

## Estructura y distribución de la comunidad microfitoroplanctónica a lo largo del estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019

### *Structure and distribution of micro-phytoplankton community along the gerlache strait during the 2018-2019 Austral Summer*

DOI: 10.26640/22159045.2020.501

Fecha de recepción: 2019/11/28 Fecha de aceptación: 2020/04/18

Luis Alberto de la Hoz Barrientos<sup>1</sup>, Mary Luz Cañón-Páez<sup>2</sup>, Daniela Rojas-Sánchez<sup>3</sup>

#### CITAR COMO:

**De la Hoz Barrientos, L. A.; Cañón Páez, M. L.; Rojas Sánchez, D. (2020).** Estructura y distribución de la comunidad microfitoroplanctónica a lo largo del estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019. *Bol. Cient. CIOH*; 39(1):25-39. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.2020.501

#### RESUMEN

En el presente estudio se describe la estructura de la comunidad fitoplanctónica y su distribución en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019. Se realizaron arrastres verticales de 200 m a la superficie a través de una red bongo equipada con flujómetro. Las muestras se fijaron en lugol básico, en una relación 100:1. Muestras adicionales para el análisis de nutrientes y clorofila-a se tomaron a través de una roseta oceanográfica. Mediante un análisis de funciones empíricas ortogonales estandarizadas el estrecho de Gerlache fue regionalizado en cuatro regiones, usando los datos de riqueza y químicos. De las regiones identificadas se ubicaron dos en el norte, una en el centro y otra en el sur. En términos de riqueza se identificaron 40 taxones representados por 28 diatomeas, once dinoflagelados y un silicoflagelado. La mayor riqueza y abundancia se encontró en la región central, siendo las diatomeas el grupo dominante en todas las estaciones. Las especies *Corethron criophilum* y *Porosira glacialis* representaron el mayor aporte a la comunidad. Los dinoflagelados formaron el segundo grupo más distintivo en el área de estudio, representado por las especies *Protoperdinium pyrum* y *Prorocentrum minimun*. Por otra parte, los silicoflagelados con la especie *Dictyocha sp.* fueron el grupo con menor representatividad en el área; sin embargo, su mayor abundancia se observó en la región norte. Con base en investigaciones realizadas por otros autores en años anteriores para el mismo periodo climático se evidenciaron diferencias en la estructura de la comunidad, con dominancia de las diatomeas sobre los demás grupos identificados; dichos cambios pueden obedecer a las técnicas analíticas empleadas y a la variabilidad interanual.

**PALABRAS CLAVE:** microfitoroplancton, estructura, Antártica, estrecho de Gerlache.

#### ABSTRACT

*This study describes the structure of the phytoplankton community and its distribution in the Gerlache Strait (EG) during the 2018-2019 austral summer. 200 m vertical trawls were made to the Surface*

<sup>1</sup> Orcid: 0000-0002-5130-1212. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). El Bosque, isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo electrónico: delahoz@dimar.mil.co

<sup>2</sup> Orcid: 0000-0002-8144-8987. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). El Bosque, isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo electrónico: MCanonPaez@dimar.mil.co

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). El Bosque, isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo electrónico: drojas@dimar.mil.co

through a Bongo network equipped with a flowmeter. The samples were fixed in basic Lugol in a 100: 1 ratio. Additional samples for nutrient and chlorophyll-a analysis were collected through an oceanographic rosette. Through an analysis of standardized orthogonal empirical functions, the Gerlache Strait was regionalized in four regions, using the richness and chemical data. From the identified regions two were located in the north, one in the center, and one in the south. In terms of richness, 40 taxa represented by 28 diatoms, 11 dinoflagellates, and one silicoflagellate were identified. The greatest richness and abundance was found in the central region, with diatoms being the dominant group in all stations. The species *Corethron criophilum* and *Porosira glacialis* represented the greatest contribution to the community. Dinoflagellates formed the second most distinctive group in the study area, represented by *Protoperidinium pyrum* and *Prorocentrum minimum*. On the other hand, silicoflagellates with the *Dictyocha sp.*, were the group with the lowest contributions in the area, however, its greatest abundance was observed in the northern region. Based on research conducted by other authors in previous years for the same climatic period, differences in the structure of the community are evident, with the dominance of diatoms over the other groups identified; these changes may be due to the analytical techniques used and the interannual variability.

**KEYWORDS:** Microphytoplankton, structure, Antarctica, Gerlache Strait.

## INTRODUCCIÓN

El fitoplancton es considerado como un bioindicador natural, debido a su breve ciclo de vida y a su rápida respuesta a los cambios de las condiciones ambientales (Schofield *et al.*, 2017). En el océano austral, el fitoplancton responde a ciclos de crecimiento estacional, modulados por la incidencia de altas energías radiantes y el derretimiento del hielo durante el verano. Estos eventos favorecen procesos fotosintéticos con una variación estacional de la biomasa y la producción primaria, de manera que juegan un papel importante en los ciclos biogeoquímicos en la Antártica (Lee, Yang, Park, Jung, Kim y Lee, 2016).

La península Oeste Antártica (POA), donde se ha registrado la mayor tasa de cambio térmico en el planeta originado por el calentamiento global (Vaughan *et al.*, 2003), es considerada un área de gran riqueza biológica (Holm-Hansen y Mitchell, 1991) con los valores más altos de producción primaria (Comiso, McClain, Sullivan, Ryan y Leonard, 1993; Smith, Dierssen y Vemet, 1996) y floraciones detectadas en la zona de hielo en aguas abiertas (Nelson, Smith, Gordon, y Huber, 1987). En la POA varios estudios relacionados con la dinámica del fitoplancton se han llevado a cabo para comprender entre otros aspectos, los factores que controlan su crecimiento (Rodríguez, Jiménez-Gómez, Blanco y Figueroa, 2002), cambios en su estructura (Mendes, De Souza, Tavano, Costa, Brotas, Eiras, 2012; Mendes *et al.*, 2018, Ferreira y Kerr, 2017), la dominancia

de grupos (Arrigo, Worthen, Lizotte, Dixon y Dieckmann, 1997; Smith, Barrett, Tusnányi, Rejtő y Cary, 2010) así como las implicaciones de la variabilidad climática en los ciclos biogeoquímicos y la respuesta de los organismos a dichos cambios (Zhou, Niiler y Hu, 2002; Schofield *et al.*, 2017).

Una característica propia de las altas latitudes es la extrema variabilidad anual en la radiación solar y la cobertura de hielo, en la que se incluyen altas concentraciones de nutrientes inorgánicos (Schloss, 1997). Estas características tienen una fuerte influencia sobre la estructura y distribución del fitoplancton (Tapia y Torres, 1998). Los primeros estudios llevados a cabo en la POA (Schloss, 1997; Sánchez y Villanueva, 2001; Unrein, 2000) reportan cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica, caracterizada por una alternancia entre las diatomeas y el nanoplancton. Por otra parte, recientes estudios (Kozłowski, Deutschman, Garibotti, Trees, Vernet, 2011; Arrigo *et al.*, 2000; Mendes *et al.*, 2012; Mendes *et al.*, 2018; Ferreira y Kerr, 2017) reportan la distribución y fisiología del fitoplancton a través de pigmentos marcadores. Se ha identificado que la distribución del fitoplancton está influenciada por la estratificación en la columna de agua (Mills *et al.*, 2010) y que su distribución cuando responde a cambios ambientales difiere tanto entre grupos como en especies individuales (Xu, Fu y Hutchins, 2014).

