



**UNIVERSIDAD DEL SINÚ**  
Elías Bechara Zainúm  
Seccional Cartagena

**COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN  
EL ESTRECHO DE GERLACHE, (PENÍNSULA ANTÁRTICA) EN EL VERANO  
AUSTRAL 2018-2019.**

**TESIS DE PREGRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIOLOGO MARINO**

**PRESENTADO POR:**

**LUZ ALICIA AGUILAR PADILLA**

**UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y BIOTECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA  
CARTAGENA, COLOMBIA.**

**2023**



**UNIVERSIDAD DEL SINÚ**  
Elías Bechara Zainúm  
Seccional Cartagena

**COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN  
EL ESTRECHO DE GERLACHE, (PENÍNSULA ANTÁRTICA) EN EL VERANO  
AUSTRAL 2018-2019.**

**TESIS DE PREGRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIOLOGO MARINO**

**PRESENTADO POR:  
Luz Alicia Aguilar Padilla**

**Director  
Luz Marina Mejía Ladino, M. Sc.**

**Co-Director  
Ph. D. Mary Luz Cañón Páez**

**UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y BIOTECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA**

**2023**

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, por el apoyo incondicional y emocional que me brindaron durante todo mi proceso de formación dentro del programa de Biología Marina.*

*A la Dirección General Marítima y al Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe - CIOH, por permitirme realizar la observación de las muestras pertenecientes a la Expedición científica a la Antártida Almirante Tono.*

*A la Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm-Seccional Cartagena, por realizar el proceso de convenio con la Dirección Marítima - DIMAR y el CIOH que me permitió realizar mi trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino.*

*A mis directoras de tesis M. SC. Luz Marina Mejía Ladino y Dr. Maryluz Cañón Páez, por brindarme sus conocimientos, aportes, orientación y por la disposición de atender mis inquietudes durante todo el proceso de formación.*

*A la tripulación del ARC 20 de Julio de la Armada de Colombia y al Programa Antártico Colombiano, por la toma de muestras en campo durante la Expedición Almirante Tono.*

*A mi asesor dentro del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, Luis Alberto De La Hoz Barrientos, por guiarme, apoyarme y aportarme sus conocimientos durante y después de mi tiempo dentro de las instalaciones del CIOH.*

*Al Dr. Alejandro Henao Castro, por su apoyo en el análisis estadístico de las muestras bióticas y abióticas.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>3. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. Estado del arte.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Marco teórico .....</b>	<b>19</b>
<b>a. Generalidades del fitoplancton .....</b>	<b>19</b>
<b>b. Divisiones del fitoplancton.....</b>	<b>20</b>
<b>c. Sistema de Tratado Antártico.....</b>	<b>23</b>
<b>4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Descripción del problema.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2. Formulación del problema .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3. Objetivos.....</b>	<b>25</b>
<b>a. Objetivo General.....</b>	<b>25</b>
<b>b. Objetivos Específicos.....</b>	<b>25</b>
<b>4.4. Metodología.....</b>	<b>25</b>
<b>a. Área de estudio .....</b>	<b>25</b>
<b>b. Variables .....</b>	<b>27</b>
<b>c. Toma de muestras.....</b>	<b>28</b>
<b>d. Procesamiento de muestras.....</b>	<b>29</b>
<b>e. Análisis de datos .....</b>	<b>30</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1. Parámetros fisicoquímicos.....</b>	<b>31</b>
<b>a. Físicos.....</b>	<b>31</b>
<b>b. Nutrientes.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2. Composición de la comunidad .....</b>	<b>35</b>
<b>5.3. Atributos de la comunidad .....</b>	<b>47</b>
<b>5.4. Análisis de componentes principales .....</b>	<b>49</b>
<b>5.5. Análisis de correlación canónica.....</b>	<b>50</b>
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>

<b>8. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>9. REFERENCIAS</b> .....	<b>57</b>
<b>10. ANEXOS</b> .....	<b>62</b>
<b>Anexo 1.</b> Catálogo de grupos taxonómicos identificados en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019 .....	62
<b>Anexo 2.</b> Presencia y ausencia de especies. ....	66
<b>Anexo 3.</b> Suficiencia del muestreo .....	68
<b>Anexo 4.</b> Glosario .....	69

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas de la toma de muestra en el Estrecho de Gerlache y distinguiendo las estaciones con picos de fluorescencia (Pf) en el verano austral 2018-2019. Fuente: V Expedición Almirante Campos (CIOH 2018) (Arzuza y Rodríguez, 2019). .....	27
<b>Tabla 2.</b> Variables bióticas y abióticas del presente estudio.....	28
<b>Tabla 3.</b> Valores fisicoquímicos presentes en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019. ....	32
<b>Tabla 4.</b> Taxones identificados en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.....	36
<b>Tabla 5.</b> Análisis SIMPER de las estaciones en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019. Cum. %: Porcentaje acumulado.....	43
<b>Tabla 6.</b> Análisis SIMPER teniendo en cuenta los ámbitos de profundidad (Somero 0-5 m y Profundo 50 m) en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.....	44
<b>Tabla 7.</b> Densidades encontradas en las estaciones que presentaron picos de fluorescencia en el Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019 .....	47
<b>Tabla 8.</b> Índices ecológicos de las muestras de la comunidad extraídas en el Estrecho de Gerlache, en el verano austral 2018-2019 .....	48
<b>Tabla 9.</b> Análisis de componentes principales (PCA) de las variables abióticas tomadas en las estaciones definidas en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.....	49
<b>Tabla 10.</b> Porcentajes de análisis de correlación canónica .....	51

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Regiones delimitadas en enero de 2018 en el Estrecho de Gerlache a partir de sensores remotos de temperatura superficial del mar (SSTsat ), así como, de variables de color derivadas: coeficiente de absorción específico del fitoplancton ( $a^*_{\text{PH}}(443)$ ). Tomado de Cañón-Páez (2020).....	19
<b>Ilustración 2.</b> Área de estudio. Estrecho de Gerlache en la península Antártica occidental. ....	26
<b>Ilustración 3.</b> Instrumentos de colecta: (A) Roseta oceanográfica compuesta por botellas Niskin, empleada la colecta de muestras bióticas y toma de datos abióticos; (B) CTDOF y (C) WTW Oxi 3310. ....	29
<b>Ilustración 4.</b> Procesamiento de muestras: (A) proceso de sedimentación. 1) soporte de manipulación. 2) placa base de Utermöhl. 3) cámara de sedimentación de 100 ml. 4) cristales y (B) Placa base y anillo roscado.....	30
<b>Ilustración 5.</b> Nutrientes de las 16 estaciones muestreadas en el Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019. ....	34
<b>Ilustración 6.</b> Abundancia de los grupos taxonómicos encontrados en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019: a) Abundancia relativa de todos los grupos taxonómicos; b) Abundancia relativa sacando las Bacillariophyta. ....	37
<b>Ilustración 7.</b> Riqueza y densidad del fitoplancton encontradas en las estaciones muestreadas del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.....	38
<b>Ilustración 8.</b> Riqueza y densidad fitoplanctonica obtenida en las regiones y masas de agua delimitadas a posteriori en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019. ....	39
<b>Ilustración 9.</b> Densidades de la comunidad fitoplanctónica presente en las diferentes regiones del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.....	40
<b>Ilustración 10.</b> Densidades de la comunidad fitoplanctónica presente las diferentes profundidades del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019 .....	41
<b>Ilustración 11.</b> Análisis de similaridad de Bray Curtis de las estaciones del Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.....	42
<b>Ilustración 12.</b> Prueba de NMDS.....	43
<b>Ilustración 13.</b> Densidad de los grupos taxonómicos encontrados en las estaciones que presentaron picos de fluorescencia en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2018. 45	
<b>Ilustración 14.</b> Riqueza y densidad de la comunidad fitoplanctónica encontrada en las estaciones que presentaron picos de fluorescencia del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019 .....	46
<b>Ilustración 15.</b> Análisis de correlación canónica entre las variables bióticas y abióticas de las estaciones delimitadas en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.....	51

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Catálogo de grupos taxonómicos identificados en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.....	62
<b>Anexo 2.</b> Presencia y ausencia de especies. ....	66
<b>Anexo 3.</b> Suficiencia del muestreo .....	68
<b>Anexo 4.</b> Glosario .....	69



## RESUMEN

El presente proyecto describe la composición y distribución de la comunidad fitoplanctónica en el Estrecho de Gerlache ubicado en el noreste de la Antártica, durante el verano austral 2018-2019. Se utilizó una roseta oceanográfica cargada con botellas Niskin de 8 L. Las muestras de la comunidad fueron tomadas en 16 estaciones a diferentes profundidades (0 – 50 metros) con un CTDOF acoplado a la roseta, además, de muestras adicionales para los análisis de nutrientes y Chl-a, las cuales fueron fijadas con una solución de Lugol neutro y formalina al 4% y se observaron bajo el método de decantación de Utermöhl. Las variables físicas fueron medidas por medio del CTDOF y la sonda multiparamétrica WTW Oxi 3310. También se establecieron tres regiones a lo largo del Estrecho región norte (RN, en adelante), región central (RC, en adelante) y región sur (RS, en adelante). En términos de riqueza se identificaron 61 taxones representados por 51 Bacillariophyta, 8 Miozoa y 2 Euglenophyta, encontrando en total 2.195 organismos, la mayor distribución de taxones se presentó en las estaciones de RS, mientras que, en cuanto a la densidad, los valores más altos se encontraron en las estaciones de las regiones RN y RS del Estrecho de Gerlache. El grupo Bacillariophyta fue el más dominante en todas las estaciones. Las especies que más aportaron a la comunidad fitoplanctónica fueron *Actinocyclus* sp (265 cel/ml), *Corethron pennatum* (130 cel/ml) y *Grammatophora marina* (140 cel/ml). En el caso del grupo taxonómico Miozoa las que más destacaron fueron *Gonyaulax* sp (25 cel/ml), *Protoberidinium monacanthum* (20 cel/ml) y *Protoberidinium* sp (20 cel/ml). Por último, para el grupo Euglenophyta la mayor densidad la tuvo *Eutreptiella* sp 1. En términos de la distribución en la columna de agua y en las regiones delimitadas en el Estrecho de Gerlache, se observó que desde los 0 a los 50 m, las Bacillariophyta presentaron la mayor abundancia en todas las estaciones, pero especialmente en RN y RS; las Miozoa, mostraron una mayor abundancia entre los 0 a 20 m, siendo menor a los 50 m, y aunque su presencia se dio en todo el Estrecho, tuvo más presencia en RC. Las Euglenophyta predominaron entre los 0 a 5 m, y únicamente se observaron en las estaciones de RC y RS, siendo más abundantes en RC. El análisis de componentes principales determinó que el 78.3% de la variabilidad de los datos está dado por cuatro componentes principales, dentro de los cuales se presentaron asociaciones directas entre la temperatura, transparencia, oxígeno disuelto y los nitritos. Y relaciones inversas entre  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ; el pH, Chl-a y  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ . El análisis de correlación canónica determinó cinco grupos, de los cuales, cuatro de ellos mostraron una correspondencia con las anteriores variables fisicoquímicas. De acuerdo con los resultados registrados en este estudio y teniendo en cuenta las investigaciones realizadas por otros autores, se puede concluir que existen diferencias en la composición de la comunidad, lo cual se puede atribuir a las diferentes técnicas de muestreo implementadas en la realización de los estudios, y a la variabilidad en los parámetros fisicoquímicos de cada verano austral presente en el Estrecho de Gerlache.

### Palabras Claves:

Antártica, Fitoplancton, Estrecho de Gerlache.

## ABSTRACT

This project describes the composition and distribution of the phytoplankton community in the Estrecho Gerlache, located in northeastern Antarctica, during the 2018-2019 austral summer. An oceanographic rosette loaded with 8 L Niskin bottles was used. Community samples were taken at 16 stations at different depths (0 - 50 meters) by CTDOF coupled to the rosette, in addition to samples additional for the analysis of nutrients and Chl-a, which were fixed with a neutral Lugól solution and 4% formalin and were observed under the Utermöhl decantation method. The physical variables were measured by means of the CTDOF and the WTW Oxi 3310 multiparameter probe. Three regions were also established along the Estrecho Gerlache, the northern region (RN, hereinafter), the central region (RC, hereinafter) and the southern region (RS, onwards). In terms of richness, 61 taxa represented by 51 Bacillariophyta, 8 Miozoa and 2 Euglenophyta were identified, finding a total of 2,195 organisms, the largest distribution of taxa occurred in the stations of the RS, while, in terms of density, the highest values were found in the stations of the RN and RS of the Estrecho Gerlache. The Bacillariophyta group was the most dominant in all seasons. The species that contributed the most to the phytoplankton community were *Actinocyclus* sp (265 cel/ml), *Corethron pennatum* (130 cel/ml) and *Grammatophora marina* (140 cel/ml). In the case of the Miozoa taxonomic group, the ones that stood out the most were *Gonyaulax* sp (25 cel/ml), *Protoperidinium monacanthum* (20 cel/ml) and *Protoperidinium* sp (20 cel/ml). Lastly, for the phylum Euglenophyta, the highest density was found in the genus *Eutreptiella* sp 1. In terms of the distribution in the water column and in the delimited regions in the Estrecho Gerlache, it was observed that from 0 to 50 m, the Bacillariophyta presented the highest abundance in all seasons, but especially in RN and RS; the Miozoa, showed a greater abundance between 0 to 20 m, being less than 50 m, and although its presence occurred throughout the Estrecho Gerlache, it had more presence in RC. The Euglenophyta predominated between 0 to 5 m, and were only observed in the RC and RS stations, being more abundant in RC. The principal component analysis determined that 78.3% of the variability of the data is given by four main components, within which there were direct associations between temperature, transparency, dissolved oxygen and nitrites. And inverse relationships between  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ; the pH, Chl-a and  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ . The canonical correlation analysis determined five groups, of which four of them showed a correspondence with the previous physical-chemical variables. According to the results recorded in this study and taking into account the investigations carried out by other authors, it can be concluded that there are differences in the composition of the community, which can be attributed to the different sampling techniques implemented in carrying out the surveys. studies, and the variability in the physicochemical parameters of each austral summer present in the Gerlache Strait.

Keywords:

Antarctica, Phytoplankton, Estrecho Gerlache.

## 1. INTRODUCCIÓN

La geología del continente Antártico han ido cambiando a lo largo de la historia desde su formación hasta el día de hoy, contribuyendo así, al nacimiento de la Antártica, tal y como la conocemos en la actualidad, iniciando desde la fracturación del gran continente Pangea hace unos 200 millones de años, continuando con la división del mismo en dos hemisferios, uno al norte y otro al sur, nombradas Laurasia y Gondwana, respectivamente, y esta última se separó hace 180 millones de años, dando origen a la Antártida junto con otras cuatro porciones terrestres que hoy se conocen como América del Sur, África, Australia e India. La Antártida se desplazó hace 45 millones de años hasta la región que ocupa actualmente (Miranda, 2017).

Debido a la separación que existe entre la Antártica y América del Sur también conocido como el paso de Drake, se dio origen a la Corriente Circumpolar Antártica (en adelante, CCA) (Anzano *et al.*, 2020). La CCA fluye hacia el este, transporta aproximadamente 130.000.000 m<sup>3</sup> de agua en un recorrido de 23.000 km, y se encuentra limitada por el Frente Subantártico con zonas de divergencia y por el Frente Polar con zonas de convergencia, caracterizado por una termoclina superficial en sentido norte-sur. La importancia de esta corriente radica en el transporte de agua intermedia y profunda entre los océanos Pacífico, Atlántico e Índico, siendo así, parte de la red mundial de transporte oceánico y contribuye en la redistribución de calor del planeta (Rodrigo, 2008).

Es por ello, que la Antártica, también conocida como el continente blanco, presenta uno de los ecosistemas más diversos del planeta debido a sus aguas heladas ricas en oxígeno y nutrientes esenciales para la proliferación de la vida en el mar (Anzano *et al.*, 2020). El continente está cubierto por una capa permanente de hielo que alcanza en promedio los 2 km de espesor, y a pesar que presenta climas cambiantes que dificultan el acceso, es uno de los lugares con mayor valor ecológico y biológico a nivel mundial para la investigación (Uribe, 2003).

Las primeras investigaciones realizadas en la Antártica datan de los años 1500, ya que con el aumento del deseo por conocer y conquistar aquellas tierras que se encontraban en la zona austral del planeta, se realizaron diversas expediciones de reconocimiento, que concluyeron principalmente en el descubrimiento del Estrecho de Magallanes y de Drake. Los primeros

avistamientos de la Antártica se dieron entre 1790 y 1822, iniciando con pequeñas islas y grandes extensiones de tierra en altas latitudes al sur del planeta, pero no fue sino hasta 1837 que surgieron las primeras expediciones de carácter científico por parte de Francia, Estados Unidos y Gran Bretaña, siendo estos los primeros países en contribuir con la fomentación del conocimiento científico, además, de difundir la geografía de esa región en los primeros niveles de educación primaria y secundaria de la época (Mancilla, 2013).

La Península Antártica occidental está compuesta por un conjunto de fiordos, estrechos y canales, cuyas características proporcionan un hábitat inigualable para la vida presente allí (Vásquez, 2017). Uno de ellos, es el Estrecho de Gerlache, el cual presenta varios fiordos y se encuentra ubicado en la zona norte de la Península. De acuerdo a Cañón-Páez (2022), este estrecho está influenciado por cinco masas de agua que convergen en ese lugar: el Agua Transicional del mar de Weddell (TWW, en adelante), el Agua Transicional del mar de Bellingshausen (TBW, en adelante), el Agua Circumpolar Superior Modificada (mUCDW, en adelante), el Agua Superficial Antártica (AASW) y el Agua Profunda Circumpolar Inferior (LCDW) dándole una característica ecológica única en el planeta (Lonin, 2015; García *et al.*, 2002). Por otro lado, a escala mundial, su ubicación geográfica la hace más vulnerable a cambios por variables climáticas y escenarios de calentamiento global, lo que aumenta el interés científico por conocer cómo afectan esas variables los ciclos biogeoquímicos y los ecosistemas presentes en este continente (Vásquez, 2017).

