67</b>	Cladóceros	1,43
<b>Eufáusidos</b>	<b>30,28</b>	Moluscos	1,42
<b>Larvas nauplii</b>	<b>25,42</b>		
<b>Apendicularias</b>	<b>23,98</b>		
<b>Quetognatos</b>	<b>22,08</b>		

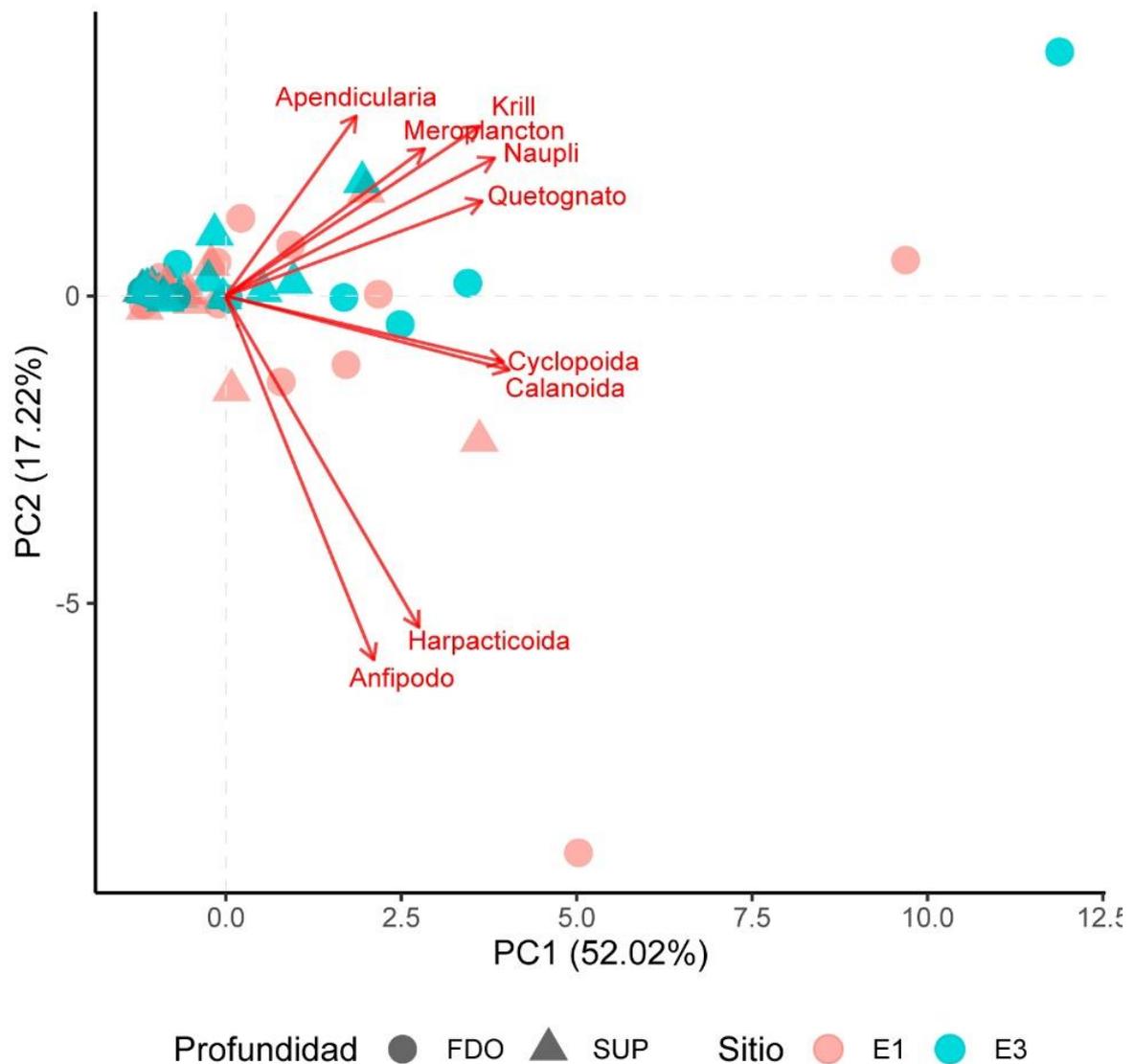
A partir del PCA basado en la matriz de correlaciones se determinó que la totalidad de los grupos/taxones considerados estuvieron bien representados por los dos primeros factores ( $C_1$  y  $C_2$ ), que explicaron juntos aproximadamente el 67 % de la varianza total. Por un lado, las apendicularias, meroplancton, krill, nauplii, quetognatos se correlacionaron positivamente entre sí, asociados con el factor  $C_1$  por una mayor contribución a dicho eje, y los copépodos ciclopoideos y calanoideos asociándose de forma positiva entre sí y también con el factor  $C_1$  conformaron otro grupo separado (Fig. 10 y 11). Los copépodos harpacticoideos y anfípodos estuvieron asociados positivamente entre sí, presentando la máxima correlación con el factor  $C_2$  (Fig. 10). Teniendo en cuenta que ambos factores  $C_1$  y  $C_2$  no están correlacionados (ortogonales), los taxones asociados al factor  $C_1$  no estarían correlacionados con aquellos asociados al factor  $C_2$  (Fig. 11). Esto es, por un lado, los

copépodos ciclopoideos y calanoideos compartieron una asociación entre sí, por otro las apendicularias, meroplancton, krill, nauplii y quetognatos se asociaron en otra, mientras que los copépodos harpacticoideos y anfípodos conformaron una asociación diferente, a su vez no asociados con las dos primeras.

Anfípodos y copépodos harpacticoideos se correlacionaron positivamente con el factor  $C_2$ , mientras que el resto de los grupos/taxones presentaron la máxima correlación con el factor  $C_1$ , la mayoría también positiva (quetognatos, krill, copépodos calanoideos y ciclopoideos), y algunos negativa (apendicularias, meroplancton, nauplii) (Tabla 10). Teniendo en cuenta el signo negativo de las correlaciones, a medida que los factores tienden a aumentar se produciría la correspondiente disminución en la abundancia de los grupos/taxones asociados. En cambio, en correlaciones con signo positivo, el aumento de los factores produciría el correspondiente aumento en la abundancia de los grupos/taxones. De esta manera, ambas asociaciones de grupos/taxones responderían a factores diferentes.



**Figura 10.** Contribución porcentual de las variables (grupos/taxones mesozooplancónicos) a cada factor ( $C_1$  y  $C_2$ ) del PCA.



**Figura 11.** Círculo de correlación con la proyección de las variables (grupos/taxones) sobre el plano de los factores  $C_1$  y  $C_2$ , mostrando la estructura de correlación entre los grupos/taxones mesozooplanctónicos dominantes en Caleta Potter en general para los tres años.

Se aplicaron modelos aditivos generalizados (GAMs) con el fin de identificar las relaciones entre las abundancias de los grupos/taxones mesozooplanctónicos, representadas por los factores  $C_1$  y  $C_2$ , y las variables ambientales. Para el desarrollo de los modelos se consideraron como variables dependientes los valores de los factores  $C_1$  y  $C_2$ , y como variables independientes las variables ambientales. El porcentaje de varianza explicada por el modelo correspondiente al factor  $C_1$  fue 52,70 % y para el modelo correspondiente al factor  $C_2$  fue 14,40 %. Esto significa que las variables ambientales incluidas en ambos modelos pueden explicar aproximadamente 67,1 % de la variabilidad de los factores  $C_1$  y  $C_2$ , y parte de la variabilidad en las abundancias de los conjuntos de taxones que representan.

**Tabla 10.** Correlaciones entre las abundancias de los grupos/taxones mesozooplancónicos dominantes y los factores C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>. En negrita, máximo valor de correlación para cada grupo/taxón. Las máximas correlaciones para todos los grupos/taxones analizados estuvieron representadas en los dos primeros factores (C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>).

<b>Grupo/taxón</b>	<b>CCA1</b>	<b>CCA2</b>
Ciclopoideos	<b>0,04</b>	-0,03
Calanoideos	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>
Harpacticoideos	0,18	<b>0,26</b>
Meroplancton	<b>-0,07</b>	-0,05
Anfípodos	0,13	<b>0,23</b>
Eufáusidos	0,08	<b>-0,12</b>
Larvas nauplii	<b>-0,08</b>	0
Apendicularias	<b>-0,7</b>	0,09
Quetognatos	<b>0,04</b>	<b>-0,04</b>
Pterópodos	0,05	<b>0,52</b>

**Factor C<sub>1</sub>. – Apendicularias, meroplancton, krill, nauplii, quetognatos, copépodos calanoideos y ciclopoideos**

Correlación de los grupos/taxones y el factor: positiva para quetognatos, krill, calanoideos y ciclopoideos, y negativa para apendicularias, meroplancton, nauplii

Temperatura: de acuerdo con los diagramas de dispersión (Fig. 12), los residuos parciales correspondientes al factor C<sub>1</sub> y a T – obtenidos eliminando el efecto de todas las variables ambientales distintas a T – se incrementan con el aumento de T para subgrupo 1 (relación positiva) y disminuyen con el aumento de T para el subgrupo 2 (relación negativa). Sin embargo, las relaciones no fueron estadísticamente significativas para T (estadístico = 0,09; p = 0,769; Tabla 11). Por lo tanto, no habría relación entre las abundancias de los 7 grupos/taxones correlacionados con el factor C<sub>1</sub> y la variación de T.

Salinidad: de acuerdo con los diagramas de dispersión (Fig. 12), los residuos parciales correspondientes al factor C<sub>1</sub> y a S – obtenidos eliminando el efecto de todas las variables ambientales distintas a S – se incrementan con el aumento de S para subgrupo 1 (relación positiva) y disminuyen con el aumento de S para el subgrupo 2 (relación negativa). Sin embargo, las relaciones no fueron estadísticamente significativas para S (estadístico = 1,57; p = 0,170, Tabla 11). Por lo tanto, no habría relación entre las abundancias de los 7 grupos/taxones correlacionados con el factor C<sub>1</sub> y la variación de S.

Cl-a: de acuerdo con los diagramas de dispersión (Fig. 12), los residuos parciales correspondientes al factor C<sub>1</sub> y a Cl-a – obtenidos eliminando el efecto de todas las variables ambientales distintas a Cl-a – se incrementan con el aumento de Cl-a para subgrupo 1 (relación positiva) y disminuyen con el aumento de Cl-a para el subgrupo 2 (relación negativa). Las relaciones fueron estadísticamente significativas para Cl-a (estadístico = 22,92;  $p < 0,001$ , Tabla 10). Por lo tanto, habría relación entre las abundancias de los 7 grupos/taxones correlacionados con el factor C<sub>1</sub> y la variación de Cl-a.