En particular, el estrecho de Gerlache (EG) se ha observado la respuesta del fitoplancton a cambios ambientales y la alternancia de grupos

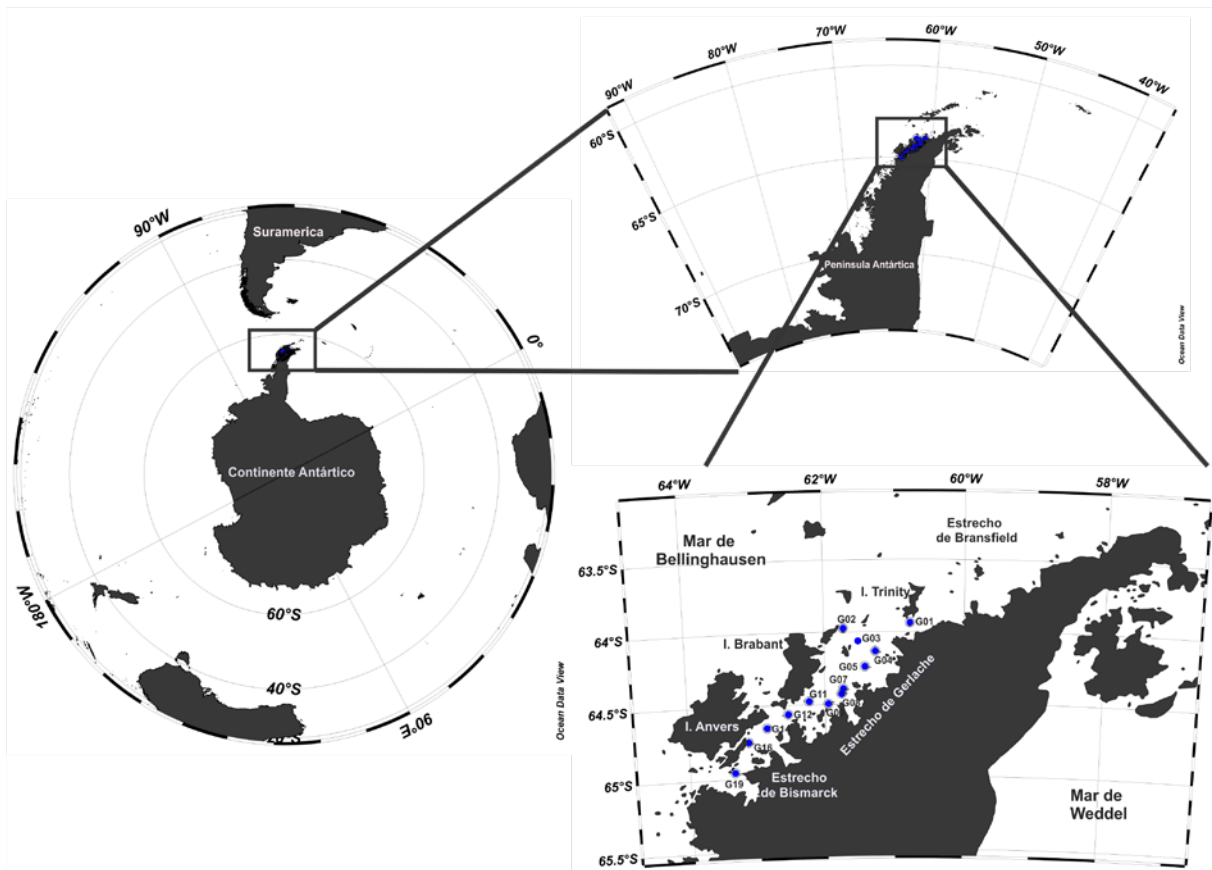
dominantes en dicha área. Los trabajos de Mendes *et al.* (2012), por ejemplo, reportaron el dominio de pequeños flagelados mientras que Schofield *et al.* (2017) reportaron el dominio de las diatomeas sobre las criptofitas y los flagelados. Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2002) reportaron la dominancia de microplancton en el extremo suroeste (SW), cerca del mar de Bellingshausen, y de organismos flagelados en el extremo noreste (NE), cerca del estrecho de Bransfield.

Con el objetivo de contribuir al conocimiento de la respuesta de la comunidad fitoplanctónica a la variabilidad ambiental, este artículo aporta

información sobre la estructura de la comunidad fitoplanctónica y su distribución en el EG durante el verano austral 2018-2019.

### ÁREA DE ESTUDIO

El EG, ubicado en POA, tiene aproximadamente 200 km<sup>2</sup> de largo y entre 10 km<sup>2</sup> a 50 km<sup>2</sup> de ancho. Es una cuenca estrecha que forma la conexión occidental más profunda entre el mar de Bellingshausen y el estrecho de Bransfield (García *et al.*, 2002) (Figura 1) con profundidad variable entre 200 m y 100 m (Zhou *et al.*, 2002; Mendes *et al.*, 2012).



**Figura 1.** Mapa del estrecho de Gerlache y estaciones de muestreo de organismos fitoplanctónicos en el verano austral 2018-2019.

Sin embargo, en la zona suroeste se registran profundidades inferiores a los 100 m que restringen en gran escala la corriente circumpolar Antártica (Zhou *et al.*, 2002). Se le conoce como una región altamente productiva, debido a la complejidad de su estructura, el aporte glacial y el enriquecimiento de hierro proveniente de la plataforma continental (Huntley, Karl, Niiler y Holm-Hansen, 1991; Zhou *et al.*, 2002). La influencia de eventos meteorológicos (viento y tormentas) en la profundización de la capa de mezcla y los procesos de advección es mínima (Holm-Hansen y Michell, 1991), facilitando el desarrollo de *blooms* de fitoplancton (Varela, Fernández y Serret, 2002).

El EG está dominado por una corriente o flujo superficial principal, que avanza del sur hacia el nororiente en el centro del canal profundo del Estrecho. Sin embargo, en el margen continental del EG existe una contracorriente débil hacia el suroeste que genera corrientes débiles y circulaciones tipo remolino, haciendo que en bahías poco profundas se presenten largos tiempos de residencia de las masas de agua de hasta 40 días (Zhou *et al.*, 2002).

## METODOLOGÍA

Toma y procesamiento de la muestra nutrientes y clorofila-a. Las muestras de agua para el análisis de nutrientes y clorofila-a se colectaron con una roseta oceanográfica a profundidades de 5 m, 20 m, 50 m, 100 y 200 m en 13 estaciones durante los meses de diciembre 2018 y enero de 2019 en el EG (Tabla 1).

**Tabla 1.** Coordenadas de las estaciones de muestreo en el estrecho de Gerlache en el verano austral 2018-2019.

| Estación | Latitud      | Longitud     |
|----------|--------------|--------------|
| G01      | -63,93798611 | -60,77210361 |
| G02      | -63,97474306 | -61,72339611 |
| G03      | -64,06356667 | -61,51416667 |
| G04      | -64,13378333 | -61,26833333 |
| G05      | -64,23955    | -61,41893333 |
| G07      | -64,39103333 | -61,73343333 |
| G08      | -64,42773333 | -61,75945    |
| G09      | -64,49451667 | -61,95118333 |
| G11      | -64,47611667 | -62,228      |

| Estación | Latitud      | Longitud     |
|----------|--------------|--------------|
| G12      | -64,56155    | -62,53788333 |
| G14      | -64,65405    | -62,85146667 |
| G16      | -64,74633333 | -63,12618333 |
| G19      | -64,95195    | -63,34128333 |

Las concentraciones de amonio (NH<sub>4</sub>), nitratos (NO<sub>3</sub>), ortofosfatos (PO<sub>4</sub>) y ácido silícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) se determinaron de acuerdo con Strickland y Parsons (1972). Para el análisis de nitritos (NO<sub>2</sub>) se empleó el método de Bendschneider y Robinson (1952) y para clorofila-a el protocolo descrito en APHA (2012).

## Microfitoplancton

Se realizaron arrastres verticales desde los 200 m a la superficie a través de una red Bongo con diámetro de boca de 60 cm y porosidad de malla de 20 µm, equipada con flujómetro para la colecta de muestras biológicas.

Las muestras se fijaron en lugol básico (Edler y Elbrächter, 2010) en una relación 100:1. El uso de lugol como fijador permite teñir las células y conservar las estructuras de células de algas desnudas; además, al aumentar el peso de los organismos reduce el tiempo de sedimentación, facilitando una mejor identificación en el microscopio (De la Lanza, 2004). Las muestras fueron conservadas en botellas plásticas ámbar de 500 ml para evitar la degradación por la luz hasta análisis en laboratorio.

