



**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y  
BIOLÓGICAS  
CARRERA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA MARINA**

**“ESTRUCTURA DEL ENSAMBLE DE FORAMINÍFEROS  
BENTÓNICOS Y SU RELACIÓN CON FACTORES  
AMBIENTALES EN EL ESTRECHO DE BRANSFIELD  
(ANTÁRTIDA)”**

Tesis para optar el título profesional de:  
BIÓLOGA MARINA

Presentado por:

Cristina Simoni Touzett Cabellos (0000-0001-8743-2559)

Asesor externo:

Dennis Steven Romero Chuquival (0000-0002-8222-5574)

Asesor interno:

Ursula Maria Neira Mendoza (0000-0003-4429-3178)

Lima - Perú  
2021

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 25 de mayo 2021.

Los integrantes del jurado de tesis:

Presidente: Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús
Miembro: Dr. Jorge Aquiles Cardich Salazar
Miembro: M.Sc. Bernabé Moreno Leveroni

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

**“ESTRUCTURA DEL ENSAMBLE DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES EN EL ESTRECHO DE BRANSFIELD (ANTÁRTIDA)”**

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Cristina Simoni Touzett Cabellos**

Para optar el Título Profesional de Bióloga Marina

Asesorado por: Dra. Ursula Neira Mendoza (Asesora Interna)  
Blgo. Dennis Romero Chuquival (Asesor externo)

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del estudiante de la carrera de Biología Marina en la sustentación, concluyen de manera unánime (X) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: <b>Cristina Simoni Touzett Cabellos</b>	Nota (en letras): Dieciseis (16)
Aprobado ( ) Aprobado - Muy buena(X)	Aprobado - Sobresaliente ( ) Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



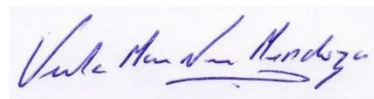
**Dr. Héctor Alonso Aponte Ubillús**  
Presidente



**M.Sc. Bernabé Moreno Leveroni**  
Miembro 2



**Dr. Jorge Aquiles Cardich Salazar**  
Miembro 1



**Dra. Ursula Neira Mendoza**  
Asesora Interna

*A mi familia  
que siempre apoyó  
mis sueños y metas*

## Agradecimientos

Esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional que tuvieron conmigo todos los integrantes del laboratorio de Bentos Marino del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) conformado por Lucho Quipúzcoa, Robert Marquina y Víctor Aramayo; quienes realizaron la colecta de muestras de sedimento utilizados en esta tesis en las impredecibles y desafiantes condiciones de las aguas antárticas. Además, me guiaron y nutrieron en el sentido profesional y personal a través de todo este largo camino, compartiendo conmigo sus experiencias y conocimientos como también su apoyo emocional y amistad. Fueron ellos quienes me iniciaron en el increíble mundo de la ecología bentónica y con su apasionado amor por la meiofauna y macrofauna creando en mí un inagotable interés por estos ambientes, el cual deseo seguir alimentando. Recordar mi aprecio también por Luis Vásquez, jefe del área funcional de océano física AFIOF de IMARPE, por la facilitación de los datos oceanográficos utilizados en esta tesis, contribuyendo así enormemente con la parte ecológica de este trabajo.

Agradezco también a la doctora Úrsula Neira, docente de la Universidad Científica del sur e investigadora del Laboratorio de Geología Marina del IMARPE, quien aceptó ser mi asesora interna y me ha brindado su apoyo y ayuda en todo momento, contribuyendo con importantes conocimientos de gran aporte para la realización de este manuscrito. Además de ayudarme con su gran experiencia mediante consejos y recomendaciones para facilitar la burocracia que implica realizar una tesis. En especial quiero agradecerle a mi asesor externo Dennis Romero quien también pertenece al laboratorio de Bentos Marino de IMARPE y es quien compartió conmigo sus grandes conocimientos y experticia sobre los foraminíferos. Además, ideó junto conmigo esta tesis desde el principio y permaneció como mi mentor en travesía de aprendizaje hasta el final; sin él esta meta jamás hubiera podido cumplirse.

Por último, le agradezco a mis padres, mi abuela, mi hermano y a Juan quienes llenan siempre de amor y comprensión mi alma apoyando siempre mi decisión por dedicarme a la ciencia.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Formulación del problema.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Foraminíferos bentónicos.....	5
2.1.1. Taxonomía y características biológicas.....	5
2.2. Estrecho de Bransfield: contexto oceanográfico y bentónico.....	12
3. OBJETIVOS .....	16
3.1. Objetivo general.....	16
3.2. Objetivos específicos .....	16
4. HIPÓTESIS .....	17
5. METODOLOGÍA.....	18
5.1. Trabajo de campo .....	18
5.1.1. Muestreo de sedimento y factores ambientales .....	18
5.1.2. Submuestreo y preservación de sedimento .....	20
5.2. Procedimientos en laboratorio .....	21
5.2.1. Foraminíferos .....	21
5.2.2. Pigmentos fotosintéticos de origen fitoplanctónico.....	22
5.3. Ordenamiento de datos y análisis estadísticos .....	23
5.3.1. Obtención de parámetros bióticos.....	23
5.3.2. Parámetros de agua de fondo.....	24
5.3.3. Análisis estadístico.....	24
6. RESULTADOS .....	25
6.1. Caracterización ambiental.....	25
6.1.1. Pigmentos fotosintéticos de origen fitoplanctónico.....	25
6.1.2. Parámetros de agua de fondo.....	26
6.2. Caracterización del ensamble de foraminíferos bentónicos.....	31
6.2.1. Composición por especie .....	31
6.2.2. Densidad e índices de diversidad.....	33
6.2.3. Composición por tipo de testa.....	36

6.2.4.	Composición por espectro de tamaño .....	37
6.2.5.	Agrupamiento de especies .....	39
6.2.6.	Similitud entre estaciones.....	41
6.3.	Relación entre parámetros ambientales y bióticos.....	42
7.	DISCUSIONES.....	44
7.1.	Distribución espacial de las variables ambientales .....	44
7.1.1.	Agua de fondo .....	44
7.1.2.	Sedimento .....	45
7.2.	Patrones de distribución espacial .....	46
7.2.1.	Densidad y diversidad en relación a la profundidad .....	46
7.2.2.	Factores influyentes sobre los foraminíferos calcáreos.....	48
7.2.3.	Factores influyentes sobre los foraminíferos aglutinados.....	49
7.2.4.	Influencia de la profundidad sobre la distribución.....	50
8.	CONCLUSIONES.....	52
9.	RECOMENDACIONES .....	53
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

## INDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Vista lateral de un espécimen multilocular vivo de *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny, 1826) bajo el estereoscopio. (Tomado de Tyszka et al., 2019)..... 6

**Figura 2.** Distintos tipos de composición de testas de foraminíferos. a. Foraminífero aglutinado (*Reoplax pilulifer*), b. Foraminífero calcáreo porcelanado (*Pyrgo* sp.), c. Foraminífero calcáreo hialino (*Pullenia* sp.) y d. Foraminífero tectináceo (*Psammophaga* sp. 1)..... 7

**Figura 3.** Diagrama sobre los principales efectos que el cambio climático provoca en el medio marino. Cuadros rojos= Variables físico-químicas; Cuadros verdes, marrón y celestes= Factores afectados por las variables físico-químicas..... 11

**Figura 4.** a. Ubicación del EB en el continente Antártico, b. componentes continentales del EB, c. Principales componentes oceánicos en la superficie del EB y d. Sección vertical de los principales componentes oceánicos en el EB. (tomado/adaptado de Sangrá et al., 2011)..... 15

**Figura 5.** Distribución de las 24 estaciones de muestreo de parámetros de agua con los cuales se crearon 8 perfiles verticales. En color negro está el perfil 1, 2, 3, 4, 5, 6. En color azul están los perfiles perfil 7 y 8. En triángulos rojos se señalan las estaciones EN: Estación Nelson, EP1: Estación Península 1, EP2: Estación Península 2 y ET: Estación trinidad..... 19

**Figura 6.** a) Sacatestigo (nucleador) de tipo HAPS. Procedimiento en cubierta: b) Sub muestreo (*Sub-cores*) de parámetros, c) seccionamiento del testigo de sedimento, d) Fijación y tinción de foraminíferos (Adaptado de Schönfeld et al., 2012) y e) Preservación de sedimento para la determinación de pigmentos fitoplanctónicos..... 21

**Figura 7.** Parámetros sedimentarios de origen fitoplanctónico. a) Clorofila-a; b) razón de la clorofila-a entre los feopigmentos y c) fitopigmentos totales (FPT). ..... 26

**Figura 8.** Distribución de la temperatura en el Estrecho de Bransfield. En letras negras están los perfiles que cruzan de oeste a este (1,2,3,4,5 y 6) y en letras azules los perfiles que cruzan de sur a norte (Perfiles 7 y 8). ..... 28

**Figura 9.** Distribución de la salinidad en el Estrecho de Bransfield. En letras negras están los perfiles que cruzan de oeste a este (1,2,3,4,5 y 6) y en letras azules los perfiles que cruzan de sur a norte (Perfiles 7 y 8). ..... 29

**Figura 10.** Distribución del oxígeno disuelto en el Estrecho de Bransfield. En letras negras están los perfiles que cruzan de oeste a este (1,2,3,4,5 y 6) y en letras azules los perfiles que cruzan de sur a norte (Perfiles 7 y 8). ..... 30

**Figura 11.** Fotografías al estereoscopio de algunas especies encontradas en el Estrecho de Bransfield. a) *Reophax pilulifer*, b) *Globocassidulina* sp., c) *Globocassidulina biora*, d) *Reophax bilocularis*, e) *Pullenia* sp., f) *Adercotryma glomerata*, g) *Lagenammia* sp1., h) *Lagenammia* sp2., i) *Fursenkoina fusiformis*, j) *Fursenkoina davisii*, k) *Cassidulinoides parkerianus*, l) *Cassidulinoides* sp., m) *Buccella frigida* y n) *Nonionella bradii*. ..... 32

**Figura 12.** Especies con representatividad mayor al 5%. ▲: Calcáreo, ■: Aglutinado, ●: Tectinácea; OTROS: especies y/o taxa <5%. ..... 33

**Figura 13.** Densidad de individuos por 10cm<sup>2</sup> (barras) y número de especies (línea) en las cuatro estaciones, en orden creciente de profundidad de izquierda a derecha. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET). ..... 34

**Figura 14.** Curvas de dominancia acumulada por estación. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET). ..... 34

**Figura 15.** Contribución de los grupos testales por estación. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET). ..... 37

**Figura 16.** Representación de los espectros de tamaño. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET). ..... 38