### **Factor C<sub>2</sub>. – Copépodos harpacticoideos y anfípodos.**

#### Correlación de los taxones y el factor: positiva

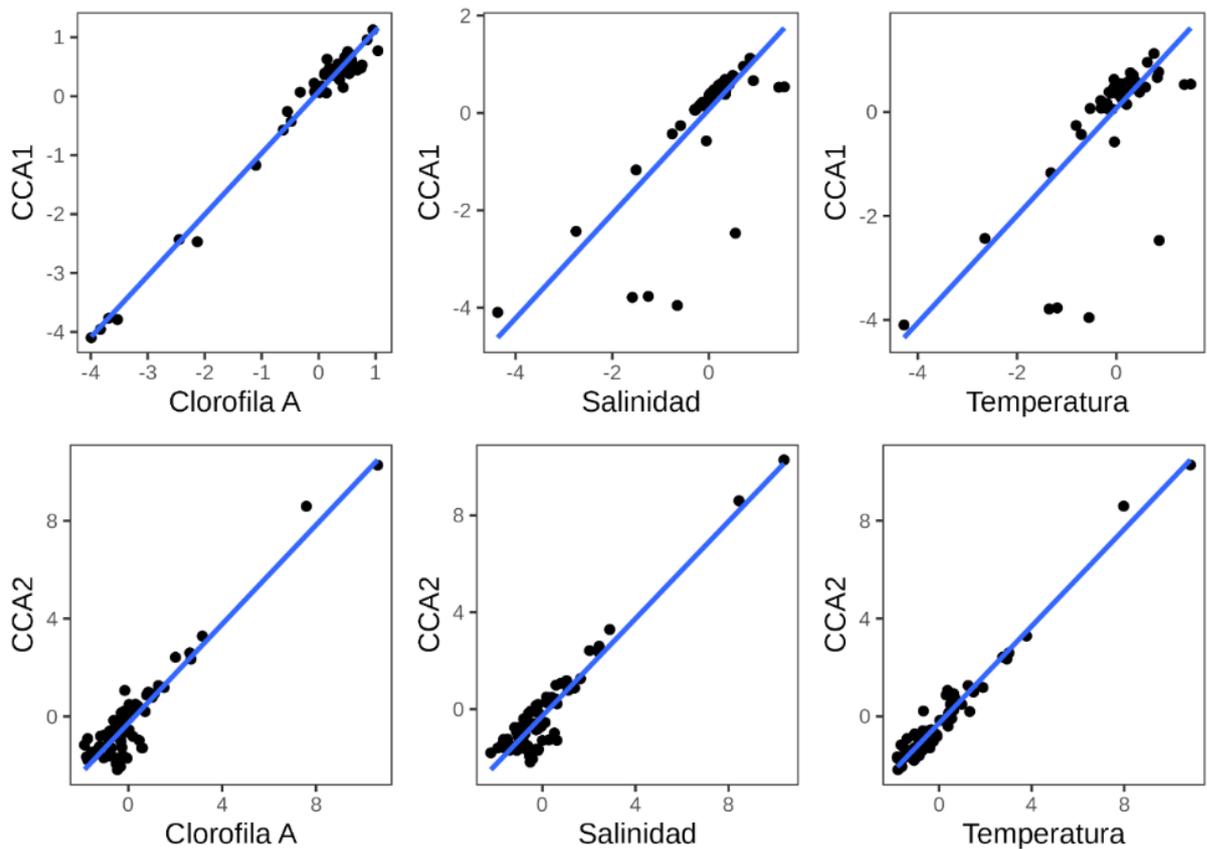
Temperatura: de acuerdo con los diagramas de dispersión (Fig. 12), los residuos parciales correspondientes al factor C<sub>2</sub> y a T – obtenidos eliminando el efecto de todas las variables ambientales distintas a T – se incrementan con el aumento de T (relación positiva). Las relaciones fueron estadísticamente significativas para T (estadístico = 4,08;  $p = 0,022$ , Tabla 10). Por lo tanto, habría relación entre las abundancias de los 2 taxones correlacionados con el factor C<sub>2</sub> y la variación de T.

Salinidad: de acuerdo con los diagramas de dispersión (Fig. 12), los residuos parciales correspondientes al factor C<sub>2</sub> y a S – obtenidos eliminando el efecto de todas las variables ambientales distintas a S – se incrementan con el aumento de S. Sin embargo, las relaciones no fueron estadísticamente significativas para S (estadístico = 2,05;  $p = 0,157$ , Tabla 11). Por lo tanto, no habría relación entre las abundancias de los 2 taxones correlacionados con el factor C<sub>2</sub> y la variación de S.

Cl-a: de acuerdo con los diagramas de dispersión (Fig. 12), los residuos parciales correspondientes al factor C<sub>2</sub> y a Cl-a – obtenidos eliminando el efecto de todas las variables ambientales distintas a Cl-a – se incrementan con el aumento de Cl-a. Sin embargo, las relaciones no fueron estadísticamente significativas para Cl-a (estadístico = 0,03;  $p = 0,932$ , Tabla 11). Por lo tanto, no habría relación entre las abundancias de los 2 taxones correlacionados con el factor C<sub>2</sub> y la variación de Cl-a.

**Tabla 11.** Análisis del Modelo Aditivo Generalizado (GAM) para cada factor ( $C_1$  y  $C_2$ ) del CCA, realizado para analizar la influencia de cada variable ambiental (T, S, Cl-*a*) sobre los grupos/taxones mesozooplactónicos asociados a cada factor. Los valores estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 95 % están en negrita.

Componente	V. Independiente	df	estadístico	p-valor
CCA1	Clorofila- <i>a</i>	1,94	22,92	<0,001
	Salinidad	1,13	1,57	0,1702
	Temperatura	1,00	0,09	0,7689
CCA2	Clorofila- <i>a</i>	1,16	0,03	0,9323
	Salinidad	1,00	2,05	0,1566
	Temperatura	1,82	4,08	0,0216



**Figura 12.** Diagramas de dispersión correspondientes al factor  $C_1$  y  $C_2$ , en relación con las variables ambientales incluidas en el PCA, temperatura, salinidad, clorofila-*a*. Grupos/taxones correlacionados con el factor  $C_1$ : Apendicularias, meroplancton, krill, nauplii, quetognatos, copépodos calanoideos y ciclopoideos. Taxones correlacionados con el factor  $C_2$ : Pterópodos, copépodos harpacticóideos y anfípodos.

## **4. DISCUSIÓN**

---

### **4.1. Condiciones ambientales (hidrográficas y tróficas)**

Coincidentemente a lo esperado, las condiciones ambientales en C. Potter en el período 2012 a 2014 variaron temporal (estacional e interanualmente) y espacialmente, las que estuvieron influenciadas por parámetros meteorológicos y oceanográficos. Las condiciones hidrográficas se acercaron a la situación media anual de C. Potter. En coincidencia con estudios previos en la región (Schloss, 2014; Ruiz Bartlett *et al.*, 2021) se registraron aguas más cálidas y diluidas hacia fines de verano/principios de otoño, asociado con el nivel de irradiación solar y con el aporte de agua dulce proveniente del derretimiento del glaciar. Los resultados indicaron, asimismo, una variación interanual en las propiedades hidrográficas, con aguas en general más cálidas y diluidas durante el año 2012 que en 2013 y 2014. Del mismo modo que en registros anteriores (Ruiz Bartlett *et al.*, 2021) la columna de agua mostró una leve estratificación térmica durante los meses más cálidos en ambos sitios, tanto en la zona más cercana (E1) como en la más alejada del glaciar (E3) en los tres años estudiados, registrándose una incipiente termoclina a 5 m de profundidad que fue debilitándose hacia fines de verano. Este gradiente térmico sería atribuible, principalmente, a las variaciones de radiación solar, a la mezcla vertical y a los procesos de advección horizontal. Ruiz Bartlett *et al.* (2021) registraron un aumento en la temperatura del agua y estratificación en los primeros metros, debido al aporte de agua dulce de deshielo procedente del glaciar Fourcade. La estructura térmica vertical de la columna de agua en ambos sitios en otoño/invierno relativamente homogéneo en comparación con el verano, se explica por la fuerte mezcla vertical originada por la circulación ciclónica típica de esta región (Ruiz Bartlett *et al.*, 2021), con rupturas ocasionales de la estratificación en meses cálidos debido a eventos de mezcla impulsados por los vientos, un fenómeno comúnmente observado en C. Potter (Schloss, 1997).

Los gradientes de salinidad registrados en el área presentaron patrones espaciales y estacionales cercanos a lo esperado para la región. En general, en verano se registraron aguas más diluidas en superficie que en el estrato más profundo, excepto en 2013 en el sitio ubicado en la zona externa de la caleta (E3) que no se registraron diferencias entre estratos. Por su parte, los valores de salinidad fueron más bajos en el sitio más cercano a la influencia glaciaria que en el más alejado. Estos hallazgos están en línea con investigaciones previas

que indican un aumento en la temperatura del mar durante el verano, acompañado por una disminución en la salinidad en la zona interna de la caleta debido a la descarga de los arroyos de origen glaciario hacia la caleta por el derretimiento glaciario (Bers *et al.*, 2013; Garcia *et al.*, 2020; Ruiz Barlett *et al.*, 2021). Las condiciones preponderantes en 2012, de aguas más cálidas, más diluidas y con mayor turbidez, con alta estratificación vertical se explican por el evento La Niña y SAM positivo registrado durante este año (Ruiz Barlett *et al.*, 2021; <https://www.smn.gob.ar/enos>; Giovanni (nasa.gov)).

Las concentraciones de *Chl-a*, consideradas un buen *proxy* de la biomasa fitoplanctónica/alimento disponible para el mesozooplancton (*e.g.*, Hout *et al.*, 2007), presentaron variaciones interanuales muy marcadas. En términos generales, los valores promedio de *Chl-a* en 2012 fueron relativamente altos ( $\sim 3\text{-}5\text{ mg/m}^3$ ), y excepcionalmente elevados hacia fines de marzo ( $\sim 21\text{-}27\text{ mg/m}^3$ ), situación que podría interpretarse como favorable tróficamente para el mesozooplancton. Estos resultados coinciden con las imágenes satelitales del color del océano (NASA/GSFC OBPB) correspondientes a las fechas de muestreo de este estudio, en las que se observan floraciones de *Chl-a* en la zona (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>).

Los valores de *Chl-a* en este estudio superan ampliamente a los registrados por Fuentes (2006) para noviembre de 2002 ( $4\text{ mg/m}^3$ ) y marzo de 2003 ( $1,8\text{ mg/m}^3$ ), por Schloss *et al.* (2014) para enero de 2010 ( $14,7\text{ mg/m}^3$ ) y por Garcia *et al.* (2015) ( $3,93\text{ mg/m}^3$ ) para enero de 2011. Alternativamente, los valores de *Chl-a* durante 2013-2014 fueron más cercanos a la situación típica para la región, con valores en general marcadamente bajos ( $< 1\text{ mg/m}^3$ ) aunque superiores en primavera-verano, condición que se correspondería con una menor disponibilidad de alimento para el mesozooplancton. Los bajos valores de *Chl-a* en 2013 y 2014 coinciden con hallazgos previos de Schloss *et al.* (2014), quien reportó valores promedio  $< 1\text{ mg/m}^3$  entre primavera-verano. Los niveles de *Chl-a* relativamente más bajos en 2013-2014 probablemente se deban a los elevados valores de turbidez registrados en aguas cercanas al glaciar durante esos años (Ruiz Barlett *et al.*, 2021), ya que las condiciones de irradiancia reducida, inducida por partículas originadas en la tierra, y los vientos intensos limitan la productividad costera. La biomasa fitoplanctónica en C. Potter es típicamente baja comparada con otros ambientes antárticos, como el Mar de Ross (promedios verano:  $22,6\text{ mg/m}^3$ , Arrigo & McClain, 1994), las Islas Georgias del Sur ( $30\text{ mg/m}^3$ , Atkinson *et al.*, 2001) y la Bahía Margarita ( $25\text{ mg/m}^3$ , Meyer *et al.*, 2003).