En el laboratorio cada muestra fue homogeneizada con movimientos verticales sobre su eje. Con el fin de concentrar los organismos fitoplanctónicos a través del proceso de sedimentación, la totalidad de la muestra fue vertida en tubos cónicos falcon, con capacidad de 50 ml y una altura aproximada de 10 cm, mantenidos en reposo durante 24 horas (Edler, 1979).

Los organismos fueron contados por alícuotas de 1 ml en una cámara Sedgwick-Rafter, en un microscopio invertido a 10X y 60X. La abundancia fitoplanctónica se determinó a partir del volumen filtrado a través de la red, el cual fue calculado mediante la ecuación:

$$Distancia = \frac{(Final - Inicio) * constante\ rotor}{999999} \quad (1)$$

Donde,

Final = Dato final del flujómetro

Inicial = Dato inicial del flujómetro

Constante rotor = 268'73

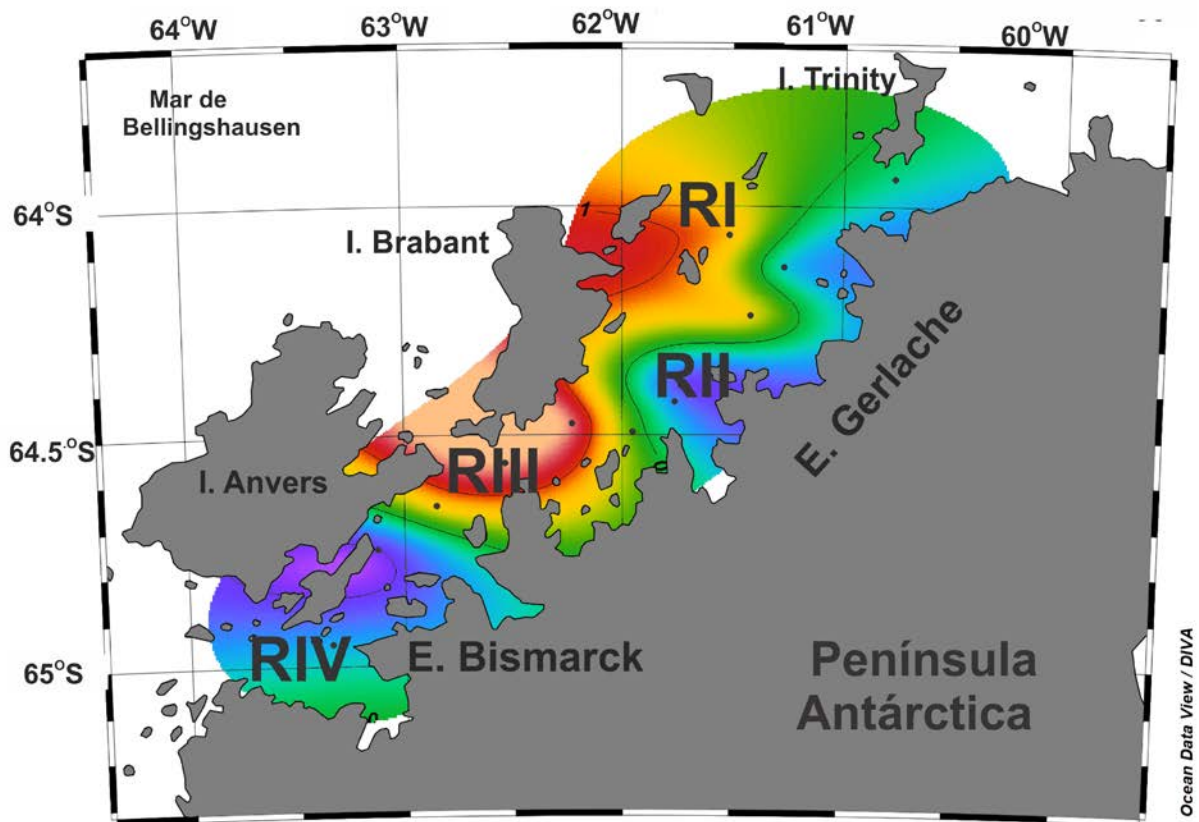
Se realizó la conversión del total de organismos contados por alícuota en relación al volumen sedimentado. Para obtener el resultado final se estandarizó por unidad de volumen y se expresó la abundancia relativa en cel/m<sup>3</sup>. La identificación taxonómica de los organismos se realizó empleando los trabajos y claves taxonómicas de Bicudo y Bicudo (1970), Taylor (1976), Rabenhorst (1889), Tenenbaum *et al.*, (2004) Vidal (2010), además se utilizaron bases de datos digitales (Guiry y Guiry, 2019).

Por otro lado, los datos de riqueza fueron asociados con variables fisicoquímicas a través del análisis multivariado (componentes

principales), con el fin de identificar cómo la comunidad microfitoplanctónica responde a las variables químicas en el EG. El criterio para definir la asociación de los variables considera los eigenvalores mayores a 1 (Santamaría-del-Ángel, González-Silvera, Millán-Núñez, Callejas-Jiménez y Cajal-Medrano, 2011). Adicionalmente un análisis de funciones empíricas ortogonales estandarizadas se usó para regionalizar el EG con variables químicas y biológicas (riqueza) siguiendo los criterios de Santamaría del Ángel *et al.* (2011).

## RESULTADOS

Producto de la mejor combinación numérica de las variables químicas y la riqueza microfitoplanctónica, se identificaron cuatro regiones en el EG, dos ubicadas en el norte: noroeste (RI) y noreste (RII), una en el centro (RIII) y otra en el sur (RIV) (Figura 2).

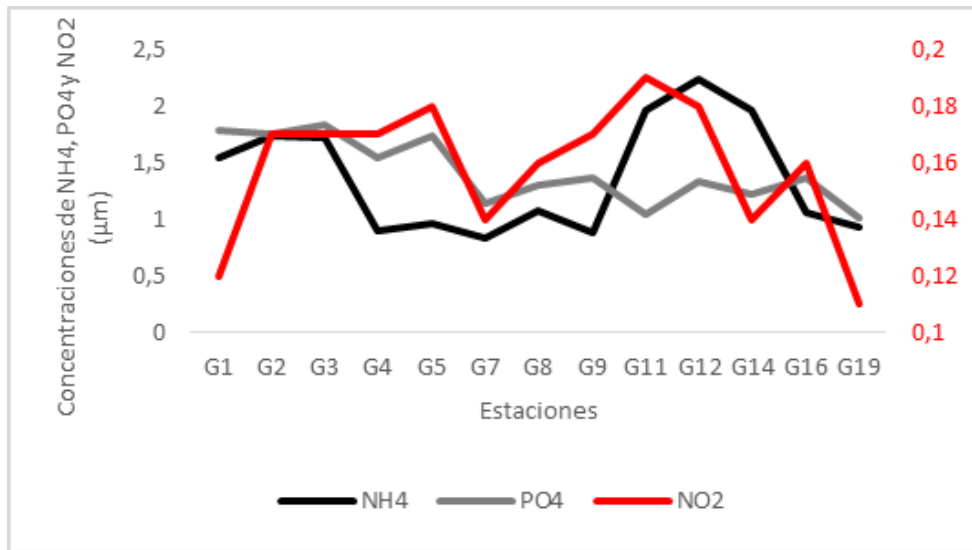


**Figura 2.** Regionalización del estrecho de Gerlache con base en funciones empíricas ortogonales estandarizadas de variables biológicas (riqueza) y químicas, donde RI: Región Noroeste, RII: Región Noreste, RIII: Región Central y RIV: Región Sur.