**Figura 17.** Composición de las especies para los dos espectros de tamaño más relevantes (63-150 y 150-500 μm), basado en aquellas especies >5% de frecuencia. ▲: Calcáreo, ■: Aglutinado, ●: Tectinácea. ..... 39

**Figura 18.** Análisis de agrupamiento basado en el índice de Bray-Curtis para las especies más frecuentes (>5%). EN: Estación Nelson, EP1: Estación Península 1, EP2: Estación Península 2 y ET: Estación Trinidad. ..... 40

**Figura 19.** Ensamblajes de especies que componen las estaciones. EN: Estación Nelson, EP1: Estación Península 1, EP2: Estación Península 2 y ET: Estación Trinidad. Otros: especies con representación <5% ..... 41

**Figura 20.** Análisis de coordenadas principales (PCoA), basado en el índice de Bray-Curtis representando la similitud modo Q entre las estaciones utilizando como atributo la abundancia. La burbuja verde contiene a las estaciones más de 20% de similitud y la burbuja azul punteada contiene a las estaciones con más de 40% de similitud. ..... 42



**Figura 21.** Análisis de correspondencia de las asociaciones en las cuatro estaciones de muestreo parámetros abióticos. 127 m: EN, 261 m: EP1, 325 m: EP2 y 358 m: ET. .... 44

**INDICES DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Datos de las estaciones de muestreo. ....	20
<b>Tabla 2.</b> Parámetros bióticos por estación y densidad (ind/10cm <sup>2</sup> ) para cada especie en cada espectro de tamaño. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET). ....	35
<b>Tabla 3.</b> Matriz de correlación de Spearman entre parámetros bióticos (agua de fondo y sedimento) contra parámetros bióticos. ....	43

## RESUMEN

Los foraminíferos bentónicos son el grupo protista de meiofauna mejor estudiado taxonómicamente de la Antártida, aunque su ecología no es bien conocida. Son utilizados como indicadores debido a su estrecha relación con los cambios ambientales, por lo que es importante conocer su ecología en regiones únicas como la Antártida donde el calentamiento global está modificando el funcionamiento del ecosistema. El objetivo de este estudio fue caracterizar el ensamble de foraminíferos bentónicos vivos (teñidos con Rosa de Bengala) del Estrecho de Bransfield (EB) en enero de 2018. Para tal fin, se analizó el sedimento superficial (0-1 cm) en cuatro estaciones distribuidas en un gradiente de profundidad (EN: 127m, EP1: 261m, EP2: 325m y ET: 358m). Se determinó la densidad y la diversidad considerando el grupo testal (calcáreos, aglutinados y tectináceos), el espectro de tamaño (63-150, 150-500 y >500  $\mu\text{m}$ ) y a nivel de especie, en tanto que se evaluó la relación entre estos parámetros bióticos con los parámetros de agua de fondo (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto), así como con los parámetros en el sedimento (clorofila-a (Cl-a), la razón clorofila-a y feopigmentos (Cl-a: Feop) y los fitopigmentos totales (FPT)). El ensamble total estuvo dominado por foraminíferos de testa dura (40% calcáreos, 43% aglutinados) y de tamaño pequeño (63-150 $\mu\text{m}$ : 70%). Tanto la densidad como la diversidad (índice de Shannon-Wiener) mostraron un aumento hacia la estación más profunda. Se encontraron cuatro asociaciones de especies, de las cuales una estaba relativamente mejor distribuida en las cuatro estaciones. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre los parámetros tanto bióticos como abióticos, la variabilidad de la dominancia y la contribución de cada asociación sugieren que la estación más profunda se diferencia del resto de estaciones estudiadas. Este estudio presenta las bases para realizar posteriores investigaciones en las que se incluyan otros elementos como (e.g. la distribución vertical de las especies dentro del sedimento) importantes en la ecología de estos organismos y su potencial uso como (paleo) indicador.

**Palabras clave:** Foraminíferos bentónicos, fauna reciente, plataforma continental, Península Antártica, verano austral.

## ABSTRACT

Benthic foraminifera are the most taxonomically studied protist group of meiofauna in Antarctica, although their ecology is not well known. They are used as indicators due to their close relationship with environmental changes, so it is important to know their ecology in unique regions such as Antarctica where global warming is modifying the functioning of the ecosystem. The objective of this study was to characterize the living benthic foraminiferal assemblage (stained with Rose Bengal) in January 2018. For that, surface sediment (0-1 cm) in the Bransfield Strait (EB) was sampled at four stations distributed along a bathymetric gradient (EN: 127m, EP1: 261m, EP2: 325m and ET: 358m). Density and diversity were determined considering the test composition (calcareous, agglutinated and tectinaceous), the size spectrum (63-150, 150-500 and >500  $\mu\text{m}$ ) and at species level, while the relationship between these parameters with bottom water parameters (temperature, salinity and dissolved oxygen), with parameters in the sediment with (chlorophyll-a (Chl-a), the chlorophyll-a and phaeopigments ratio (Chl-a: Feop) and chloroplastic pigment equivalents (CPE)) as well. The total assemblage was dominated by hard-shelled (40% calcareous, 43% agglutinated) and small-sized (63-150 $\mu\text{m}$ : 70%) foraminifera. Both density and diversity (Shannon-Wiener index) showed an increase towards the deeper station. Four associations were found, of which one was relatively better distributed over the four stations. No significant differences were found between biotic and abiotic parameters, but variability of the dominance and contribution of each association suggest that the deepest station differed from the rest of the stations studied. This study constitutes the basis for developing further researches that includes other elements (e.g. vertical distribution of species within the sediment) which are important in the ecology of these organisms and their potential use as (paleo) proxies.

**Key words:** Benthic foraminifera, recent fauna, continental shelf, Antarctic Peninsula and austral summer.

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

El continente Antártico, en conjunto con el océano Austral, ha mostrado ser una región altamente vulnerable al efecto del cambio climático (Meredith 2019); en particular, la Península Antártica (PA) ha experimentado un calentamiento acelerado durante los últimos 60 años (Turner et al., 2009; Amesbury et al., 2017). Los estudios sobre el impacto del cambio climático sobre las comunidades bentónicas requieren estar enfocados en organismos modelo como los taxa que pertenecen a la meiofauna, ya que tienen mayor plasticidad ante condiciones cambiantes a diferencia de organismos más grandes (Leasi et al. 2021).

Dentro del componente bentónico, los foraminíferos ostentan aspectos que los señalan como un grupo capaz de resistir y adaptarse a los cambios en variables asociadas al cambio climático (Ingels et al., 2012), debido a que se pueden observar cambios en la composición de especies como respuesta a la variación en algún factor ambiental del entorno (e.g. Kitazato et al. 2000). Pueden ser utilizados en estudios sobre las condiciones ambientales del pasado, mediante la aplicación de isótopos estables y/o estratigrafía (e.g. Nánies & Malumián, 2007). La presencia de una testa o conchilla, cuya textura varía en composición desde estructuras duras como carbonato de calcio o partículas minerales cementadas hasta paredes blandas de naturaleza orgánica (Pawlowski et al., 2013); es una ventaja que le permite conservarse en el sedimento luego de morir. Por esto son el grupo más exhaustivamente estudiado en la región antártica con énfasis paleo-ambientales o geológicos (Gooday et al., 2014). Dicho lo anterior, es de importancia saber que el conocimiento de la composición de especies reciente (biocenosis) es un prerrequisito para cualquier reconstrucción paleo-ecológica o ambiental basada en fósiles (tafocenosis), ya que se requiere una previa calibración de las especies (Murray, 2006).

Si bien los foraminíferos bentónicos de testa dura son los que dominan principalmente la fauna en el bentos antártico (Gooday et al., 2014), la biocenosis puede verse sesgada por algunos procesos físicos que alteran el patrón de

distribución espacial de ciertas especies (Uchio, 1960). Además, se ha reportado una importante contribución de los de testa blanda (testa proteica) para la zona de oeste de la PA (Cornelius & Gooday, 2004; Majewski, 2007 y Sinniger et al., 2008). Este último grupo de foraminíferos ha sido por lo general excluido de los estudios ecológicos debido a su complejidad estructural para la identificación taxonómica y su carencia de testa dura para su uso como microfósil, ocasionando que se ignore su contribución en el ecosistema.

En diversos estudios ecológicos de este grupo, se ha empleado el término “comunidad” para referenciar el conjunto de especies encontradas, sin embargo, el término “ensamble” configura un mejor descriptor ya que agrupa el conjunto de especies representativas que ocurren en un espacio y tiempo determinado, restringiéndose al nivel taxonómico (Stroud et al., 2015). La diversidad del ensamble de foraminíferos bentónicos está modulada tanto por las condiciones ambientales del macroambiente (latitud, profundidad, etc) como por las del microambiente (granulometría, concentración de oxígeno disuelto, pH, etc) que lo rodean (Pielou, 1979).

La mayor cantidad de estudios sobre la fauna reciente de foraminíferos bentónicos dentro del Océano Austral se ha concentrado en la PA; sobre todo en zonas someras como las bahías, en la isla rey Jorge del archipiélago Shetland del Sur (Chang & Yoon, 1995; Mayer, 2000; Gazdzicki & Majewski, 2003; Majewski, 2005; Majewski et al., 2007; Rodrigues et al., 2010; Rodrigues et al., 2013 y Rodrigues et al., 2015) e Isla Decepción (Finger & Lipps, 1981; Hromic et al., 2012; Gray et al., 2003). En el Estrecho de Bransfield (EB), aunque más escasos, los estudios desarrollados ofrecen información taxonómica útil (Herb, 1971; Ishman & Domack 1994) y ligada a la fluctuación temporal del alimento (Bordelon, 2009). Es poco lo que se conoce acerca del ensamble de especies de foraminíferos bentónicos del EB y a que factores ambientales responden. Desde el punto de vista oceanográfico, el EB constituye un escenario interesante por ser un sistema semi-cerrado influenciado por masas de agua muy características, lo que lo hace muy distinto a otras zonas de la región (Huneke et al., 2016) y donde ocurre la máxima productividad fitoplanctónica y flujo de materia orgánica (alimento) al bentos durante el verano austral (Bordelon, 2009).

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las características del ensamble de foraminíferos bentónicos del estrecho de Bransfield durante la época de mayor productividad?