Los factores físico-químicos son elementos que condicionan la vida y distribución de los organismos que habitan en un ecosistema. En el caso del fitoplancton al ser organismos microscópicos autótrofos presentan una alta vulnerabilidad a condiciones externas como la temperatura, pH, salinidad, exposición a la luz solar y disponibilidad de nutrientes, que al percibir cambios en la columna de agua pueden ocasionar modificaciones de la comunidad fitoplanctónica, por el aprovechamiento que podría presentar un conjunto de especies frente a determinadas variaciones (Vásquez *et al.*, 2006). A nivel mundial, el fitoplancton es uno de los componentes principales para la vida en los océanos porque está constituido por productores primarios que son la base de la trama trófica (Cognetti *et al.*, 2001), también son organismos esenciales para el sostenimiento de la atmósfera terrestre, ya que proporcionan la mitad del oxígeno total del planeta y ayudan con la fijación del CO<sub>2</sub> (Boldt, s.f; Boyce *et al.*, 2010),

Por lo que se convierten en un factor importante para el campo de la investigación con respecto a los estados de los ecosistemas presentes en la Antártica (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2004; Daga *et al.*, 2020; De La Hoz *et al.*, 2020).

Este trabajo de grado se encuentra enmarcado en el proyecto “Investigación Científica Marina en la Antártida- ICEMAN” – Código 1504, adscrito a la Dirección General Marítima; Componente Protección del Medio Marino - Centro de Investigaciones Oceanográficas e hidrográficas del Caribe - CIOH, y en convenio, también hace parte del Grupo de Investigaciones de Biología, Ecología y Acuicultura marina (GIBEAM) del Programa de Biología Marina de la Universidad del Sinú Seccional Cartagena, que también hace parte de grupo C de Minciencias.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El fitoplancton presenta un papel ecológico alto al ser reguladores de la red trófica, responsables de la productividad primaria global, además presenta altas abundancias en el océano (Montes-Hugo *et al.*, 2009; Alean, 2009). Asimismo, esa comunidad tiene una alta relevancia, ya que, siendo organismos fotosintéticos, producen hasta un 50% del oxígeno del planeta y realizan la captura de CO<sub>2</sub> (Boyce *et al.*, 2010; Kerr *et al.*, 2018; Moline *et al.*, 2004). La importancia de las investigaciones sobre la composición de las comunidades fitoplanctónicas en la Antártica, radica en las posibles afectaciones que se podrían generar en dicha comunidad por eventos de calentamiento global y cambio climático. El posible aumento de la radiación solar como efecto secundario de la contaminación ambiental podría desencadenar procesos de fotoinhibición, disminución en el crecimiento de los organismos o disminución de la biomasa del plancton vegetal en periodos cortos de tiempo (Hernando, 2008).

Al desarrollar este proyecto se buscó aportar información sobre la estructura de la comunidad fitoplanctónica presente en el Estrecho de Gerlache y su susceptibilidad frente a las variaciones físicas y químicas que se presentaron en el verano austral 2018-2019, complementando así, a otras investigaciones realizadas en la misma área, y aumentando la posibilidad de comprender las afectaciones de esas comunidades frente a perturbaciones climáticas y ambientales ya documentadas (Sánchez, 2017; Schofield *et al.*, 2017; Kerr, *et al.*, 2018; Henley *et al.*, 2019).

Por lo anterior, también es importante relacionar los resultados encontrados en los estudios de plancton, ya sea fito o zoo, con las diferentes masas de agua que han sido descritas con anterioridad en la región, tales como: el Agua Transicional del mar de Weddell, el Agua Transicional del mar de Bellingshausen, el Agua Circumpolar Superior Modificada, el Agua Superficial Antártica, el Agua Profunda Circumpolar Inferior (Cañón-Páez, 2020; García *et al.*, 2002). Adicional a la sectorización dinámica planteada por Cañón-Páez (2020), para este estudio se acogió una regionalización *a posteriori* de sólo tres regiones, de las cuatro regiones propuestas por De la Hoz *et al.* (2020), las cuales se denominarán en adelante: región norte (RN), región central (RC) y región sur (RS). En la primera región RN se ubican cinco estaciones de la totalidad muestreadas, representando el 31,25 %; la segunda, RC por seis, siendo el 37,5 %; y la última, RS con cinco, siendo el 31,25 % restante.

### 3. MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1. Estado del arte

Debido al Tratado Antártico, en la actualidad existen diversas investigaciones relacionadas con el fitoplancton presente en la Antártica, y los países asociados a este tratado iniciaron varias indagaciones con el fin de reunir y actualizar la información acerca de la ecología, geografía y biodiversidad del continente blanco.

Ducklow *et al.* (2006) publicaron sobre los ecosistemas pelágicos marinos, centrándose en la Península Antártica occidental (WAP), para esto estudiaron tres subregiones denominadas vertiente continental, la plataforma y las regiones costeras, con la finalidad de conocer las relaciones ecosistémicas entre los factores bióticos como tramas tróficas y los factores abióticos como corrientes o nutrientes, la composición de la comunidad fitoplanctónica en WAP fue dominada por las diatomeas y las criptomonas en términos de biomasa, concluyendo que el ecosistema pelágico de WAP es similar en estructura y dinámica a otras regiones de la Antártica, exceptuando un lugar conocido como el mar de Ross, el cual presentó niveles bajos de productores primarios

Adicional a la anterior investigación, Borges *et al.* (2012) publicaron sobre la dinámica de la comunidad fitoplanctónica en la punta de la Península Antártica en los veranos australes del 2008-2009 y 2009-2010, en donde se tomaron muestras de agua para análisis de pigmentos con HPLC y CHEMTAX, además, de la caracterización del fitoplancton, encontrando una alta variabilidad espacial de clorofila-*a* (Chl-*a*), así: a) altas concentraciones en la Isla James Ross, la cual fue superior a 7 mg/m<sup>-3</sup> en el 2009; b) valores intermedios de 0,5 a 2 mg/m<sup>-3</sup> en el Estrecho de Bransfield; y, c) bajas concentraciones en el mar de Weddell y el paso de Drake, con valores por debajo de 0,5 mg/m<sup>-3</sup>. Por otro lado, la comunidad fue dominada por las Bacillariophyta contribuyendo en un 90% de la concentración de Chl-*a*. Los nanoflagelados, como criptófitos o *Phaeocystis antarctica* reemplazaron a las Bacillariophyta en áreas de mar abierto. Especies de Dinophyta como *Gymnodinium* sp. también fueron dominantes para la Chl-*a* total.

Años después, Ochoa *et al.* (2016a) estudió el fitoplancton en el Estrecho de Bransfield e Isla Elefante durante el verano austral 2006, tomando muestras verticales con botellas *Niskin* en una estación fija y 12 estaciones aleatorias, a profundidades de 0, 10, 20, 30, 40, 50 y 70 m, durante tres días y cada seis horas. Los autores identificaron 101 taxones, donde 71 fueron Bacillariophyta, 27 Dinophyta, 2 Crysophytas (silicoflagelados) y un grupo de microflagelados. Obtuvieron las mayores densidades entre los 0 y 30 m de profundidad, con una comunidad dominada por microflagelados (79 %), seguido de Bacillariophyta (17 %) y Dinophyta (4%). Las especies más representativas de las Bacillariophyta fueron *Fragilariopsis* sp., *Pseudonitzschia prolongatoides* y *Thalassiosira antarctica*, entre las Dinophyta fueron *Pronoctiluca pelágica*, *Gymnodinium* sp. y *Gyrodinium lachryma*. Un año después, para las mismas localidades, pero en el verano austral de 2007, obtuvieron resultados diferentes comparados con los presentados en el verano austral del 2006, pues identificaron 76 especies, de las cuales 53 pertenecieron a las Bacillariophyta, 18 Dinophyta y 5 microflagelados. Los grupos más abundantes fueron microflagelados (76%), las Bacillariophyta (21%) y Dinophyta (3%), lo cual no varió con el estudio anterior. Verticalmente las mayores densidades de fitoplancton estuvieron presentes entre los 0 y 50 m de profundidad (Ochoa *et al.*, 2016b).

Existen otras publicaciones relacionadas con esta temática, tal como la de Sánchez *et al.* (2016) quienes se centraron en la distribución espacial del fitoplancton en el Estrecho de Bransfield durante el verano austral del 2013, a partir de muestras superficiales a una profundidad máxima de 50 m, y considerando tres perfiles de profundidad para los resultados de la distribución vertical. Este estudio determinó 77 especies de fitoplancton, siendo 38 Bacillariophyta centrales, 25 Bacillariophyta pennatas, 11 Dinophyta, una Crysophyta (silicoflagelado) y dos Euglenophytas. Los géneros *Thalassiosira* y *Pseudonitzschia* presentaron mayor riqueza, del grupo centrales destacaron *Thalassiosira antarctica*, *Thalassiosira bulbosa* y *Corethron pennatum*. Para los fitoflagelados fueron *Leucocryptos marina*, en Dinophyta fueron *Gyrodinium lachryma* y *Gymnodinium frigidum*. Las mayores concentraciones se localizaron a 10 m de profundidad y los puntos con mayor presencia fueron al este, oeste y parte central del Estrecho.



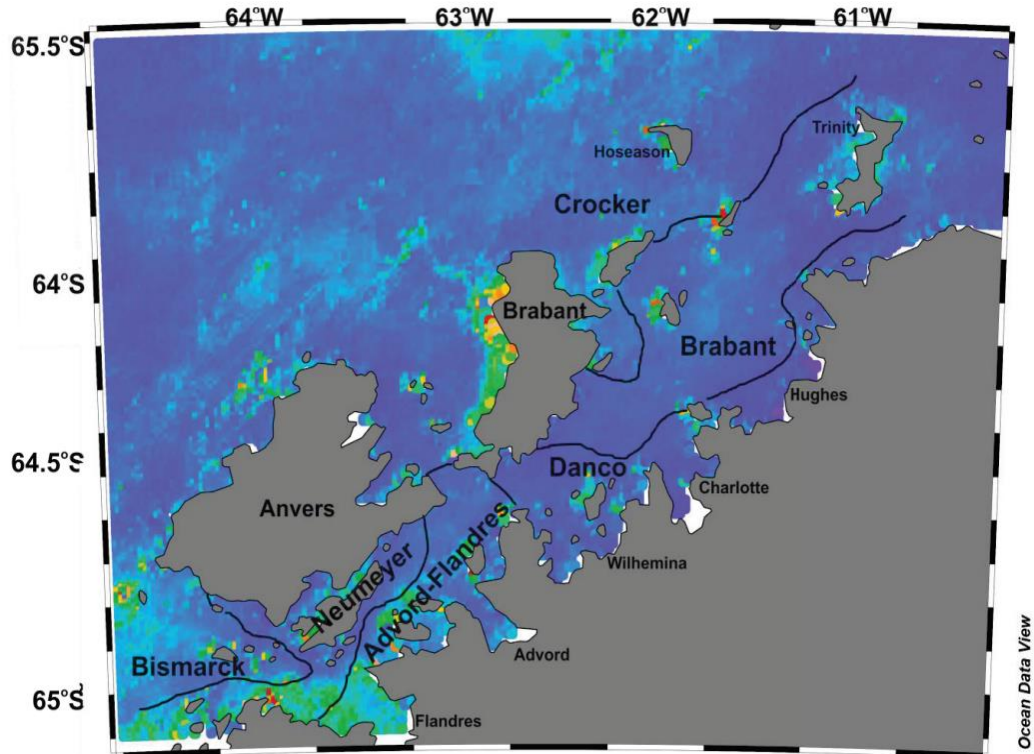
Por otro lado, Amaral *et al.* (2018) estudiaron la variabilidad espacial y las tasas de producción primaria de la comunidad fitoplanctónica a fines del verano austral 2013, y postularon tres subregiones: la primera, es la zona TBW; la segunda, en TWW; y la tercera, es una mezcla de ambas aguas de transición en el Estrecho de Gerlache. Esos autores realizaron comparaciones que demostraron que la Chl-a (promedio 0,65 mg/m<sup>3</sup>) fue más baja y profunda en aguas dominadas por TWW, mientras que los valores de Chl-a intermedia y moderada (1,22 mg/m<sup>3</sup>) se encontraron en la subregión dominada por TBW y el valor más alto de Chl-a (1,58 mg/m<sup>3</sup>) y se encontró en la subregión de Gerlache. Un análisis de correspondencia canónica dio a conocer una asociación entre la subregión dominada por TBW y la dominancia de diatomeas.

Dentro de las investigaciones más recientes se tiene el trabajo de De La Hoz *et al.* (2020) quienes estudiaron la dinámica de la comunidad fitoplanctónica en el Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018, implementando la técnica de arrastre vertical para la recolección de muestras y utilizaron una roseta oceanográfica para medir nutrientes y Chl-a, obteniendo una regionalización del Estrecho en cuatro regiones, dos en el norte (R1 y RII), una en el centro (RIII) y otra en el sur (RIV). Identificaron un total de 40 taxones comprendidos en 28 Bacillariophyta, 11 Dinophyta y una Crysochyta (silicoflagelado). La riqueza de las Bacillariophyta fue mayor en RIII con valores entre los 16 y 17 taxones, al igual que su abundancia en esta región; para las Dinophyta, la mayor distribución de organismos se presentó en RIII, al igual que el grupo anterior. Las especies más representativas de las Bacillariophyta fueron *Corethron criophilum* y *Porosira glacialis*, para las Dinophyta fueron *Protoperdinium pyrum* y *Prorocentrum minimum* y para las Crysochytas (silicoflagelados) la especie *Dictyocha* sp.

Un año después Nariño (2021) realizó el estudio de distribución espacial del fitoplancton en el Estrecho de Gerlache durante el mismo verano austral, pero a diferencia del anterior autor, en este se implementaron dos técnicas de muestreo, tanto por arrastres verticales de los 200 a 0 m, como por botellas Niskin acopladas a una roseta oceanográfica, tomando muestras en tres profundidades (5, 50 y 100 m). Para ambos muestreos, se identificaron un total de 194 morfoespecies en total, el grupo Bacillariophyta fue el más abundante, con mayor presencia en los 5 m y en la parte sur del estrecho.

Por otro lado, las Euglenophyta dominaron entre los 50 y 100 m, tanto en la parte norte como en la parte sur del Estrecho; y presentaron mayor abundancia a los 5 m en la parte norte del Estrecho. Las especies que más destacaron por parte de Bacillariophyta fueron *Corethron pennatum*, *Cocconeis fasciolata*, *Licmophora abbreviata*, *Eucampia antarctica* y *Odontella weissflogii*.

Finalmente, el estudio más reciente es el trabajo de Cañón-Páez (2020), quien realizó la delimitación de regiones dinámicas del Estrecho de Gerlache a partir sensores remotos para los veranos australes 2017 y 2018 (**enero 2018**). El estudio estableció para enero del 2018, seis regiones) dinámicas producto de la batimetría, patrones de circulación, dinámica céntrica y configuración de las bahías. La distribución de las regiones se presentó de la siguiente manera, al norte Danco, Brabant y Crocker, al sur Advord-Flandres, Neumeyer y Bismarck (**Ilustración 1**). También realizó un estudio de cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctonica en el estrecho, por medio de espectros de absorción específico. Para esto el autor tuvo en cuenta datos de coeficientes de  $a_{\text{PH}(\lambda)}^*$  medidos en el Estrecho de Gerlache de 2017 y 2018, presentando por el espectro de absorción de luz específico por el fitoplanton ( $\text{TS}_{\text{index}}$ ), para identificar cambios en la estructura de la comunidad, se establecieron dos periodos fríos para enero 2018, entre ellos uno superficial que reconstruyo seis TS cinco al norte y uno al sur, mientras que el otro solo mosto cuatro TS.



**Ilustración 1.** Regiones delimitadas en enero de 2018 en el Estrecho de Gerlache a partir de sensores remotos de temperatura superficial del mar (SSTsat ), así como, de variables de color derivadas: coeficiente de absorción específico del fitoplancton ( $a^*PH(443)$ ). Tomado de Cañón-Páez (2020).

### 3.2. Marco teórico

#### a. Generalidades del fitoplancton

El fitoplancton está compuesto por un conjunto de organismos autótrofos cosmopolita presente en aguas dulces y saladas que se encuentran a merced de las corrientes. Este grupo tiene una alta diversidad y dinámica y puede ser indicador del estado de los cuerpos de agua. Al ser un grupo de productores primarios presenta una gran importancia al encontrarse en la base de la red trófica de los ecosistemas acuáticos, además, son vitales para mantener la atmósfera de la tierra, pues proporciona hasta un 50 % del oxígeno del planeta, fijan el  $CO_2$  (Boldt, en línea; Boyce *et al.*, 2010).

Este conjunto de organismos a pesar de su gran abundancia a nivel global e importancia ecológica también podría estar presentando una susceptibilidad por el aumento de la radiación solar en escenarios de calentamiento global, produciéndose un deterioro en su composición, crecimiento e incluso procesos de fotoinhibición en cortos periodos de tiempo (Hernando, 2008).

De acuerdo con Cárdenas *et al.* (2020), se confirma que los rayos UV pueden pasar a través de la capa de ozono produciendo deficiencias en la actividad fotosintética del fitoplancton (fotoinhibición), lo que, en consecuencia, genera un desplazamiento de dichos organismos hasta los 200 m aproximadamente (zona fótica) en el océano para protegerse de la alta radiación. Actualmente y gracias a la implementación del protocolo Montreal (1987) se está presentando una recuperación del ozono atmosférico. Evidencia de esto se presentó por la ONU (2014) en el documento *Scientific Assessment of Ozone Depletion*, en el cual más de 300 científicos de diferentes nacionalidades reportaron una recuperación inicial de la capa de ozono (Pérez y Rodríguez, 2014).

## **b. Divisiones del fitoplancton**

La alta biodiversidad del fitoplancton se da por los grupos que hacen parte de éste, cada uno con características diferenciadas y únicas, compartiendo que todos son seres autótrofos. Para el presente estudio se tuvo en cuenta la taxonomía propuesta por Vidal (2010) y Cuenca (2022), resaltando importantes grupos taxonómicos, tales como: las Prochlorophytas, las cuales son un grupo de organismos constituidos por células procariotas muy pequeñas (0,6 - 0,8  $\mu\text{m}$ ) que emiten fluorescencia roja, se caracterizan por ser abundantes en las capas menos iluminadas en la columna de agua, fueron encontradas inicialmente en el mar Caribe y otras áreas de los océanos Atlántico y Pacífico, siendo posteriormente confirmados en aguas del Mediterráneo noroccidental (Cognetti *et al.*, 2001).