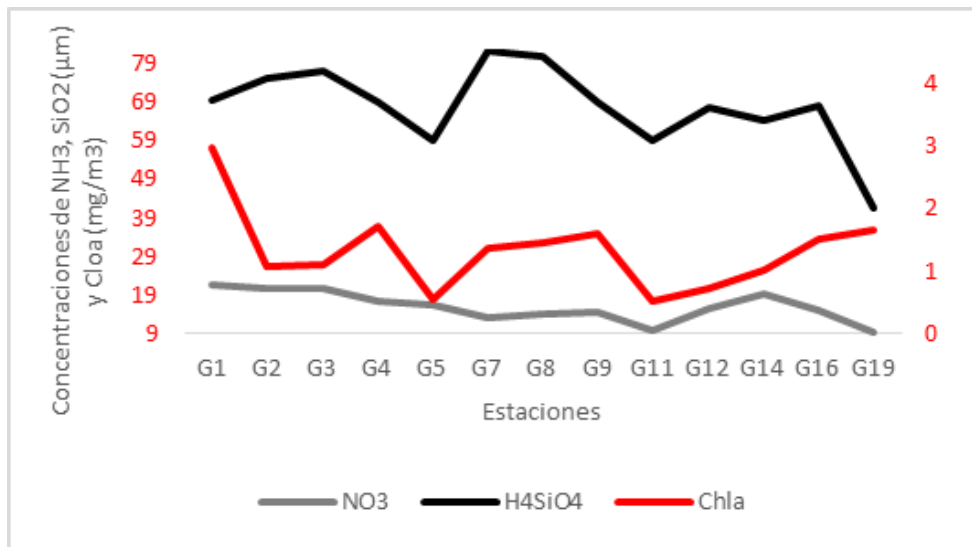
**Nutrientes**

En términos de nutrientes el  $\text{NH}_4^+$  varió entre  $0.83 \mu\text{M}$  y  $2.24 \mu\text{M}$  con promedio de  $1.37 \mu\text{M}$ , observándose las mayores concentraciones en RIII, en las estaciones G12 y G14 ( $2.24 \mu\text{M}$  y  $1.97 \mu\text{M}$ ); la concentración más baja se observó en la RII en la estación G7 ( $0.83 \mu\text{M}$ ). En el caso de los  $\text{NO}_3^-$  se observaron valores entre  $9.48 \mu\text{M}$  y  $21.67 \mu\text{M}$ , con promedios de  $16.03 \mu\text{M}$ ,

encontrándose en las RI y RII las concentraciones más altas en las estaciones G1, G2 y G3, y bajas en la RIV en la estación G19 ( $9.48 \mu\text{M}$ ). Para los  $\text{NO}_2^-$  las concentraciones variaron entre  $0.11 \mu\text{M}$  y  $0.19 \mu\text{M}$ , con promedio de  $0.16 \mu\text{M}$ , los valores máximos se presentaron en la región RII, en las estaciones G11 y G12, y en la RI estación G5, mientras que el valor mínimo se reportó en la RIV en la estación G19 ( $0.11 \mu\text{M}$ ) (Figura 3).



(a) Amonio ( $\text{NH}_4$ ), nitritos ( $\text{NO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3$ ).



(b) Ortofosfato ( $\text{PO}_4$ ), ácido silícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) y clorofila a (Chla).

**Figura 3.** Variabilidad de los macronutrientes en trece estaciones muestreadas en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.

Los  $\text{PO}_4^{3-}$  registraron valores entre 1.02 y 1.84  $\mu\text{M}$ , con promedio de 1.42  $\mu\text{M}$ ; las concentraciones altas se presentaron en las RI y RII, en las estaciones G1 (1.79  $\mu\text{M}$ ), G2 (1.76  $\mu\text{M}$ ) y G3 (1.84  $\mu\text{M}$ ); mientras que la concentración más baja se observó en la RIV, en la estación G19 (1.02  $\mu\text{M}$ ). Concentraciones de  $\text{H}_4\text{SiO}_4^-$  variaron entre 41.61  $\mu\text{M}$  y 81.78  $\mu\text{M}$ , con promedio de 67.64  $\mu\text{M}$ , observándose las mayores concentraciones en la RII, particularmente en las estaciones G7 y G8 (81.78  $\mu\text{M}$  y 80.53  $\mu\text{M}$ ); la concentración más baja se observó en la RIV en la estación G19 (41.61  $\mu\text{M}$ ). Por último, la clorofila-a varió entre 0.51  $\text{mg}/\text{m}^3$  y 2.95  $\text{mg}/\text{m}^3$ , con un promedio de 1.32  $\text{mg}/\text{m}^3$ , con concentraciones máximas en la RI estación G1 (2.95  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) y en la RIV estación G19 (1.65  $\text{mg}/\text{m}^3$ ), mientras que en las estaciones G11 de la RIII y G5 de la RI se registraron las

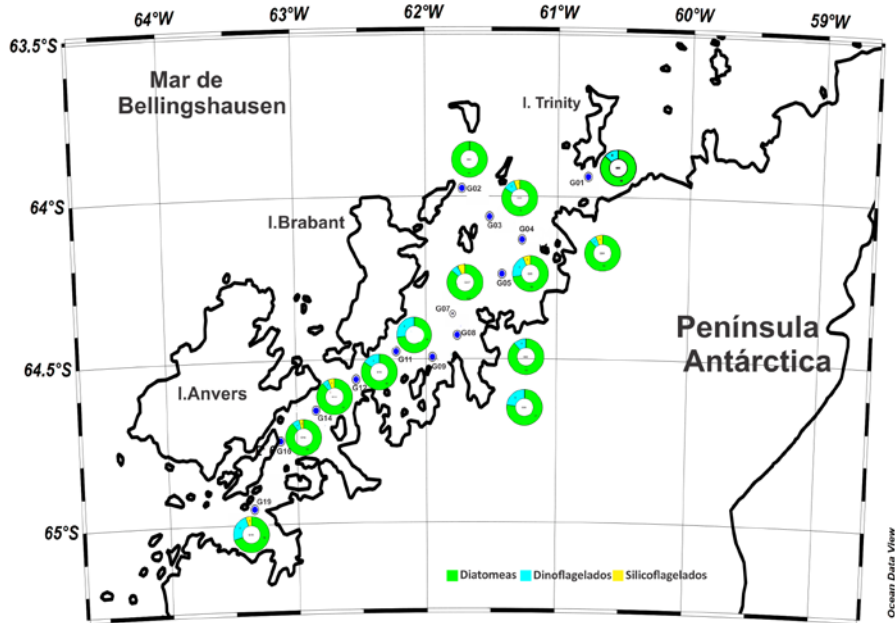
concentraciones más bajas (0.51  $\text{mg}/\text{m}^3$  y 0.56  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) (Figura 3).

### Microfitoplancton

Con respecto al microfitoplancton, en el presente estudio fueron identificados 40 taxones representados por 28 diatomeas, 11 dinoflagelados y un silicoflagelado (Tabla 2). La mayor riqueza de especies se encontró en la RIII, en las estaciones G9 y G11 con 22 organismos cada una, los cuales representaron el 55 % del total de los datos, mientras que las estaciones G2 (11 taxones) y G5 (14 taxones), distribuidas de la RI y RII, registraron el menor número de taxones para el área representando el 27.5 % y 35.5%, respectivamente (Figura 4).