## 4.2. Estructura y distribución espacial y temporal del mesozooplancton en Caleta Potter

Las variaciones anuales e interanuales del mesozooplancton en C. Potter son relativamente poco conocidas, en gran parte debido a desafíos de accesibilidad, tanto logística como climática, así como del tiempo y esfuerzo que debe ser dedicado para estudiarlas en detalle.

La composición taxonómica, abundancias relativas y patrones de distribución de la comunidad mesozooplanctónica fueron similares a las descritas en estudios previos. Como se esperaba, los copépodos dominaron numéricamente la comunidad mesozooplanctónica, en coincidencia con trabajos anteriores para C. Potter (Elwers & Dahms, 1998; Fuentes, 2006; Aguirre, 2015; Garcia, 2015), para otros ecosistemas antárticos (Smith & Schnack-Schiel, 1990; Gleiber, 2014; Potocka *et al.*, 2019), así como para otros mares del mundo (Kjørboe, 1997; Lenz, 2000; Antacli, 2011; Koplín, 2020).

En este estudio, se identificaron 19 categorías taxonómicas de mesozooplancton a partir de colectas realizadas con redes de 200  $\mu\text{m}$ . De manera similar, un trabajo llevado a cabo en el Mar de Ross a partir de imágenes ópticas con *Zooscan* utilizando redes de 200 y 500  $\mu\text{m}$  para la colecta del zooplancton, reportó un número limitado de 5 categorías taxonómicas del mesozooplancton (Smith *et al.*, 2017). Otros estudios realizados en el área de C. Potter reportaron un número de categorías mayor al de este estudio. Entre ellos, Fuentes *et al.* (2008) identificó 68 taxones para los años 2002 y 2003 a partir de muestreos con redes de 200  $\mu\text{m}$ , y Garcia (2015) reportó 44 taxones en el periodo diciembre 2010-diciembre 2011 utilizando redes de 80  $\mu\text{m}$ . Por su parte, Aguirre (2015), registró 20 taxones en el período octubre 2008-junio 2009 a partir de muestreos con redes de 100  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, en dichos trabajos previos se utilizaron métodos tradicionales de identificación taxonómica (lupa, microscopio), los que permiten identificaciones hasta niveles taxonómicos menores (género, especie). Si bien la identificación con sistemas automáticos de análisis de imágenes como *ZooImage* conduce a un número menor de taxones que los identificados con métodos tradicionales, principalmente debido a la fusión inevitable de categorías que podría llevar a una representación sesgada de la diversidad taxonómica (Bell & Hopcroft, 2008; Gorsky *et al.*, 2010), en este estudio se alcanzó una representación significativa de los principales grupos taxonómicos previamente descritos en el área.

Los copépodos ciclopoideos fueron el componente más conspicuo de la comunidad mesozooplancónica durante los tres años estudiados, con abundancias que alcanzaron hasta el 85 % del total de copépodos, y del 67% del total del mesozooplancton, y estuvieron presentes en el 100 % de las muestras. Junto con los copépodos calanoideos, son el grupo históricamente conocido como dominante en la comunidad mesozooplancónica local (Fuentes, 2006; Fuentes *et al.*, 2008; Garcia *et al.*, 2015). Estos resultados coinciden con estudios realizados en otros sectores de la Antártida (Pane *et al.*, 2004; Giraldo *et al.*, 2019) y del mundo, como en el Océano Atlántico (Takahashi *et al.*, 2010). Los copépodos ciclopoideos fueron, en general, más abundantes en aguas profundas de la zona de caleta externa, lo que difiere con registros previos que indican que estos copépodos dominaron en aguas superficiales en la zona interna de C. Potter (Garcia, 2015), y en superficie en aguas de otros sectores antárticos (Ayón *et al.*, 2007; Giraldo *et al.*, 2019). Las abundancias promedio de los copépodos ciclopoideos en la columna de agua en el sitio más alejado del glaciar ( $1,24 \pm 2,28$  ind/m<sup>3</sup> en superficie y  $17,63 \pm 53,25$  ind/m<sup>3</sup> en fondo) fueron más bajas que las previamente reportadas para esta área, las que alcanzaron 29,02 ind/m<sup>3</sup> en superficie y 37,10 ind/m<sup>3</sup> en fondo (Garcia, 2015). Esta diferencia en los valores de abundancia podría atribuirse al tamaño de poro de la malla utilizada (80  $\mu$ m por Garcia, 2015 *versus* 200  $\mu$ m en este estudio). La subestimación de los individuos en el rango menor de tamaño del mesozooplancton en colectas realizadas con redes de plancton provistas de mallas de poro gruesas es ampliamente reconocida (*e.g.*, Evans & Sell, 1985; Vanucci, 1968; Hwang *et al.*, 2007; Pitois *et al.*, 2009; Antacli *et al.*, 2010, Makabe *et al.*, 2012).

En coincidencia con trabajos previos en C. Potter (Fuentes 2006, 2008), los copépodos calanoideos fueron el segundo grupo más importante numéricamente en C. Potter, con representaciones entre el 15 y 26 % del total de copépodos, siendo más abundantes en términos relativos en el año 2013. Estos porcentajes son consistentes con los hallados por Fuentes (2006). Los calanoideos dominaron en términos de biomasa los tres años, lo que asimismo coincide con estudios previos en la región (Fuentes, 2006; Fuentes *et al.*, 2008, Garcia, 2015). La abundancia de este grupo fue muy variable a lo largo de los años y de los sitios estudiados. Los valores promedio más altos se registraron en 2012 en el sitio más alejado del glaciar ( $6,18 \pm 13,76$  ind/m<sup>3</sup>) y en 2014 en la zona cercana al glaciar ( $12,47 \pm 22,53$  ind/m<sup>3</sup>), en ambos casos en las capas más profundas. En trabajos previos, Garcia (2015) reportó la mayor abundancia promedio de los calanoideos en aguas superficiales cercanas al glaciar (223,60 ind/m<sup>3</sup>) y en las aguas del fondo del área más alejada del glaciar

(14,51 ind/m<sup>3</sup>). Fuentes (2006), por su parte, registró la mayor abundancia de calanoideos en el sitio más cercano al glaciar (237,37 ind/m<sup>3</sup>).

Los copépodos harpacticoideos ocuparon el tercer lugar en la comunidad luego de los copépodos calanoideos, en términos de abundancia y presencia. Estuvieron distribuidos en toda la caleta, pero resultaron más abundantes hacia la zona de caleta externa. Sus abundancias relativas variaron entre 0,5 y 12,62 ind/m<sup>3</sup> en los tres años de estudio. La variabilidad detectada y los bajos porcentajes de abundancia de este grupo también se han mencionado en estudios previos en la región. Fuentes (2006) documentó para los harpacticoideos contribuciones del 10 % del total de copépodos, mientras que Garcia (2015) registró abundancias relativas del 7,4 % del total de copépodos.

Los anfípodos, eufáusidos y meroplancton fueron grupos importantes dentro de la comunidad mesozooplanctónica de C. Potter a lo largo de los tres años estudiados, principalmente en términos de biomasa. Copépodos, quetognatos, salpas y pterópodos también se destacaron en valores de biomasa en la región, en concordancia con los hallazgos previos de Garcia (2015), quien reportó a los eufáusidos como el grupo dominante en términos de biomasa, seguido de los copépodos, pterópodos, anfípodos y meroplancton.

Las apendicularias fueron uno de los tres taxones típicos en C. Potter en el año 2012, junto con los copépodos calanoideos y ciclopoideos. Particularmente dominaron en términos de abundancia relativa en el sitio cercano al glaciar, en especial durante el otoño cuando se registró el valor máximo (31,80 ind/m<sup>3</sup>). Estos resultados son coherentes con Aguirre (2015), quien registró estos tunicados planctónicos hacia finales del verano y durante el otoño, aunque en mayor abundancia (~290 ind/m<sup>3</sup>). La prevalencia de este grupo en el año 2012 podría estar relacionada con una mayor disponibilidad de alimento en la zona, posiblemente impulsada por las floraciones de fitoplancton (Presta *et al.*, 2015). La abundancia y presencia de estos organismos hacia los años siguientes (2013 y 2014) fue marcadamente menor, lo que podría explicarse por la escasez de alimento en el ambiente, en concordancia con las concentraciones de Cl-*a* relativamente más bajas que se registraron esos años. Otra explicación podría ser su ocurrencia esporádica en la región, posiblemente como resultado de la selectividad de las redes empleadas (Atkinson *et al.*, 2012). Se ha observado que si bien las apendicularias son subestimadas cuando se utilizan redes de malla de 200 µm, pueden convertirse en el segundo componente más abundante de la comunidad, en áreas oligotróficas al utilizar muestreadores con redes de malla más pequeña (*e.g.*, Jaspers *et al.*, 2009).

Los anfípodos fueron un grupo con bajos valores de abundancia y biomasa relativas en 2012 y 2013 en toda la caleta (Figs. 6 y 7), en coincidencia con estudios previos en la región (Fuentes, 2006; García, 2015). Estos autores reportaron valores bajos durante todo el ciclo anual en toda la caleta. En cambio, en 2014 los anfípodos prevalecieron en término de abundancia y biomasa en toda la caleta, y principalmente en aguas de fondo en el sitio más cercano al glaciar (31 % en abundancia y 97 % en biomasa). Las elevadas abundancia y biomasa relativa de este taxón en aguas profundas de Antártida ha sido ampliamente registrada en otros estudios (*e.g.*, Brandt & Cols, 2007; Huang *et al.*, 2007).

Los eufáusidos registraron baja abundancia a lo largo de los tres años, siendo más abundantes en 2014 con una representación porcentual del 10 % del total del mesozooplankton en las aguas superficiales de la E3, aunque con una biomasa relativa del 54 %. La biomasa de este grupo fue similar a la registrada por García (2015) con una representación relativa del 58 % en el año 2011, pero fue menor a la registrada por Fuentes (2006) para el periodo 2002-2003, cuando contribuyó con más del 90 % de biomasa relativa del zooplankton. La baja abundancia de los eufáusidos podría adjudicarse, probablemente, a que el tipo de red utilizada en las colectas no fue la más eficiente para capturar estos organismos de gran tamaño y rápida movilidad (Aguirre, 2015). Las redes que capturan con mayor eficiencia el zooplankton de gran tamaño y gran velocidad como los eufáusidos o el krill son aquellas con mayores velocidades de arrastre, como las redes BIONESS o Nackthai (versión alemana de la más difundida Gulf V) (*e.g.*, Skjodal *et al.*, 2000; Sabatini *et al.*, 2009). Las variaciones en los tamaños de malla tienen un efecto significativo en la selección por parte del muestreador (Fraser, 1968) y, por lo tanto, la elección del muestreador y del tamaño de la malla depende de los taxones que se van a muestrear y varía principalmente en relación con el tamaño del organismo y su capacidad para evitar el muestreador (Vanucci, 1968).