## 2. MARCO TEÓRICO

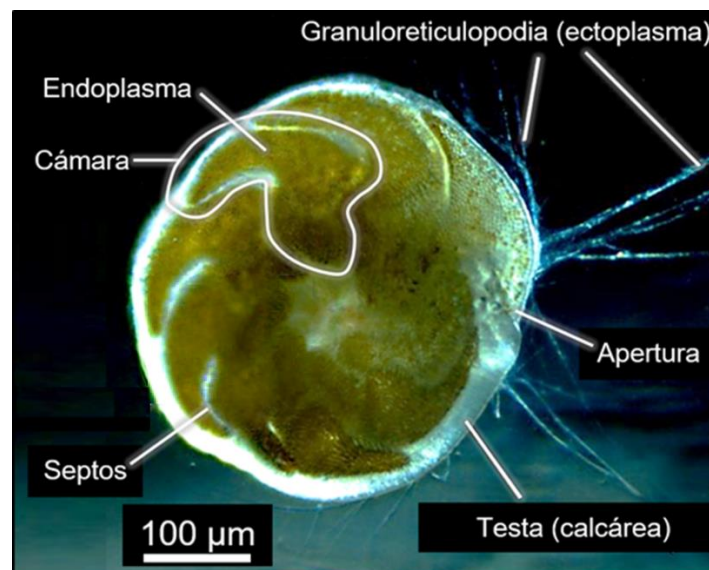
### 2.1. Foraminíferos bentónicos

#### 2.1.1. Taxonomía y características biológicas

Boudagher-Fadel (2018) describió los numerosos cambios a los que ha sido sometida la clasificación taxonómica del taxón Foraminifera a lo largo del tiempo, los cuales continúan en conflicto hasta la actualidad. Este autor considera al grupo Foraminifera como Clase basándose en la clasificación de filogenética molecular utilizada por otros autores (Mikhalevich, 2004; Pawlowski & Burki, 2009; Groussin et al., 2011). Sin embargo, la última actualización de la clasificación de los eucariotas de la Sociedad Internacional de Protistólogos (Adl et al. 2019) considera foraminifera como un Phylum con un aproximado de 950 géneros conocidos. El nivel de organización superior donde los foraminíferos pertenecen al grupo Rhizaria, el cual es un infrareino (Ruggiero et al. (2015) y forma parte del supergrupo SAR junto con los Alveolata y los Stramenopila (Burki et al., 2016) se ha mantenido igual. De acuerdo a su modo de vida, los foraminíferos pueden ser bentónicos o planctónicos, encontrándose en casi todos los ambientes marinos, estuarios e inclusive en ambientes de agua dulce (Mohan et al., 2013).

Las principales características biológicas que presentan los foraminíferos es su carácter de eucariotas unicelulares (Boudagher-Fadel, 2018), cuyo cuerpo ameboide está protegido por una testa o conchilla (Fig. 1). La parte blanda, llamada protoplasma celular, se distingue en dos tipos: el endoplasma, el cual se encuentra dentro de la testa y es donde se realizan todas las funciones metabólicas; y el ectoplasma, el que actúa como prolongaciones citoplasmáticas

que se pueden extender o contraer, denominadas pseudópodos, que conecta con el ambiente; y se encarga de múltiples funciones como la formación de la testa, la locomoción, adherencia a un sustrato, reproducción, evacuación y el intercambio de partículas (alimentación y respiración) (Boltovskoy & Wright, 1976; Bowser & Travis, 2000). Los pseudópodos forman una red ramificada llamada granuloreticulopodia (Fig. 1), siendo la principal característica que distingue a los foraminíferos como grupo (Pawlowski, 2009). Los foraminíferos bentónicos pueden vivir por encima de la interfaz agua-sedimento (epifauna) y en los intersticios dentro del sedimento (infauna) (Hallock, 2011).



**Figura 1.** Vista lateral de un espécimen multilocular vivo de *Amphistegina lessonii* (d'Orbigny, 1826) bajo el estereoscopio. (Tomado de Tyszka et al., 2019).

La testa está conformada por una (unilocular) o varias cámaras (multilocular) y están separadas unas de otras por septos y posee un orificio (foramen) por el cual pasa el endoplasma de una cámara a otra (Fig. 1). Asimismo, posee una apertura en la última cámara que comunica el interior de la testa con el exterior pues es por donde sale la ramificación principal del ectoplasma (Pawlowski, 2009).

Según la composición de la testa, los foraminíferos bentónicos pueden ser clasificados en:



- Aglutinados: la testa está compuesta por partículas del sedimento (Fig. 2a) que adhiere de su entorno a través de la segregación de una membrana orgánica. Existen especies selectivas que adhieren a su testa espículas de esponja, coccolitofóridos, diatomeas y otros (Thomsen & Rasmussen, 2008).
- Calcáreos: poseen una testa compuesta por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ); se dividen en dos sub grupos: los porcelanados, con testas compuestas por cristales de calcita sobrepuestas de forma desordenada a excepción de la capa interna y externa, además no posee poros (Fig. 2b). El otro grupo son los hialinos, cuyas testas presentan barras de calcita con una orientación generalmente radial, además posee poros (Fig. 2c) (Pawlowski, 2009).
- Tectináceos: también llamados foraminíferos desnudos o proteicos, ya que su testa es una membrana orgánica de tectina (Fig. 2d), por lo cual tienen un aspecto transparente y sin potencial de fosilización (Binczewska et al., 2015 ).



**Figura 2.** Distintos tipos de composición de testas de foraminíferos. a. Foraminífero aglutinado (*Reoplax pilulifer*), b. Foraminífero calcáreo porcelanado (*Pyrgo* sp.), c. Foraminífero calcáreo hialino (*Pullenia* sp.) y d. Foraminífero tectináceo (*Psammophaga* spp).

### 2.1.2. Ecología y respuesta a factores ambientales

Se ha observado la presencia de foraminíferos en casi todos los ambientes marinos, incluyendo el Océano Austral (Gooday et al., 2014). Son uno de los taxa más utilizados para analizar cambios físico-químicos en el bentos marino debido a su alta densidad y diversidad en la mayoría de los ecosistemas, además de poseer un alto potencial de preservación debido a la composición de sus testas (e.g. Yanko et al., 1994). Son un grupo altamente sensible a las alteraciones de los factores ambientales en su entorno, esto en parte debido a su baja locomoción, mostrando respuestas poblacionales a los cambios en su ambiente, por lo cual el registro de las testas teñidas (vivas) y también testas fósiles es utilizado como herramienta para descifrar las condiciones recientes y pasadas en el océano (Myers, 1943; Ingels et al., 2012). Se ha comprobado que en áreas polares son muy útiles indicadores de condiciones glaciomarinas y masas de agua (Anderson, 1975).

Dada su alta densidad de los foraminíferos, tanto en la fauna viva como fósil, permite realizar análisis con unos pocos gramos de muestra de sedimento (Altenbah & Sarnthein, 1989). Esto convierte a este taxón en uno de los más importantes grupos de microfósiles (Gooday et al., 2014) habiéndose registrado más de 40 000 especies (Altenbah & Sarnthein, 1989). En particular son ideales para estudiar procesos asociados al calentamiento global, como la acidificación marina y aumento de temperatura ya que la calcificación de sus testas está estrechamente relacionada a estos procesos (Prazeres et al., 2017).

El análisis por espectros de tamaño en los estudios ecológicos de foraminíferos es importante pues al haber diferencias en los requerimientos metabólicos de los distintos estadios de vida la respuesta a los factores ambientales también será distinta (Caromel et al., 2014), generando así información del desarrollo ontogénico de las especies encontradas. La cantidad de alimento disponible puede modular la proporción de especies. Se ha observado que en ambientes con un alto flujo de materia orgánica hay mayores tasas de reproducción con lo que aumenta la proporción de individuos de tamaños pequeños (Phleger y Soutar, 1973), como también se ha postulado que estas condiciones eutróficas

promueven la maduración sexual temprana con lo que también aumenta la proporción de tamaños pequeños (Bernhard, 1986). Por otro lado, la fauna dominante en ambientes con bajos niveles de oxígeno disuelto está compuesta por especies de testa pequeña lo que se atribuye a su relación más alta de superficie de testa y volumen, que le permite maximizar la captación de oxígeno (Bernhard, 1986). Es especialmente importante incluir en los estudios a los foraminíferos de testas pequeñas (63-150  $\mu\text{m}$ ) pues esta fracción es donde se suele encontrar mayor diversidad y riqueza en comparación con fracciones (Lo Giudice & Austin, 2019).

El alimento, entendido como la materia orgánica disponible, es uno de los principales factores para el crecimiento e influye en la composición de especies de foraminíferos bentónicos, tanto en ambientes someros como profundos (Gooday, 1988). Así como otros rizópodos de vida libre, los foraminíferos poseen una alimentación holozoica, lo que se define como la necesidad de partículas de alimento para vivir. El alimento de un foraminífero puede consistir en bacterias, fitodetritus (e.g., diatomeas y algas filamentosas) e inclusive metazoarios como pequeños invertebrados, y también son capaces de realizar parasitismo (Dupuy et al. 2010). La materia orgánica particulada puede depositarse en el fondo (sedimentación), como también ser resuspendida y transportada horizontalmente por corrientes (advección), lo cual influye en la composición de especies de foraminíferos bentónicos (Altenbach & Sarnthein, 1989). El alimento se relaciona también con altas tasas de reproducción (Phleger y Soutar, 1973), como también con la baja diversidad porque puede generar dominancia de alguna especie oportunista que sea beneficiada (Jorissen et al., 1995).

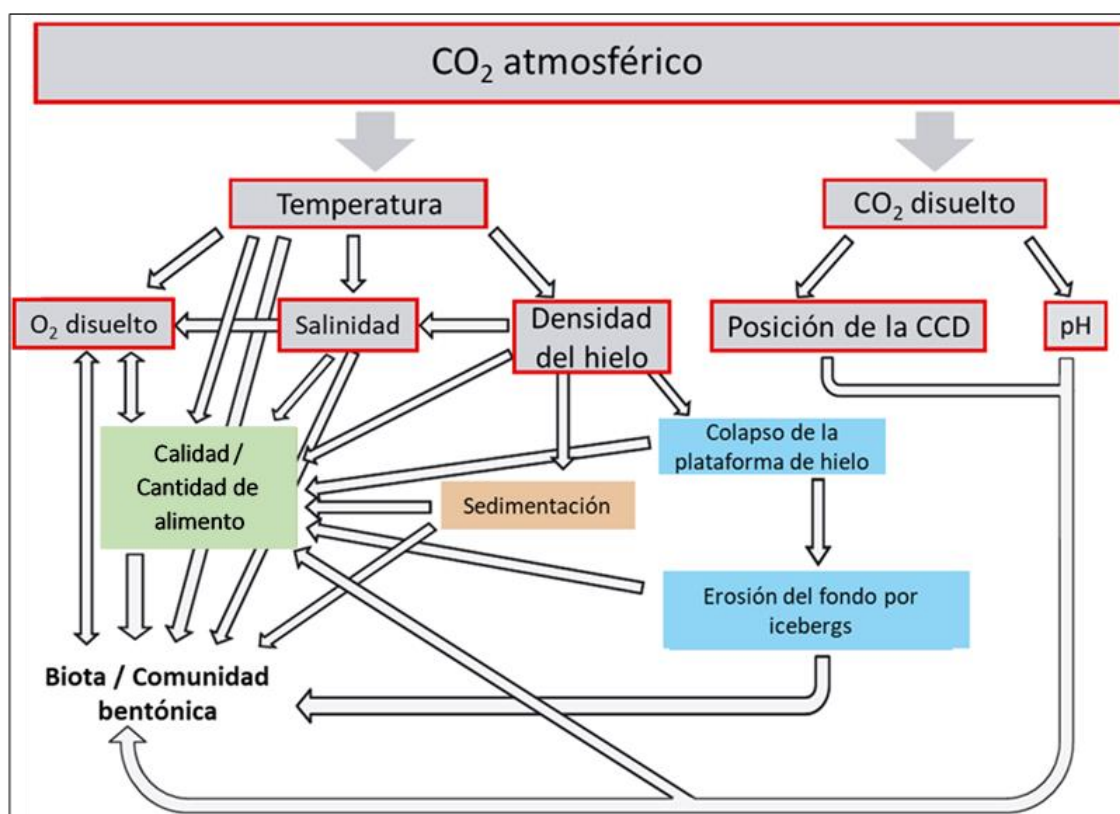
### **2.1.3. Cambio climático en la Península Antártica y foraminíferos**