**Tabla 2.** Taxones de microalgas identificadas en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.

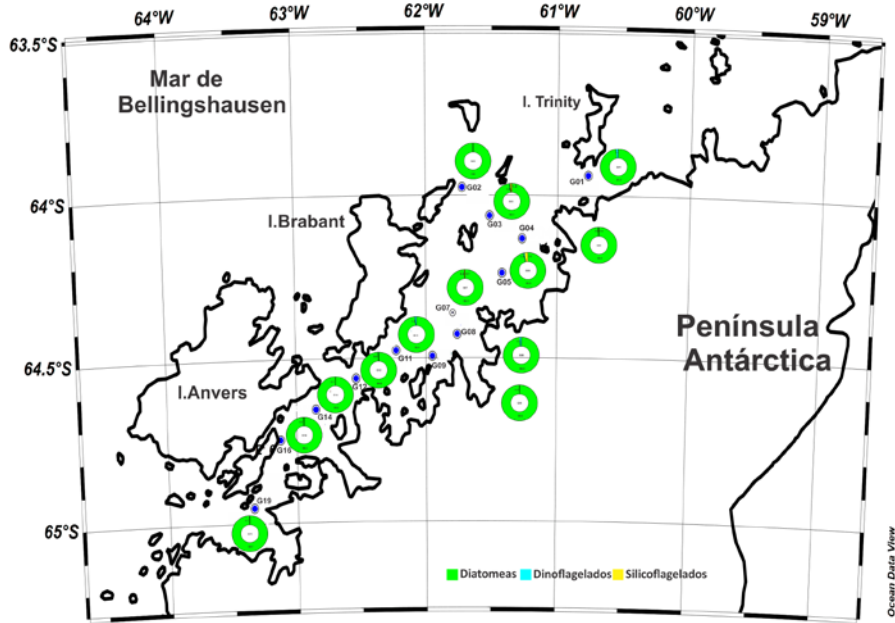
| Diatomeas  |  | Dinoflagelados  | Silicoflagelados           |
|--|--|---|----------------------------|
| <i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg   | <i>Fragilariopsis obliquecostata</i> (van Heurck) Heiden | <i>Dinophysis cornuta</i> (N.Peters) Balech                     | <i>Dictyocha</i> Ehrenberg |
| <i>Actinocyclus</i> Ehrenberg  | <i>Grammatophora oceanica</i> Ehrenberg                  | <i>Podolampas spinifera</i> Okamura                             |                            |
| <i>Cocconeis dirupta</i> W.Gregory   | <i>Licmophora abbreviata</i> C.Agardh                    | <i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H.Abé ex J.D.Dodge    |                            |
| <i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg  | <i>Navicula adriatica</i> Grunow                         | <i>Prorocentrum gracile</i> F.Schütt                            |                            |
| <i>Corethron criophilum castracane</i>   | <i>Navicula</i> J.B.M. Bory de Saint-Vincent             | <i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) J.Schiller              |                            |
| <i>Coscinodiscus bouvet</i> Karsten  | <i>Odontella obtusa</i> Kützing                          | <i>Protoperidinium antarcticum</i> (Schimper ex Karsten) Balech |                            |
| <i>Coscinodiscus centralis</i> Ehrenberg   | <i>Odontella sinensis</i> (Greville) Grunow              | <i>Protoperidinium claudicans</i> (Paulsen) Balech              |                            |
| <i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg  | <i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve                 | <i>Protoperidinium pyriforme</i> (Paulsen) Balech               |                            |
| <i>Ehrenbergiulva granulosa</i> (Grunow) Witkowski, Lange-Bertalot Metzeltin en Witkowski Bertalot | <i>Chaetoceros</i> Ehrenberg                             | <i>Protoperidinium pyrum</i> (Balech) Balech                    |                            |
| <i>Fragilariopsis doliolus</i> (Wallich) Medlin P.A.Sims   | <i>Pinnularia</i> Ehrenberg                              | <i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech             |                            |
|  |  | <i>Ornithocercus quadratus</i> Schütt                           |                            |



**Figura 4.** Porcentajes de abundancia de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados registrada en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.

En términos de abundancia se obtuvieron 29 9'69 cel/m<sup>3</sup>, observando que las diatomeas fueron el grupo dominante para todas las estaciones y con el mayor aporte de taxa a la comunidad, debido a que 29 7'27 cel/m<sup>3</sup>, es decir

el 99.19 %, correspondió a este grupo. Por su parte, los dinoflagelados alcanzaron 152 cel/m<sup>3</sup>, representando el 0.51 %, y silicoflagelados con 90 cel/m<sup>3</sup>, el 0.30 % (Figura 5).



**Figura 5.** Porcentajes de abundancia de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados registrada en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.

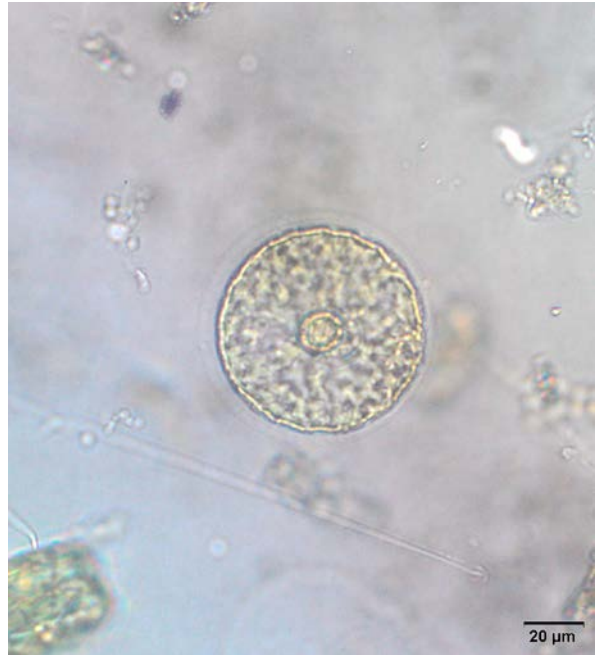


En la RIII, en las estaciones G14 y G9 se observó la mayor cantidad de organismos fitoplanctónicos, con 5 7'13 cel/m<sup>3</sup> y 5 6'44 cel/m<sup>3</sup>, que representaron el 19.06 % y 18.83 %. Por

otro lado, las estaciones G2 y G8, ubicadas en las RI y RII, fueron las que presentaron menor abundancia de organismos con 868 (2.90 %) y 539 (1.80 %) cel/m<sup>3</sup> (Figura 6).



(a) *Corethron criophilum*.



(b) *Porosira glacialis*.



(c) *Licmophora abbreviata*.



(d) *Cocconeis dirupta*.

**Figura 6.** Especies microfitoplanctónicas más representativas del estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.

### Diatomeas

La riqueza de las diatomeas fue mayor en la RIII, en las estaciones G9, G11 y G12, con valores que oscilaron entre 16 y 17 taxones (Figura 4). Cabe resaltar que la estación G2 solo registró la presencia de diatomeas con una representación porcentual del 2.90 % (figuras 4 y 5). Los organismos más representativos para este grupo fueron *C. criophilum* con 38.2 % y *P. glacialis* con 35.2 % (Figura 6). La mayor abundancia también se registró en la RIII, en la estación G9 y G14, y las menores en el norte (RI y RII), en las estaciones G2 y G8. Otras especies como *A. octonariu*, *L. abbreviata*, *E. granulosa*, *R. adriaticum* y *C. dirupta* (Figura 6) también fueron representativas en el grupo de las diatomeas, presentando sus valores más altos en la RIII y RIV; sin embargo, las densidades fueron más bajas en comparación a las mencionadas anteriormente (Tabla 4).

### Dinoflagelados

Los dinoflagelados formaron el segundo grupo más distintivo en el área de estudio, representado por las especies *P. pyrum* (0.16 %) y *P. minimum* (0.10 %). Se encontró que *P. gracile*, *D. cornuta* y *O. quadratus* fueron las especies que registraron menor abundancia en el área, con porcentajes menores al 0.01 %.

La mayor concentración de dinoflagelados se registró en las estaciones G9 y G11, ubicadas en la RIII (Figura 5), siendo estas últimas las de mayor aporte de taxones (Figura 4).

### Silicoflagelados

Dentro de los silicoflagelados, con una representación del 0.30 % de la abundancia total, solo se registró la especie *Dictyocha sp.* (Tabla 3). Fue el grupo con menor representatividad en el área, registrando la mayor abundancia en las RI y RII, en las estaciones G3, G4, G5 y G7, con valores porcentuales entre el 0.04 % y 0.15 %, y menores abundancias en la región centro-sur, con valores menores al 0.01 %, en las estaciones G14, G16 y G19 (figuras 4 y 5).

Producto del análisis de los datos biológicos (riqueza) y químicos se encontró una asociación del 88 % con cuatro componentes significativos (Tabla 4). En este se identificó que la riqueza de diatomeas mostró una asociación directa con el amonio y los nitritos, e inversa a la clorofila-a; en tanto que los dinoflagelados se asociaron de forma inversa con las concentraciones de nitratos y fosfatos. Los silicoflagelados respondieron de forma inversa con el ácido silícico, es decir si los silicoflagelados aumentan el ácido silicio disminuye su disponibilidad en el medio.