Una de las hipótesis planteadas en este estudio formula que la distribución espacial y la estructura del mesozooplankton en C. Potter cambia espacial y temporalmente a lo largo del periodo analizado. Aunque determinar con exactitud las variaciones es un gran desafío, los resultados obtenidos en el presente estudio a partir del PERMANOVA y del ANOSIM sugieren homogeneidad en las comunidades mesozooplanktonicas. En el diseño espacial de muestreo se consideró el gradiente de distancia de los sitios a la influencia del glaciar, ya que se hipotetiza que la descarga de agua dulce del deshielo es un factor influyente en la distribución del mesozooplankton. La profundidad de muestreo también se asumió como un factor determinante en la estructura de la comunidad. Asimismo, se consideraron las

características hidrológicas y morfológicas únicas de la caleta, las que podrían influir en los resultados. Sin embargo, acorde a los resultados del PERMANOVA, el sitio de muestreo (E1 y E3) demostró ser un factor significativo únicamente para los pterópodos y salpas, siendo los pterópodos más abundantes en E1 y las salpas en E3. Esto podría atribuirse a que los pterópodos forman parte de la comunidad residente, es decir son grupos típicos de zooplancton costero antártico, mientras que las salpas forman parte de la comunidad esporádica, es decir provienen de áreas externas e ingresarían a la caleta ocasionalmente (Fuentes *et al.*, 2008). A diferencia de lo esperado, para el grueso de los taxones el sitio no influyó significativamente en la estructura observada. Esto no coincide con trabajos previos (*e.g.*, Garcia, 2015) que evidencian diferencias en la estructura del mesozooplancton en el sitio más cercano al glaciar, debido mayormente a la influencia del glaciar Fourcade.

La profundidad se identificó como un factor con un efecto significativo sobre las variaciones en las abundancias de la comunidad mesozooplanctónica en su conjunto, de copépodos, quetognatos y salpas, y sobre la biomasa de salpas. Este resultado sugiere que la profundidad actuaría como un importante regulador de la distribución del mesozooplancton en el ecosistema. Este hallazgo respalda la idea de que la estratificación vertical puede influir en la disponibilidad de recursos y las condiciones ambientales para estas comunidades (Schloss, 2002, Fuentes *et al.*, 2006, Garcia *et al.*, 2016b). En la mayoría de los casos los taxones tuvieron mayor prevalencia en el fondo, lo cual podría explicarse por la migración vertical de ciertas especies mesozooplanctónicas que se encontraban en grandes concentraciones en la superficie y posteriormente descendieron a mayores profundidades en busca de alimento. Este fenómeno también podría ser atribuido a la acción de procesos físicos como los vientos, el derretimiento del hielo, y las corrientes marinas (Garcia, 2015).

Contrariamente a lo esperado, el factor temporal (año y estación del año no influiría significativamente sobre las variaciones observadas en la estructura comunidad de mesozooplancton de C. Potter en el periodo de tiempo estudiado. Los sifonóforos fueron el único grupo sobre el cual el año de muestreo influyó en la estructura, siendo estos más abundantes en el año 2014. La mayor abundancia de los sifonóforos en 2014 podría relacionarse con la disponibilidad de alimento en ese período, ya que se registró una mayor abundancia de copépodos y anfípodos, componentes comunes en su dieta (Panasiuk-Chodnicka & Żmijewska, 2010). Alternativamente, es posible que la abundancia de sifonóforos esté en general subestimada, dado que su estructura típicamente colonial y su extrema fragilidad hace que a menudo solo se capturen fragmentos de estos organismos en

las muestras (Silguero & Robinson 2000). Por su parte, el factor estación del año influyó significativamente en la abundancia de copépodos (siendo más abundantes en otoño que en verano, Test de Tukey), en la de eufáusidos y salpas, y en la biomasa de salpas (con mayores abundancias y biomasa en invierno que en el resto del año, Test Tukey). La mayor abundancia de copépodos en otoño podría estar relacionada con un posible aumento de la reproducción en verano (Aguirre, 2015). Por otro lado, las mayores abundancias y biomasa de salpas, y mayores abundancias de eufáusidos durante el invierno en contraste con el resto del año podrían estar vinculadas con la influencia de los vientos del oeste, que podrían haber provocado el ingreso de estos organismos a la caleta a través de las corrientes marinas (García, 2015). La alta abundancia de los eufáusidos en invierno, en particular, podría relacionarse con la influencia de la cobertura de hielo marino invernal, que cumple un rol esencial para la supervivencia de las larvas de krill y su reclutamiento (Daly, 1990; Quetin et al., 1996), las que se encuentran alimentándose frecuentemente en la cara inferior de las placas de hielo marino (Marschall, 1988; Daly, 1990; Smetacek *et al.*, 1990). El hecho de que el factor temporal no haya sido significativo para explicar las variaciones mesozooplancónicas podría explicarse porque los resultados provienen de una ventana temporal relativamente corta, así como por los parches de datos correspondientes a ciertos meses del año que no pudieron ser muestreados. Esto demuestra la necesidad de incrementar la frecuencia de muestreo en la época invernal, y de considerar en futuros trabajos series temporales más extensas.

Los resultados del análisis de similitud de una vía (ANOSIM) mostraron la homogeneidad de la estructura de la comunidad de mesozooplankton en C. Potter, tanto horizontal (sitios) como verticalmente (profundidad) durante los tres años. De manera opuesta, García (2015) encontró diferencias en la estructura de la comunidad mesozooplancónica entre los sectores interno y externo de la caleta, debido a las características de la caleta (grado de congelamiento y aporte de agua de derretimiento), registrando mayores abundancias en el sitio más cercano al glaciar, posiblemente relacionado con el alimento asociado al hielo marino. La escasa variación en las condiciones hidrográficas y tróficas en las zonas interna y externa de la caleta durante el periodo de tiempo analizado probablemente explique por qué no se detectaron diferencias espaciales.

De acuerdo con los resultados del SIMPER durante los tres años estudiados los copépodos ciclopoideos y los calanoideos, junto con las apendicularias en el caso del 2012, fueron los taxones típicos del área de estudio. Las comunidades marinas planctónicas están frecuentemente dominadas por unas pocas especies, las que desempeñan un rol clave en la

transferencia de energía a través de las tramas tróficas (Verity & Smetacek, 1996; Ballerini *et al.*, 2014). Este sería el caso del ecosistema de C. Potter, en el que, durante todo el ciclo anual y en los tres años estudiados, dominaron pocos taxones de mesozooplancton. Los copépodos ciclopoideos juegan roles importantes en las tramas tróficas regionales (Calbet & Saiz, 2005; Atkinson *et al.*, 2012). Entre ellos *O. similis* jugaría un rol clave entre las tramas tróficas clásica y microbiana (Turner, 2004), del mismo modo que sucede con especies de *Oithona* relacionadas en otros ecosistemas templado fríos (*e.g.*, Gallienne & Robbins, 2001; Narcy, 2010). En C. Potter, a pesar de la escasa biomasa de fitoplancton y la presencia de probables predadores, *O. similis* demuestra, gracias a su estrategia reproductiva y capacidad de adaptar su dieta, una habilidad única para encontrar este entorno como un lugar propicio para completar su ciclo de vida (García, 2015). Entre los copépodos calanoideos, se sabe que *Calanus propinquus* y *Ctenocalanus citer* son importantes en C. Potter (Fuentes, 2006; García, 2015). Otras especies que se encuentran en C. Potter, pero en menor representación son *Metridia gerlachei*, *Rhincalanus gigas* y *Calanoides acutus* que ingresarían a la caleta desde el Mar de la Flota, que a su vez recibe una fuerte influencia de las masas de agua del Mar de Weddell y del Mar de Bellinghausen (García, 2015). Las apendicularias, por su parte, tienen un rol importante en la regulación de arriba hacia abajo (*top/down*), y es un grupo que constituye una presa para copépodos calanoideos, alterando así su densidad y estructura poblacional (Sommer *et al.*, 2003; Stibor *et al.*, 2004).

Aunque sin significancia estadística, los resultados de estructura muestran una variación estacional en la comunidad mesozooplantónica (Fig. 8). Los copépodos, anfípodos, meroplancton, quetognatos y apendicularias fueron más abundantes durante el otoño. Por otro lado, los eufáusidos fueron más abundantes en invierno. Los patrones de distribución temporal de los organismos mesozooplantónicos en nuestro estudio coincidieron en gran medida con los referidos previamente para el área en otoño. Aguirre (2015) registró las mayores abundancias de mesozooplancton en la misma época del año, en particular de copépodos *O. similis* y apendicularias. Por su parte, García (2015) registró también picos de abundancias de pequeños copépodos omnívoros en otoño.

La estructura de tallas de la comunidad mesozooplantónica fue relativamente homogénea estacionalmente durante 2012-2014. Los resultados indicaron la clara predominancia de las clases de menor tamaño relativo (área corporal,  $S = 0,1-1,0 \text{ mm}^2$ ) a lo largo de las cuatro estaciones del año los tres años de estudio. Este rango de tamaño corporal

incluye a los copépodos ciclopoideos, harpacticoideos, meroplancton y apendicularias. No obstante, durante la primavera del 2012 se observó, asimismo, la predominancia de la clase de mayor tamaño relativo ( $S = 1,89-73,25 \text{ mm}^2$ ) con una media de  $S = 10,59 \text{ mm}^2$ , la que está representada por los organismos de tamaño relativamente mediano y mayor, incluidos los copépodos calanoideos, pterópodos, krill, anfípodos, sifonóforos y moluscos. En trabajos previos, se registró la dominancia de los copépodos de pequeño tamaño corporal durante el verano, como *Oithona similis* y *Oncaea curvata*, mientras que los copépodos de mayor tamaño, tales como *Calanoides acutus* y *Metridia gerlachei*, y los eufáusidos juveniles fueron menos abundantes (Elwers & Dahms, 1998; Fuentes, 2006; Garcia, 2015; Garcia *et al.*, 2015). En un trabajo posterior, Garcia *et al.* (2020) describen la comunidad mesozooplanctónica de C. Potter dominada en invierno por copépodos de talla pequeña y larvas furcilia de krill, mientras que en primavera/verano se registró un aumento en la abundancia relativa de taxones de mediano y gran tamaño como copépodos calanoideos, anfípodos y juveniles y adultos de eufáusidos (Garcia, 2015; Garcia *et al.*, 2020). Las diferencias encontradas en las estructuras de talla descritas previamente se explican por los distintos parámetros utilizados para describir la talla de los organismos, basada en este estudio en el área corporal ( $S, \text{mm}^2$ ) y en estudios previos en la longitud total (mm). Esto genera diferencias en los organismos incluidos en las fracciones de mayor o menor tamaño relativo, y con esto en consecuencia en la estructura de tamaños descrita para la comunidad. Por ejemplo, las apendicularias en este estudio se consideraron de talla pequeña por presentar valores promedio de área corporal ( $S = 0,2 \text{ mm}^2$ ) en el mismo rango que los copépodos ciclopoideos, harpacticoideos y el meroplancton, mientras que en trabajos anteriores se incluyeron en el grupo de mesozooplancton de talla relativamente grande (rangos: largo =  $< 1 \text{ mm} - 2 \text{ cm}$ ; Lindsay *et al.*, 2010). La descripción de la estructura de tallas de la comunidad mesozooplanctónicas realizada en este estudio a partir de mediciones corporales (área) de un número significativamente elevado de individuos ( $N = 31996$ ) proporciona resultados muy robustos que constituyen un gran aporte al conocimiento de la comunidad local. Una de las ventajas de los métodos automáticos de identificación como *ZooImage* es la posibilidad de contar y medir un número mucho más elevado de individuos en el proceso de identificación que los métodos tradicionales, dando como resultado una mayor precisión en la descripción de la estructura de tamaños dentro de la comunidad (Gislason & Silva, 2009; Di Mauro *et al.*, 2011), siendo este, por tanto, uno de los principales aportes de este estudio.