En este amplio grupo de plancton vegetal, también podemos encontrar las Cyanophytas, que son organismos procariotas que carecen de núcleo, plástidos, mitocondria algunos organismos presentan la capacidad de fijar el nitrógeno. El aspecto de las cianobacterias puede ser de células solitarias de forma cocoide o cilíndrica, o de individuos filamentosos con gran complejidad de formas, su reproducción es por escisión binaria y se encuentran extendidos en gran cantidad de ecosistemas acuáticos (Hernández-Becerril, 2014).

También podemos encontrar las Xantophytas, que se diferencian de las Chlorophytas. por sus cloroplastos amarillo-verdosos, y su membrana rica en silicio, sus células son biflageladas con uno más largo que el otro, presentan especies uniflagelados poco comunes en la biocenosis fitoplanctonica (Cognetti *et al.*, 2001).

Otro grupo importante y bastante común en los ecosistemas marinos son las Bacillariophyta, que son algas unicelulares provistas de esqueleto silíceo que presentan formas y estructuras diversas, donde el citoplasma está delimitado por una cápsula denominada frústula compuesta por dos valvas diferentes que encajan una con la otra, una denominada epiteca en la parte superior, y la otra hipoteca, en la zona inferior que es más ancha que la anterior, su reproducción es asexual y se da normalmente por división (Hernández-Becerril, 2014).

Por otro lado, tenemos a las Cryptophytas, las cuales presentan células de forma ovoide, con dos flagelos que salen de una depresión apical, y cuentan con una vacuola contráctil, la reproducción se da por escisión binaria longitudinal (Cognetti *et al.*, 2001).

Las Crysophytas y Haptophytas son algas unicelulares que comprenden especies móviles e inmóviles, respectivamente, en algunas ocasiones forman colonias palmeloides o dendroides. Las Crysophytas son típicamente células biflageladas, con uno de ellos provisto de pelos, y el otro flagelo es liso; la superficie de estos organismos está recubierta por pequeñas escamas de sílice. Los Silicoflagelados están incluidos en las Crysophytas y se caracterizan por presentar un esqueleto interno tubular formado por espículas de sílice, tienen un solo flagelo y se reproducen por escisión.

Las Haptophytas son parecidos taxonómicamente a las Crysophytas, son cuerpos usualmente unicelulares móviles con dos flagelos y en otros casos en colonias (Cognetti *et al.*, 2001).

Las Euglenophytas son organismos unicelulares, fusiformes y cilíndricos, que presentan flagelo y carecen de celulosa en la pared celular. Su reproducción es por escisión binaria longitudinal (Cognetti *et al.*, 2001).

Las Prasinophytas están constituidos por células pequeñas, y presentan de uno a cuatro flagelos, carecen de una pared celular verdadera que es sustituida por escamas minerales. Es común la forma de quistes, los cuales poseen una alta flotabilidad. Esta distribuido mayormente en los océanos en los mares árticos y mediterráneos (Cognetti *et al.*, 2001).

Los Chlorophytas son algas unicelulares algunos presentan de uno a cuatro flagelos, y otros carecen de estos, presentan reproducción sexual (isogametos y anisogametos móviles) y asexual (zoosporas móviles) (Cognetti *et al.*, 2001).

Por último, tenemos a las Dinophytas (Miozoa, en adelante) son organismos ampliamente distribuidos en todos los mares, se caracterizan por dos aspectos fundamentales, en primer lugar, tenemos una membrana celulósica que secreta una teca de carácter semirrígido (tecados), en segundo lugar, a aquellos que no producen teca (atecados) y ambas formas presentar dos flagelos perpendiculares uno del otro (Cognetti *et al.*, 2001; Cuenca, 2022).

Si bien, el fitoplancton es un grupo extenso y abundante en muchos hábitats acuáticos alrededor del mundo, y hace parte de un complejo intercambio de energía, se sabe que, dentro de esos ecosistemas acuáticos, esta comunidad presenta una organización interna donde existen especies dominantes, las cuales reflejan una dinámica, que con la ayuda de las estaciones va cambiando, y junto con ella, la abundancia de especies varía dentro de esa comunidad (Carillo *et al.*, 1987).

### c. Sistema de Tratado Antártico

La Antártida es un continente aislado que se encuentra en la zona sur del planeta, el cual está cubierto en un 98 % por hielo permanentemente, con un espesor promedio de 2160 m, y en algunos puntos, supera los 4500 m. El continente blanco, como también se conoce, presenta aguas ricas en fauna y flora, con una alta diversidad ecológica, por esto se ha incrementado la investigación sobre la biología de las especies que en este lugar habitan, enmarcadas todas dentro del Tratado Antártico (Uribe, 2003).

El Tratado Antártico, junto a otros acuerdos relacionados, hacen parte del Sistema del Tratado Antártico, el cual está conformado por la Convención para la Conservación de Recursos Vivos Marinos Antárticos-CCRVMA de 1980, la Convención para la Conservación de las Focas Antárticas-CCFA de 1988 y el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente (Protocolo de Madrid o Protocolo Ambiental del Tratado Antártico) de 1991 (Instituto Antártico Chileno, 2020). En 1988, Colombia fue adherida al Tratado Antártico, y desde entonces, busca tener participación frente a las decisiones que se toman sobre diferentes aspectos que afectan a esa región (Comisión Colombiana del Océano, 2021).

Por todo lo anterior, se realizó en el verano austral 2014-2015, la primera expedición a la Antártica, llamada “Expedición Caldas”, bajo el Programa Antártico Colombiano. Actualmente, Colombia ha realizado ocho expediciones adicionales a la mencionada anteriormente, las cuales se denominaron: Almirante Lemaître 2015-2016, Almirante Padilla 2016-2017, Almirante Tono 2017-2018, Almirante Campos 2018-2019, VI Expedición Científica de Colombia a la Antártica 2019-2020, VII Expedición Científica de Colombia a la Antártica 2020-2021 y VIII Expedición Científica de Colombia a la Antártica 2021-2022. Todos los proyectos de investigación se encuentran relacionados con temas de ecosistemas marinos, conservación, biodiversidad de organismos, geografía, seguridad marítima, cartografía, hidrografía y calentamiento global, principalmente (Comisión Colombiana del Océano, 2021).

## **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **4.1. Descripción del problema**

El continente Antártico es una extensión de tierra cubierta por hielo y aislada, que presenta aguas ricas en fauna y flora, además de una alta diversidad ecológica, lo que le otorga un amplio interés investigativo, teniendo en cuenta lo anterior, y sumando la diversidad de variables ambientales y parámetros oceanográficos cambiantes, el valor científico único presente en cada verano austral es un avance para comprender la complejidad del continente blanco (Gómez *et al.*, 2017). La variación de esos parámetros altera la estructura de la comunidad fitoplanctónica por periodos, brindando ese factor exclusivo de biodiversidad por veranos, lo que genera un escaso conocimiento y poca información biológica sobre esas comunidades presentes en la Antártica. Adicional a esto, el fitoplancton es conocido por ser un excelente bioindicador del estado de un cuerpo de agua, por su rápida respuesta a los cambios de las condiciones ambientales (Borges *et al.*, 2012).

### **4.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la composición y distribución de la comunidad fitoplanctónica en el Estrecho de Gerlache (Península Antártica) en el verano austral 2018-2019?



### 4.3. Objetivos

#### a. Objetivo General

Determinar la composición y distribución de la comunidad fitoplanctónica en el Estrecho de Gerlache (Antártica) durante el verano austral 2018-2019.

#### b. Objetivos Específicos

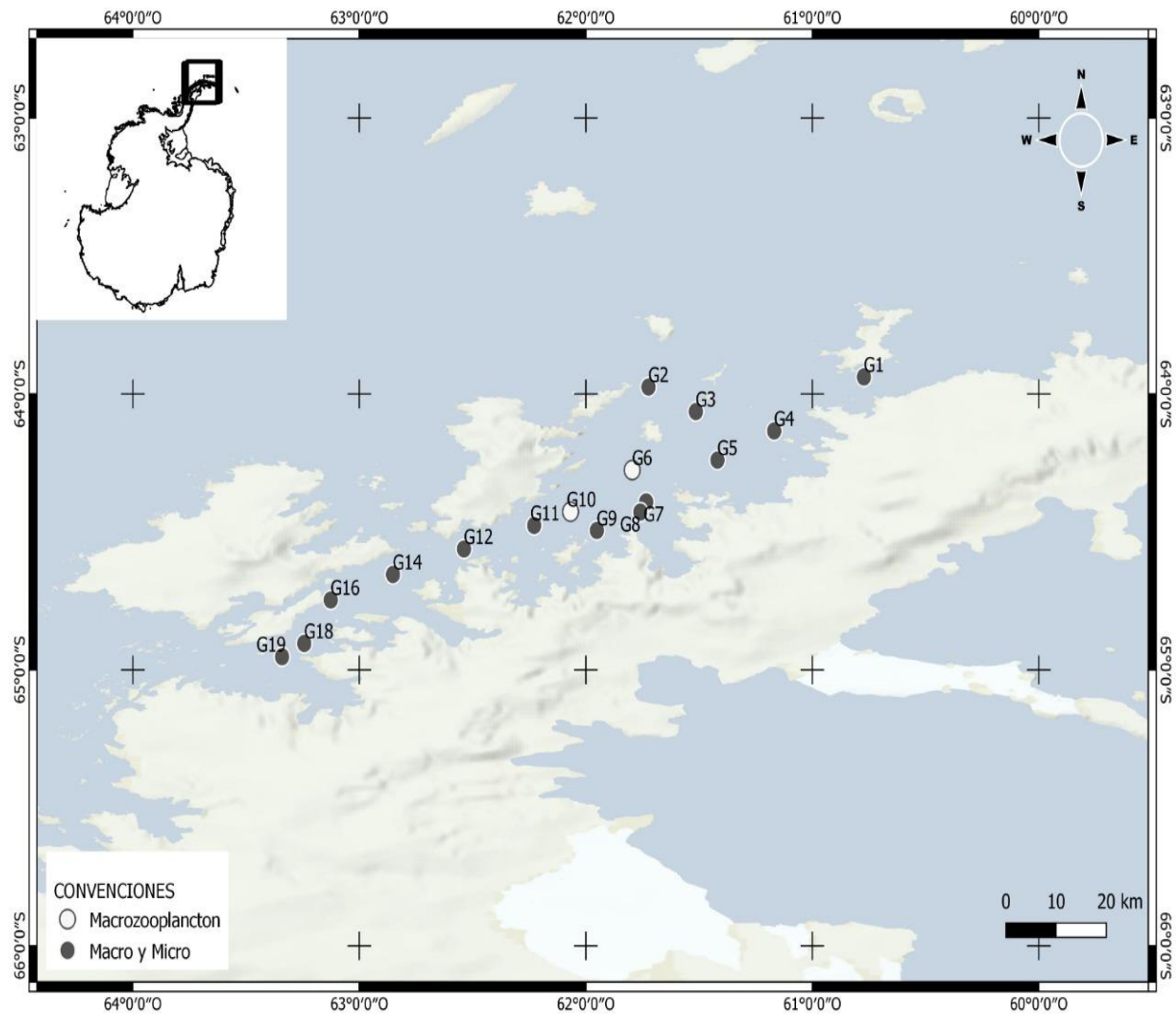
- Definir la biodiversidad de la comunidad fitoplanctónica del Estrecho de Gerlache, a partir de la identificación de los principales grupos taxonómicos que la componen y el cálculo de sus índices ecológicos.
- Determinar si los grupos taxonómicos que componen la comunidad fitoplanctónica se distribuyen de acuerdo con las masas de agua descritas en el Estrecho de Gerlache.
- Establecer las relaciones existentes entre las variables bióticas y abióticas medidos en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019

### 4.4. Metodología

#### a. Área de estudio

La Península Antártica Occidental ( $64^{\circ}28'09.3''$  S- $62^{\circ}09'27.1''$  W) presenta diferentes fiordos, Estrechos y canales, y uno de ellos se conoce como el Estrecho de Gerlache (**Ilustración 2**), el cual posee una longitud total de 150 km, un ancho de 50 km y una profundidad que oscila entre los 100 m y los 1000 m (Lonin, 2015). A finales de diciembre del 2018 y principios de enero del 2019, se fijaron previamente 16 estaciones, en donde se realizó la toma de las muestras de la comunidad fitoplanctónica en el estrecho dentro de las cuales se detectaron picos de fluorescencia a ciertas profundidades por medio del CTDOF (**Tabla 1 y Tabla 7**). Asimismo, tal como se mencionó con anterioridad, en el presente estudio se establecieron *a posteriori* tres regiones a lo largo del estrecho, denominadas: región norte (RN, en adelante) compuesta por las estaciones G1-

G5, región central (RC, en adelante) compuesta por las estaciones G6-G11, y región sur (RS, en adelante) constituida por las estaciones G12-G19,



**Ilustración 2.** Área de estudio. Estrecho de Gerlache en la península Antártica occidental.

**Tabla 1.** Coordenadas de la toma de muestra en el Estrecho de Gerlache y distinguiendo las estaciones con picos de fluorescencia (Pf) en el verano austral 2018-2019. Fuente: V Expedición Almirante Campos (CIOH 2018) (Arzuza y Rodríguez, 2019).

Coordenadas			
Regiones	Estación	Latitud (S)	Longitud (O)
RN	G1 (Pf)	63°56'16'	60°46'19'
	G2 (Pf)	63°58'29'	61°43'24'
	G3 (Pf)	64°03,814'	61°30,851'
	G4 (Pf)	64°08,027'	61°10,100'
	G5 (Pf)	64°14,373'	61°25,136'
RC	G6	64°16,534'	61°47,711'
	G7 (Pf)	64°23,462'	61°44,006'
	G8	64°25,664'	61°45,567'
	G9	64°29,672'	61°57,071'
	G10 (Pf)	64°25,587'	62°04,047'
	G11	64°28,567'	62°13,680'
RS	G12 (Pf)	64°33,693'	62°32,273'
	G14	64°39,243'	62°51,088'
	G16	64°44,780'	63°07,571'
	G18 (Pf)	64°54,238'	63°14,589'
	G19	64°57,117'	63°20,477'

## b. Variables

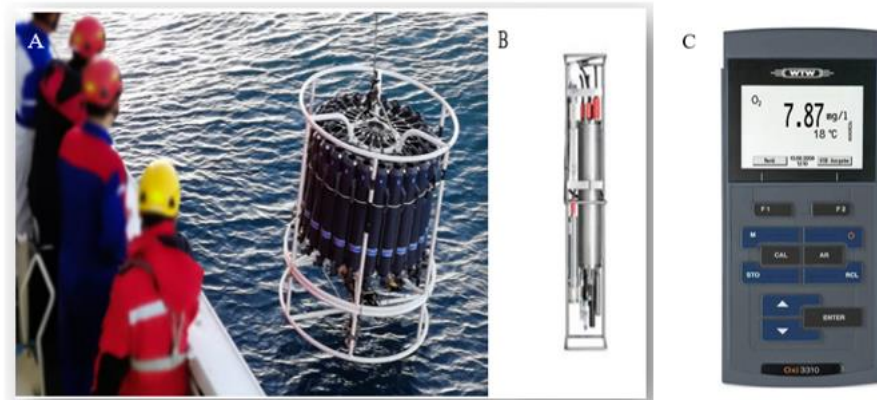
Para este estudio se midieron las variables bióticas y abióticas presentadas en la **Tabla 2**. Las variables bióticas están conformadas por todos los componentes vivos que habitan un ecosistema, mientras que los abióticos, son todos aquellos componentes físicos y químicos que no poseen vida presente en los ecosistemas, y todos tienen relación entre sí, además, son fundamentales para el equilibrado desarrollo de un ecosistema, ya que influyen en la supervivencia y ecología de los organismos que en este habitan (Cognetti *et al.*, 2001)

**Tabla 2.** Variables bióticas y abióticas del presente estudio.

<b>Variables</b>	<b>Parámetros</b>
<b>BIÓTICOS</b>	Índice de Diversidad ( $H'$ )
	Índice de Margalef ( $D_{Mg}$ )
	Riqueza (No. Morfo-especies)
	Índice de Uniformidad ( $J'$ )
	Índice de Simpson ( $\lambda'$ )
	Densidad (cel/ml)
	Abundancia (No. De organismos)
<b>ABIÓTICOS</b>	Temperatura ( $^{\circ}C$ )
	Transparencia (m)
	pH
	Oxígeno Disuelto (mg/l)
	Nutrientes ( $NH_4^+$ , $NO_2^-$ , $NO_3^-$ , $H_4SiO_4^-$ , $PO_4^{3-}$ . $\mu m$ )
	Chl-a (mg/m <sup>3</sup> )

### c. Toma de muestras

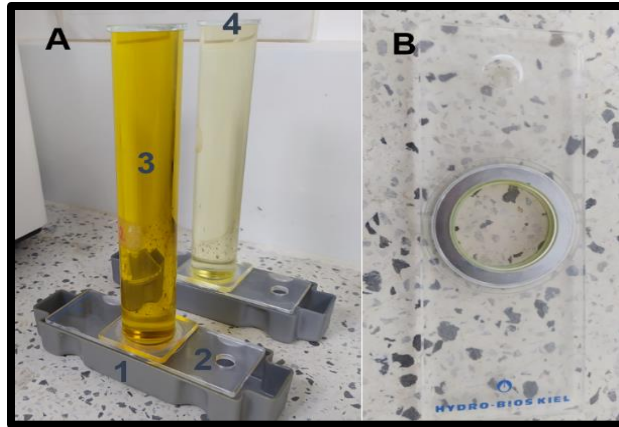
Las muestras de fitoplancton fueron tomadas por el CIOH, a bordo del buque ARC 20 de Julio, en el verano austral 2018-2019, en diferentes profundidades (entre 0 m y 50 m). Para esto se usó una roseta oceanográfica, equipada con botellas Niskin de 8 L, en 16 estaciones dispuestas a lo largo del Estrecho de Gerlache y en algunas estaciones se detectaron zonas de fluorescencia, las cuales están dadas por la respuesta de los organismos fitoplanctónicos a la excitación externa de sus moléculas de pigmento (Cremella, 2017) (**Figura 2**) (**Tabla 1**), como tomas de muestras complementarias. También se determinaron variables oceanográficas como temperatura, pH y oxígeno disuelto, las cuales se tomaron con ayuda de un CTDOF y una sonda multiparamétrica WTW Oxi 3310 (**Ilustración 3**). Se recolectaron un total de 80 muestras de 500 ml cada una, las cuales fueron fijadas inmediatamente con una solución de Lugol neutro y formalina al 4 %.



**Ilustración 3.** Instrumentos de colecta: (A) Roseta oceanográfica compuesta por botellas Niskin, empleada la colecta de muestras bióticas y toma de datos abióticos; (B) CTDOF y (C) WTW Oxi 3310.