**Tabla 3.** Abundancia relativa (%) de las especies registradas en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019.

| Especies (Células/m <sup>3</sup> ) | G1   | G2   | G3   | G4   | G5   | G7   | G8    | G9    | G11  | G12  | G14  | G16  | G19  |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| <i>A. octonarius</i>               | 0.21 | x    | 0.05 | 0.72 | 0.07 | 0.04 | 0.31  | 0.57  | 0.06 | 0.01 | 3.3  | 1.23 | x    |
| <i>Actinocyclus sp.</i>            | 0.04 | 0.02 | 0    |      | 0.02 | 0.07 | x     | x     | x    | x    | 0.68 | x    | x    |
| <i>Chaetoceros sp.</i>             | 0.05 | x    | x    | x    | x    | x    | x     | x     | x    | x    | x    | x    | x    |
| <i>C. dirupta</i>                  | 0.59 | 0.07 | 0.16 | 0.17 | 0.05 | 0.06 | 0.04  | 0.05  | 0.08 | 0.05 | 0.25 | 0.01 | 0.02 |
| <i>C. placentula</i>               | 0.25 | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0    | 0.01 | 0.03  | 0.1   | 0.03 | 0.01 | x    | 0.01 | 0.01 |
| <i>C. criophilum</i>               | 0.76 | 1.51 | 2.28 | 7.01 | 3.44 | 4.59 | 0.64  | 14.49 | 1.73 | 0.21 | 0.05 | 0.02 | 1.47 |
| <i>C. bouvet</i>                   | x    | x    | x    | x    | x    | x    | x     | x     | 0.06 | 0.06 | 0.41 | 0.18 | 0.03 |
| <i>C. centralis</i>                | x    | x    | x    | x    | x    | x    | 0.02  | x     | x    | x    | x    | x    | x    |
| <i>C. radiatus</i>                 | 0.35 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | x    | 0.17 | 0.06  | 0.16  | 0.02 | 0.02 | x    | 0.02 | 0.02 |
| <i>E. granulosa</i>                | x    | x    | 0.23 | 0.05 | 0.12 | 0.1  | 0.14  | 0.3   | 0.4  | 1.26 | 0.51 | 0.19 | 0.13 |
| <i>F. obliquecostata</i>           | x    | x    | x    | x    | x    | x    | 0.002 | 0.01  | 0.05 | x    | x    | x    | x    |
| <i>F. doliolus</i>                 | x    | x    | 0.03 | x    | x    | x    | x     | x     | x    | x    | x    | x    | x    |
| <i>G. oceanica</i>                 | 0.08 | x    | 0.02 | x    | x    | x    | x     | x     | x    | x    | x    | x    | x    |

| <b>Especies<br/>(Células/m<sup>3</sup>)</b> | <b>G1</b> | <b>G2</b> | <b>G3</b> | <b>G4</b> | <b>G5</b> | <b>G7</b> | <b>G8</b> | <b>G9</b> | <b>G11</b> | <b>G12</b> | <b>G14</b> | <b>G16</b> | <b>G19</b> |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>L. abbreviata</i>                        | 0.72      | 0.33      | 0.18      | 0.79      | 0.33      | 0.22      | 0.21      | 0.98      | 0.48       | 0.11       | 1.11       | 0.34       | 0.07       |
| <i>N. adriatica</i>                         | 0.02      | 0.01      | 0.01      | 0.04      | x         | 0.05      | x         | x         | x          | x          | x          | x          | x          |
| <i>Navicula sp.</i>                         | x         | x         | x         | 0.03      | x         | x         | 0.06      | 0.06      | 0.08       | 0.03       | 0.12       | 0.04       | x          |
| <i>O. obtusa</i>                            | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01      | 0.06      | 0.14       | 0.01       | 0.05       | 0.01       | x          |
| <i>O. sinensis</i>                          | x         | x         | 0.1       | 0.01      | 0.03      | 0.04      | x         | x         | 0.17       | 0.02       | 0.2        | x          | x          |
| <i>P. sulcata</i>                           | x         | 0.1       | 0.08      | 0.08      | x         | x         | x         | x         | x          | x          | x          | x          | 0.09       |
| <i>Pinnularia sp.</i>                       | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x          | 0.05       | 0.02       | 0          | x          |
| <i>P. decorum</i>                           | 0.06      | 0.01      | 0.01      | 0.04      | x         | 0.12      | x         | 0.08      | x          | 0.02       | 0.17       | 0.05       | 0.01       |
| <i>P. delicatulum</i>                       | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01      | 0.05      | x          | x          | x          | x          | x          |
| <i>P. strigosum</i>                         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01      | x         | 0.05       | 0.01       | 0.11       | x          | x          |
| <i>P. glacialis</i>                         | 0.84      | 0.45      | 0.5       | 1.81      | 0.79      | 0.52      | 0.14      | 1.8       | 2.27       | 8.42       | 11.72      | 4.36       | 1.62       |
| <i>Pseudonitzschia sp.</i>                  | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01      | 0.03       | x          | x          | x          | x          |
| <i>P. calcar-avis</i>                       | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01      | x          | x          | x          | x          | x          |
| <i>R. adriaticum</i>                        | 0.71      | 0.32      | 0.04      | 0.14      | 0.03      | 0.01      | 0.08      | 0.02      | 0.28       | 0.08       | 0.36       | x          | 0.16       |
| <i>T. nitzschioides</i>                     | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.03      | x         | x          | x          | x          | x          | x          |
| <i>D. cornuta</i>                           | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x          | 0.01       | x          | x          | x          |
| <i>P. spinifera</i>                         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01       | 0.01       | x          | x          | x          |
| <i>P. compressum</i>                        | x         | x         | 0.01      | 0.03      | 0.02      | 0.01      | x         | x         | x          | x          | x          | x          | 0.003      |
| <i>P. gracile</i>                           | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01       | x          | x          | x          | 0.002      |
| <i>P. minimum</i>                           | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.02      | 0.01      | 0.02       | 0.03       | x          | 0.03       | x          |
| <i>P. antarcticum</i>                       | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01      | 0.02       | x          | x          | x          | x          |
| <i>P. claudicans</i>                        | 0.05      | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x          | x          | x          | x          | x          |
| <i>P. pyriforme</i>                         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | 0.01      | 0.02      | 0.01       | x          | x          | x          | x          |
| <i>P. pyrum</i>                             | 0.06      | x         | 0.01      | x         | 0.02      | x         | x         | 0.02      | 0.03       | x          | 0.01       | x          | x          |
| <i>P. divergens</i>                         | x         | x         | x         | x         | 0.02      | x         | x         | x         | x          | x          | x          | x          | x          |
| <i>O. quadratus</i>                         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x         | x          | x          | x          | x          | 0.003      |
| <i>Dictyocha sp.</i>                        | x         | x         | 0.05      | 0.04      | 0.15      | 0.04      | x         | x         | x          | x          | 0.01       | 0.002      | 0.002      |

**Tabla 4.** Análisis de variables biológicas y químicas en el estrecho de Gerlache durante el verano austral 2018-2019. Amonio (NH<sub>4</sub>), nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ortofosfato (PO<sub>3</sub><sup>-4</sup>), ácido silícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>) y clorofila a (C<sub>loa</sub>).

|  | <b>CP1</b> | <b>CP2</b> | <b>CP3</b> | <b>CP4</b> |
|--|------------|------------|------------|------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                 | -0.724     | -0.284     | 0.375      | -0.376     |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>                 | -0.676     | -0.204     | -0.085     | 0.612      |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                 | -0.227     | -0.914     | -0.132     | -0.126     |
| PO <sub>3</sub> <sup>-4</sup>                | -0.135     | -0.917     | -0.102     | 0.293      |
| H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | 0.563      | -0.401     | 0.579      | 0.300      |
| C <sub>loa</sub>                             | 0.889      | 0.206      | 0.145      | 0.234      |
| Diatomeas                                    | -0.566     | 0.423      | 0.441      | -0.187     |
| Dinoflagelados                               | -0.464     | 0.603      | -0.426     | 0.404      |
| Silicoflagelados                             | 0.380      | -0.245     | -0.7       | -0.364     |
| Eigenvalor                                   | 2.837      | 2.606      | 1.397      | 1.093      |
| Proporción                                   | 0.315      | 0.290      | 0.155      | 0.121      |
| Acumulado                                    | 0.315      | 0.605      | 0.76       | 0.882      |

## DISCUSIÓN

Durante el verano austral 2018-2019 se encontró que las diatomeas en el EG fueron el grupo dominante con respecto a los demás grupos identificados. La presencia de mayores concentraciones en la región central coincide con los resultados obtenidos por Mendes *et al.* (2012), quienes registraron una dominancia de las diatomeas, especialmente para zonas costeras; sin embargo, en zonas abiertas del océano como el mar de Weddell, la dominancia de las diatomeas es reemplazada por nanoflagelados (Schofield *et al.*, 2017). Holm-Hansen y Mitchell (1991) afirmaron que las diatomeas están mejor desarrolladas entre diciembre y enero, periodo en el que se desarrollarían los blooms de verano.