### 4.3. Estructura del mesozooplancton en relación con las variables ambientales

El análisis de componentes principales reveló que de los 9 grupos/taxones definidos como más importantes, los copépodos ciclopoideos y calanoideos estuvieron asociados positivamente y no correlacionados con los otros grupos/taxones, y que sus abundancias aumentarían en respuesta al aumento de la concentración de Cl-*a*. Los copépodos calanoideos tienen diferentes dietas y patrones de actividad alimentaria, en particular *Calanoides acutus* y *Calanus propinquus*. Los primeros presentan una especificidad trófica más bien rígida a lo largo de su ciclo de vida, incorporando en su dieta sólo diatomeas, mientras que *Calanus propinquus* es más flexible, pudiendo alimentarse de dinoflagelados, proto- y metazoos, cuando el fitoplancton es escaso (Pasternack *et al.*, 2001). En el caso de los copépodos ciclopoideos, mayormente representados por *Oithona similis* en C. Potter, se sabe que son un grupo oportunista, que exhibe una plasticidad dietaria considerable, siendo capaces de ser carnívoros (Lampitt, 1978), omnívoros incluyendo un rango amplio de taxones del microzooplancton pero particularmente protozoos (Atkinson 1996; Lonsdale *et al.*, 2000) y también coprófagos (González & Smetacek, 1994), también se reconoce el rol clave de las diatomeas en la dieta de estos copépodos (Pond & Ward, 2011). Los hallazgos de Pond & Ward (2011) sugieren que las diatomeas son más importantes para *Oithona* spp. en el Océano Austral que en otras regiones oceánicas.

Por otro lado, las apendicularias, meroplancton, krill, quetognatos y larvas nauplii, conformarían otra asociación, y sus abundancias disminuirían con el aumento de Cl-*a*. Si bien los análisis arrojaron dicha asociación, es conocido que la abundancia de apendicularias está asociada con la concentración de clorofila, bajo una regulación *bottom-up* (Bamstedt *et al.*, 2005), este control se podría relacionar con las altas abundancias de Cl-*a* registradas en verano y la alta abundancia de apendicularias registrada en otoño; aunque también se ha registrado que las poblaciones de apendicularias pueden sufrir una regulación *top-down*, ya que son presas para larvas de peces (Purcell *et al.*, 2005). Por su parte, la abundancia del krill podría no estar fuertemente relacionada con el aumento de Cl-*a* ya que se sabe que el krill postlarval es omnívoro altamente eficiente y se puede alimentar en concentraciones bajas de Cl-*a* (Siegel *et al.*, 2013).

El análisis de componentes principales también reveló que los copépodos harpacticoideos y los anfípodos conformarían una asociación, y sus abundancias aumentarían con el aumento de la temperatura. Esto concuerda con estudios previos que

sugieren que la temperatura es un parámetro ambiental de gran influencia sobre la estructura de la comunidad (Aguirre, 2015), impactando en los ciclos de vida, tasas de desarrollo y reproducción de las especies zooplanctónicas, especialmente en comunidades de aguas frías (Ward *et al.*, 2012a,b). Para los anfípodos, el aumento de la temperatura podría tener un impacto negativo en las respuestas fisiológicas, causando alteraciones en la preferencia alimentaria (Schram *et al.*, 2016). En los copépodos harpacticoideos, el aumento de la temperatura podría tener un impacto en la supervivencia, el tiempo de maduración de los huevos y las tasas de reproducción (Zaleha & Busra, 2012).

Aunque la salinidad no fue determinada como un factor influyente en los análisis estadísticos, muchos estudios sugieren que la salinidad, la cobertura de hielo estacional y los patrones de vientos pueden ser factores ambientales que ocasionen modificaciones en la estructura de la comunidad (Garcia, 2015; Kinne, 1964; Milione & Zeng, 2008). La distribución espacial de las comunidades mesozooplanctónicas está fuertemente condicionada por la distribución horizontal y vertical de las propiedades físicas y químicas de la columna de agua (salinidad, temperatura, etc.), así como de la cantidad y calidad de los recursos alimenticios y de la presión de sus depredadores (Kiørboe, 1997; Smith *et al.*, 2017). La influencia de cada variable en particular sobre cada taxón/especie es diferente y depende de muchos factores (*e.g.*, fisiología y ciclo de vida del taxón/especie, etc.) tal como lo evidenció el análisis de componentes principales, que mostró tres asociaciones de grupos/taxones que respondieron diferencialmente a las variables ambientales.

La cobertura de hielo marino ejerce una influencia significativa en la dinámica espacial del mesozooplancton en C. Potter. En estudios previos se observó un aumento notable en las abundancias de pequeños copépodos, seguido por una transición hacia una biomasa elevada de eufáusidos en el estrato superficial del sitio interno de la caleta (Garcia, 2015). Durante este período, los copépodos pequeños predarían sobre el microzooplancton debido a la baja disponibilidad de fitoplancton (Fuente, 2006). Además, la presencia de larvas de krill bajo el hielo se atribuye a la presencia de alimento heterótrofo disponible (Flores *et al.*, 2012) y también se alimentarían selectivamente de dinoflagelados (Garcia, 2015).

El tamaño corporal de los organismos es un rasgo ecológico indicador del estado del ecosistema (Atkinson *et al.*, 2021) y de las alteraciones en la estructura de la red alimentaria (Gorokhova *et al.*, 2016). Los resultados de este estudio de estructura de tallas y composición taxonómica del mesozooplancton, y de los valores de *Cl-a* (biomasa fitoplanctónica/alimento disponible) en cada estación del año sugieren que durante el

otoño/invierno el área de C. Potter estaría caracterizada por una trama trófica microbiana, sustentada por algas pequeñas ultra- y nanoeucariotas y posiblemente por bacterioplancton. Los organismos planctónicos de pequeño tamaño proveerían un mecanismo de flujo de energía en un sistema donde la producción primaria parece estar dominada por células demasiado pequeñas como para ser eficientemente ingeridas por el mesozooplancton, y donde probablemente el carbono de bacterias y del ultraplancton excede el carbono del fitoplancton de mayor tamaño relativo (*e.g.* Lawrence *et al.*, 1993). Por ende, las bacterias y organismos del ultraplancton constituirían estacionalmente importantes vías alternativas de energía y material de consumo indirecto para el mesozooplancton en la región.

Los resultados de este estudio, sumados a los antecedentes para la región, apoyan la hipótesis de que las condiciones tróficas preponderantes durante el otoño/invierno correspondieron a una etapa tardía de la sucesión fitoplanctónica, posterior a la floración del microfitoplancton. En consecuencia, la disponibilidad de alimento óptimo para las comunidades mesozooplanctónicas fue baja. La respuesta de los organismos del mesozooplancton a esta situación trófica habría sido variable según el grupo taxonómico y a sus posibilidades de adaptación. Los organismos mesozooplanctónicos predominantes en otoño/invierno fueron los de menor tamaño relativo (apendicularias, copépodos ciclopoideos y harpacticoideos), los que considerando el escenario ambiental descrito, se comportarían oportunistamente, pudiendo beneficiarse tanto del escaso microfitoplancton en el ambiente durante esta estación, como de partículas más pequeñas componentes del círculo microbiano, bacterioplancton y protistas heterótrofos, siendo al mismo tiempo presas de ictioplancton y otros carnívoros pelágicos (Turner, 2004). Este hábito omnívoro sugiere una organización trófica sensible y más bien flexible, que contribuye a la elasticidad de las comunidades confrontadas con un ambiente físico dinámico. En primavera/verano, por su parte, época en la que la concentración de Cl-*a* (alimento) fue comparativamente mucho más elevada, dominó el mesozooplancton de tamaño mediano/grande, el que se alimentaría principalmente del microfitoplancton, siendo parte de una trama trófica más clásica (Turner, 2004; Kiørboe, 1997; Calbet, 2001).

## 5. CONCLUSIONES

---

Este trabajo constituye el primer estudio detallado sobre las variaciones de la estructura del mesozooplankton de C. Potter a lo largo de una serie temporal contemplando todas las estaciones del año, y utilizando un sistema de análisis de imágenes como el método *ZooImage*.

Se contribuye con nueva información acerca de la composición y estructura del mesozooplankton en C. Potter durante el periodo de tres años consecutivos de 2012 a 2014. Como resultado de un muestreo intensivo que incluyó todo el ciclo anual, incluidos meses invernales históricamente de menos acceso, se pudo ampliar notoriamente el conocimiento de la estructura de la comunidad del mesozooplankton. No se evidenciaron diferencias espaciales ni temporales significativas en la estructura de la comunidad mesozooplanktonica de la región. La definición de un índice de importancia ( $I_i$ ), combinando las frecuencias numéricas y de ocurrencia ( $FN$  y  $FO$ ) de los grupos, permitió identificar los taxones más importantes o dominantes en la comunidad. Las clases de menor tamaño relativo predominaron notablemente en el periodo estudiado y en la primavera de 2012 prevalecieron, además, los de mayor tamaño relativo.

El empleo de un método automático de análisis de imágenes para estudiar la estructura de la comunidad constituye un aporte muy significativo, ofreciendo rapidez en la obtención de resultados en comparación con los métodos tradicionales (lupa, microscopio). El sistema *ZooImage* otorgó robustez en la distribución de estructura de tallas de la comunidad descrita por basarse en la medición de un número significativamente más elevado de individuos que en trabajos previos. De este modo se obtuvo una visión más realista de la estructura de tallas de la comunidad lo que aporta información sumamente importante para comprender el estado trófico del ecosistema. Además, con este método no se destruyen los organismos, lo que brinda la posibilidad de conservarlos para futuras investigaciones (Gorsky *et al.*, 2010).