La PA ha mostrado ser la zona del hemisferio sur que ha incrementado su temperatura con mayor rapidez (Vaughan et al., 2003), con una tasa de calentamiento atmosférico de  $2.6 \pm 1.2$  °C por siglo desde hace 60 años, valor inusualmente alto a escala geológica del tiempo y atribuido al aumento en la emisión de gases de efecto invernadero (Mulvaney et al., 2012). Ello ha

generado una compleja cadena de cambios en los factores ambientales en el océano, lo cuales modulan las comunidades bentónicas (Constable et al. 2014). Un ejemplo de ello es la pérdida de la función protectora de las plataformas de hielo, haciendo que la superficie del océano absorba mucha más energía solar y a su vez un mayor drenaje de la masa glaciaria hacia el mar como agua o icebergs, afectando consigo la salinidad y el oxígeno disuelto (Cook, Fox, Vaughan & Ferrigno, 2005; Meredith & King, 2005; Ingels et al., 2012). Las quillas de los icebergs también pueden modificar de forma mecánica (*ice scour*), excepcionalmente hasta profundidades de 500 m (Dowdeswell & Bamber, 2007) en zonas expuestas de la PA, modificando consigo la estructura de las comunidades bentónicas (Murray, 1991). De igual manera, la infauna bentónica se ve afectada negativamente debido al cambio en el sustrato por el incremento en el descenso de rocas provenientes del desprendimiento de icebergs y glaciares (*dropstones*) (Ingels et al., 2012).

El principal factor que modula la distribución batimétrica de organismos bentónicos calcificantes es la profundidad de disolución de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ), CCD por sus siglas en inglés (*carbonate compensation depth*), la cual es la profundidad a la cual la tasa de suministro de carbonatos iguala la tasa de disolución de los mismos, es así que, por debajo de la CCD, la fauna dominante es el grupo aglutinado (Berger, 2016). La tasa de disolución de carbonatos depende de la presión, la temperatura y la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disuelto (Mulvaney et al., 2012). Las regiones polares se caracterizan por tener un CCD más somero; entre los 400 y los 500 m debido a las bajas temperaturas y la alta concentración de  $\text{CO}_2$  atmosférico (e.g. Mar de Weddell) (Binczewska et al., 2015). Es por ello que el aumento  $\text{CO}_2$  disuelto en la columna de agua, como consecuencia del aumento de  $\text{CO}_2$  atmosférico, produce la somerización de condiciones adversas para la formación de los carbonatos (Ingels et al., 2012). El impacto en la variación de la CCD como de otros estresores sobre las comunidades bentónicas en escenarios bajo cambio climático requiere mayor atención, sobre todo en biomineralizadores bentónicos como los foraminíferos (Ingels et al., 2012), ya que como indicadores permite estudiar la influencia de estos estresores sobre la distribución comunitaria (Anderson, 1975).

Otro factor altamente influyente sobre los foraminíferos bentónicos es la cantidad y calidad del alimento, el cual está variando a causa del aumento en la productividad primaria que ocurre por la incidencia de luz tras el colapso de las plataformas de hielo, alterando el flujo estacional y espacial de materia orgánica hacia el fondo marino (Ingels et al., 2012). El aumento en el flujo de alimento hacia el bentos es aprovechado por foraminíferos oportunistas de testa calcárea, modificándose así la composición de especies (Ingels et al., 2020). Factores ambientales como la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto por sí mismos alteran la calidad (composición) del alimento variando composición especies de foraminíferos bentónicos con alimentación selectiva (Suhr et al., 2003), lo cual desencadena variaciones tróficas en los depredadores especializados en especies particulares (Ingels et al., 2020).



**Figura 3.** Diagrama sobre los principales efectos que el cambio climático provoca en el medio marino. Cuadros rojos= Variables físico-químicas; Cuadros verdes, marrón y celestes= Factores afectados por las variables físico-químicas. (Tomado/adaptado de Ingels et al., 2012)

## 2.2. Estrecho de Bransfield: contexto oceanográfico y bentónico

El estrecho de Bransfield (EB) se encuentra en el océano Austral, cerca de la parte más meridional de América del Sur (Fig. 4a). Se ubica entre las islas Shetland del Sur (iSS) y la punta de la Península Antártica (PA), extendiéndose desde la isla Low (63°S, 62°O) hasta la isla Clarence (61°S, 54°O) (Gordon & Nowlin, 1978) (Fig. 4b).

A nivel oceanográfico, el EB es considerado una zona típica de transición por la mezcla gradual de masas de agua (Tokarczyk, 1987). Una de estas masas de agua proviene del Mar de Bellingshausen (Zona de transición con influencia del Mar de Bellingshausen (ATB)), ingresa por el Suroeste del EB con dirección noreste (Fig. 4c) y se caracteriza por ser relativamente cálida, con temperaturas superiores a 0°C y salinidades relativamente bajas menores a 34.1 ups (Sangrá et al., 2011; Huneke et al., 2016). Esta masa de agua queda adyacente a lo largo del oriente de las iSS y verticalmente se extiende hasta aproximadamente 200 m de profundidad, donde es reemplazada por una lengua muy angosta (menos de 10 km de ancho) de aguas profundas circumpolar hasta los 450 m, provenientes del Pacífico, con un contenido alto de nutrientes, salinidades relativamente altas (>34.5 ups) (Huneke et al., 2016) y temperaturas mayores a 0°C, se extiende a lo largo del talud de las iSS (Sangrá et al., 2011) (Sangrá et al., 2011).

La otra masa de agua está influenciada por el Mar de Weddell (Zona de transición con influencia del Mar del Weddell (ATW)), la cual entra por el Noreste de la isla Joinville fluyendo en dirección suroeste (Fig. 4c) y abarca gran parte del EB verticalmente (Zhou et al., 2006; Huneke et al., 2016). Se caracteriza por ser más fría (< -1°C) pues proviene de una zona donde la capa de hielo es mayor en extensión y duración; su salinidad es relativamente menor (entre 34.3 a 34.5 ups) (Huneke et al., 2016). La intrusión de aguas frías del Mar del Weddell desde el oeste de la PA diferencian al mar del EB del resto del mar adyacente a la PA (Huneke et al., 2016). Durante la expedición ANTAR XXII (2014), Espino et al. (2016) encontraron en el EB un patrón directamente proporcional entre la profundidad y la salinidad e inverso con la temperatura entre los 50 y 500 metros



de profundidad, a 30 mn de la costa de la PA, con una estratificación mayor en el fondo.

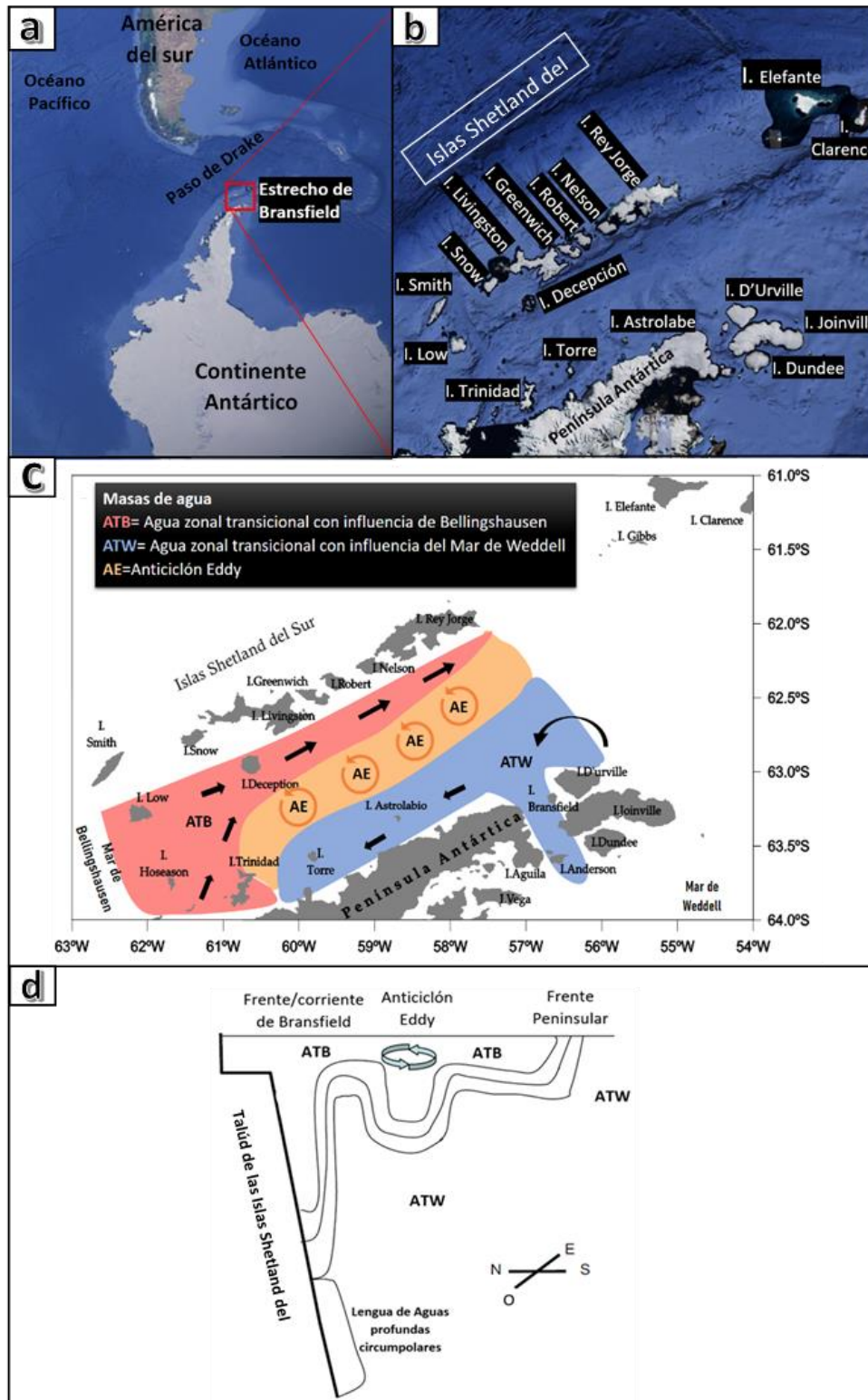
Como consecuencia de la convergencia entre ATW y ATB se crea un frente superficial llamado Frente Peninsular (FP), mientras que por el lado oeste del EB está el frente/corriente de Bransfield (Fig. 4d), que se extiende por el talud continental de las iSS desde los 50 hasta los 400 m de profundidad y es la que transporta el ATB a lo largo del EB (Sangrá et al., 2011). Estos dos frentes crean a su vez un anticiclón (Anticiclón Eddy) en la mitad del EB (Fig. 4c&d), el cual posee características de las masas de agua del Mar de Bellingshausen (ATB) y una extensión de hasta 150 m de profundidad y aproximadamente 10 km de ancho (Sangrá et al., 2011).