De igual forma, Olgún y Alder (2011) reportaron altas abundancias de diatomeas para las estaciones cercanas a bahías, como ocurrió en la estación G9 (RIII), aspecto relacionado con la dinámica de las masas de agua en zonas poco profundas en el EG, así como con los mayores tiempos de residencia de las masas de agua, característica documentada por Zhou *et al.*, (2002), quienes indican que se pueden alcanzar más de 40 días de tiempos de residencia, haciendo que diferentes procesos de ciclaje biogeoquímico favorezcan el crecimiento del fitoplancton.

Las especies *C. criophilum* y *P. glacialis* se caracterizaron por su alta frecuencia y abundancia en las estaciones analizadas, registrando sus mayores concentraciones en las estaciones G9 y G14 (RIII) (Figura 5). El dominio de estas especies se debe a su relación con aguas relativamente frías, y con elevadas salinidades y concentraciones de oxígeno (Sánchez, Villanueva y Delgado, 2016; Hasle y Syvertsen, 1996); además, se caracterizan por ser de amplia distribución geográfica (Ferreyra, Sar y Ferrario, 1993). Cabe resaltar que especies como *C. criophilum* tienen la capacidad de hacer fotosíntesis con niveles de luz muy bajos, permitiéndoles proliferar cuando las condiciones ambientales son favorables (Rines y Theriote, 2003).

Los dinoflagelados, al igual que las diatomeas, presentaron altas abundancias en la RIII, área donde se registraron bajas concentraciones de nitratos y fosfatos, así como altas concentraciones de amonio (Figura 5). El análisis de componentes

principales (Tabla 3) mostró una relación indirecta de estos grupos de organismos con las variables de nitrato y fosfato; que puede ser atribuida a la generación previa de florecimientos que incrementan el consumo de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ , aumentando las concentraciones de  $\text{NH}_4$  debido al proceso de degradación de los organismos. Según Burkholder y Sieburth (1961), variables químicas como el nitrato y fosfato aportan al desarrollo de *blooms*, particularmente en áreas costeras; adicionalmente, especies de diatomeas tienden a ser superiores competitivamente sobre especies de otros grupos cuando estos elementos son limitantes (Margalef, 1983).

Los altos valores de ácido silícico en la región norte coincidieron con los bajos valores de abundancia de silicoflagelados y diatomeas. Pese a que los silicoflagelados fueron más frecuentes, sus abundancias fueron más bajas respecto a las otras regiones. Del mismo modo, las diatomeas observadas en las regiones RI y RII presentaron tamaños inferiores a las observadas en las otras regiones (RIII y RIV) (inspección visual). Bajas tasas de incorporación de sílice en las estructuras extracelulares pueden explicar las altas concentraciones de dicho nutriente. Estos organismos toman el ácido silícico disuelto en el agua y lo precipitan en forma de sílice para formar sus frústulas, que son estructuras que las mantienen protegidas del exterior (Pérez y Mancilla, 2012; Colín-García *et al.*, 2013), por lo tanto, al presentarse tallas pequeñas y bajas abundancias de organismos, la disponibilidad del ácido silícico será menor, generando altas concentraciones en un área (Colín-García *et al.*, 2013).

## CONCLUSIONES

El estrecho de Gerlache mostró una alta dominancia en riqueza y abundancia de las diatomeas sobre los demás grupos descritos, destacándose especies como *C. criophilum* y *P. glacialis*. Las mayores abundancias del fitoplancton se presentaron en estaciones localizadas en la RIII, área de confluencia de masas de agua del mar de Bellinghausen y Wedell, las cuales pueden contribuir para que su densidad celular aumente.

Con base en los datos presentados y teniendo en cuenta otros estudios como los de Mendes *et al.*, (2018), Olgún y Alder (2011), Sánchez

y Villanueva (2001) y Shields y Smith (2009) sobre la composición del fitoplancton en el EG, se encontraron diferencias en la estructura de la comunidad, con dominancia de las diatomeas sobre los demás grupos identificados. Dichos cambios pueden obedecer a la variabilidad interanual y a las técnicas analíticas empleadas, ya que la metodología aplicada en este estudio para el conteo del fitoplancton solo permite identificar organismos con tamaños iguales o mayores a 20 µm, por lo tanto es necesario implementar otras metodologías que permitan identificar organismos más pequeños como el nanofitoplancton.

## REFERENCIAS

- APHA-AWWA-WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of water and Waste Water, 22th Edition, Washington D. C.
- Arrigo, K.; Worthen, D.; Lizotte, M.; Dixon, P.; Dieckmann, G. (1997). Primary production in Antarctic sea ice. *Science*, 276(5311):394-937. <https://doi.org/10.1126/science.276.5311.394>.
- Arrigo, K.; DiTullio, G.; Dunbar, R.; Robinson, D.; VanWoert, M.; Worthen, D.; Lizotte, M. (2000). Phytoplankton taxonomic variability in nutrient utilization and primary production in the Ross Sea. *Journal of Geophysical Research*, 105(C4), 8827-8846. <https://doi.org/10.1029/1998JC000289>
- Bendschneider, K.; Robinson, R. (1952). A new spectrometric method for the determination of nitrite in the seawater. *Journal of Marine Research*, 11(1-8), 87-96.
- Bicudo, C. y Bicudo, R. (1970). *Algas de águas continentais brasileiras*. Sao Paulo, Brasil: Funbec.
- Burkholder, P.; Sieburth, J. (1961). Phytoplankton and chlorophyll in the Gerlache and Bransfield Straits of Antarctica 1. *Limnology and Oceanography*, 6(1), 45-52. <https://doi.org/10.4319/lo.1961.6.1.0045>
- Colín-García, M.; Heredia, A.; Dos Santos-Rodríguez, C.; Figueira, E.; Almeida, S.; Basiuk, V.; Rodríguez-Galván, A.; Vrieling, E. (2013). Sílice de las algas diatomeas (clase Bacillariophyceae) como material complejo y su importancia nanotecnológica. *La Granja*, 17(1), 5-15. <https://doi.org/10.17163/lgr.n17.2013.01>.
- Comiso, J.; McClain, C.; Sullivan, C.; Ryan, J.; Leonard, C. 1993. Coastal Zone Color Scanner pigment concentrations in the Southern Ocean and relationships to geophysical Surface features. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 98(C2), 2419-2451. <https://doi.org/10.1029/92JC02505>.
- De la Lanza, E. (2004). *Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores de la calidad del agua*. México D.F, Mexico: Comisión Nacional del Agua.
- Edler, L. (1979). Recommendations on methods for Marine Biological Studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and Chlorophyll. *Baltic Marine Biologists Publication*, 5, 38.
- Edler, L.; Elbrächter, M. (2010). The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. En: Karlson, B., Cusack, C. and Bresnan, E. (eds). (2010). Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. Paris, France: Unesco.
- Ferreira, M.; Kerr, R. (2017). Source water distribution and quantification of North Atlantic deep water and Antarctic bottom water in the Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 153, 66-83. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.04.003>
- Ferreira, E.; Sar, E.; Ferrario, M. (1993). Respuesta de *Corethron criophilum* (Bacillariophyceae) a diferentes condiciones de iluminación. *Darwiniana*, 32(1-4), 293-298. <https://doi.org/10.2307/23222974>
- García, M.; Castro, C.; Ríos, A.; Doval, M.; Rosón, E.; Gomis, D.; 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 Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(4-5), 585-602. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00113-8](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00113-8).
- Guiry, M.; Guiry, E. (2019). Algaebase. (National University of Ireland) <http://www.Algaebase.org>
- Hasle, G. R.; Syvertsen, E. E. (1996). Marine diatoms. In: Identifying Marine Phytoplankton. (Tomas, C.R. Eds), pp. 5-385. San Diego: Academic Press.
- Holm-Hansen, O.; Mitchell, B. (1991). Spatial and temporal distribution of phytoplankton and primary production in the western Bransfield Strait region. *Deep Sea Research Part A*.