Teniendo en cuenta las condiciones hidrográficas y tróficas, se sugiere que el ensamblaje de la comunidad está siendo afectado por condiciones específicas para cada grupo/taxón, y que predomina un control *bottom/up* en la regulación de la biomasa mesozooplanktonica. Se especula, asimismo, acerca de la tendencia hacia una trama trófica microbiana prevaleciente en las tramas tróficas planctónicas de C. Potter, en la cual la dominancia de los taxones se asocia con su capacidad de omnivoría y plasticidad a consumir lo que haya disponible.

Este estudio puso de manifiesto la importancia relativa de los taxones pequeños en la comunidad, tales como los copépodos ciclopoideos y calanoideos y las apendicularias. Existen evidencias de que dichos taxones constituyen un nexo entre el mesozooplancton y la trama trófica microbiana (*e.g.*, Galliene y Robins, 2001). Por consiguiente, dilucidar el rol de estos taxones en las tramas tróficas pelágicas de C. Potter debería ser un objetivo de futuras investigaciones.

La realización de muestreos más exhaustivos durante el invierno, y la consideración de otras variables físicas, tales como la influencia de los vientos y el grado de congelamiento de la caleta en meses invernales, para explicar las variaciones en la estructura del mesozooplancton sería importante para futuros trabajos.

A partir de este estudio se sientan las bases para construir los clasificadores que permitan automatizar el monitoreo del zooplancton en C. Potter. La implementación de este enfoque metodológico de manera permanente en los estudios de mesozooplancton de C. Potter, enmarcados en el programa ECOS, resultará muy beneficioso. Permitirá acelerar los tiempos de obtención de resultados, al procesar las muestras *in situ* en la Estación Carlini sin demoras luego de ser colectadas. Los organismos escaneados con metadatos adjuntos, se podrán compartir entre científicos y trabajar simultáneamente en la identificación de organismos y corregir la identificación previa si fuera necesario (Koplin, 2020). Esto a su vez, sería de gran utilidad para estudiar y evaluar el estado de la comunidad en una serie temporal más extensa influenciada por cambios climáticos.-

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE GE (2015). Ecología del mesozooplankton marino en ambientes costeros de altas latitudes: Canal Beagle (extremo sur de Sudamérica) y Caleta Potter (Isla 25 de Mayo, Antártida) (Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires).
- ALCARAZ M, SAIZ E, CALBET A, *et al.* (2003). Estimating zooplankton biomass through image analysis. *Mar Biol* 143, 307-315.
- ALPAYDIN E (2004). Introduction to Machine-Learning. 1th Edition, The MIT Press, Cambridge.
- ANDERSON MJ (2001). Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. *Can J Fish Aquat Sci* 58(3), 626-639.
- ANTACLI JC (2011). Estrategias de vida de los copépodos *Drepanopus forcipatus* y *Calanus australis* en relación con los recursos tróficos en la plataforma patagónica austral (Argentina, 47°-55° S) (Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Mar del Plata).
- ANTACLI JC, HERNÁNDEZ D, SABATINI ME (2010). Estimating copepods' abundance with paired nets: Implications of mesh size for population studies. *J Sea Res* 63(1), 71-77.
- ANTACLI JC, HERNANDO MP, DE TROCH M, *et al.* (2021). Ocean warming and freshening effects on lipid metabolism in coastal Antarctic phytoplankton assemblages dominated by sub-Antarctic species. *Sci Total Environ* 790, 147879.
- ANTONI JS, ALMANDOZ GO, FERRARIO ME, *et al.* (2020). Response of a natural Antarctic phytoplankton assemblage to changes in temperature and salinity. *J Exp Mar Biol* 532, 151444.
- ARRIGO KR, MC CLAIN CR (1994). Spring phytoplankton production in the western Ross Sea. *Sci* 266, 261-263.
- ATKINSON A (1996). Subantarctic copepods in an oceanic, low chlorophyll environment: ciliate predation, food selectivity and impact on prey populations. *Mar Ecol Prog Ser* 130, 85-96.
- ATKINSON A, WARD P, MURPHY EJ (1996). Diel periodicity of subantarctic copepods: relationships between vertical migration, gut fullness and gut evacuation rate. *J Plankton Res* 18, 1387-1405.
- ATKINSON A, WHITEHOUSE MJ, PRIDDLE J, *et al.* (2001). South Georgia, Antarctica: a productive, cold water, pelagic ecosystem. *Mar Ecol Prog Ser* 216, 279-308.
- ATKINSON A, LILLEY MK, HIRST AG, *et al.* (2021). Increasing nutrient stress reduces the efficiency of energy transfer through planktonic size spectra. *Limnol Oceanogr* 66(2), 422-437.
- AYÓN P, PINEDO E, LOPEZ D (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, HOFMANN EE, AINLEY DG, *et al.* (2014). Productivity and linkages of the food web of the southern region of the western Antarctic Peninsula continental shelf. *Prog Oceanogr* 122, 10-29.
- BANSE K (1995). Zooplankton: pivotal role in the control of ocean production: I. Biomass and production. *ICES J Mar Sci* 52(3-4), 265-277.
- BÅMSTEDT U, FYHN HJ, MARTINUSSEN MB, *et al.* (2005). Seasonal distribution, diversity and biochemical composition of appendicularians in Norwegian fjords. En: GORSKY, G, YOUNGBLUTH, MJ, DEIBEL, D (eds). Response of Marine Ecosystems to Global Change: Ecological Impact of Appendicularians. Paris: Contemporary Publishing International p. 227-254.
- BARLETT ER, SIERRA ME, COSTA AJ, *et al.* (2021) Interannual variability of hydrographic properties in Potter Cove during summers between 2010 and 2017. *Antarct Sci* 33(3), 281-300.
- BARRERA-ORO ER, CASAUX RJ (1990) Feeding selectivity in *Notothenia neglecta*, Nybelin, from Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Antarct Sci* 2(3), 207-273.
- BARRERA-ORO E (2002). The role of fish in the Antarctic marine food web: differences between inshore and offshore waters in the southern Scotia Arc and west Antarctic Peninsula. *Antarct Sci* 14(4), 293-309.

- BARRERA-ORO ER, PIACENTINO GLM (2007) Feeding habits of juvenile *Trematomus newnesi* (Pisces, Nototheniidae) at Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Biol* 30, 789-796.
- BARRERA-ORO E, MOREIRA E, SEEFELDT MA, *et al.* (2019). La importancia de las macroalgas y los anfípodos asociados en la alimentación bentónica selectiva de las especies hermanas de bacalao de roca *Notothenia rossii* y *N. coriiceps* (Nototheniidae) en la Antártida Occidental. *Polar Biol* 42, 317-334.
- BELL JL, HOPCROFT RR (2008). Assessment of *ZooImage* as a tool for the classification of zooplankton. *J Plankton Res* 30(12), 1351-1367.
- BENFIELD M, GROSJEAN P, CULVERHOUSE P, *et al.* (2007) RAPID: research on automated plankton identification. *Oceanogr* 20 (2), 172-187.
- BERS AV, MOMO F, SCHLOSS IR, *et al.* (2013). Analysis of trends and sudden changes in long-term environmental data from King George Island (Antarctica): relationships between global climatic oscillations and local system response. *Clim Change* 116, 789-803.
- BOLTOVSKOY D, GIBBONS MJ, HUTCHINGS L, *et al.* (1999). General biological features of the South Atlantic. *South Atlantic Zooplankton*. Backhuys Publishers, Leiden 2, 1-41.
- BRADFORD-GRIEVE JM, BOYD PW, CHANG FH, *et al.* (1999). Pelagic ecosystem structure and functioning in the Subtropical Front region east of New Zealand in austral winter and spring 1993. *J Plankton Res* 21(3).
- BRANDT A, DE BROYER C, DE MESEL I, *et al.* (2007). The biodiversity of the deep Southern Ocean benthos. *Philos Trans Royal Soc* 362, 39-66.
- BULLERI F, CHAPMAN MG, UNDERWOOD AJ (2005). Intertidal assemblages on seawalls and vertical rocky shores in Sydney Harbour, Australia. *Austral Ecol* 30(6), 655-667.
- CALBET A (2001). Mesozooplankton grazing effect on primary production: a global comparative analysis in marine ecosystems. *Limnol Oceanogr* 46(7), 1824-1830.
- CALBET A, SAIZ E (2005). The ciliate-copepod link in marine ecosystems. *Aquat Microb Ecol* 38(2), 157-167.
- CLARKE KR, GORLEY RN (2001). PRIMER v5: User manual/Tutorial. Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research. Plymouth Mar Lab.
- CLARKE A, GRIFFITHS HJ, BARNES DK, *et al.* (2009). Spatial variation in seabed temperatures in the Southern Ocean: implications for benthic ecology and biogeography. *J Geophys Res Biogeosci* 114(G3).
- COOK AJ, FOX AJ, VAUGHAN DG, *et al.* (2005). Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century. *Sci* 308(5721), 541-544.
- CULVERHOUSE PF, WILLIAMS R, BENFIELD M, *et al.* (2006) As We See It. Automatic image analysis of plankton: future perspectives. *Mar Ecol Progr Ser* 312, 297-309.
- CUSHING DH (1990). Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match/mismatch hypothesis. *Adv Mar Biol* 26, 249-293.
- DALY KL (1990). Overwintering development, growth, and feeding of larval *Euphausia superba* in the Antarctic marginal ice zone. *Limnol Oceanogr* 35(7), 1564-1576
- DE BROYER C, NYSSSEN F, DAUBY P (2004) The crustacean scavenger guild in Antarctic shelf, bathyal and abyssal communities. *Deep-Sea Res Pt II* 51(14-16), 1733-1752.
- DEJO PA, PINEDO E, LÓPEZ D (2016). Estructura comunitaria del zooplankton antártico en el estrecho Bransfield y alrededores de la isla Elefante, verano austral 2007, ANTAR XVII. *Boletín Instituto del Mar del Perú* 31(1), 121-127.
- DEVELOPMENT CORE TEAM R (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.
- DI MAURO R, CEPEDA G, CAPITANIO F, *et al.* (2011). Using ZooImage automated system for the estimation of biovolume of copepods from the northern Argentine Sea. *J Sea Res* 66(2), 69-75.
- ELWERS K, DAHMS HU (1998) Species composition and seasonal population structure of *Oithona similis* (Copepoda, Cyclopoida). En: WIENCKE C, FERREYRA G, ARNTZ W, RINALDI C (eds). The Potter Cove ecosystem-Sinopsis, 299 *Ber Polarforsch*, Germany, pp 150-155.