El alcance batimétrico de la plataforma continental en esta zona oscila entre 300 y 500 m a comparación de otras zonas del mundo (Murray, 1991) y se caracteriza por tener depresiones en el fondo marino con zonas de depósito de materia orgánica, que no necesariamente proviene de la superficie del océano, sino también de sedimentos terrígenos de glaciación que descienden desde la plataforma o son transportados horizontalmente por corrientes profundas (Palanques et al., 2002). Las zonas con mayor escorrentía como la bahía Almirantazgo han presentado valores muy altos en materia resuspendida debido a los grandes aportes de agua-sedimento por parte de los glaciales adyacentes (Pichlmaier et al., 2004).

La productividad primaria (PP) es uno de los principales procesos que ocurren en las capas superficiales de la columna de agua, que afecta la diversidad de las comunidades bentónicas (Veit-köhler et al., 2018). Dorschel et al. (2016) mostraron un aumento estacional de este parámetro desde 2008 al 2012 en esta zona, el cual fue atribuido al aumento del hielo marino que ha existido en el EB durante este periodo, ya que cuando el hielo marino se retira posterior al cambio de estaciones, las aguas superficiales de mezcla se profundizan aumentando la estratificación; esto sumado al aumento de duración de la luz solar intensifican más las tasas de producción primaria. Estos autores mostraron valores más altos (0.4 - 2.5 mg/m<sup>3</sup>) de clorofila-a superficial en la zona adyacente a las iSS en

comparación al oeste de la PA ( $0.2 - 0.3 \text{ mg/m}^3$ ) durante los meses de verano de 2013. Karl et al., (1991) observaron que había un agotamiento del dióxido de carbono como consecuencia de una mayor productividad primaria cerca a la PA durante los meses de verano austral y reportaron mayores concentraciones de clorofila-a en el sur del EB a diferencia de la zona norte para la misma época del año. En esta misma zona, Veit-köhler et al. (2018) reportaron concentraciones de clorofila-a superiores en sedimento ( $0.47 \mu\text{g l}^{-1}$ ) en comparación con el agua de fondo ( $0.02 \mu\text{g l}^{-1}$ ).





**Figura 4.** a. Ubicación del EB en el continente Antártico, b. componentes continentales del EB, c. Principales componentes oceánicos en la superficie del EB y d. Sección vertical de los principales componentes oceánicos en el EB. (adaptado de Sangrá et al., 2011)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Caracterizar el ensamble de foraminíferos bentónicos sobre un gradiente batimétrico en el estrecho de Bransfield durante el verano austral 2018.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- I. Determinar la composición taxonómica, densidad y diversidad de foraminíferos bentónicos por composición de la testa, por espectro de tamaño y por especie.
- II. Describir la variabilidad espacial de los factores ambientales en el agua de fondo (temperatura, salinidad y oxígeno) y en el sedimento superficial (clorofila-a y pigmentos fotosintéticos derivados) asociados a las distintas estaciones de muestreo.
- III. Analizar la afinidad de parámetros bióticos (densidad y diversidad) con los factores ambientales encontrados en el agua de fondo y en el sedimento.

#### 4. HIPÓTESIS

Considerando que las estaciones están en un gradiente batimétrico y que el alimento es uno de los factores más modulantes sobre la composición de especies de foraminíferos bentónicos en diferentes ambientes sedimentarios, se plantea que:

1. H<sub>0</sub>: La densidad de foraminíferos bentónicos es independiente del contenido de fitopigmentos totales en el sedimento superficial.  
 H<sub>A</sub>: La densidad de foraminíferos bentónicos es mayor en las estaciones con alto contenido de fitopigmentos totales en el sedimento superficial.
  
2. H<sub>0</sub>: La proporción de foraminíferos bentónicos calcáreos es independiente de la calidad de alimento lábil de origen fotosintético (Cl-a:Feop).  
 H<sub>A</sub>: La proporción de foraminíferos bentónicos calcáreos aumenta a mayor sea la razón de calidad de alimento lábil de origen fotosintético (Cl-a:Feop).
  
3. H<sub>0</sub>: Las asociaciones de especies de foraminíferos bentónicos son independientes a las distintas profundidades.  
 H<sub>A</sub>: La proporción de asociaciones de especies cambia con la profundidad, de manera que es posible encontrar asociaciones en función a su ambiente sedimentario.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Trabajo de campo

#### 5.1.1. Muestreo de sedimento y factores ambientales

Las actividades de muestreo de sedimento y registro de datos de agua se realizaron en el marco de las actividades de la campaña científica ANTAR XXV llevada a cabo a bordo del BAP (Buque de la Armada Peruana) Carrasco en enero 2018 y estuvo a cargo del personal del Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

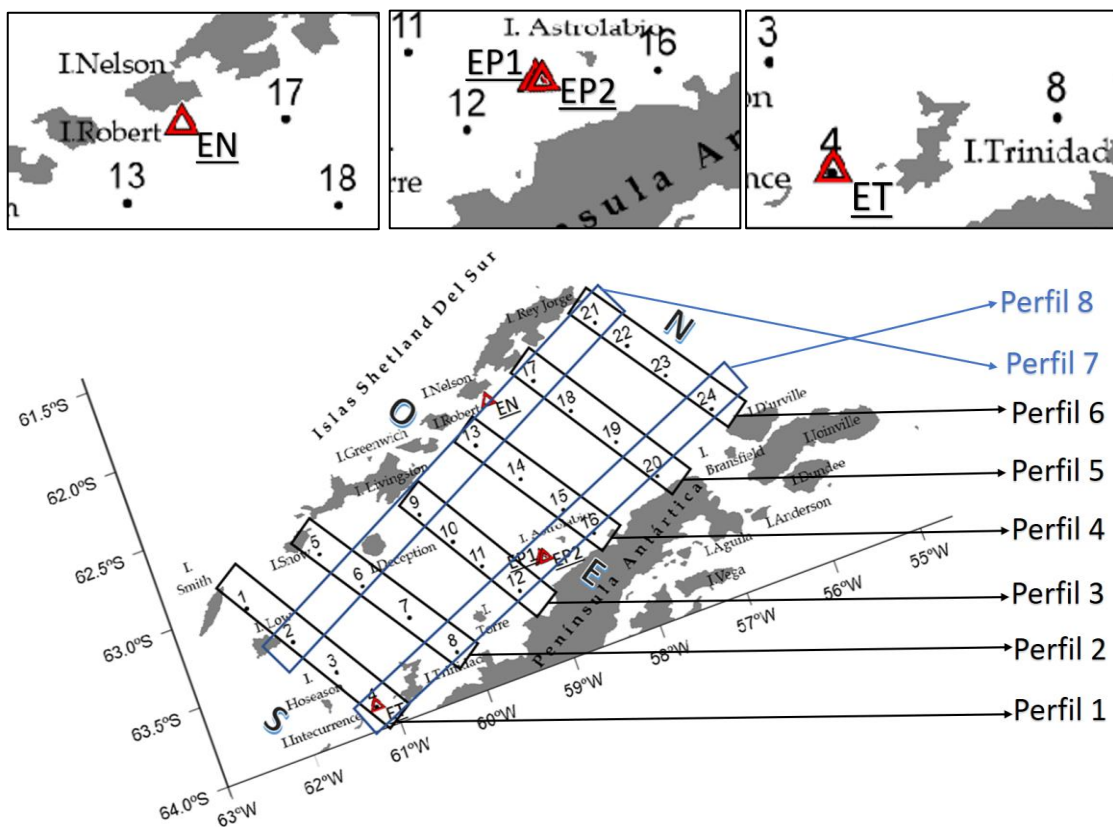
Las estaciones (4) se ubicaron en la plataforma continental del EB: Península 1 y Península 2 (EP1 y EP2) próximas entre sí en distancia (0.19 mn) pero con más de 60 m de diferencia en profundidad, entre isla Torre e isla Astrolabe; y al oeste del extremo norte de la PA, respectivamente. La estación Trinidad (ET) se encuentra entre la isla Intecurrence y la isla Trinidad; y por último la estación Nelson (EN) está frente a la isla Nelson, que corresponde al conjunto de iSS (Fig. 5).

La obtención de muestras de sedimento se realizó empleando un saca-testigo de tipo HAPS ( $\varnothing=13.6$  cm) con lanzamientos únicos (sin réplicas). Este equipo HAPS es un nucleador basado en el diseño descrito por Kanneworff & Nicolaisen, (1972) que permite la obtención de una columna vertical de sedimento con la mínima perturbación (Fig. 6a).

Los parámetros ambientales en el agua fueron registrados mediante un perfilador CTD Seabird modelo SBE 19+ en un total de 24 estaciones. La posición de cada estación se detalla en la Tabla 1. Las profundidades a las cuales este equipo registro parámetros fueron: 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200 y 300 m como máximo; dependiendo de la profundidad de la estación.