#### d. Procesamiento de muestras

El procedimiento de las muestras de nutrientes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$   $\mu\text{M}$ ) se determinó de acuerdo con Strickland y Parsons (1972), mientras que, para el análisis de nitritos ( $\text{NO}_2^-$   $\mu\text{M}$ ) se empleó el método de Bendschneider y Robinson (1952); y para la Chl-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) el protocolo descrito en APHA (2012). La observación de las muestras fue por medio del método de la cámara de Utermöhl o de sedimentación, para la cual se decantó una porción de la muestra (100 ml) por un lapso de 48 horas (INVEMAR-ANH, 2013) (**Ilustración 4**). Posterior a este tiempo, se procedió a colocar la placa de Utermöhl en el microscopio invertido Olympus, realizando barridos horizontales sobre la placa. Se tomaron registros fotográficos mediante un programa de edición de fotos (Kozlowski *et al.*, 2011). Los datos de conteos fueron realizados en el 100% de la placa y para la identificación taxonómica de los ejemplares se utilizaron los trabajos de Balech (1976); Hermosilla (1977); Hasle *et al.* (1997) y Tomas (1993), con el fin de llegar hasta especie o el nivel taxonómico más bajo posible.



**Ilustración 4.** Procesamiento de muestras: (A) proceso de sedimentación. 1) soporte de manipulación. 2) placa base de Utermöhl. 3) cámara de sedimentación de 100 ml. 4) cristales y (B) Placa base y anillo roscado.

#### e. Análisis de datos

El cálculo de la densidad se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:  $d = N \cdot V_{tm} / V_{tsed}$ . donde N es igual a la abundancia,  $V_{tm}$  es el volumen de muestra total (500 ml) y  $V_{tsed}$  es el volumen total de sedimentación (100 ml), obteniendo como resultado la densidad expresada en cel/ml.

Por otro lado, los datos de la comunidad fitoplanctónica se tabularon y organizaron para calcular los índices ecológicos: riqueza de especie de Margalef ( $D_{Mg}$ ), diversidad de especies de Shannon-Wiener ( $H'$ ), uniformidad de Pielou ( $J'$ ) y el índice de Simpson ( $\lambda'$ ).

También se determinó la curva de especies con el fin de calcular la representatividad de las muestras extraídas con las comunidades fitoplanctónicas presente en el área de estudio (**Anexo 3**). Además, se realizaron pruebas estadísticas para establecer la agrupación de las estaciones (Similaridad de Bray Curtis, SIMPROF, SIMPER, NMDS y ANOSIM) y la correlación de la comunidad fitoplanctónica con las características fisicoquímicas (Análisis de Componentes Principales-PCA y Análisis de Correlaciones Canónicas-ACC). Para el análisis de Bray Curtis fue necesario aplicar una transformación de raíz cuadrada. Para esto, se utilizó el programa PAST 4.03 y STATISTICA 7.0 (Zar, 2010; Montgomery, 2012)

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Parámetros fisicoquímicos

#### a. Físicos

En general, el Estrecho de Gerlache presentó una variabilidad de temperatura entre los  $-0,90^{\circ}\text{C}$  y  $3,5^{\circ}\text{C}$ , siendo G2 y G3 las estaciones con las temperaturas más bajas a los 50 m. El pH osciló entre 6,8 y 8,8, teniendo para la estación G8 (50 m) el valor más bajo, y para G3 (20 m) el mayor valor registrado. Y, por último, los niveles de OD oscilaron entre los 0,62 mg/l hasta los 9,68 mg/l, registrando a la estación G3 (20 m) el valor más bajo, y a la estación G1 (20 m) el valor más alto, estos valores fueron los obtenidos por el CTDOF incorporado a la roseta oceanográfica (**Tabla 3**).

La ausencia de valores reportados en algunas variables medidas en las estaciones del estrecho en la **Tabla 3**, como en el caso de la temperatura y el oxígeno disuelto se explican por una inmersión incompleta de los perfiles del CTDOF, en el caso del pH no se realizó la toma de datos por fallas en el cierre de las botellas.

**Tabla 3.** Valores fisicoquímicos presentes en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

Estación	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno disuelto (mg/l)
G1	5	-	-	-
G1	20	-	7,67	9,68
G1	36	0,10	7,94	8,88
G1	50	-0,30	8,22	7,67
G2	0	3,00	8,29	2,08
G2	5	1,90	7,93	3,60
G2	20	1,00	8,35	2,53
G2	33	1,10	8,29	2,10
G2	50	0,90	8,27	2,20
G3	0	3,50	8,68	4,14
G3	5	3,00	8,67	0,84
G3	20	1,40	8,82	0,62
G3	30	1,10	8,77	0,67
G3	50	0,90	8,11	0,71
G4	5	1,60	8,02	5,33
G4	17	1,40	8,13	1,40
G4	20	1,20	7,99	2,25
G4	50	0,20	8,12	1,53
G5	0	2,10	-	-
G5	5	2,10	-	-
G5	14	2,10	-	-
G5	50	2,10	-	-
G6	0	1,30	-	-
G6	5	1,30	-	-
G6	20	1,30	-	-
G7	0	1,70	8,03	4,23
G7	20	0,80	8,34	2,86
G7	22	0,70	8,19	2,45
G8	5	1,50	8,12	1,45
G8	50	1,10	6,89	2,32
G9	0	2,90	8,02	1,41
G9	5	2,00	8,16	2,30
G10	5	1,40	8,03	-
G10	20	0,80	8,04	-
G10	25	0,50	8,05	-
G14	0	-	8,54	-
G14	20	-	8,43	-
G14	50	-	8,11	-
G16	0	-	7,96	1
G16	5	-	8,12	-
G16	20	-	8,09	-
G16	50	-	8,07	-
G18	1	-	7,94	-
G18	22	-	8,02	-
G18	50	-	8,00	-



## b. Nutrientes

En el caso de los nutrientes, el  $\text{NH}_4^+$  osciló entre los 0,83 y los 2,24  $\mu\text{m}$ , con un promedio de 1,39  $\mu\text{m} \pm 0,45$ , presentando mayores concentraciones en las estaciones G11, G12 y G12, con 1,96, 2,24 y 1,97  $\mu\text{m}$ . respectivamente; y la estación que registró los valores más bajos fue G7, con 0,83  $\mu\text{m}$  (**Ilustración 5**).

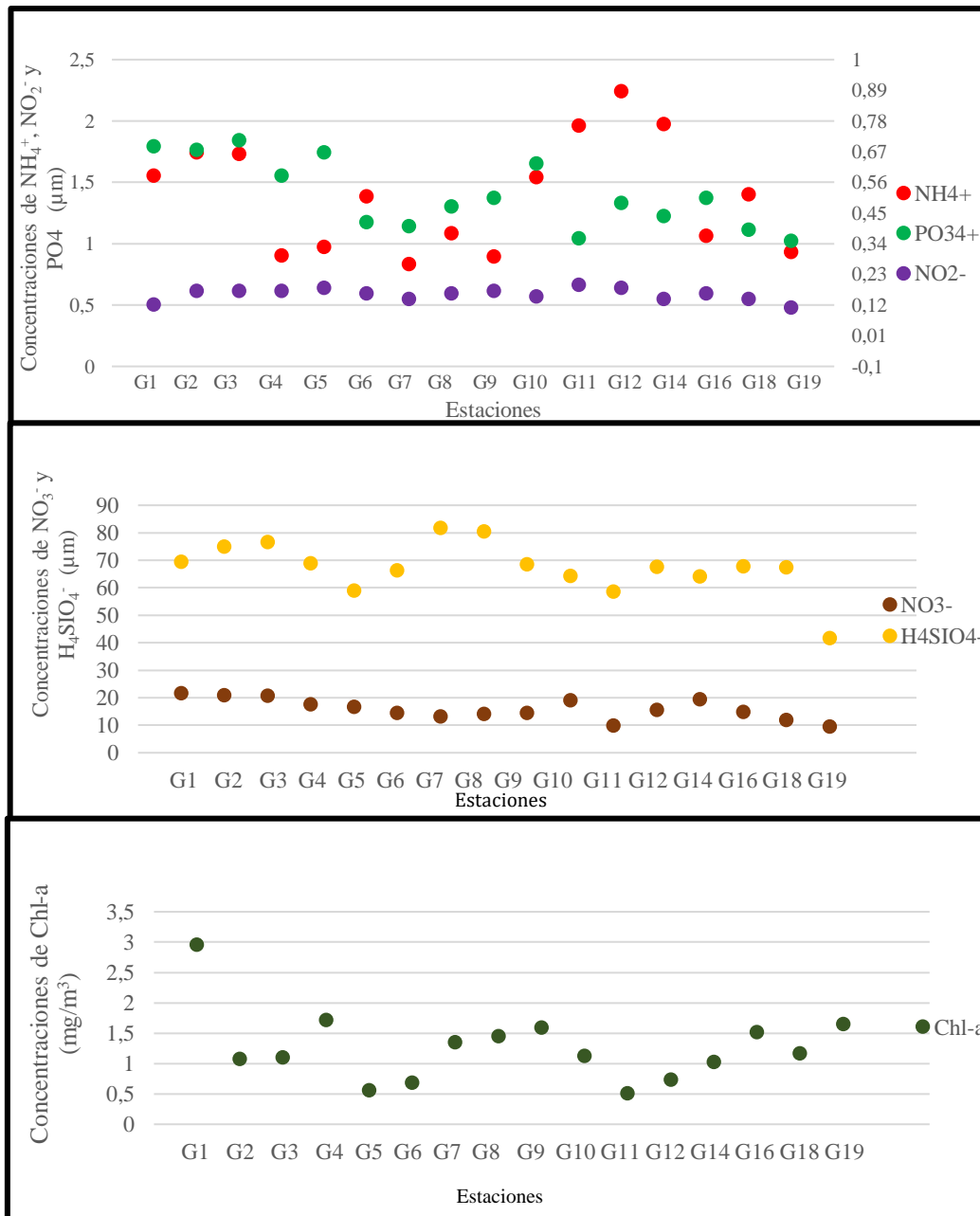
Para los  $\text{NO}_2^-$ , los valores en las concentraciones oscilaron entre los 0,11 y 0,19  $\mu\text{m}$ , con un promedio de 0,16  $\mu\text{m} \pm 0,02$ , mostrando la mayor concentración en las estaciones G5, G9, G11 y G12 (0,18, 0,17, 0,19 y 0,18  $\mu\text{m}$ , respectivamente), mientras que los valores más bajos se presentaron en G1 y G19 con 0,12 y 0,11  $\mu\text{m}$ , respectivamente (**Ilustración 5**).

En el caso de los  $\text{NO}_3^-$ , se presentaron valores entre los 9,48 y 21,67  $\mu\text{m}$ , con un promedio de 15,86  $\mu\text{m} \pm 3,81$ , encontrándose las mayores concentraciones en las estaciones G1, G2, G3 (21,67, 20,88 y 20,72  $\mu\text{m}$ , respectivamente) y las más bajas en las estaciones G11 y G19 con 9,87 y 9,48  $\mu\text{m}$ , respectivamente (**Ilustración 5**).

Las concentraciones de  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$  registraron valores entre 41,61 y 81,78  $\mu\text{m}$ , con un promedio de 67,34  $\mu\text{m} \pm 9,53$ , observándose las concentraciones más altas en las estaciones G7 y G8 (81,78, 80,53  $\mu\text{m}$ , respectivamente), y los más bajos se registraron en G19, con 41,61  $\mu\text{m}$  (**Ilustración 5**).

Los  $\text{PO}_4^{3+}$  oscilaron entre los 1,02 y 1,84  $\mu\text{m}$ , con un promedio de 1,40  $\mu\text{m} \pm 0,28$  y los valores más altos se registraron en las estaciones G1, G2, G3 y G5 con 1,79, 1,76, 1,84 y 1,74  $\mu\text{m}$ , respectivamente; y los más bajos, en G11 (1,04  $\mu\text{m}$ ) y G19 (1,02  $\mu\text{m}$ ) (**Ilustración 5**).

Por último, la Chl-a osciló entre los 0,51 y 2,95  $\text{mg}/\text{m}^{-3}$  con un promedio de 1,26  $\text{mg}/\text{m}^{-3} \pm 0,59$  y la concentración más alta se registró en G1 (2,95  $\text{mg}/\text{m}^{-3}$ ), y la más baja en G5 y G11 (0,56 y 0,51  $\text{mg}/\text{m}^{-3}$ , respectivamente) (**Ilustración 5**).



**Ilustración 5.** Nutrientes de las 16 estaciones muestreadas en el Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.

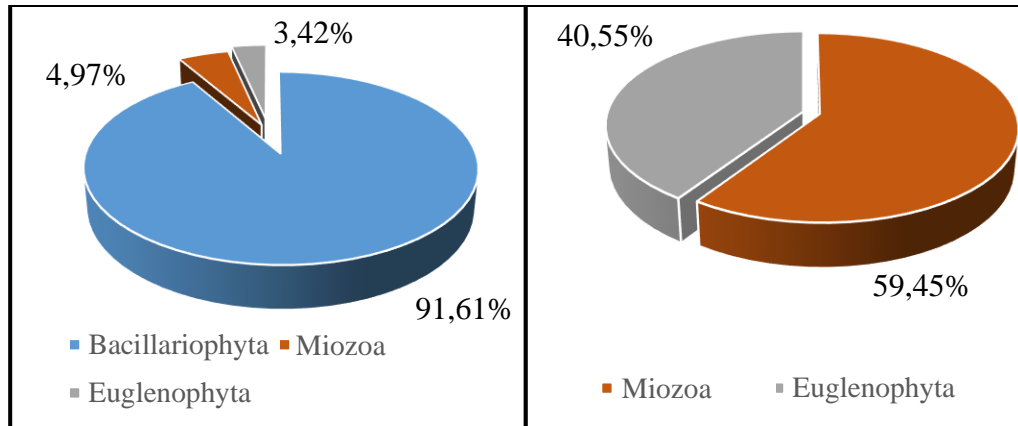
## 5.2. Composición de la comunidad

Se identificaron 61 taxones representados por 51 Bacillariophyta, 8 Miozoa y 2 Euglenophyta, encontrando en total 2195 organismos (**Tabla 4**). La mayor densidad de taxones obtenida en cada uno de los grupos taxonómicos fue: las Bacillariophyta, con un 91,61% del total; luego, las Miozoa, con un 4,97%; y, por último, las Euglenophyta, con un 3,42% (**Ilustración 6a**). Para una mayor ilustración y como resultado complementario, se aislaron las Bacillariophyta de la gráfica inicial por ser el grupo con altos valores de densidad, con el fin de ver exclusivamente los otros dos grupos taxonómicos que presentaron valores muy bajos, encontrando que los Miozoa representaron un 59,45% en este caso (**Ilustración 6b**).

Las especies con mayor densidad de las Bacillariophyta fueron *Actinocyclus* sp. (265 cel/ml), *Corethron pennatum* (325 cel/ml) y *Grammatophota marina* (140 cel/ml). En el caso de Miozoas las que más destacaron fueron *Gonyaulax* sp. (25 cel/ml), *Protopteridinium monacanthum* (20 cel/ml) y *Protopteridinium* sp. (20 cel/ml). Por último, para las Euglenophyta la mayor densidad la tuvo el género *Eutreptiella* sp. 1 (55 cel/ml). Mientras que las especies que presentaron mayor frecuencia fueron *Corethron pennatum* y *Licmophora communis*. Las imágenes de los grupos taxonómicos mencionados anteriormente se presentan en el **Anexo 1** (Castracane, 1886).

**Tabla 4.** Taxones identificados en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

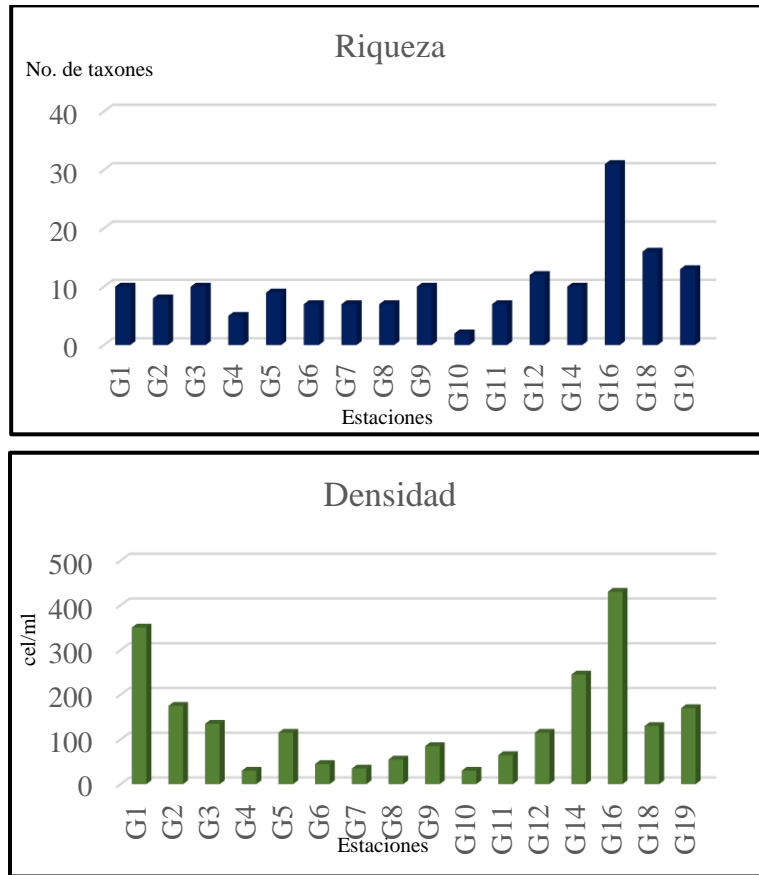
<b>MIOZOA</b>	<b>EUGLENOPHYTA</b>
1) <i>Goniodoma</i> sp.	1) <i>Eutreptiella</i> sp. 1
2) <i>Gonyaulax polygramma</i>	2) <i>Eutreptiella</i> sp. 2
3) <i>Gonyaulax</i> sp.	
4) <i>Protoperidinium monacanthum</i>	
5) <i>Protoperidinium</i> sp.	
6) <i>Scrippsiella</i> sp.	
7) <i>Tripos furca</i>	
8) Morfotipo 6	
<b>BACILLARIOPHYTA</b>	
1) <i>Actinocyclus</i> sp.	27) <i>Proboscia</i> sp.
2) <i>Cocconesi costata</i>	28) <i>Rhizosolenia</i> sp.
3) <i>Cocconeis dirupta</i>	29) <i>Synedra</i> sp. 1
4) <i>Corethron pennatum</i>	30) <i>Synedra</i> sp. 2
5) <i>Corethron</i> sp. 1	31) <i>Synedra</i> sp. 3
6) <i>Corethron</i> sp. 2	32) <i>Tryblionella navicularis</i>
7) <i>Coscinodiscus</i> sp.	33) Morfotipo 1
8) <i>Fallacia picmaea</i>	34) Morfotipo 2
9) <i>Fragilariopsis kerquelensis</i>	35) Morfotipo 3
10) <i>Fragilariopsis obliquecostata</i>	36) Morfotipo 4
11) <i>Fragilariopsis doliolus</i>	37) Morfotipo 5
12) <i>Fragilariopsis</i> sp.	38) Morfotipo 7
13) <i>Gomphonema</i> sp.	39) Morfotipo 8
14) <i>Gomphonema kamtschaticum</i>	40) Morfotipo 9
15) <i>Grammatophora marina</i>	41) Morfotipo 10
16) <i>Licmophora abbreviata</i>	42) Morfotipo 11
17) <i>Licmophora communis</i>	43) Morfotipo 12
18) <i>Licmophora ehrenbergii</i>	44) Morfotipo 13
19) <i>Licmophora</i> sp.	45) Morfotipo 14
20) <i>Navicula</i> sp. 1	46) Morfotipo 15
21) <i>Navicula</i> sp. 2	47) Morfotipo 16
22) <i>Navicula</i> sp. 3	48) Morfotipo 17
23) <i>Navicula</i> sp. 4	49) Morfotipo 18
24) <i>Nitzschia</i> sp. 1	50) Morfotipo 19
25) <i>Nitzschia</i> sp. 2	51) Morfotipo 20
26) <i>Pleurosigma</i> sp.	