- ERASO A, DOMÍNGUEZ M (2007). Physicochemical characteristics of the subglacier discharge in potter cove, King George Island, Antarctica. *Karst cryokarst. Estudios de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad de Silesia* 45, 111-122.
- ERDDAP (2023). URL. <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>
- EVANS MS, SELL DW (1985). Mesh size and collection characteristics of 50-cm diameter conical plankton nets. *Hydrobiologia* 122, 97-104.
- FLORES H, VAN FRANEKER JA, SIEGEL V, *et al.* (2012). The association of Antarctic krill *Euphausia superba* with the under-ice habitat. *PloS one*, 7(2) e 31775.
- FUENTES VL, HOFFMEYER MS (2005). Abundance of *Calanus propinquus* and *Calanoides acutus* in an Antarctic coastal environment: comparing the inner and outer Potter Cove (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica). En: Thatje S, Calcagno J, Arntz WE (eds). *Evolución de la fauna Antártica. Resúmenes ampliados del simposio y taller internacional IBMANT/ANDEEP en 2003*(pp 136-138).
- FUENTES V (2006). Estudio de la Comunidad Zooplanctónica de Caleta Potter y Bahía Guardia Nacional (Isla 25 de Mayo): su Rol en la Dinámica del Carbono en Zonas Costeras Antárticas (Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires).
- FUENTES VL, SCHNACK-SCHIEL SB, SCHLOSS IR, *et al.* (2008). Mesozooplankton of Potter Cove: Community composition and seasonal distribution in 2002 and 2003. *Rep Pol Mar Res* 571, 75-84.
- GALLIENNE CP, ROBINS DB (2001). Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans? *J Plankton Res* 23(12), 1421-1432.
- GARCIA MD (2015) Dinámica espacial y temporal del micro y mesozooplankton en Caleta Potter (Isla 25 de Mayo-Shetland del Sur-Antártida) y su relación con el derretimiento glaciar (Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur).
- GARCIA MD, HOFFMEYER MS, BARRÍA DE CAO MS, *et al.* (2016a) Micro- and mesozooplankton responses during two contrasting summers in a coastal Antarctic environment. *Polar Biol* 39,123-137.
- GARCIA MD, LÓPEZ ABBATE C, HOFFMEYER MS, *et al.* (2016b) 6<sup>th</sup> Zooplankton Production Symposium. Berguen, Noruega.
- GARCIA MD, DUTTO MS, CHAZARRETA CJ, *et al.* (2020). Micro-and mesozooplankton successions in an Antarctic coastal environment during a warm year. *PloS One* 15(5), e0232614.
- GIRALDO A, CRÍALES-HERNÁNDEZ MI, JERÉZ-GUERRERO M, *et al.* (2019). Biomasa del mesozooplankton y ensamblaje de copépodos epipelágicos en el estrecho de Gerlache (Antártica) durante el verano austral de 2015. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR* 48(1), 9-26.
- GISLASON A, SILVA T (2009). Comparison between automated analysis of zooplankton using ZooImage and traditional methodology. *J Plankton Res* 31(12)1505-1516.
- GLEIBER MR (2014). Long-term change in copepod community structure in the Western Antarctic Peninsula: Linkage to climate and implications for carbon cycling (Disertaciones, Tesis y Proyecto de Maestrías. William, Mary).
- GODDARD EARTH SCIENCES DATA SCIENCES AND INFORMATION SERVICES CENTER. (s.f) GIOVANNI. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- GONZÁLEZ HE, SMETACEK V (1994). The possible role of the cyclopid copepod *Oithona* in retarding vertical flux of zooplankton faecal material. *Mar Ecol Prog Ser* 113, 233-246.
- GOROKHOVA E, LEHTINIEMI M, POSTEL L, *et al.* (2016). Indicator properties of Baltic zooplankton for classification of environmental status within marine strategy framework directive. *PloS one* 11(7), e0158326.
- GORSKY G, OHMAN MD, PICHERAL M, *et al.* (2010). Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *J Plankton Res* 32(3), 285-303.
- GROSJEAN P, DENIS K (2007) ZooImage user's manual. [www.sciviews.org/zooimage](http://www.sciviews.org/zooimage)
- GUTT J, BERTLER N, BRACEGIRDLE TJ, *et al.* (2015). The Southern Ocean ecosystem under climate change stresses an integrated circumpolar assessment. *Glob Change Biol* 290, 1434-1453.

- HARRIS R, WIEBE P, LENZ J, *et al.* (2000). ICES Zooplankton Methodology Manual. Elsevier.
- HENLEY SF, SCHOFIELD OM, HENDRY KR, *et al.* (2019). Variability and change in the west Antarctic Peninsula marine system: research priorities and opportunities. *Prog Oceanogr* 173, 208-237.
- HERNÁNDEZ-RUIZ M, BARBER-LLUCH E, PRIETO A, *et al.* (2018). Seasonal succession of small planktonic eukaryotes inhabiting surface waters of a coastal upwelling system. *Environ Microbiol* 20(8), 2955-2973.
- HERNANDO M, SCHLOSS IR, MALANGA G, *et al.* (2015). Effects of salinity changes on coastal Antarctic phytoplankton physiology and assemblage composition. *J Exp Mar Biol Ecol* 466, 110-119.
- HUANG YM, AMSLER MO, MCCLINTOCK JB, *et al.* (2007). Patterns of gammaridean amphipod abundance and species composition associated with dominant subtidal macroalgae from the western Antarctic Peninsula. *Polar Biol* 30, 1417-1430.
- HUOT Y, BABIN M, BRUYANT F, *et al.* (2007). Does chlorophyll a provide the best index of phytoplankton biomass for primary productivity studies? *Biogeosci Discuss* 4(2), 707-745.
- HWANG JS, KUMAR R, DAHMS HU, TSENG LC, CHEN QC (2007). Mesh size affects abundance estimates of *Oithona* spp. (Copepoda, Cyclopoida). *Crustaceana* 80(7), 827-837.
- JASPERS C, NIELSEN TG, CARSTENSEN J, *et al.* (2009). Metazooplankton distribution across the Southern Indian Ocean with emphasis on the role of Larvaceans. *J plankton Res* 31(5), 525-540.
- JOHNSON WS, ALLEN DM (2012). Zooplankton of the Atlantic and Gulf coasts: a guide to their identification and ecology. JHU Press.
- KIM H, DUCKLOW HW, ABELE D, *et al.* (2018). Inter-decadal variability of phytoplankton biomass along the coastal West Antarctic Peninsula. *Philos Trans Royal Soc* 376(2122), 20170174.
- KINNE O (1964). Non-genetic adaptation to temperature and salinity. *Helgol Wissenschaftliche Meeresunters* 9(1), 433-458.
- KIØRBOE T (1997). Population regulation and role of mesozooplankton in shaping marine pelagic food webs. *Hydrobiologia* 363, 13-27.
- KLÖSER H, FERREYRA G, SCHLOSS I, *et al.* (1993). Seasonal variation of algal growth conditions in sheltered Antarctic bays: the example of Potter Cove (King George Island, South Shetlands). *J Mar Syst* 4(4), 289-301.
- KLÖSER H, FERREYRA G, SCHLOSS I, *et al.* (1994). Hydrography of Potter Cove, a small fjord-like inlet on King George Island (South Shetlands). *Estuar Coast Shelf Sci* 38(5), 523-537.
- KOPLIN J (2020). Community composition of epipelagic zooplankton in the Eurasian Basin 2017 determined by ZooScan image analysis (Tesis Doctoral, Universidad de Hamburgo).
- LAMPITT RS (1978). Carnivorous feeding by a small marine copepod 1. *Limnol Oceanogr* 23(6), 1228-1231.
- LAWRENCE SG, AHMAD A, AZAM F (1993). Fate of particle-bound bacteria ingested by *Calanus pacificus*. *Mar Ecol Prog Ser* 97, 299-307.
- LEHETTE P, HERNÁNDEZ-LEÓN S (2009). Zooplankton biomass estimation from digitized images: a comparison between subtropical and Antarctic organisms. *Limnol Oceanogr-Meth* 7(4), 304-308.
- LIN Y, MORENO C, MARCHETTI A, *et al.* (2021). Decline in plankton diversity and carbon flux with reduced sea ice extent along the Western Antarctic Peninsula. *Nat Commun* 12(1), 4948.
- LINDSAY MCM, WILLIAMS GD (2010). Distribution and abundance of larvaceans in the Southern Ocean between 30 and 80 E. *Deep Sea Res Part II: Top Stud Oceanogr* 57(9-10), 905-915.
- LIM CH (2014). Modelling waves and currents in Potter Cove, King George Island, Antarctica (Tesis Doctoral, Universidad de Oldenburg).
- LONSDALE DJ, CARON DA, DENNETT MR, *et al.* (2000). Predation by *Oithona* spp. on protozooplankton in the Ross Sea, Antarctica. *Deep Sea Res Part II: Top Stud Oceanograph* 47(15-16), 3273-3283.

- LORENZO-NAVARRO J, CASTRILLÓN-SANTANA M, GÓMEZ M, *et al.* (2018). Automatic counting and classification of microplastic particles. In ICPRAM 2018-Proceedings of the 7th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods.
- MACKAS D, BEAUGRAND G (2010) Comparisons of zooplankton time series. *J Mar Syst* 79 (3-4) 286-304.
- MAKABE R, TANIMURA A, FUKUCHI M (2012). Comparison of mesh size effects on mesozooplankton collection efficiency in the Southern Ocean. *J Plankton Res* 34(5), 432-436.
- MARSCHALL HP (1988). The overwintering strategy of Antarctic krill under the pack-ice of the Weddell Sea. *Polar Biol* 9, 129-135
- MARINA TI, SALINAS V, CORDONE G, *et al.* (2018). The food web of Potter Cove (Antarctica): complexity, structure and function. *Estuar Coast Shelf Sci* 200, 141-151.
- MEYER B, ATKINSON A, BLUME B, *et al.* (2003). Feeding and energy budgets of larval Antarctic krill *Euphausia superba* in summer. *Mar Ecol Progr Ser* 257, 167-177.
- MILIONE M, ZENG C (2008). The effects of temperature and salinity on population growth and egg hatching success of the tropical calanoid copepod, *Acartia sinjiensis*. *Aquac* 275(1-4), 116-123.
- MONIEN D, MONIEN P, BRÜNJES R (2017). Meltwater as a source of potentially bioavailable iron to Antarctica waters. *Antarct Sci* 29(3), 277-291.
- MORRISON DF (1976). Multivariate statistical methods-2. *Sci* 29(6), 517-528.
- NARCY F (2010). Life strategy of *Oithona similis* and role in trophic interactions in an arctic coastal ecosystem (Tesis Doctoral, Universidad de Tromsø).
- PANASIUK-CHODNICKA AA, ŻMIJEWSKA MI (2010). Cnidaria from the Croker passage (Antarctic Peninsula) with a special focus on Siphonophorae. *Polar Biol* 33, 1131-1143.
- PANE L, FELETTI M, FRANCOMACARO B, *et al.* (2004). Summer coastal zooplankton biomass and copepod community structure near the Italian Terra Nova Base (Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica). *J Plankton Res* 26(12), 1479-1488.
- PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (2021) La base de la ciencia física. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- PASTERNAK AF, SCHNACK-SCHIEL SB (2001). Seasonal feeding patterns of the dominant Antarctic copepods *Calanus propinquus* and *Calanoides acutus* in the Weddell Sea. *Polar Biol* 24, 771-784.
- PHILIPP EER, HUSMANN G, ABELE D (2011). The impact of sediment deposition and iceberg scour on the Antarctic soft-shell clam *Laternula elliptica* at King George Island, Antarctica. *Antarct Sci* 23, 127-138.
- PITOIS SG, SHAW M, FOX CJ, FRID CL (2009). A new fine-mesh zooplankton time series from the Dove sampling station (North Sea). *J Plankton Res* 31(3), 337-343.
- PLANQUE B, HAYS GC, IBANEZ F, *et al.* (1997). Large scale spatial variations in the seasonal abundance of *Calanus finmarchicus*. *Deep Sea Res Part I: Oceanogr Res Pap* 44(2), 315-326.
- PLOURDE S, JOLY P, IRIGOIEN X (2008) A preliminary assessment of the performance of an automated system for the analysis of zooplankton samples from the Gulf of St. Lawrence, Northwest Atlantic. *AZMP Bull* 7, 7.
- POND DW, WARD P (2011) Importance of diatoms for *Oithona* in Antarctic waters. *J Plankton Res* 33(1)105-118.
- POTOCKA M, KIDAWA A, PANASIUK A, *et al.* (2019) The effect of glacier recession on benthic and pelagic communities: Case study in Herve Cove, Antarctica. *J Mar Sci Eng* 7(9), 28.
- PURCELL JE, STURDEVANT MV, GALT CP (2005). A review of appendicularians as prey of invertebrate and fish predators. Response of marine ecosystems to global changes: ecological impact of appendicularians. En: GORSKY G, YOUNGBLUTH MJ, DIEBEL, D (eds), London: GB Scientific Publisher, 359-435.
- QUETIN LB, ROSS R, FRAZAR T, *et al.* (1996). Factors affecting distribution and abundance of zooplankton, with an emphasis on Antarctic krill, *Euphausia superba*. Foundations for Ecological Research West of the Antarctic Peninsula. *Antarc Res Ser* 70, 357-371.