- Oceanographic Research Papers*, 38(8-9), 961-980. [10.1016/0198-0149\(91\)90092-T](https://doi.org/10.1016/0198-0149(91)90092-T).
- Huntley, M.; Karl, D.; Niiler P.; Holm-Hansen, O. (1991). Research on Antarctic Coastal Ecosystem Rates (RACER): an interdisciplinary field Experiment. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 38(8-9), 911-941. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(91\)90090-3](https://doi.org/10.1016/0198-0149(91)90090-3).
- Kozlowski, W.; Deutschman, D.; Garibotti, I.; Trees, C.; Vernet, M. (2011). An evaluation of the application of CHEMTAX to Antarctic coastal pigment data. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58(4), 350-364. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2011.01.008>.
- Lee, Y.; Yang, E.; Park, J.; Jung, J.; Kim, T.; Lee, S. (2016). Physical-biological coupling in the Amundsen Sea, Antarctica: Influence of physical factors on phytoplankton community structure and biomass. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 117, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2016.10.001>.
- Margalef, R. (1983). *Limnología* Vol. 1009. Barcelona: Omega.
- Mendes, C.; De Souza, M.; Tavano, V.; Costa, M.; Brotas, B.; Eiras, C. (2012). Dynamics of phytoplankton communities during late summer around the tip of the Antarctic Peninsula. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 65, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.03.002>.
- Mendes, C.; Tavano, V.; Dotto, T.; Kerr, R.; De Souza, M.; García, C.; Secchi, E. (2018). New insights on the dominance of cryptophytes in Antarctic coastal waters: A case study in Gerlache Strait. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 19, 1614-170. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.217.02.010>.
- Mills, M.; Kropuenske, L.; Van Dijken, G.; Alderkamp, A.; Berg, G.; Robinson, D.; Welschmeyer, N.; Arrigo, K. (2010). Photophysiology in two Southern Ocean taxa: photosynthesis of *Phaeocystis antarctica* (Prymnesiophyceae) and *Fragilariopsis cylindrus* (Bacillariophyceae) under simulated mixed-layer irradiance. *Journal of Phycology*, 46(6), 1114-1127. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00923.x>.
- Nelson, D.; Smith, W.; Gordon, L.; Huber, B. (1987). Spring distributions of density, nutrients, and phytoplankton biomass in the ice edge zone of the Weddell-Scotia Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 92(C7), 7181-7190. <https://doi.org/10.1029/JC092iC07p07181>.
- Olguín, H.; Alder, V. (2011). Species composition and biogeography of diatoms in Antarctic and sub Antarctic (Argentine shelf) waters (37-76°S). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(1-2), 139-152. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2010.09.031>.
- Pérez, J.; Mancilla, C. (2012). El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Conciencia tecnológica*, 43:42-46.
- Rabenhorst, L. (1889). *Kryptogamen-flora von Deutschland, Oesterreich und der Schweiz*. Vol. 3. Germany: E. Kummer.
- Rines, J.; Therlot, T. (2003). Systematics of Chaetocerotaceae (Bacillariophyceae). I. A phylogenetic analysis of the family. *Phycological Research*, 51, 83-98. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1835.2003.00297.x>.
- Rodríguez, J.; Jiménez-Gómez, F.; Blanco, J.; Figueroa, F. (2002). Physical gradients and spatial variability of the size structure and composition of phytoplankton in the Gerlach Strait (Antarctica). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 49(4-5), 693-706. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00119-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00119-9)
- Sánchez, S.; Villanueva, P. (2001). Composición del Fitoplancton en el Estrecho de Bransfield e Isla Elefante durante el verano austral de 1999. *Revista Peruana de Biología*, 8(1), 23-37. <https://doi.org/10.15381/rpb.v8i1.6480>.
- Sánchez, S.; Villanueva, P.; Delgado, E. (2016). Distribución Espacial del fitoplancton en el Estrecho de Bransfield durante el verano austral 2013. *Boletín Imarpe*, 31(2): 169-182.
- Santamaría-del-Ángel, E.; González-Silvera, A.; Millán-Núñez, R.; Callejas-Jiménez, M.; Cajal-Medrano, R. (2011). Determining Dynamic Biogeographic Regions using Remote Sensing Data. In J. Morales, V. Stuart, T. Platt, y S. Sathyendranath (Eds.), *Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management* (pp. 273-293). EU PRESPO Y IOCCG
- Schloss, I. (1997). Escalas temporo-espaciales de variabilidad del fitoplancton costero Antártico.

- (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Schofield, O., Saba, E., Coleman, K., Carvalho, F., Couto, N., Ducklow, H. y Montes-Hugo, M. (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/10.1016/j.dsr.2017.04.014>.
- Shields, A.; Smith, W. (2009). Size-fractionated photosynthesis/irradiance relationships during *Phaeocystis antarctica*-dominated blooms in the Ross Sea, Antarctica. *Journal of plankton research*, 31(7), 701-712. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbp022>
- Smith, J.; Barrett, J.; Tusnady, G.; Rejto, L.; Cary, S. (2010). Resolving environmental drivers of microbial community structure in Antarctic soils. *Antarctic Science*, 22(6), 673-680. <https://doi.org/10.1017/S0954102010000763>
- Smith, R.; Dierssen, H.; Vemet, M. (1996). Phytoplankton biomass and productivity in the western Antarctic Peninsula region. En: *Schloss, Irene R. Escalas temporales-espaciales de variabilidad del fitoplancton costero Antártico*. (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Strickland, J. D. H.; Parsons, T. R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa, Ontario.
- Tapia, M.; Torres, G. (1998). Distribución del fitoplancton en el Estrecho Bransfield, Bahía Chile y Paso Drake, durante el verano austral 1998 (Antártida). *Acta Antártica Ecuatoriana*, 4(1), 101-114.
- Taylor, F. (1976). Dinoflagellates from the international Indian Ocean Expedition.
- Tenenbaum, D., Villac, M., Viana, S., Matos, M., Hatherly, M., Lima, I. y Menezes, M. (2004). *Phytoplankton Atlas of Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brasil*. Global Ballast Water Management Programme.
- Unrein, F. (2000). Estructura y dinámica del fitoplancton estival de un lago antártico (Península Potter, Shetland del Sur). *Ecología Austral*, 10(169), 169-179.
- Varela, M.; Fernández, E.; Serret, P. (2002). Size-fractionated phytoplankton biomass and primary production in the Gerlache and south Bransfield Straits (Antarctic Peninsula) in Austral summer 1995-1996. *Deep Sea Research Part II: Topical studies in Oceanography*, 49(4-5), 749-768. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00122-9](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00122-9)
- Vaughan, D., Marshall, E., Conlley, W., Parkinson, C., Mulvaney, R., Hodson, D., Kine, J., Pudsey, C. y Turner, J. (2003). Recent rapid regional climate warming on the Antarctic Peninsula. *Climatic Change*, 60(3), 243-274. <https://doi.org/10.1023/A:1026021217991>.
- Vidal, L. (2010). *Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.
- Xu, K.; Fu, F.; Hutchins, D. (2014). Comparative responses of two dominant Antarctic phytoplankton taxa to interactions between ocean acidification, warming, irradiance, and iron availability. *Limnology and Oceanography*, 59(6), 1919-1931. <https://doi.org/10.4319/lo.2014.59.6.1919>.
- Zhou, M.; Niiler, P.; Hu, J. (2002). Surface currents in the Bransfield and Gerlache straits, Antarctica. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(2), 267-280. [https://doi.org/10.1016/S0967-0637\(01\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00062-0).