**Ilustración 6.** Abundancia de los grupos taxonómicos encontrados en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019: a) Abundancia relativa de todos los grupos taxonómicos; b) Abundancia relativa sacando las Bacillariophyta.

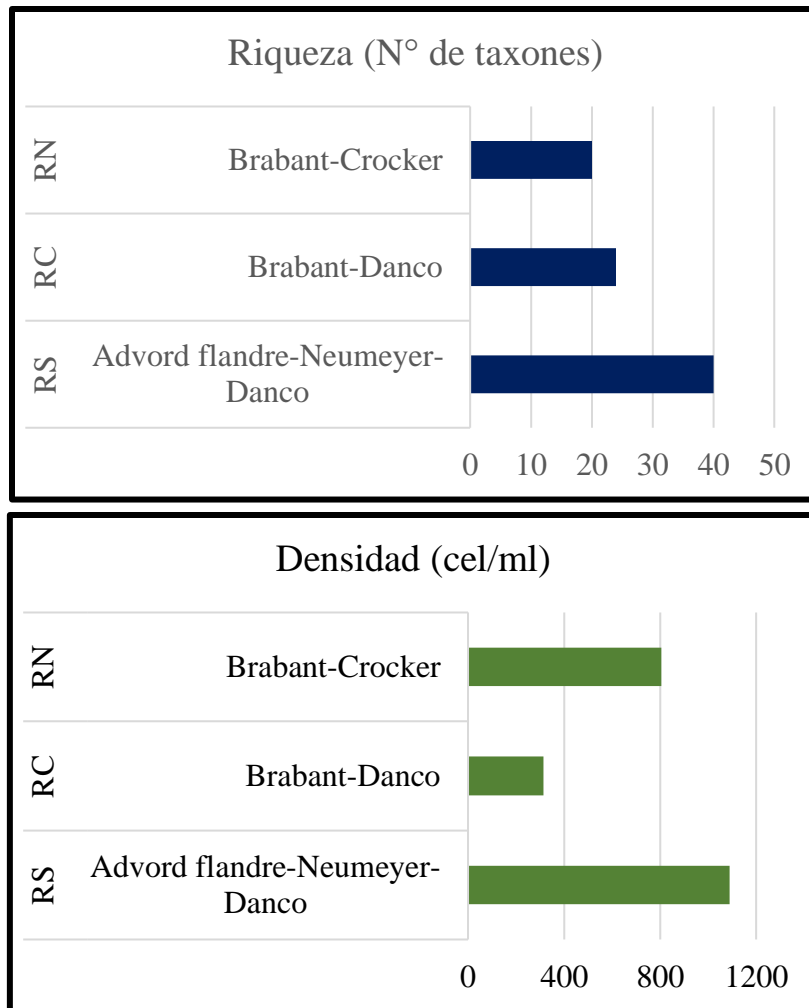
Las estaciones con mayor riqueza de especies fueron G16, G18 con 31 y 16 taxones, respectivamente, seguidas de las estaciones G1, G2, G3, G5, G9, G12, G14 y G19 que oscilaron entre los 10 y 13 taxones; mientras que las estaciones G4, G6, G7, G8, G10 y G11, se encontraron valores inferiores a 8; y la estación con menos riqueza fue G10 (2). (**Ilustración 7**).

En cuanto a la densidad, G1 y G16 fueron las estaciones que presentaron los valores más altos, con 350 cel/ml (15,83%) y 430 cel/ml (19,45%), respectivamente; y las estaciones G4 y G10 mostraron los valores más bajos, con 30 cel/ml (1,35%) en ambas estaciones (**Ilustración 7**).



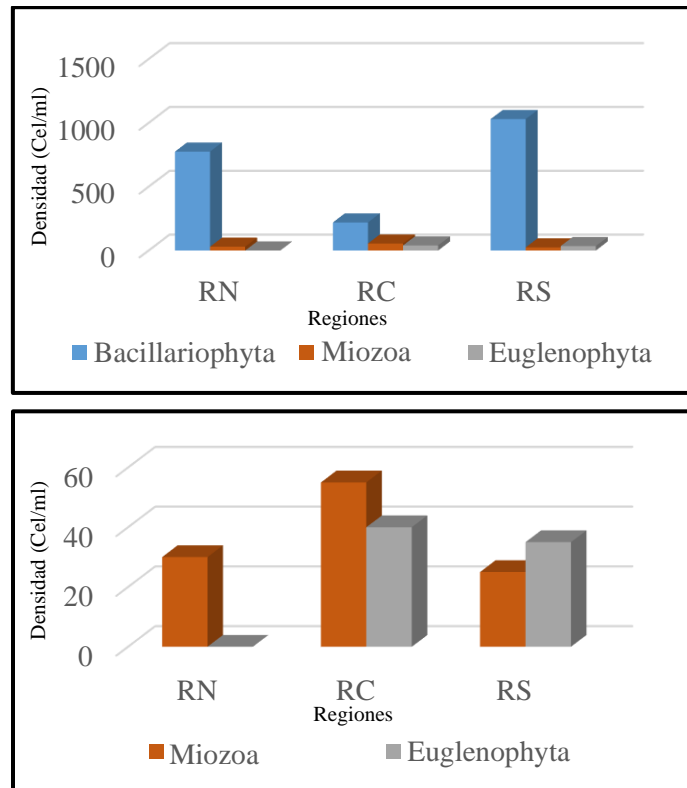
**Ilustración 7.** Riqueza y densidad del fitoplancton encontradas en las estaciones muestreadas del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que las estaciones ubicadas en RC del Estrecho de Gerlache presentaron una menor densidad y riqueza de especies, mientras que, en las RN y RS del Estrecho, las densidades y las riquezas fueron mayores, siendo más evidente hacia RS (**Ilustración 8**).



**Ilustración 8.** Riqueza y densidad fitoplanctonica obtenida en las regiones y masas de agua delimitadas *a posteriori* en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

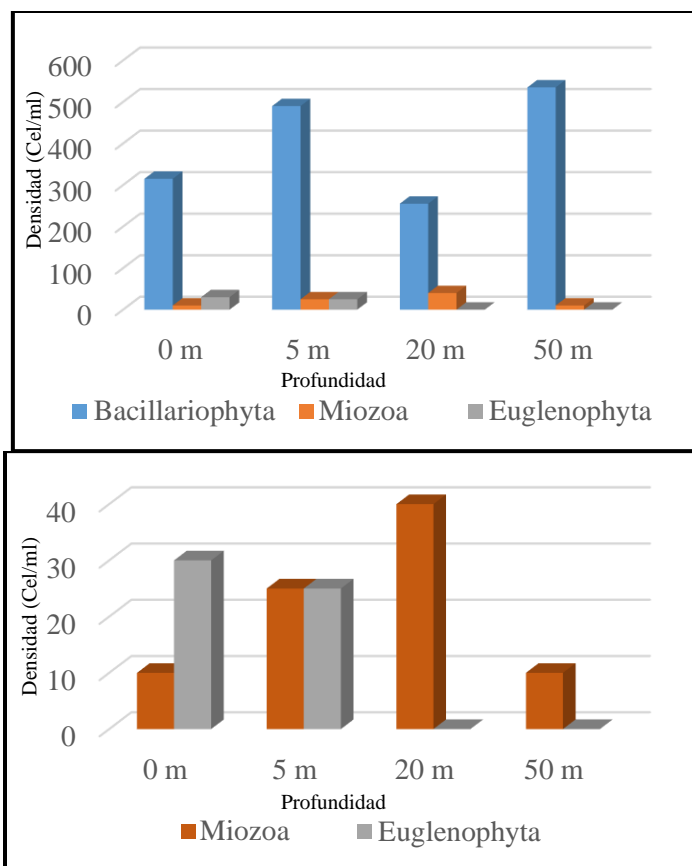
Por otro lado, la distribución que presentó la comunidad fitoplanctónica en el Estrecho de Gerlache fue más evidente en RS tanto en riqueza como en densidades, mientras que en RC los valores de riqueza y densidad fueron los más bajos encontrados (**Ilustración 9**).



**Ilustración 9.** Densidades de la comunidad fitoplanctónica presente en las diferentes regiones del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

Ahora, de acuerdo a la profundidad, en la columna de agua, se presentó una distribución de estos organismos a los 5 y 50 m, y realizando una observación por grupos taxonómicos se puede comprobar que las Bacillariophyta tienen altas densidades desde los 0 hasta los 50 m, disminuyendo a los 20 m, mientras que las Miozoa presentaron mayores valores entre los 0 y 20 m, declinando a los 50 m; y culminando con las Euglenophyta con valores altos entre los 0 y 5 m, siendo ausentes en los 20 y 50 m (**Ilustración 10**).

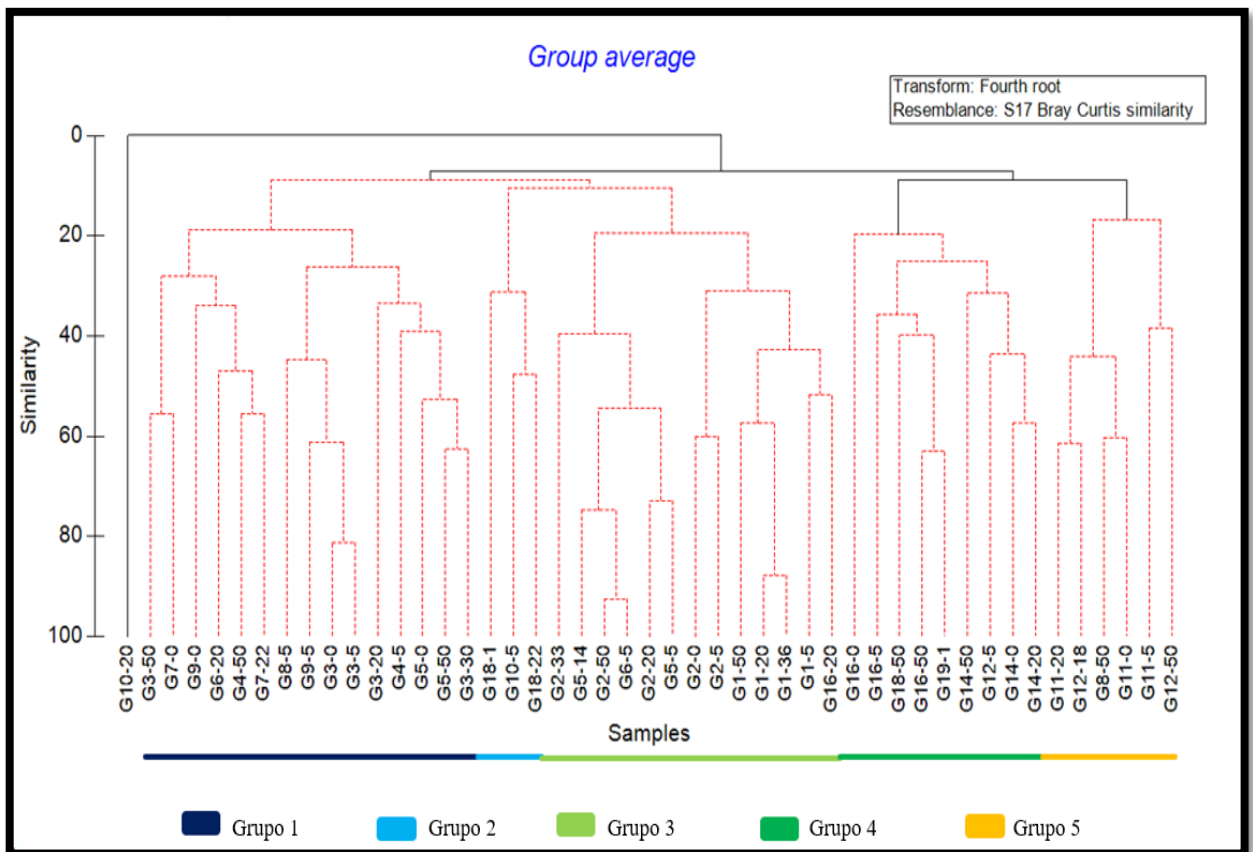




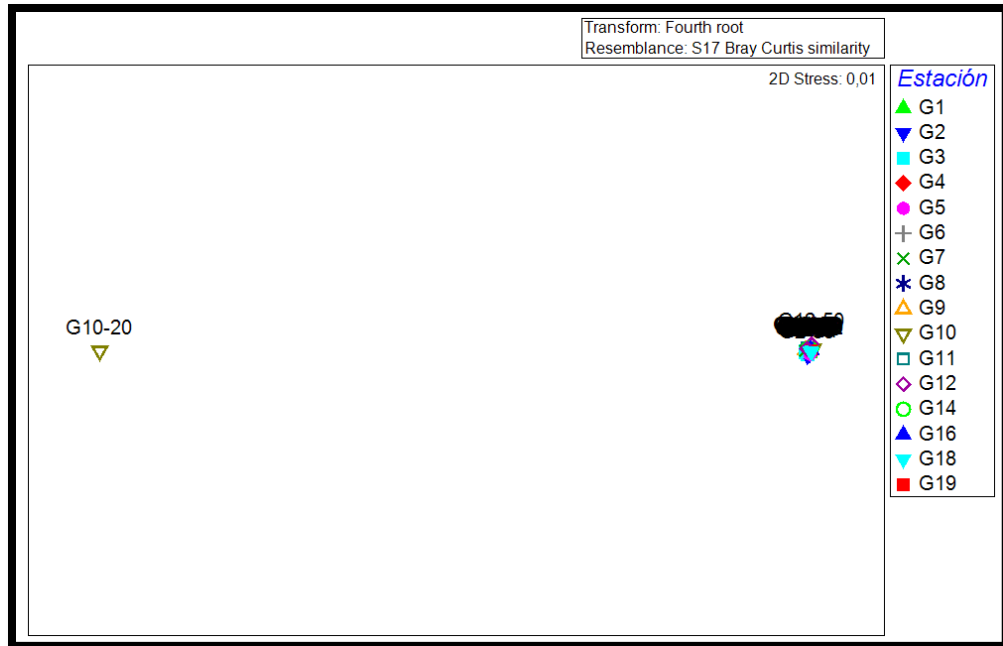
**Ilustración 10.** Densidades de la comunidad fitoplanctónica presente las diferentes profundidades del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019

Al realizar el análisis de similitud de Bray-Curtis, se observan cinco grupos (porcentaje de similitud 10 %) con diferencias estadísticamente significativas (SIMPROF  $p < 0,05$ ). En el primer grupo las estaciones presentan un 20% de similitud. La conformación del segundo grupo está dada en su mayoría por las estaciones de la RS, y otras de la RC, generalmente entre los 0 a los 22 m de profundidad, con una similitud del 30 %. El tercer grupo está conformado por todas las regiones (RN-RC-RS) (porcentaje de similitud 20 %) con profundidades que van desde los 0 a los 50 m. El cuarto grupo está compuesto únicamente por estaciones de la RS, con una similitud del 20%, y, por último, el quinto grupo está dado por algunas estaciones de las RC y RS, con una similitud del 19% (**Ilustración 11**).

En general, se encontró que las estaciones de muestreo presentan diferencias estadísticamente significativas (ANOSIM;  $R=0,742$ ,  $p=0,001$ ), y no existen diferencias significativas entre las profundidades (ANOSIM;  $R=0,398$ ,  $p=0,066$ ). También se realizó un análisis SIMPER encontrando que seis estaciones se destacaron por presentar los siguientes porcentajes de similitud: en la estación G1, las especies *Actinocyclus* sp. y *Coscinodiscus* sp. aportaron un acumulado del 70,4%; en G2 fueron *Gomphonema* sp. y *Corethron pennatum* contribuyeron con un 61,4%; en G3 fueron *Licmophora communis* y *Licmophora ehrenbergii* quienes aportaron un 61,4%; en G9 fue la especie *Eutreptiella* sp. 2 fue quien aportó el 100%; en G11, el Morfotipo 1 representó el 100%; y en G16 fueron *Grammatophora marina* y *Fragilariopsis* sp., con un 69,8% (**Tabla 5**). La estación G10-20 no presenta ninguna similitud con otras estaciones (**Ilustración 12**), lo cual se explica por la presencia de la especie *Gonyaulax* sp. que se encontró únicamente en esta muestra y que no se halló en ninguna de las otras estaciones.



**Ilustración 11.** Análisis de similitud de Bray Curtis de las estaciones del Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.