- QUETIN LB, ROSS RM (2001). Environmental variability and its impact on the reproductive cycle of Antarctic krill. *Am Zool* 41(1), 74-89.
- RICHARDSON AJ (2008). In hot water: zooplankton and climate change. *ICES J Mar Sci* 65(3), 279-295.
- ROESE M, DRABBLE M (1998). Wind-driven circulation in Potter Cove. *Ber Polarforsch* 299, 40-46.
- RÜCKAMP M, BRAUN M, SUCKRO S, *et al.* (2011). Observed glacial changes on the King George Island ice cap, Antarctica, in the last decade. *Glob Planet Change* 79(1-2), 99-109.
- SABATINI ME, ESCRIBANO, HIDALGO P (2009). Mesozooplankton. En: ALDER VA, MORALES CE (eds). Manual de métodos para el estudio de sistemas planctónicos marinos (pp. 268), Eudeba.
- SAHADE R, LAGGER C, TORRE L, *et al.* (2015). Climate change and glacier retreat drive shifts in an Antarctic benthic ecosystem. *Sci Adv* 1(10), e1500050.
- SCHLOSS IR (1997). Escalas tempo-espaciales de variabilidad del fitoplancton costero antártico (Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires).
- SCHLOSS IR, FERREYRA GA, RUIZ-PINO D (2002). Phytoplankton biomass in Antarctic shelf zones: a conceptual model based on Potter Cove, King George Island. *J Mar Syst* 36(3-4), 129-143.
- SCHLOSS IR, ABELE D, MOREAU S, *et al.* (2012). Response of phytoplankton dynamics to 19-year (1991-2009) climate trends in Potter Cove (Antarctica). *J Mar Syst* 92(1), 53-66.
- SCHLOSS IR, WASILOWSKA A, DUMONT D, *et al.* (2014). On the phytoplankton bloom in coastal waters of southern King George Island (Antarctica) in January 2010: An exceptional feature? *Limnol Oceanogr* 59(1), 195-210.
- SCHRAM JB, SCHOENROCK KM, MC CLINTOCK JB, *et al.* (2016). Seawater acidification more than warming presents a challenge for two Antarctic macroalgal-associated amphipods. *Mar Ecol Prog Ser* 554, 81-97.
- SEA-BIRD SCIENTIFIC (2023). *SBE Data Processing: CTD Data Processing & Plotting Software for Windows* (Manual de revision 7.26.8). <https://www.seabird.com/software>.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL (sf). El Niño y La Niña (ENOS). <https://www.smn.gob.ar/enos>
- SIEBURTH JM, SMETACEK V, LENZ J (1978) Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol Oceanogr* 23(6), 1256-1263.
- SIEGEL V, REISS CS, DIETRICH KS, *et al.* (2013). Distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*) along the Antarctic Peninsula. *Deep Sea Res Part I: Oceanogr Res Pap* 77, 63-74.
- SILGUERO JMB, ROBINSON BH (2000) Seasonal abundance and vertical distribution of mesopelagic calycophoran siphonophores in Monterey Bay, CA. *J Plankton Res* 22 (6)1139-1153.
- SMETACEK V, SCHAREK R, NOTHIG EM (1990). Seasonal and regional variation in the pelagic and its relationship to the life history of krill. En: KERRY KR, HEMPEL G (eds). Antarctic Ecosystems: Ecological Change and Conservation. Springer-Verlag, Heidelberg, 103-114.
- SMITH SL, SCHNACK-SCHIEL SB (1990). Polar Zooplankton. En: SMITH JR WO (Edit). Polar Oceanography, Part B: Chemistry, Biology, and Geology.
- SMITH RC, BAKER KS, DIERSSEN HM, *et al.* (2001). Variability of primary production in an Antarctic marine ecosystem as estimated using a multi-scale sampling strategy. *Am Zool* 41(1), 40-56.
- SMITH RC, MARTINSON DG, STAMMERJOHN SE, *et al.* (2008). Bellingshausen and western Antarctic Peninsula region: Pigment biomass and sea-ice spatial/temporal distributions and interannual variability. *Deep Sea Res Part II: Top Stud Oceanogr* 55(18-19), 1949-1963.
- SMITH WO, DELIZO LM, HERBOLSHEIMER C, *et al.* (2017). Distribution and abundance of mesozooplankton in the Ross Sea, Antarctica. *Polar Biol* 40, 2351-2361.
- SOMMER F, HANSEN T, FEUCHTMAYR H, *et al.* (2003). Do calanoid copepods suppress appendicularians in the coastal ocean?. *J Plankton Res* 25(7), 869-871.

- STIBOR H, VADSTEIN O, LIPPERT B, *et al.* (2004). Calanoid copepods and nutrient enrichment determine population dynamics of the appendicularian *Oikopleura dioica*: a mesocosm experiment. *Mar Ecol Progr Ser* 270, 209-215.
- STRICKLAND JDH, PARSONS TR (1972) A Practical Hand Book of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada Bulletin 157, 2nd Edition, 310 p.
- SVENSEN C, NEJSTGAARD JC (2003). Is sedimentation of copepod faecal pellets determined by cyclopoids? Evidence from enclosed ecosystems. *J Plankton Res* 25(8), 917-926.
- SYVITSKI JP, MD MOREHEAD, M NICHOLSON, HYDROTRENDA climate-driven hydrologic-transport model for predicting discharge and sediment load to lakes or oceans, *Comput Geosci* 24(1), 51-68, 1998a.
- TAKAHASHI KT, HOSIE GW, KITCHENER JA, *et al.* (2010). Comparison of zooplankton distribution patterns between four seasons in the Indian Ocean sector of the Southern Ocean. *Polar Sci* 4(2), 317-331.
- TANDE KS, NILSSEN EM, EDVARDBSEN A, *et al.* (2000). Patterns in the variations of copepod spring and summer abundance in the northeastern Norwegian Sea and the Barents Sea in cold and warm years during the 1980s and 1990s. *ICES J Mar Sci* 57(6), 1581-1591.
- THIBODEAU PS, STEINBERG DK, MAAS AE (2020). Effects of temperature and food concentration on pteropod metabolism along the Western Antarctic Peninsula. *J Exp Mar Biol Ecol* 530, 151412.
- TORRE L, ABELE D, LAGGER C *et al.* (2014). When shape matters: strategies of different Antarctic ascidians morphotypes to deal with sedimentation. *Mar Environ Res* 99, 179-187.
- TORRE L, SERVETTO N, EÖRY ML, *et al.* (2012). Respiratory responses of three Antarctic ascidians and a sea pen to increased sediment concentrations. *Polar Biol* 35, 1743-1748.
- TRENBERTH KE (2007). Observations of climate change: The 2007 IPCC Assessment. Committee on Science and Technology, United States House of Representatives. Room, 2318.
- TURNER JT (2004). The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. *Zool Stud* 43(2), 255-266.
- VALDIVIA N, GARRIDO I, BRUNING P, *et al.* (2020). Biodiversity of an Antarctic rocky subtidal community and its relationship with glacier meltdown processes. *Mar Environ Res* 159, 104991.
- VANNUCCI M (1968). Loss of organisms through the meshes. En: Tranter, DJ (ed) Zooplankton sampling, *Monogr Oceanogr Methodol* 2. Unesco, Paris, pp. 77-86.
- VAUGHAN DG, MARSHALL GJ, CONNOLLEY WM, *et al.* (2003). Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Clim Change* 60, 243-274.
- VERITY PG, SMETACEK V (1996). Organism life cycles, predation, and the structure of marine pelagic ecosystems. *Mar Ecol Prog Ser* 130, 277-293.
- VERNET M, MARTINSON D, IANNUZZI R, *et al.* (2008). Primary production within the sea-ice zone west of the Antarctic Peninsula: I-Sea ice, summer mixed layer, and irradiance. *Deep Sea Res Part II: Top Stud Oceanogr* 55(18-19), 2068-2085.
- WARD P, ATKINSON A, TARLING G (2012a). Mesozooplankton community structure and variability in the Scotia Sea: a seasonal comparison. *Deep Sea Res Part II: Top Stud Oceanogr* 59, 78-92.
- WARD P, ATKINSON A, VENABLES HJ, *et al.* (2012b). Food web structure and bioregions in the Scotia Sea: A seasonal synthesis. *Deep-Sea Res II* 59, 253-266.
- WARWICK RM, CLARKE KR (1994). Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Mar Biol* 118, 739-744.
- WÖLFL AC, LIM CH, HASS HC, *et al.* (2014). Distribution and characteristics of marine habitats in a subpolar bay based on hydroacoustics and bed shear stress estimates-Potter Cove, King George Island, Antarctica. *Geo-Marine Letters* 34, 435-446.
- ZALEHA K, BUSRA I (2012). Culture of harpacticoid copepods: understanding the reproduction and effect of environmental factors, pp. 343-360. En: MUCHLISIN Z (ed) Aquaculture. Intech Open.
- ZHOU M, HUNTLEY ME (1997). Population dynamics theory of plankton based on biomass spectra. *Mar Ecol Prog Ser* 159, 61-73.