A partir de los 24 puntos donde se desplegó el CTD, se crearon 8 perfiles verticales para la visualización de los parámetros ambientales en la columna de

agua. Los perfiles 1, 2, 3, 4, 5 y 6 cruzan el EB de oeste a este, estando la costa este de las iSS (oeste del EB) en la parte izquierda del perfil y la costa oeste de la PA (este del EB) en la parte derecha del perfil. Los perfiles 1 y 2 abarcan la zona sur, los perfiles 3 y 4 el centro y los perfiles 5 y 6 la zona norte del EB. Los perfiles 7 y 8 cruzan el EB de sur (izquierda del perfil) a norte (derecha del perfil). El perfil 7 es el perfil vertical de la plataforma continental del este de las iSS, abarcando la estación EN; mientras que el perfil 8 es el perfil vertical de la plataforma continental del este de la PA, abarcando el resto de estaciones (ET, EP1 y EP2) (Fig. 5).



**Figura 5.** Distribución de las 24 estaciones de muestreo de parámetros de agua con los cuales se crearon 8 perfiles verticales. En color negro está el perfil 1, 2, 3, 4, 5, 6. En color azul están los perfiles perfil 7 y 8. En triángulos rojos se señalan las estaciones EN: Estación Nelson, EP1: Estación Península 1, EP2: Estación Península 2 y ET: Estación trinidad.

**Tabla 1.** Datos de las estaciones de muestreo.

Equipo Muestreador	Fecha	Nombre de la Estación	Código de Expedición ANTAR XXV	Latitud (°S)	Longitud (°O)	Profundidad (m)
HAPS	4/01/2018	Estación Trinidad (ET)	E4	63°51'29.5"	61°11'17.9"	358
HAPS	6/01/2018	Estación Península 1 (EP1)	E12a	63° 22' 30.7"	58° 57' 36"	261
HAPS	6/01/2018	Estación Península 2 (EP2)	E12b	63° 22' 19.9"	58° 57' 41.4"	325
HAPS	8/01/2018	Estación Nelson (EN)	E16d	62° 22' 45.5"	58° 56' 49.6"	127
CTD	4/01/2018	1	E1	63°02'30.8"	62°10'18.1"	-
CTD	4/01/2018	2	E2	63°18'52.2"	61°50'53.9"	-
CTD	4/01/2018	3	E3	63°18'52.2"	61°50'53.9"	-
CTD	4/01/2018	4	E4	63°51'29.5"	61°11'17.9"	-
CTD	5/01/2018	5	E5	62°53'21.1"	61°53'21.1"	-
CTD	5/01/2018	6	E6	63°09'27.0"	60°53'55.7"	-
CTD	5/01/2018	7	E7	63°26'19.7"	60°32'57.1"	-
CTD	5/01/2018	8	E8	63°32'04.9"	60°25'40.8"	-
CTD	6/01/2018	9	E9	62°52'25.3"	60°04'08.4"	-
CTD	6/01/2018	10	E10	63°05'36.6"	59°48'42.5"	-
CTD	6/01/2018	11	E11	63°16'59.9"	59°34'24.6"	-
CTD	6/01/2018	12	E12	63°29'56.4"	59°19'20.3"	-
CTD	7/01/2018	13	E13	62°35'54.6"	59°14'35.5"	-
CTD	7/01/2018	14	E14	62°52'16.7"	58°55'09.5"	-
CTD	7/01/2018	15	E15	63°08'46.3"	58°37'19.2"	-
CTD	7/01/2018	16	E16	63°16'21.0"	58°28'27.5"	-
CTD	8/01/2018	17	E17	62°17'30.5"	58°30'41.4"	-
CTD	8/01/2018	18	E18	62°36'45.7"	58°08'22.2"	-
CTD	8/01/2018	19	E19	62°53'11.4"	57°48'37.8"	-
CTD	8/01/2018	20	E20	63°09'09.0"	57°29'44.9"	-
CTD	9/01/2018	21	E21	62°09'51.1"	57°35'23.3"	-
CTD	9/01/2018	22	E22	62°22'12.7"	57°20'13.2"	-
CTD	9/01/2018	23	E23	62°37'27.5"	57°02'21.1"	-
CTD	9/01/2018	24	E24	62°52'40.8"	56°42'39.6"	-

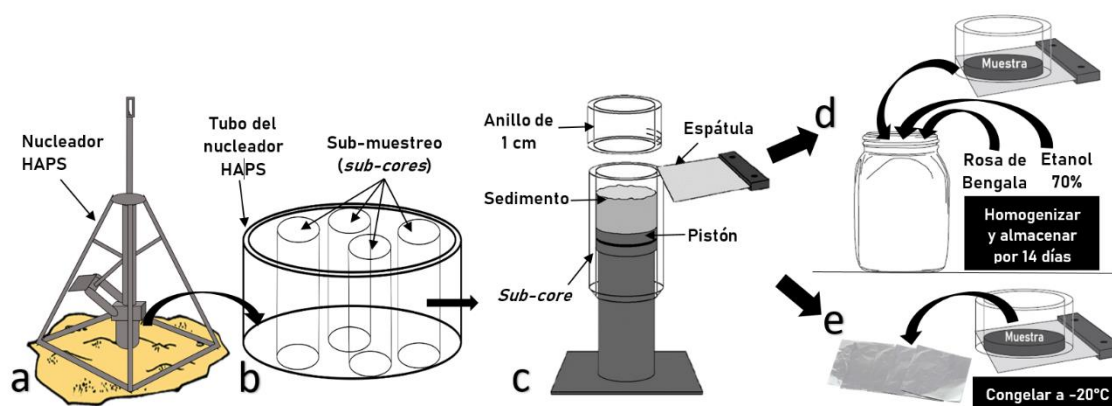
### 5.1.2. Submuestreo y preservación de sedimento

Una vez obtenido el núcleo (*core*) de sedimento, se hizo un sub-muestreo con tubos de acrílico ( $\varnothing \leq 4$  cm) a fin de destinar las muestras para varios parámetros independientes (Fig. 6b). Los cinco primeros centímetros de la columna de sedimento fueron seccionados con 1 cm de espesor cada uno, con la ayuda de una espátula y un extrudidor (pistón) de nylon adaptado al diámetro del tubo de sub-muestreo (Fig. 6c). En este trabajo solo se trabajó con el primer centímetro de sedimento de cada estación.

Se utilizó dos de los sub-muestreos de sedimento, uno destinado a fauna de foraminíferos bentónicos y otro para pigmentos fotosintéticos de origen fitoplanctónico. Siguiendo el protocolo sugerido por Schönfeld et al. (2012), cada



sección de sedimento destinada para la fauna de foraminíferos fue colocada en un frasco de plástico y se le añadió 50 mL (o un volumen equivalente a la muestra) de una solución de etanol al 70% y Rosa de bengala (2 g/L). Cada frasco se agitó hasta homogeneizar la muestra y permaneció por un mínimo de 14 días para su adecuada tinción antes de su procesamiento en el laboratorio (Fig. 6d). Para el caso de los pigmentos fotosintéticos, cada sección de sedimento fue envuelta en papel aluminio y congelada a -20 °C hasta su posterior análisis en laboratorio (Fig. 6e). Este procedimiento se realiza para evitar la reacción de la clorofila con la incidencia de la luz solar.



**Figura 6.** a) Sacatestigo (nucleador) de tipo HAPS. Procedimiento en cubierta: b) Sub muestreo (*Sub-cores*) de parámetros, c) seccionamiento del testigo de sedimento, d) Fijación y tinción de foraminíferos (Adaptado de Schönfeld et al., 2012) y e) Preservación de sedimento para la determinación de pigmentos fitoplanctónicos.

## 5.2. Procedimientos en laboratorio

### 5.2.1. Foraminíferos

Las muestras de sedimento se procesaron siguiendo algunas consideraciones del protocolo utilizado por Rathburn y Corliss (1994) y Cardich et al., (2015) para la determinación del volumen real de sedimento. El procedimiento consistió en verter la muestra del frasco en una probeta de 500 mL con una piseta con un volumen conocido de agua destilada, anotándose el volumen (mL) total obtenido en la probeta. A esta diferencia, se le restó el volumen de agua gastado de la piseta, con lo cual se obtuvo el volumen real de la muestra. Una vez obtenido el

volumen real de muestra, se tamizó toda la muestra contenida en la probeta en mallas de diferente tamaño de abertura (63, 150 y 500  $\mu\text{m}$ ) obteniendo con ello organismos en tres espectros de tamaño: 63-150  $\mu\text{m}$ , 150-500  $\mu\text{m}$  y >500  $\mu\text{m}$ . Lo retenido en cada fracción de tamaño, fue colocado en placas Petri para su observación al húmedo.

El reactivo Rosa de bengala es un compuesto que tiene la propiedad de teñir con color rosáceo el protoplasma de los foraminíferos que estuvieron vivos al momento del muestreo, para así diferenciarlos de las testas vacías (muertos) o en proceso de descomposición (Schönfeld et al., 2012). Sin embargo, tiene limitaciones en su aplicación (Bernhard, 2000). Para ello, es necesario considerar un criterio de tinción en el que se observen todas las cámaras homogéneamente teñidas de color rosa, aunque también es válido si sólo si la última cámara no está teñida.

Los foraminíferos teñidos que se reconocieron como “vivos” fueron contados e identificados hasta el taxón más específico posible usando un microscopio Carl Zeiss Discovery V8 a un aumento de 20 a 40x. Para tal fin, se utilizó la amplia literatura taxonómica disponible para zonas antárticas (e.g. Herb, 1971; Anderson, 1975; Mackensen et al., 1990; Ishman & Domack, 1994; Violanti, 1996; Gazdzicki & Majewski, 2003; Cornelius & Gooday, 2004; Murray & Pudsey, 2004; Majewski, 2005; Bordelon, 2006; Sinniger et al., 2008; Pawlowski et al., 2008; Rodrigues et al., 2010; Rodrigues et al., 2013; Rodrigues et al., 2015; Majewski et al., 2015; Dejardin et al., 2017).

### **5.2.2. Pigmentos fotosintéticos de origen fitoplanctónico**

La concentración de clorofila-a en el sedimento fue determinada mediante el método fluorométrico de doble extracción con acetona al 90% utilizado en Gutiérrez (2000) con algunas modificaciones. Se mezcló 0.3 g del sedimento previamente descongelado con 5 ml de acetona al 90% en un agitador vortex para luego sonificarlo por 10 minutos a fin de obtener la ruptura celular del fitoplancton. Luego, se centrifugó a 1500 x g durante 5 minutos. De la solución



obtenida, se extrajo una alícuota de 0.5 ml la cual fue sometida a la lectura de un fluorómetro antes y después de aplicarle dos gotas de HCl al 10%. A partir de este parámetro sedimentario y mediante la resta del antes y el después se obtuvo el valor neto de la clorofila-a (Cl-a) en ug/g.