**Ilustración 12.** Prueba de NMDS.

**Tabla 5.** Análisis SIMPER de las estaciones en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019. Cum. %: Porcentaje acumulado

G1		G2	
Especies	Cum. %	Especies	Cum. %
<i>Actinocyclus</i> sp.	35,2	<i>Gomphonema</i> sp.	38,43
<i>Coscinodiscus</i> sp.	70,4	<i>Corethron pennatum</i>	61,39
<i>Nitzschia</i> sp. 1	100	<i>Licmophora communis</i>	80,69
		<i>Synedra</i> sp. 1	100
G3		G9	
Especies	Cum. %	Especies	Cum. %
<i>Licmophora communis</i>	22,92	<i>Eutreptiella</i> sp. 2	100
<i>Licmophora ehrenbergii</i>	61,46		
<i>Synedra</i> sp. 1	80,73		
Morfotipo 2	100		
G11		G16	
Especies	Cum. %	Especies	Cum. %
Morfotipo 1	100	<i>Grammatophora marina</i>	39,69
		<i>Fragilariopsis</i> sp.	69,84
		<i>Navicula</i> sp. 2	100

También se hace un análisis SIMPER teniendo en cuenta tres ámbitos de profundidad (**somero** de 0 a 5 m, **intermedio** de 20 a 25 m y **profundo** a los 50 m), donde en la zona somera, las especies *Synedra* sp., el Morfotipo 1 y el Morfotipo 2 aportaron un 65,7% de similitud; y en la zona profunda fueron las especies *Gomphonema* sp., *Licmophora communis* y *Licmophora ehrenbergii* quienes conformaron un 62,8% (**Tabla 6**).

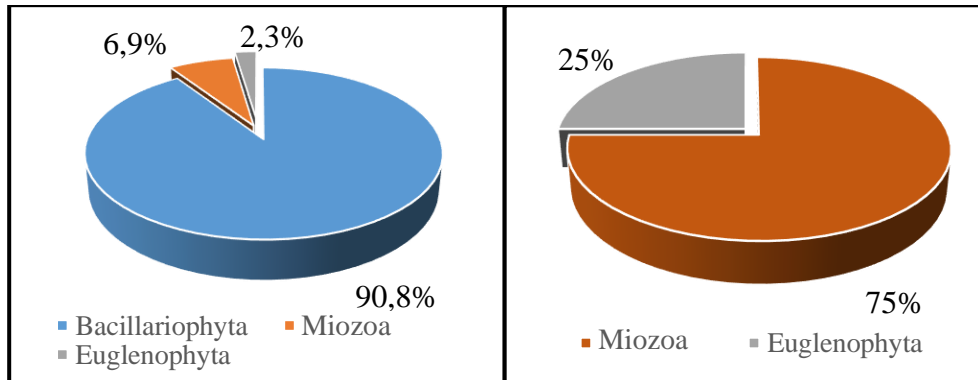
**Tabla 6.** Análisis SIMPER teniendo en cuenta los ámbitos de profundidad (Somero 0-5 m y Profundo 50 m) en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

Somero (0-5 m)	
Especies	Cum.%
<i>Synedra</i> sp. 1	19,02
Morfotipo 1	36,89
Morfotipo 2	65,77
<i>Corethron pennatum</i>	75,05
<i>Licmophora communis</i>	82,85
<i>Eutreptiella</i> sp. 2	89,31
<i>Grammatophora marina</i>	93,55
Profundo (50 m)	
Especies	Cum.%
<i>Gomphonema</i> sp.	24,34
<i>Licmophora communis</i>	45,24
<i>Licmophora ehrenbergii</i>	62,82
<i>Actinocyclus</i> sp.	75,9
<i>Coscinodiscus</i> sp.	88,99
<i>Nitzschia</i> sp. 1	100

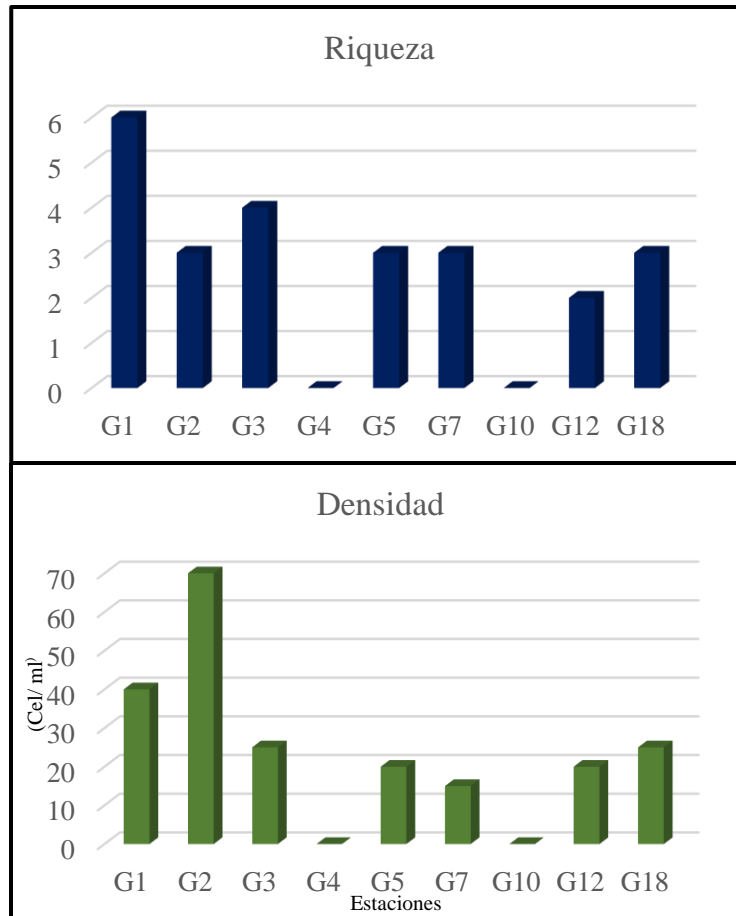
Adicional al muestreo, se tomaron muestras complementarias en las estaciones que presentaron picos de fluorescencia (máximos de chl-a) señalados por el CTDOF (Total= 9). Estas estaciones fueron dominadas por las Bacillariophyta, con un total del 90,8 % de organismos, seguido de las Miozoa con el 6,9 %, y, por último, las Euglenophyta con 2,3 % (**Ilustración 13**). Las especies con mayor densidad fueron *Gomphonema* sp. (65 cel/ml) y *Licmophora communis* (25 cel/ml). Mientras que las especies más frecuentes fueron *Actinocyclus* sp. y *L. communis*.

La estación que presentó una mayor cantidad de taxones fue G1 (Total= 6), mientras que G12, presentó un total de dos taxones siendo la más baja en riqueza. En términos de densidad, G2 fue

la estación que más valor obtuvo con 70 cel/ml, y siendo las estaciones G4 y G10, las localidades sin ningún organismo registrado. Por último, las estaciones G3, G5, G7, G12 y G18 presentaron taxones variables desde 2 a 4 (**Ilustración 14**) (**Tabla 7**).



**Ilustración 13.** Densidad de los grupos taxonómicos encontrados en las estaciones que presentaron picos de fluorescencia en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2018.



**Ilustración 14.** Riqueza y densidad de la comunidad fitoplanctónica encontrada en las estaciones que presentaron picos de fluorescencia del Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019

**Tabla 7.** Densidades encontradas en las estaciones que presentaron picos de fluorescencia en el Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019

<b>Estaciones con altos picos de fluorescencia</b>									
Táxones/Estaciones	G1	G2	G3	G4	G5	G7	G10	G12	G18
1) <i>Actinocyclus</i> sp.	10	0	0	0	5	0	0	0	5
2) <i>Corethron pennatum</i>	0	0	0	0	5	0	0	15	0
3) <i>Coscinodiscus</i> sp.	10	0	0	0	0	0	0	0	0
4) Morfotipo 6	0	0	0	0	0	0	0	0	10
5) <i>Eutreptiella</i> sp. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
6) <i>Gomphonema</i> sp.	0	55	0	0	10	0	0	0	0
7) <i>Grammatophora marina</i>	0	5	0	0	0	0	0	0	0
8) <i>Licmophora abbreviata</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0
9) <i>Licmophora communis</i>	0	10	10	0	0	5	0	0	0
10) <i>Licmophora ehrenbergii</i>	0	0	5	0	0	0	0	0	0
11) <i>Nitzschia</i> sp. 1	5	0	0	0	0	0	0	0	0
12) <i>Protoperidinium</i> sp.	0	0	0	0	0	5	0	0	0
13) <i>Synedra</i> sp. 1	5	0	5	0	0	0	0	0	0
14) <i>Synedra</i> sp. 3	0	0	0	0	0	5	0	0	0
15) <i>Tripos furca</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0
16) Morfotipo 1	0	0	0	0	0	0	0	5	0
17) Morfotipo 2	0	0	5	0	0	0	0	0	0
18) Morfotipo 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Densidad (cel/ml)	40	70	25	0	20	15	0	20	25
Riqueza	6	3	4	0	3	3	0	2	3
Profundidad (m)	36	33	30	17	14	22	25	18	22

### 5.3. Atributos de la comunidad

Las estaciones con mayor diversidad fueron G9 (0 m), G16 (0, 5, 50 m), G18 (50 m) y G19 (1 m) con valores de H' mayores a dos, mientras que entre las que presentaron menor diversidad tenemos a G2 (33 m) con valores inferiores a 0,60. Las estaciones G4 (5 m), G10 (5 y 20 m), G11 (0 m) y G12 (50 m) no se tuvieron en cuenta para la realización del análisis por presentar una sola especie en las muestras (**Tabla 8**).

**Tabla 8.** Índices ecológicos de las muestras de la comunidad extraídas en el Estrecho de Gerlache, en el verano austral 2018-2019

Estación	S	N	d	J'	H'	$\lambda'$	N1	N2
G1-5	7	145	1,21	0,81	1,58	0,25	4,84	3,88
G1-20	5	25	1,24	1,00	1,61	0,17	5,00	5,00
G1-50	4	140	0,61	0,40	0,56	0,74	1,75	1,35
G2-0	6	35	1,41	0,98	1,75	0,16	5,74	5,44
G2-5	4	35	0,84	0,83	1,15	0,37	3,17	2,58
G2-20	2	20	0,33	0,81	0,56	0,61	1,75	1,60
G2-50	2	20	0,33	0,81	0,56	0,61	1,75	1,60
G3-0	3	15	0,74	1,00	1,10	0,29	3,00	3,00
G3-5	4	30	0,88	0,96	1,33	0,25	3,78	3,60
G3-20	4	35	0,84	0,92	1,28	0,29	3,59	3,27
G3-50	3	20	0,67	0,95	1,04	0,34	2,83	2,67
G4-5	1	5	0,00		0,00	1,00	1,00	1,00
G4-50	4	25	0,93	0,96	1,33	0,25	3,79	3,57
G5-0	3	20	0,67	0,95	1,04	0,34	2,83	2,67
G5-5	3	40	0,54	0,82	0,90	0,46	2,46	2,13
G5-50	5	35	1,13	0,96	1,55	0,20	4,71	4,45
G6-5	2	10	0,43	1,00	0,69	0,44	2,00	2,00
G6-20	5	35	1,13	0,92	1,48	0,24	4,37	3,77
G7-0	4	20	1,00	1,00	1,39	0,21	4,00	4,00
G8-5	5	45	1,05	0,81	1,30	0,34	3,68	2,79
G8-50	2	10	0,43	1,00	0,69	0,44	2,00	2,00
G9-0	9	65	1,92	0,94	2,06	0,13	7,83	6,76
G9-5	3	20	0,67	0,95	1,04	0,34	2,83	2,67
G10-5	1	5	0,00		0,00	1,00	1,00	1,00
G10-20	1	25	0,00		0,00	1,00	1,00	1,00
G11-0	1	15	0,00		0,00	1,00	1,00	1,00
G11-5	4	25	0,93	0,96	1,33	0,25	3,79	3,57
G11-20	4	25	0,93	0,96	1,33	0,25	3,79	3,57
G12-5	8	85	1,58	0,95	1,98	0,14	7,22	6,72
G12-50	1	5	0,00		0,00	1,00	1,00	1,00
G14-0	9	130	1,64	0,88	1,94	0,17	6,93	5,63
G14-20	7	95	1,32	0,91	1,77	0,19	5,86	5,08
G14-50	3	20	0,67	0,95	1,04	0,34	2,83	2,67
G16-0	9	80	1,83	0,93	2,05	0,14	7,74	6,74
G16-5	14	120	2,72	0,94	2,48	0,09	11,91	10,29
G16-20	6	35	1,41	0,98	1,75	0,16	5,74	5,44
G16-50	16	195	2,84	0,91	2,52	0,09	12,45	10,49
G18-50	13	75	2,78	0,98	2,52	0,07	12,47	11,84
G19-1	13	170	2,34	0,92	2,35	0,11	10,53	9,03



G1-36	6	40	1,36	0,97	1,73	0,17	5,66	5,33
G2-33	2	65	0,24	0,62	0,43	0,74	1,54	1,35
G3-30	4	25	0,93	0,96	1,33	0,25	3,79	3,57
G5-14	3	20	0,67	0,95	1,04	0,34	2,83	2,67
G7-22	3	15	0,74	1,00	1,10	0,29	3,00	3,00
G12-18	2	20	0,33	0,81	0,56	0,61	1,75	1,60
G18-1	4	35	0,84	0,92	1,28	0,29	3,59	3,27
G18-22	3	20	0,67	0,95	1,04	0,34	2,83	2,67

#### 5.4. Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales con el fin caracterizar la zona de estudio y conocer cuáles son las variables más relevantes dentro del Estrecho de Gerlache. Se encontraron cuatro componentes principales que explican el 78.3% de la variabilidad de los datos, el CP1 asocio de forma directa la temperatura, transparencia, oxígeno disuelto y los nitritos. En el CP2 se observó una relación inversa entre  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$ ; en el CP3, el pH y Chl-a se asociaron de forma inversa al  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3+}$ , lo que indica un consumo de esos elementos por parte de la comunidad; y en el CP4, tanto el  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$ , registraron valores de asociación cercanos a los obtenidos en CP2, sin embargo, por ser los valores del CP2 mayores, esas variables se dejaron agrupadas en el CP2 (**Tabla 9**).

**Tabla 9.** Análisis de componentes principales (PCA) de las variables abióticas tomadas en las estaciones definidas en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4
Temperatura °C	0,63515818	0,39468926	-0,34674517	0,37390227
Transparencia (m)	0,47312256	0,42591653	-0,20632421	-0,24881764
pH	0,957545	0,9710546	-0,98145691	0,72519179
Oxígeno Disuelto (mg/l)	0,64793399	0,5315875	-0,42847426	0,57438566
$\text{NH}_4^+$ $\mu\text{m}$	-0,18274596	-0,36698743	0,26448324	0,35294626
$\text{NO}_2^-$ $\mu\text{m}$	0,29033852	-0,03286308	-0,1177072	-0,00353744
$\text{NO}_3^-$ $\mu\text{m}$	-0,25688728	-0,05742628	0,35212446	-0,17827099
$\text{PO}_4^{3+}$ $\mu\text{m}$	0,11413942	-0,06077156	0,22983907	-0,16411196
$\text{H}_4\text{SiO}_4^-$ $\mu\text{m}$	0,03057388	0,34365901	-0,18840171	0,34073844
Chl-a $\text{mg}/\text{m}^3$	0,41669984	0,42440211	-0,47315223	0,32208518
<i>Eigenvalue</i>	2.8800	2.0523	1.6317	1.2665
<i>Cumulative</i>	28.8%	49.3%	65.6%	78.3%

## 5.5. Análisis de correlación canónica

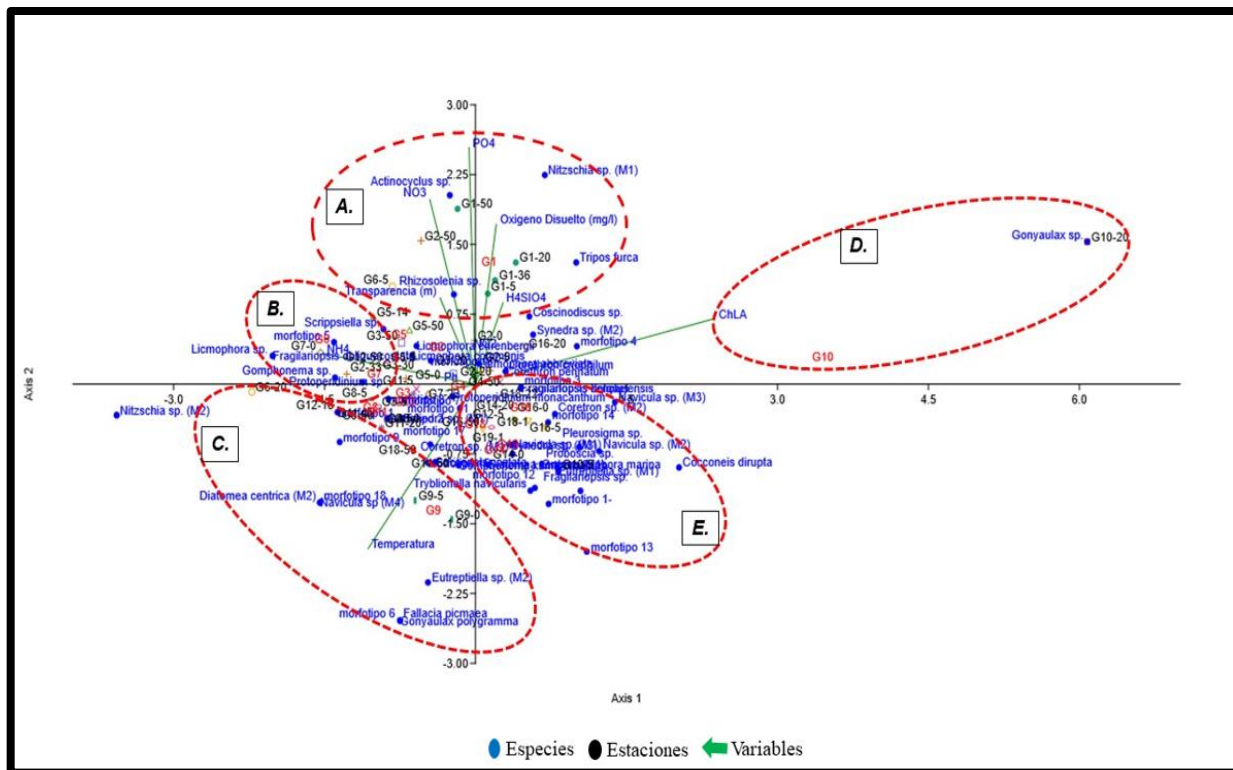
El análisis de correlación canónica mostró que las variables abióticas se relacionan con la comunidad fitoplanctónica en el Estrecho de Gerlache, con un porcentaje de variación del 39.82 %, aportando un 20.18 % en el primer eje, y un 19.64 % en el segundo (**Tabla 10**). Las variables PO<sub>34+</sub>, NO<sub>3-</sub>, H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, OD y transparencia estuvieron estrechamente relacionadas con las especies *Actinocyclus* sp., *Nitzschia* sp., *Rhizosolenia* sp. (Bacillariophyta) y *Triplos furca* (Miozoa), y con las estaciones G1-5, G1-20, G1-36, G1-50, G2-50 y G6-5 (GRUPO A).

En el caso de las variables NH<sub>4+</sub> y pH se presentó una relación con varias especies, tales como: *Corethron* sp. 1, *Gomphonema* sp., *Licmophora* sp., *Fragilariopsis obliquecostata*, Morfotipo 5 (Bacillariophyta), *Protoperdinium* sp., *Scrippsiella* sp. (Miozoa), y con las estaciones G2-33, G3-30, G3-50, G7-0, G8-5, G11-5 (GRUPO B).

Para la temperatura, se relacionaron las especies Morfotipo 6 (Bacillariophyta), *Fallacia pimaea*, Morfotipo 18, *Navicula* sp., Morfotipo 9 (Bacillariophyta), *Gonyaulax polygramma*, Morfotipo 6 (Miozoa) y *Eutreptiella* sp 2. (Euglenophyta), con las estaciones G9-0, G9-5, G12-10 y G18-50 (GRUPO C).

Por otro lado, la variable de Chl-a se relacionó únicamente con la especie *Gonyaulax* sp. y con la estación G10-20 (GRUPO D).

Y finalmente, otras especies como *Cocconeis dirupta*, *Corethron* sp., *Corethron pennatum*, *Navicula* sp., *Fragilariopsis* sp. 1, *Grammatophora marina*, Morfotipos 1, 12 y 14, *Pleusosigma* sp. 1, *Synedra* sp. 1 y *Triblionella navicularis* (Bacillariophyta), junto con las estaciones G12-5, G14-20, G16-0, G16-5, G18-1, G18-22 y G19-1, no presentaron una relación directa con alguna variable físico-química, pero si pueden llegar a estar influenciadas por el pH (GRUPO E) (**Ilustración 15**).



**Ilustración 15.** Análisis de correlación canónica entre las variables bióticas y abióticas de las estaciones delimitadas en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

**Tabla 10.** Porcentajes de análisis de correlación canónica

Eje	1	2
<i>Eigenvalue</i>	0,50055	0,48702
% Varianza	20,18	19,64

## 6. DISCUSIÓN

Durante el verano austral 2018-2019 se encontró que las Bacillariophyta en el Estrecho de Gerlache fueron las más dominantes con respecto a los demás grupos taxonómicos identificados. La distribución que presentó la comunidad fitoplanctónica revela mayores densidades en RS del Estrecho como se muestra en la **Ilustración 8**, lo que coincide con lo postulado en el trabajo De La Hoz *et al.* (2020), quienes registraron una dominancia de las Bacillariophyta en esa región, con 16 y 17 taxones. Otros autores reportaron mayores densidades de Bacillariophyta (3000 cel/l) para las estaciones cercanas a la costa (Olguín y Alder, 2011), como ocurrió en la estación G16 (RS).

Las especies *Actinocyclus* sp., *C. pennatum* y *G. marina* se caracterizaron por su alta frecuencia y densidad en algunas estaciones de RN y RS, coincidiendo en algunas especies con las registradas por Nariño (2021). En el presente estudio, se presentó una alta densidad de Bacillariophyta en RS, entre los 5 y 50 m de profundidad, mientras que, en RC y RN, estas variaron entre los 0 y 50 m de profundidad, siguiendo así los resultados reportados por el autor mencionado anteriormente donde se confirman mayores abundancias de este grupo taxonómico a los 5 m en la parte sur del Estrecho. La Antártica es una zona que se caracteriza por presentar altos niveles de luz durante los veranos australes en comparación con otras regiones ubicadas en la región ecuatorial del planeta (Rines y Theriot, 2003).

Los Miozoa a diferencia de las Bacillariophyta presentaron una mayor distribución en las regiones RN y RC, pero con bajas densidades, coincidiendo con lo postulado por De La Hoz *et al.* (2020) donde la mayor abundancia de este grupo taxonómico se registró en estaciones ubicadas en la zona central del Estrecho de Gerlache, siendo más evidente en las estaciones G1, G3, G10 y G14 (RN, RC, RS). Por otro lado, Nariño (2021) describe que la distribución y densidad de las Euglenophytas encontradas en el Estrecho se presentaron a los 5 m en la RS, lo que coincide con el presente estudio, tanto en términos de distribución, como en la densidad de este grupo taxonómico desde los 0 m a los 5 m de profundidad (**Ilustración 9 y 10**).

La dinámica de las regiones especificadas por Cañón-Páez (2022) tienen posiblemente un impacto en la distribución marcada que presentó el grupo de las Bacillariophyta en las RN y RS dadas por las características de las masas de agua que componen las regiones presentes en el Estrecho, en el caso de la RN, influyen las masas de agua denominadas TWW, TBW y AASW; en la RS contribuyen mUCDW, TBW y LCDW; mientras que, en la RC contribuyen TBW, TWW, mUCDW y otros tipos de aguas (García *et al.*, 2002). Además, la autora describe un frente térmico a la altura del Canal Shollaert (0,5°C), lo que separa las RN y RS, generando como consecuencia, temperaturas más bajas en la RS, ayudando así, al aumento de las densidades del fitoplancton.

Para las variables fisicoquímicas, los valores promedios encontrados de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{PO}_4^{3+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$  (1,33, 0,17, 1,38, 14,95 y 68,32  $\mu\text{m}$ , respectivamente) estuvieron por debajo de los encontrados por Cañón-Páez (2022)  $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$  (27,09  $\mu\text{m}$ ),  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$  (71,14  $\mu\text{m}$ ),  $\text{PO}_4^{3+}$  (1,87  $\mu\text{m}$ ). Así mismo, ese autor expresa que la dinámica local del fitoplancton determina el comportamiento de los nutrientes en cada región, y describe la presencia de altas concentraciones de macronutrientes por debajo de profundidades de 100 m en las regiones ubicadas en el sur, mientras que, en las regiones ubicadas en el norte, las concentraciones máximas se presentaron por debajo de los 200 m, explicando que, en la superficie se observa lo contrario, en las regiones ubicadas en el norte se mostraron concentraciones mayores de macronutrientes con respecto a las del sur, esto dado por los procesos biológicos, coincidiendo con lo encontrado en RN y RS del presente estudio. En comparación con otros autores, también se obtuvieron valores inferiores a los registrados por García *et al.* (2002) en cuanto al  $\text{NO}_3^-$  (16  $\mu\text{m}$ ), pero más altos que los presentados por Olgún y Alder (2011) para el mismo nutriente (10,82  $\mu\text{m}$ ). En cuanto a los fosfatos ( $\text{PO}_4^{3+}$ ), se encontraron valores más bajos que los obtenidos por los mismos autores (3,42  $\mu\text{m}$ ).

Por otro lado, los promedios de clorofila-a (Chl-a) presentados en este estudio (1,32  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) concuerdan con los reportados por Amaral *et al.* (2018) para el verano austral de 2013 en el Estrecho de Gerlache (1,22  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), y a las concentraciones de Chl-a (1,32  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) reportadas por De La Hoz *et al.* (2020) en el verano austral 2018, sin embargo, en RC presenta valores de Chl-a entre los 1,37 y 1,59  $\text{mg}/\text{m}^3$ , con densidades de fitoplancton bajo, lo que se podría explicar por la presencia de células pertenecientes al picofitoplancton, no observables por la metodología implementada en este estudio.

Se sabe que el consumo de los nutrientes amonio y fosfatos, son elementos importantes para el crecimiento de los organismos fitoplanctónicos (Wurtsbaugh, 1991), se ve reflejada una asociación inversa entre el pH, Chl-a,  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ . Por último, el análisis de correlación canónica determinó cinco grupos grandes, dentro de los cuales, cuatro mostraron estar relacionados con variables físicas y químicas (A, B, C, D), mientras que el grupo restante (E), a pesar de no tener una variable estrechamente relacionada, podría verse influenciado por el pH.

## 7. CONCLUSIONES

Para las variables fisicoquímicas, las estaciones que presentaron los valores de temperatura (°C) más altos fueron en G2, G3 y G9, entre los 0 y los 5 m de profundidad. En el caso del pH, en la RN se presentaron los valores más altos G3, mientras que, en RC se presentó un valor ligeramente ácido en G8. Por último, el oxígeno disuelto fue mayor en RN.

La composición y distribución del fitoplancton en el Estrecho de Gerlache presentan diferencias, ya que, en el presente estudio, las Bacillariophytas presentaron una mayor dominancia en comparación a los demás grupos taxonómicos identificados, mientras que en otros trabajos, las Criptophytas, las Dinophytas y los microflagelados fueron los dominantes. Esas diferencias pueden ser explicadas por las técnicas de muestreo implementadas en la realización de cada estudio, y la variabilidad en los parámetros fisicoquímicos de acuerdo con los veranos australes muestreados.

Las mayores densidades del fitoplancton en términos de biodiversidad, y teniendo en cuenta *a posteriori*, la distribución de las estaciones en las regiones dinámicas, las regiones RN y RS del Estrecho presentaron los valores más altos de  $H'$  ( $>2$ ), mientras que algunas estaciones en RC y RN registraron los valores más bajos de  $H'$  ( $<1$ ). Por otro lado, las mayores densidades de fitoplancton se presentaron en las estaciones ubicadas en RN y RS, áreas influenciadas por las masas de agua Bellingshausen y Weddell que podrían contribuir con nutrientes esenciales para el aumento en su densidad celular.

El Estrecho de Gerlache presentó altos valores de riqueza y densidad de las Bacillariophyta frente a los demás grupos taxonómicos, destacando especies como *Actinocyclus* sp. y *C. pennatum*, explicado en parte, por las condiciones ambientales que se presentan, tales como: vientos y tormentas poco intensas, aportes de agua del deshielo y la geología del mismo, contribuyendo a una estabilización de la columna de agua, y favoreciendo los afloramientos de fitoplancton.

El análisis de similitud de Bray-Curtis, expresó diferencias estadísticamente significativas entre los grupos taxonómicos encontrados en el Estrecho de Gerlache, así como, entre las estaciones, pero no entre las profundidades.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Es importante realizar procesos de curación o mantenimiento de las muestras periódicamente, para evitar la pérdida de cloroplastos de las células o la destrucción de las mismas, ya que las muestras fueron tomadas en el 2018 y fueron observadas tres años después.
- Es indispensable contar con el equipo de observación necesario (microscopio invertido) y con un buen mantenimiento en los objetivos del mismo (pues la presencia de hongos en los objetivos por la alta humedad de la región, no permiten tomar buenos registros fotográficos de los morfotipos).
- Es necesario para este tipo de estudios contar con una cámara profesional de fotografía y algún programa de edición de fotos para obtener excelentes imágenes de los organismos.



## 9. REFERENCIAS

- Alean, L. E. (2009). Modelación de la capacidad máxima de asimilación de vertimientos de carga orgánica en la ciénaga de Mesolandia en el departamento del Atlántico [Tesis de maestría, Universidad nacional de Colombia]
- Alonso-Rodríguez, R., Páez-Osuna, F. y Gárate-Lizárraga, I. (2004). El fitoplancton en la camaronicultura y larvicultura: Importancia de un buen Manejo. Cesisin. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U.N.A.M.
- Amaral, A., De Souza, M., Borges, C., Tavano, V. y Eiras, C. (2018). Spatial variability of photophysiology and primary production rates of the phytoplankton communities across the western Antarctic Peninsula in late summer 2013. *Deep-Sea Research Part II*, 149, 99-110. <https://doi.org/gg6cjt>
- Anzano, J., Cáceres, J., Marina, C. y Pérez-Arribas, L. (2020). La Antártica, un paraíso para la investigación. *ConCIENCIAS.digital*, 25, 61-71.
- APHA-AWWA-WER. (2012). Standard methods for the examination of water and waste water, 22th, Edición, Washington D. C.
- Arzuza, C., y Rodríguez, D. (2019). Expedición Científica Colombiana a la Antártica "Almirante Campos", componente oceanográfico. *Dimar*. ISSN 2590-7891
- Balech, E. (1976). Clave Ilustrada de dinoflagelados Antárticos. Instituto Antártico Argentino, 11, 1-99.
- Bendschneider, K., Robinson, R. (1952). A new spectrometric method for the determination of nitrate in the seawater. *Journal of Marine Research*, 11(1-8), 87-96.
- Boldt, J. (s.f.). Fitoplancton en el contexto del fenómeno "Sexta Extinción": ¿Un organismo superviviente? Aportes desde su estudio. *Academia.edu*: [https://www.academia.edu/30385234/Fitoplancton\\_en\\_contexto\\_del\\_fen%C3%B3meno\\_Sexta\\_Extinci%C3%B3n\\_Un\\_organismo\\_superviviente\\_Aportes\\_desde\\_su\\_estudio](https://www.academia.edu/30385234/Fitoplancton_en_contexto_del_fen%C3%B3meno_Sexta_Extinci%C3%B3n_Un_organismo_superviviente_Aportes_desde_su_estudio)
- Borges, C., De Souza, M., Tavano, V., Costa, M., Brotas, V. y Eiras G. (2012). Dynamics of phytoplankton communities during late summer around the tip of the Antarctic Peninsula. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 1, 65, 1-14. <https://doi.org/f3342n>
- Boyce, D., Lewis, M. y Worm, B. (2010). Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, 466, 591-596. <https://doi.org/10.1038/nature09268>
- Cañón-Páez, M. (2022). Determinación de regiones dinámicas en el Estrecho de Gerlache-Península Oeste Antártica, con base en una aproximación multisensor: Descripción de su variabilidad hidrográfica, química, biológica y óptica [Tesis de Doctorado, Universidad autónoma de Baja California]. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/8786>

- Cárdenas, R., González, O., Pérez, N., Horvath, J. y Peñate L. (2020). Cuantificación de la habitabilidad de los entornos naturales. Editorial Feijóo. Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
- Carrillo, P., Cruz-Pizarro, L., Morales, R. y Sánchez-Castillo, P. (1987). Cambios estacionales en las comunidades de fitoplancton y de zooplancton de la Albufera de Adra. *Limnetica*, 3, 243-254.
- Castracane, C.A. (1886). Report on the Diatomaceae collectd by H.M.S. Botany. 2, 1-178.
- Cognetti, G., Sará, M. y Magazzú, G. (2001). *Biología marina*. Editorial Ariel, S. A. ISBN: 84-344-8031-X
- Comisión Colombiana del Océano. (2021). CCO. Obtenido de <http://www.cco.gov.co/asuntos-antarticos.html>
- Cremella, B. (2017). Puesta a punto y validación de un método basado en la fluorescencia in vivo de pigmentos como indicador de biomasa de fitoplancton y cianobacterias en cuarpos de agua de Uruguay. [Tesis de maestria, Universidad de la Republica]
- Cuenca, K. J. (2022). Caracterización del fitoplancton en la zona marino-costera del mar ecuatoriano desde 1995 a 2020 [Tesis de licenciatura, Universidad de Guayaquil] <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/60058>
- Daga, I., Fernández, M. y María, S. (2020). Composición Algal y Bioindicadores de Agua. Caso de Estudio: Embalse San Roque, Córdoba. Argentina. *cuadernosdelcuriham*, 26, 1-11. <http://hdl.handle.net/2133/19917>
- De La Hoz, L., Cañón, M. y Sánchez, D. (2020). Estructura y Distribución de la Comunidad Microfitoplanctónica a lo largo del Estrecho de Gerlache durante el Verano Austral 2018-2019. *Boletín Científico CIOH*, 39, 1, 13-22. <https://doi.org/jn8k>
- Ducklow, H., Baker, K., Martinson, D., Quentin, L., Ross, R., Smith, R., y Fraser, W. (2006). Marine pelagic ecosystems: the West Antarctic Peninsula. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 362, 67-94. <https://doi.org/fvvgp6>
- García, M. A., Castro, C., Ríos, A., Doval, M., Rosón, G., Gomis, D. y López, O. (2002). Water masses and distribution of physico-chemical properties in the Western Bransfield Strait and Gerlache Strait during Austral summer 1995/96. *Deep-Sea Research II*, 49, 585-602. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00113-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00113-8)
- Gómez, I., Huovinen, P. y Valdivia, N. (2017). Biodiversidad Marina Antártica: Investigación para su valoración y conservación. *Centro ideal*, 34-36.
- Hasle, G., Syvertsen, E., Steidinger, K., Tagen, K., Thronsen, J. y Heimdal, B. (1997). *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press