Se calculó la razón clorofila-a y feopigmentos (Cl-a: Feop). Los feopigmentos se obtienen como producto de la degradación de la molécula de clorofila. Esta razón se utilizó como indicador de materia orgánica fresca (calidad de MO) para los organismos bentónicos y no posee unidad. Los fitopigmentos (FPT), encontrados en la literatura también como *chloroplastic pigment equivalents* (CPE), son la suma de clorofila-a y los feopigmentos, usándose como un indicador en ug/g de la cantidad de alimento total disponible (e.g. Cardich et al. 2015).

### 5.3. Ordenamiento de datos y análisis estadísticos

#### 5.3.1. Obtención de parámetros bióticos

La densidad de foraminíferos bentónicos fue expresada en individuos por 10 cm<sup>2</sup> (ind/10cm<sup>2</sup>) y calculada para cada espectro de tamaño (63-150, 150-500, >500 µm), por composición de la testa (calcárea, aglutinada y tectinácea) y por especies.

A partir del conteo de cada especie se generó una matriz de datos crudos, y se calculó la riqueza de Margalef (d) (Margalef, 1957), el índice de diversidad Shannon (H') (Buzas & Gibson, 1969) y el índice de Simpson (1 - λ) (Lande, 1996) mediante el programa estadístico PRIMER 6 (Clarke & Warwick, 2001) considerando las siguientes ecuaciones:

Margalef (d)	$d = (S-1)/\text{Log}(N)$
Shannon-Wiener (H)	$H = - \sum p_i \ln p_i$
Simpson (1 - λ)	$\lambda = \sum p_i^2$

Donde  $N$  es el número total de individuos (abundancia),  $S$  es el número de especies observadas (riqueza) y  $p$  es la frecuencia relativa de la especie  $i$ , es decir el número de individuos de la especie  $i$  entre el número total de individuos.

### 5.3.2. Parámetros de agua de fondo

A partir de la información obtenida a distintas profundidades con el perfilador CTD se generaron perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (ppm) y oxígeno disuelto (mL/L) a lo largo y ancho del EB; con el fin de estimar los valores más cercanos de estos parámetros en el agua que está en contacto con el sedimento (agua de fondo) en las estaciones donde se colectó sedimento y describir cómo van cambiando estos factores espacialmente en el EB. Estos valores deben ser estimados pues los puntos de muestro con CTD no coinciden geográficamente con la ubicación de las estaciones de sedimento. Para la interpolación, se empleó el método simple de krigaje o *kriging* mediante el software Surfer versión 15 para generar perfiles verticales.

### 5.3.3. Análisis estadístico

Mediante el programa PRIMER 6 & PERMANOVA+ se generó una matriz de similitud Bray-Curtis con el objetivo de explorar el grado de afinidad de especies entre estaciones. Para ello, fue necesario previamente una transformación de los datos de densidad ( $\text{ind}/10\text{cm}^2$ ) a través de una raíz cuarta ( $X_{0,25}$ ). Se crearon también curvas de dominancia para cada estación a partir de los datos de abundancia del total de las especies, que permitirán visualizar la equidad y riqueza de los elementos del ensamble mediante de la abundancia relativa acumulada de las especies.

También se visualizó la información a través de un análisis de coordenadas principales (PCoA) y dos análisis de similitud, uno entre estaciones (modo Q) y otro entre especies (modo R) utilizando el índice de Bray Curtis. Este último análisis se construyó con las abundancias relativas de las especies más frecuentes ( $>5\%$ ); mientras que para el modo Q se utilizó la abundancia del total

de especies encontradas de igual manera que se hizo con el PCoA, se sobrepuso el análisis de similitud modo Q sobre el PCoA para una mejor visualización de las similitudes entre estaciones.

Se comprobó la no correspondencia a un conjunto con distribución normal mediante el test de Shapiro-Wilk y se realizó la prueba de homocedasticidad de Fligner-Killeen. Luego se procedió a calcular el coeficiente de Spearman para ver el grado de correlación entre las variables ambientales (pigmentos fotosintéticos y agua de fondo) y los parámetros bióticos (composición de la testa, espectro de tamaño, riqueza y densidad). Se utilizó un análisis de Correspondencia (AC) para determinar la variación de las asociaciones de especies en las estaciones estudiadas.

Finalmente, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para conocer si los parámetros bióticos presentaron diferencias significativas entre estaciones. Estas últimas pruebas estadísticas se realizaron mediante el paquete estadístico R versión 3.6.3 (Borcard et al., 2011).

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Caracterización ambiental**

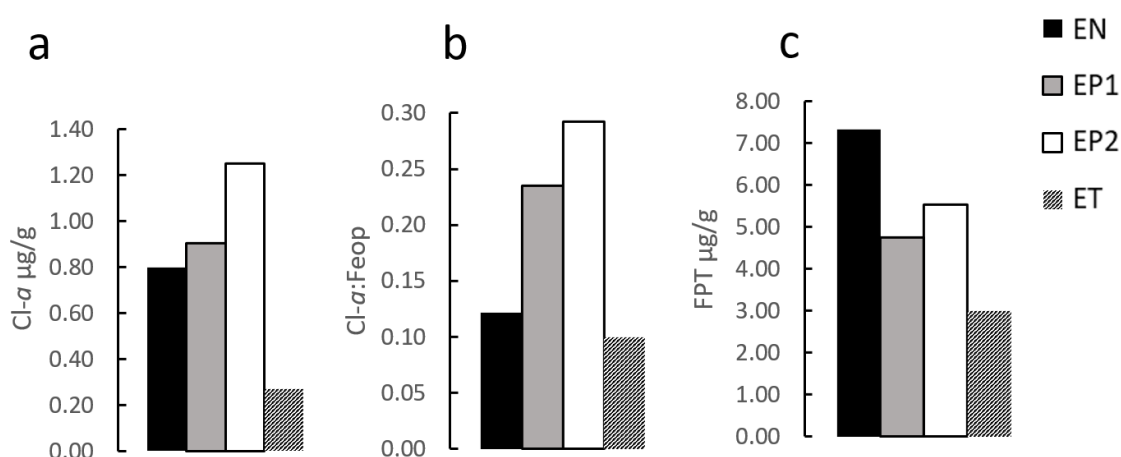
#### **6.1.1. Pigmentos fotosintéticos de origen fitoplanctónico**

La concentración de clorofila-a (Cl-a) en el sedimento fue menor en la estación más profunda (ET) con un valor de 0.27  $\mu\text{g/g}$ . Mientras que de las estaciones EP1 y EP2 fue la estación más profunda (EP2) la que presentó la concentración de clorofila más alta con 1.25  $\mu\text{g/g}$ . Las estaciones EP1 y la más somera EN presentaron valores similares cercanos a 0.80  $\mu\text{g/g}$  (Fig. 7a).

La razón (Cl-a:Feop) también presentó bajos valores en la estación ET (0.10), similar al de la estación EN (0.12). Mientras que al igual que en la clorofila-a los

valores más altos se encontraron en las estaciones EP1 (0.24) y EP2 (0.29) (Fig. 7b).

Por otro lado, los valores más altos de FPT se encontraron en la estación más somera (EN) con un valor de 7.34  $\mu\text{g/g}$ , por encima del doble que en la estación más profunda ET con 2.98  $\mu\text{g/g}$ . Las estaciones EP1 y EP2 presentaron 4.74 y 5.54  $\mu\text{g/g}$  respectivamente (Fig. 7a).



**Figura 7.** Parámetros sedimentarios de origen fitoplanctónico. a) Clorofila-a; b) razón de la clorofila-a entre los feopigmentos y c) fitopigmentos totales (FPT).

### 6.1.2. Parámetros de agua de fondo

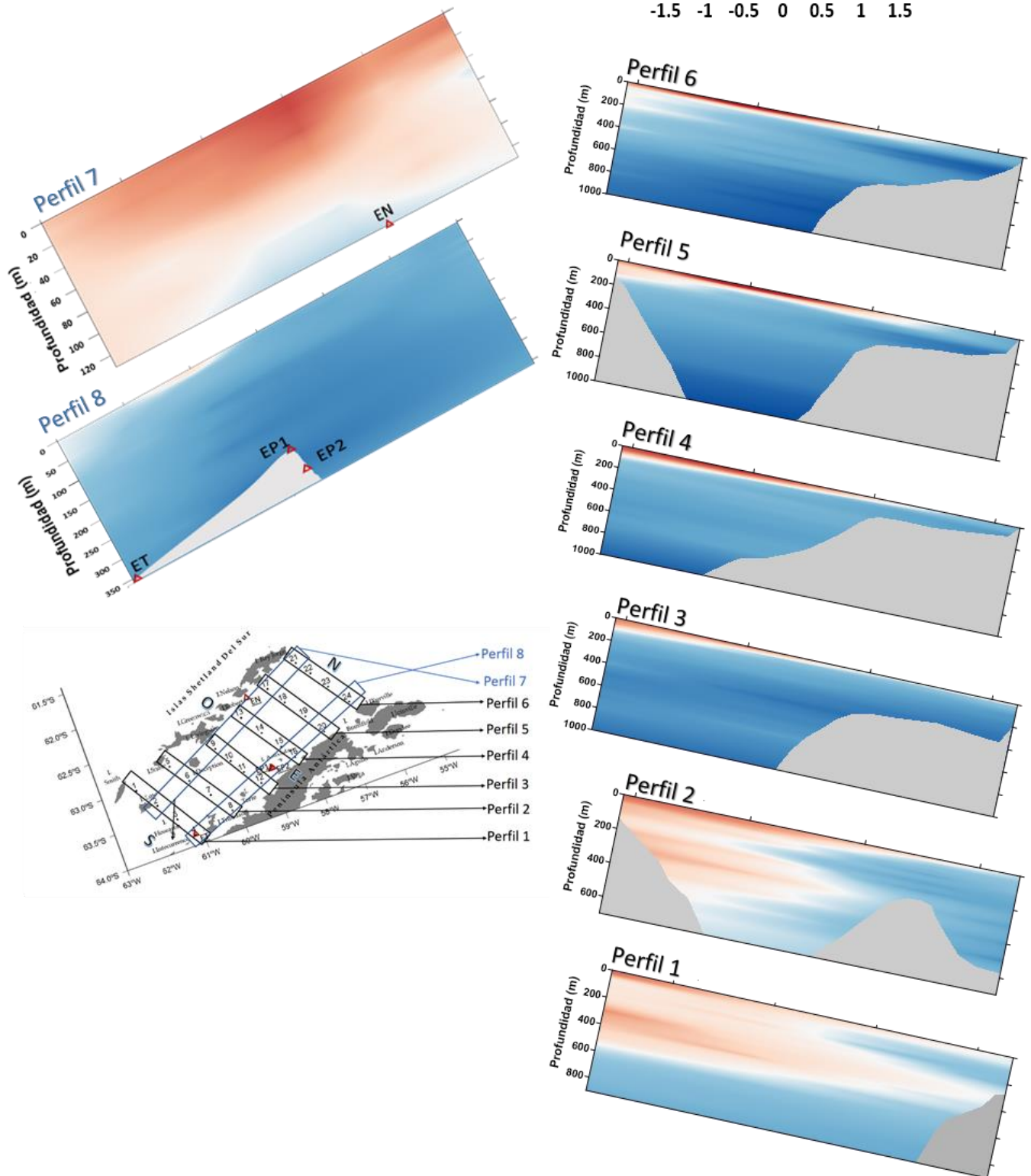
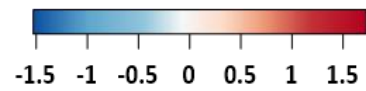
Se observa la dominancia de temperaturas cercanas a  $-1^{\circ}\text{C}$  a excepción de la superficie. El perfil 7 (iSS) estimó que la temperatura del agua de fondo de la estación EN fue ligeramente cálida que el resto, registrando un valor de  $-0.28^{\circ}\text{C}$ . El perfil 8 (PA) se estimó valores de temperatura en el agua de fondo de  $-1.17$ ,  $-1.18$  y  $-1.03^{\circ}\text{C}$ ; para las estaciones EP1, EP2, y ET, respectivamente (Fig. 8).