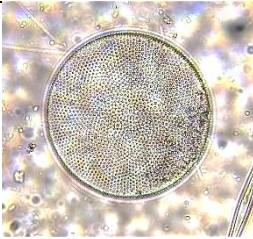



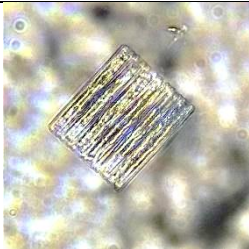

- Henley, S.F., Schofield, O.M., Hendry, K.R., Schloss, I.R., Steinberg, D.K., Moffat, C., Peck, L.S., Costa, D.P., Bakker, D.C.E., Hughes, C., Rozema, P.D., Ducklow, H.W., Abele, D., Stefels, J., Van Leeuwe, M.A., Brussaard, C.P.D., Buma, A.G.J., Kohut, J., Sahade, R., Friedlaender, A.S., Stammerjohn, S.E., Venables, H.J. y Meredith, M.P. (2019) Variability and change in the west Antarctic Peninsula marine system: research priorities and opportunities, *Progress in Oceanography*, 173, 208-237. <https://doi.org/gn5kms>
- Hermosilla, J. (1977). Contribución al conocimiento de los dinoflagelados y tintínidos de la Antártida. II Plancton colectado en Bahía Foster, diciembre de 1970. *Ser. Cient. Inst. Antárt. Chileno*, 5 (1), 17-34.
- Hernández-Becerril, D. (2014). Biodiversidad de algas planctónicas marinas (Cyanobacterias, Prasinophyceae, Euglenophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Eustigmatophyceae, Parmophyceae, Raphidophyceae, Bacillariophyta, Crysochyta, Haptophyta, Dinoflagellata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, s44-s53. DOI: 10.7550/rmb.32037
- Hernando, M. P. (2008). Efectos de la radiación solar sobre el fitoplancton de aguas antárticas y subantárticas. [Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires] <http://hdl.handle.net/1834/2868>
- Instituto Antártico Chileno. (2019). INACH. Obtenido de [http://www.inach.cl/inach/?page\\_id=195](http://www.inach.cl/inach/?page_id=195).
- Instituto Antártico Chileno. (2020). INACH. Obtenido de [http://www.inach.cl/inach/?page\\_id=21](http://www.inach.cl/inach/?page_id=21)
- INVEMAR-ANH (2013). Manual de métodos de ecosistemas marinos y costeros con miras a establecer impactos ambientales. [http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/8859b751-b39b-4d3d-9f59-976f362afc66/Manual%20de%20m%C3%A9todos%20de%20ecosistemas%20marinos%20y%20costeros%20con%20miras%20a%20establecer%20impactos%20ambientales?ticket=TICKET\\_9f3d40af2c1cfa94af0ca9d5034c9ad1ccc8bce0](http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/8859b751-b39b-4d3d-9f59-976f362afc66/Manual%20de%20m%C3%A9todos%20de%20ecosistemas%20marinos%20y%20costeros%20con%20miras%20a%20establecer%20impactos%20ambientales?ticket=TICKET_9f3d40af2c1cfa94af0ca9d5034c9ad1ccc8bce0)
- Kerr, R., Orselli, I., Lencina-Avila, J., Eidt, R., Mendes, C., Da Cunha, L. y Tavado, V. (2018). Carbonate system properties in the Gerlache Strait, Northern Antarctic Peninsula (February 2015): I. Sea–Air CO<sub>2</sub> fluxes. *Deep Sea Research II*, 149, 171-181. <https://doi.org/gn57zc>
- Kim, H., Ducklow, H., Abele, D., Ruiz, E., Buma, A., Meredith, M., Rozema, P., Schofield, O., Venables, H. y Schloss, I. (2018). Inter-decadal variability of phytoplankton biomass along the coastal West Antarctic Peninsula. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 376(2122), 20170174. <https://doi.org/jpgd>
- Kozłowski, W., Deutschman, D., Garibotti, I., Trees, C. y Vernet, M. (2011). An evaluation of the application of CHEMTAX to Antarctic coastal pigment data. *Deep-Sea Research I*, 58, 350-364. <https://doi.org/cd7f22>
- Lee, Y., Yang, E. J., Park, J., Jung, J. Kim, T. W. y Lee, S. (2016). Physical-biological coupling in the Amundsen sea, Antarctica: Influence of physical factors on phytoplankton


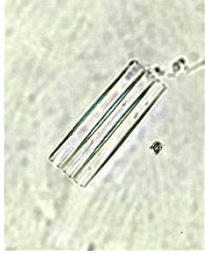
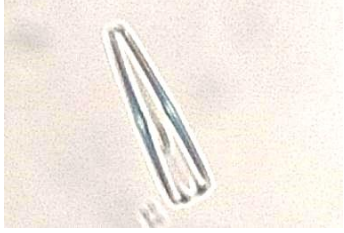
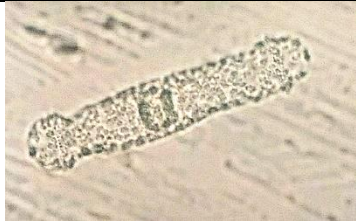




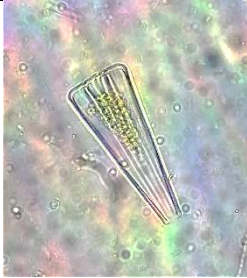





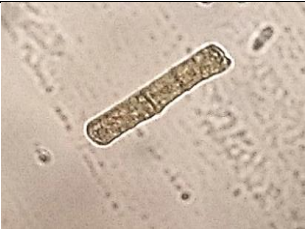
- community structure and biomass. *Deep-Sea Research I*, 117, 51-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr.2016.10.001>
- Lonin, S. (2015). Un modelo hidrodinámico del Estrecho de Gerlache (Antártida) para el verano del hemisferio sur. *Bol. Cient. CIOH*, 33, 145-167. <https://doi.org/jn8m>
- López, J., Manzano, M., Hurtado, M., Piña, P., Hernández, O., Guzón, O. y Hernández F. (2016). Fitoplancton: pequeños centinelas del océano. *Ciencia*
- Mancilla, P. (2013). El Continente Antártico: De La “Terra Australis Incognite” A Las Primeras Exploraciones Científicas (1520-1843). *Revista De Historia Naval* (121).
- Miranda. *Gaia Antártica: Conocimiento y cultura antártica*.
- Marcovecchio, J. y Freije, R. H. (2013). *Procedidos químicos en estuarios*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. Cap 13. ISBN: 978-987-1896-16-5
- Moline, M., Claustre, H., Frazer, T., Schofield, O. y Vernet, M. (2004). Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend. *Global Change Biology*, 10 (12). <https://doi.org/fr655q>
- Montes-Hugo, M., Doney, S., Ducklow, H., Fraser, W., Martinson, D. y Stamme, S. (2009). Recent Changes in Phytoplankton Communities Associated with Rapid Regional Climate Change Along the Western Antarctic Peninsula. *Science*, 323, 1470-1473. <https://doi.org/brf5jt>
- Montgomery, D. (2012). *Design and Analysis of Experiments*. Wiley USA, 752.
- Nariño, M. (2021). Dinámica espacial del fitoplancton en el Estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12010/19279>.
- Ochoa, N., Gómez, O. y Baylón, M. (2016a). Fitoplancton del Estrecho de Bransfield y Alrededor de la Isla Elefante Durante el Verano Austral 2007. *Bol. Inst. Mar. Perú*, 31 (1). <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3086>
- Ochoa, N., Gómez, O. y Baylón, M. (2016b). Fitoplancton del Estrecho de Bransfield e Isla Elefante Durante el Verano Austral 2006. *Bol. Inst. Mar. Perú*, 31 (1). <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3078>
- Olguín, H., Alder, V. (2011): Species composition and biogeography of diatoms in antarctic and subantarctic (Argentine shelf) waters (37–76°S). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(1-2), 139-152. <https://doi.org/cs3hq9>
- Pérez, N. y Rodríguez, L. (2014). Primeras señales de recuperación de la capa de ozono. *Hipótesis: apuntes científicos uniandinos*, 17, 14-16.
- Pomeroy, R. (2007). *Como evaluar una AMP: Manual de Indicadores Naturales y Sociales para Evaluar la Efectividad de la Gestión de Áreas Marítimas Protegidas*. Gland: UICN.


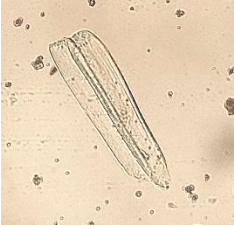





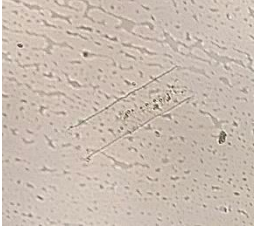





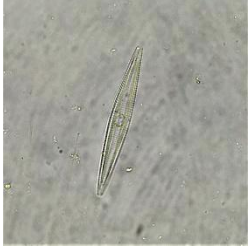

- Rines, J. y Theriot, E. (2003). Systematics of Chaetocerotaceae (Bacillatiophyceae), I. A phylogenetic analysis of the family. *Phycological Research*, 51 (2), 83-98.
- Boletín Antártico Chileno, 27(2), 15-16. <http://hdl.handle.net/1834/3367>
- Sánchez, J. (2017) Anomalías frías en el calentamiento global. *Tempo y Clima*, 57.
- Sánchez, S., Villanueva, P. y Delgado, E. (2016). Distribución Espacial del Fitoplancton en el Estrecho de Bransfield Durante el Verano Austral 2013. *Bol. Inst. Mar. Perú*, 31(2).
- Schofield, O., Saba, G., Coleman, K., Carvalho, F., Couto, N., Ducklow, H. y Waite, N. (2017). Decadal variability in coastal phytoplankton community composition in a changing West Antarctic Peninsula. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 124, 42-54. <https://doi.org/gbmfwm>
- Strickland, J., Parsons, D. H. (1972). A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada.
- Tomas, C. (1993). *Marine Phytoplankton: A Guide to Naked Flagellates and Coccolithophorids*. Academic Press, Inc.
- Uribe, D. (2003). *La era de la Antártida*. Bogotá: Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano.
- Valverde V., Meave del Castillo, J., Carabias L. y Cano-Santana, Z. (2005). *Ecología y medio ambiente*. Pearson Educación de Mexico SA de CV,
- Vásquez, A. (2017). *Características Físicas de la Península Antártica "Continente Helado"*.
- Vázquez, G., Castro, G., González, I., Pérez, R. y Castro, T. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *Contactos*, 60 (4), 41-48.
- Vidal, L. A. (2010). *Manual del fitoplancton hallado en la ciénaga grande de Santa Marta y aguas aledaños*. Fundación Universitaria de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. ISBN:978-958-725-041-1
- Vilca, O. (2021). *Análisis de la variabilidad estacional de clorofila, TSM y VVS en el sistema de afloramiento marino de Perú, observado simultáneamente a través de MODIS y TMI en el periodo 2003-2013*. [Monografía técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Wurtsbaugh, W. (1991). *Nutrientes y su limitación del crecimiento del fitoplancton*.
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical Analysis*. 5th Edition, Pearson, 960.

## 10. ANEXOS


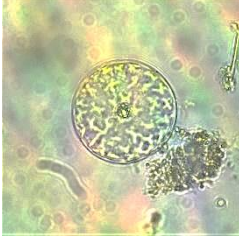




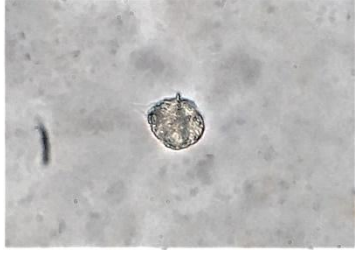
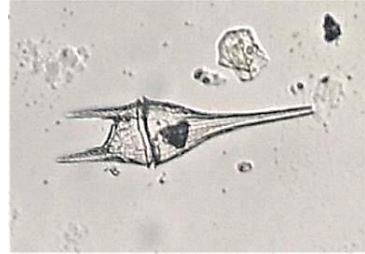
**Anexo 1.** Catálogo de grupos taxonómicos identificados en el Estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019

<i>Actinocyclus</i> sp.	<i>Cocconeis costata</i>	<i>Cocconeis dirupta</i>
		
<i>Corethron pennatum</i>	<i>Corethron</i> sp.1	<i>Corethron</i> sp. 2
		
<i>Coscinodiscus</i> sp.	<i>Eutreptiella</i> sp. 1	<i>Eutreptiella</i> sp. 2
		
<i>Fallacia picmaea</i>	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	<i>Fragilariopsis kerguelensis</i>
		
<i>Fragilariopsis obliquecostata</i>	<i>Fragilariopsis</i> sp.	<i>Gomphonema kamtschaticum</i>

		
<i>Gomphonema sp.</i>	<i>Goniodoma sp.</i>	<i>Gonyaulax polygramma</i>
		
<i>Gonyaulax sp.</i>	<i>Grammatophora marina</i>	<i>Licmophora abbreviata</i>
		
<i>Licmophora communis</i>	<i>Licmophora ehrenbergii</i>	<i>Licmophora sp.</i>
		
Morfotipo 1	Morfotipo 2	Morfotipo 3
		
Morfotipo 4	Morfotipo 5	Morfotipo 6

		
Morfotipo 7	Morfotipo 8	Morfotipo 9
		
Morfotipo 10	Morfotipo 11	Morfotipo 12
		
Morfotipo 13	Morfotipo 14	Morfotipo 15
		
Morfotipo 16	Morfotipo 17	Morfotipo 18
		
Morfotipo 19	Morfotipo 20	<i>Navicula</i> sp 1



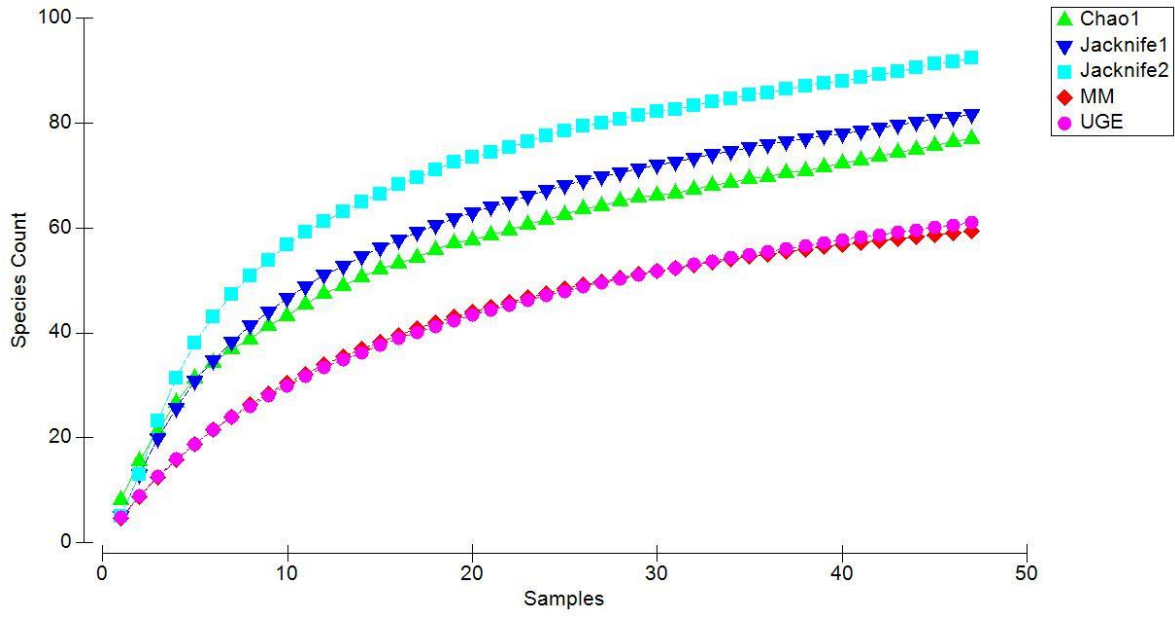
		
<i>Nitzschia sp. 1</i>	<i>Pleurosigma sp.</i>	<i>Protoperidinium sp.</i>
		
<i>Scripsiella sp.</i>	<i>Tripos furca</i>	
		

**Anexo 2.** Presencia y ausencia de especies.

Táxones/Estaciones	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G14	G16	G18	G19
<i>Actinocyclus</i> sp.	X	X	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-
<i>Cocconeis costata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-
<i>Cocconeis dirupta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Corethron pennatum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X
<i>Corethron</i> sp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X
<i>Corethron</i> sp. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Coscinodiscus</i> sp.	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-
<i>Fallacia picmaea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilariopsis keruelensis</i>	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilariopsis obliquecostata</i>	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X
<i>Fragilariopsis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Gomphonema</i> sp.	-	X	X	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema kamschaticum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
<i>Grammatophora marina</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X
<i>Goniodoma</i> sp.	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gonyaulax polygramma</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gonyaulax</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Eutreptiella</i> sp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	X	X	-
<i>Eutreptiella</i> sp. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Licmophora abbreviata</i>	X	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Licmophora communis</i>	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-
<i>Licmophora ehrenbergii</i>	-	-	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Licmophora</i> sp.	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Navicula</i> sp. 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Navicula</i> sp. 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Navicula</i> sp. 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Navicula</i> sp. 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Nitzschia</i> sp. 1	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia</i> sp. 2	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pleurosigma</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Proboscia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X
<i>Protoperidinium monacanthum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-	-
<i>Protoperidinium</i> sp.	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia</i> sp.	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Scrippsiella</i> sp.	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Synedra</i> sp. 1	X	X	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-
<i>Synedra</i> sp. 2	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Synedra</i> sp. 3	-	-	-	X	-	-	X	-	X	-	X	-	-	X	-	-

<i>Triplos furca</i>	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tryblionella navicularis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	X
Morfotipo 1	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	X	-	X	X	-	-
Morfotipo 2	-	-	X	X	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Morfotipo 3	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Morfotipo 4	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Morfotipo 5	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Morfotipo 6	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Morfotipo 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-
Morfotipo 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	-	X	-
Morfotipo 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-
Morfotipo 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-
Morfotipo 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-
Morfotipo 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-
Morfotipo 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-
Morfotipo 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
Morfotipo 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-
Morfotipo 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
Morfotipo 17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Morfotipo 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-
Morfotipo 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-
Morfotipo 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-

### Anexo 3. Suficiencia del muestreo



#### Anexo 4. Glosario

**Afloramiento marino:** Proceso en el cual las aguas profundas frías y ricas en nutrientes ascienden a la superficie (Vilca, 2021).

**Antártida:** Es un continente aislado que se encuentra en la zona sur de nuestro planeta, a unos 990 km de América del Sur y a 2000 km de Nueva Zelanda. El continente está cubierto en un 98% por hielo permanentemente con un espesor promedio de 2,160 m, y en algunos puntos, supera los 4,500 m (Uribe, 2003).

**Bioindicador:** son organismos que se utilizan para interpretar los efectos de los cambios ambientales y de alteraciones o fragmentación de los hábitats (Marcovecchio y Freije, 2013)

**Comunidad:** conjunto de poblaciones de muchas especies que conviven un mismo lugar e interactúan entre sí (Valverde *et al*, 2005).

**Estrecho de Gerlache:** es un sistema de fiordos que posee una longitud total de 150 km, un ancho de 50 Km, y una profundidad que oscila entre los 100 m y los 1000 m (Lonin, 2015).

**Fitoplancton:** Conjunto de organismos unicelulares capaces de realizar fotosíntesis y son la base de la cadena alimentaria en el mar y en otros cuerpos acuáticos (Alonso-Rodríguez *et al*, 2004).

**Fluorescencia:** Respuesta del fitoplancton ante la excitación de los organismos por factores externos (López *et al*, 2016).

**Trama trófica:** es una representación del flujo de energía que atraviesa las poblaciones de una comunidad (Pomeroy, 2007).

**Tratado Antártico:** denominado como Sistema del Tratado Antártico, el cual es un convenio internacional que consta de 14 artículos dirigidos a la conservación y libertad de investigación científica en la Antártida (Instituto Antártico Chileno, 2019).