El patrón espacial de la salinidad superficial disminuyó gradualmente hacia la PA. En el sector más profundo del EB, la salinidad fue mayor que en superficie. En el perfil 7 se registraron valores en el agua de fondo por debajo de 34.40 ppm en la estación EN, mientras que en el perfil 8, los valores registrados en el agua

de fondo para la estación ET, EP1 y EP2 fueron 34.47, 34.46 y 34.48 ppm respectivamente (Fig. 9)

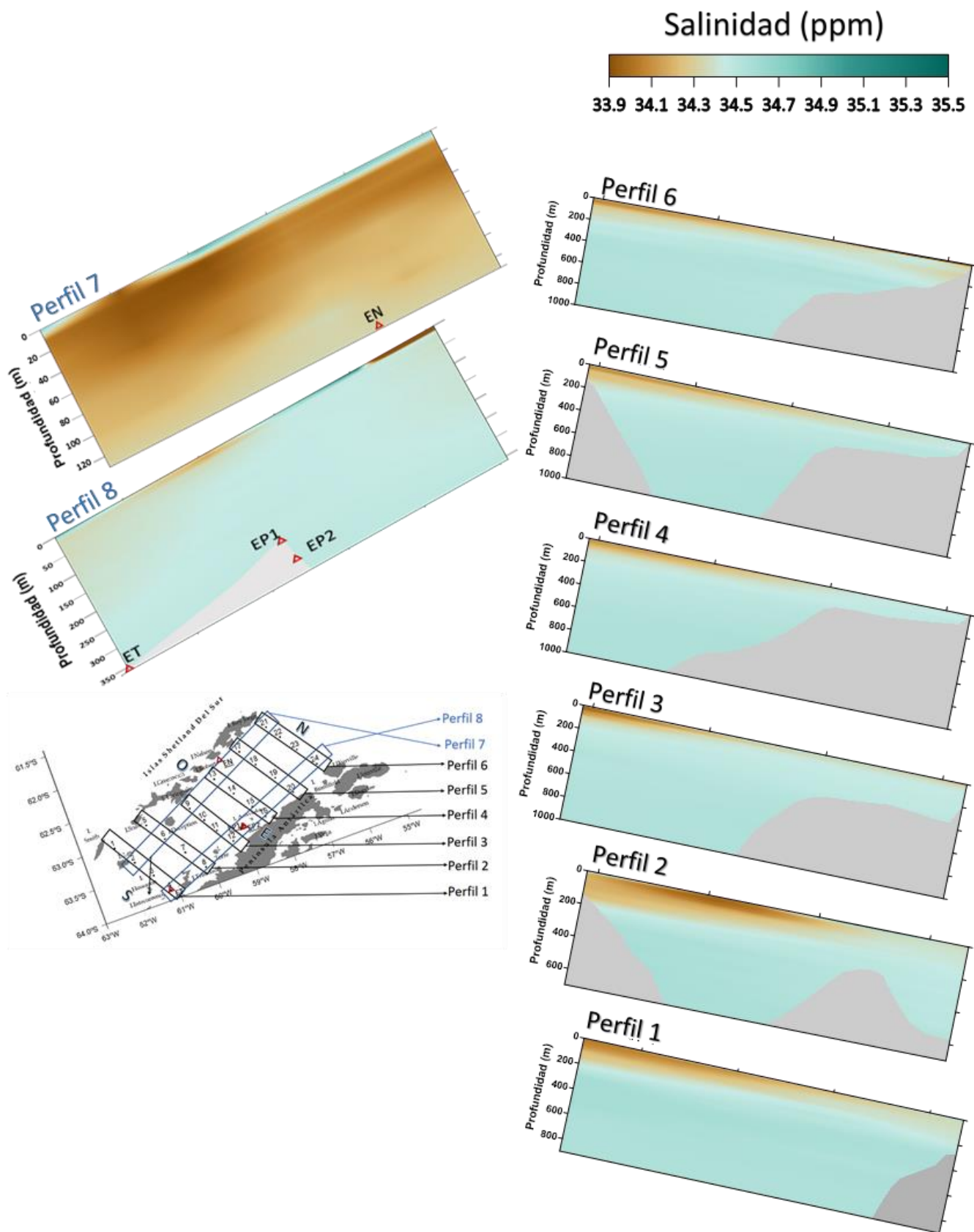
La concentración de OD evidenció una disminución desde la superficie hacia el fondo. La zona sur (perfil 1 y 2) mostró menores valores de este parámetro en comparación con la zona centro y norte. Las estaciones ET, EP1 y EP2 (perfil 8) presentaron valores de 7.04, 6.95 y 6.90 mL/L en el agua de fondo; en tanto que para la estación EN (perfil 7) el valor de oxígeno disuelto en el agua de fondo fue de 6.51 mL/L siendo la estación menos oxigenada, a pesar de ser la más somera (Fig. 10).

Temperatura (°C)



**Figura 8.** Distribución de la temperatura en el Estrecho de Bransfield. En letras negras están los perfiles que cruzan de oeste a este (1,2,3,4,5 y 6) y en letras azules los perfiles que cruzan de sur a norte (Perfiles 7 y 8).





**Figura 9.** Distribución de la salinidad en el Estrecho de Bransfield. En letras negras están los perfiles que cruzan de oeste a este (1,2,3,4,5 y 6) y en letras azules los perfiles que cruzan de sur a norte (Perfiles 7 y 8).

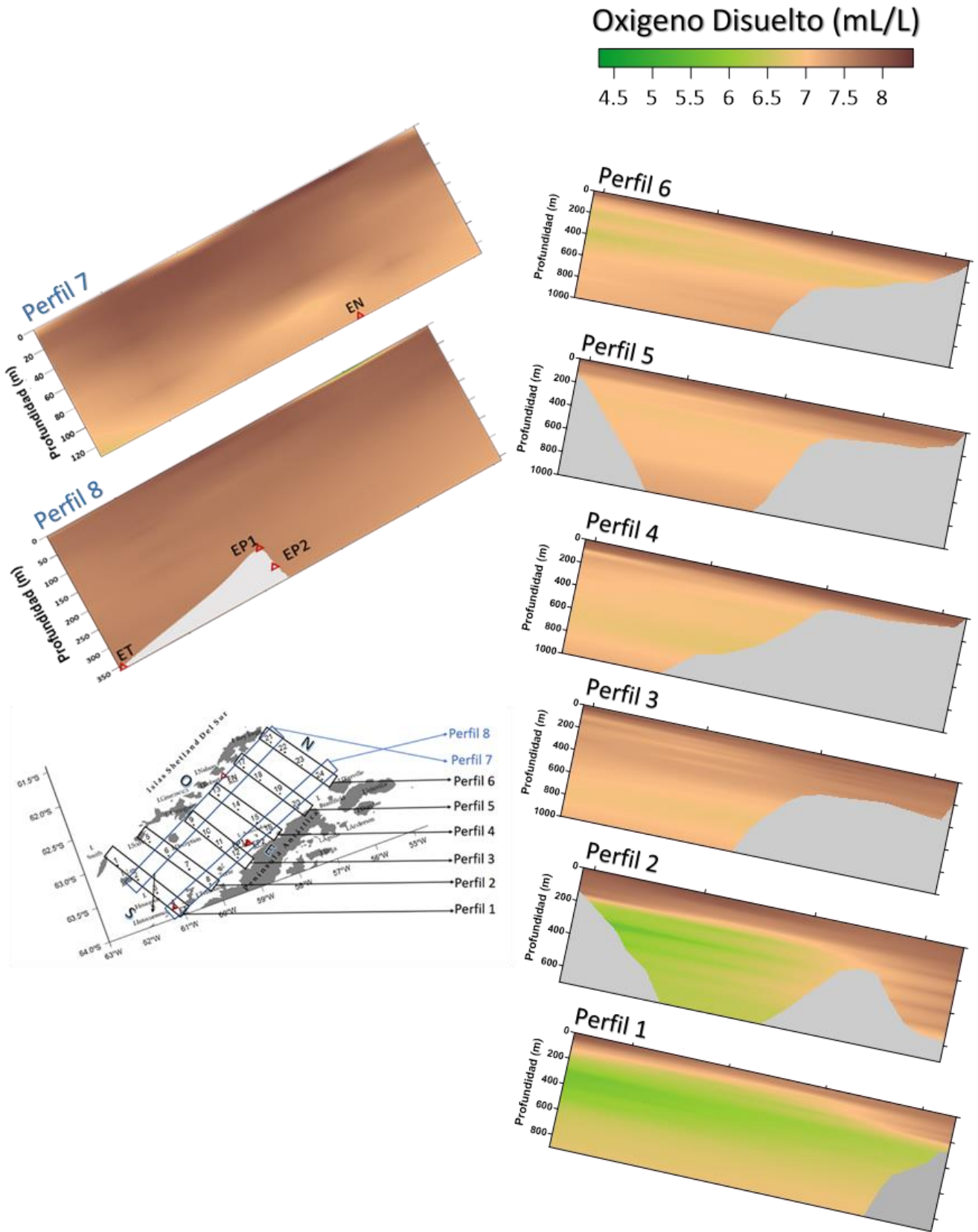


Figura 10. Distribución del oxígeno disuelto en el Estrecho de Bransfield. En letras negras están los perfiles que cruzan de oeste a este (1,2,3,4,5 y 6) y en letras azules los perfiles que cruzan de sur a norte (Perfiles 7 y 8).



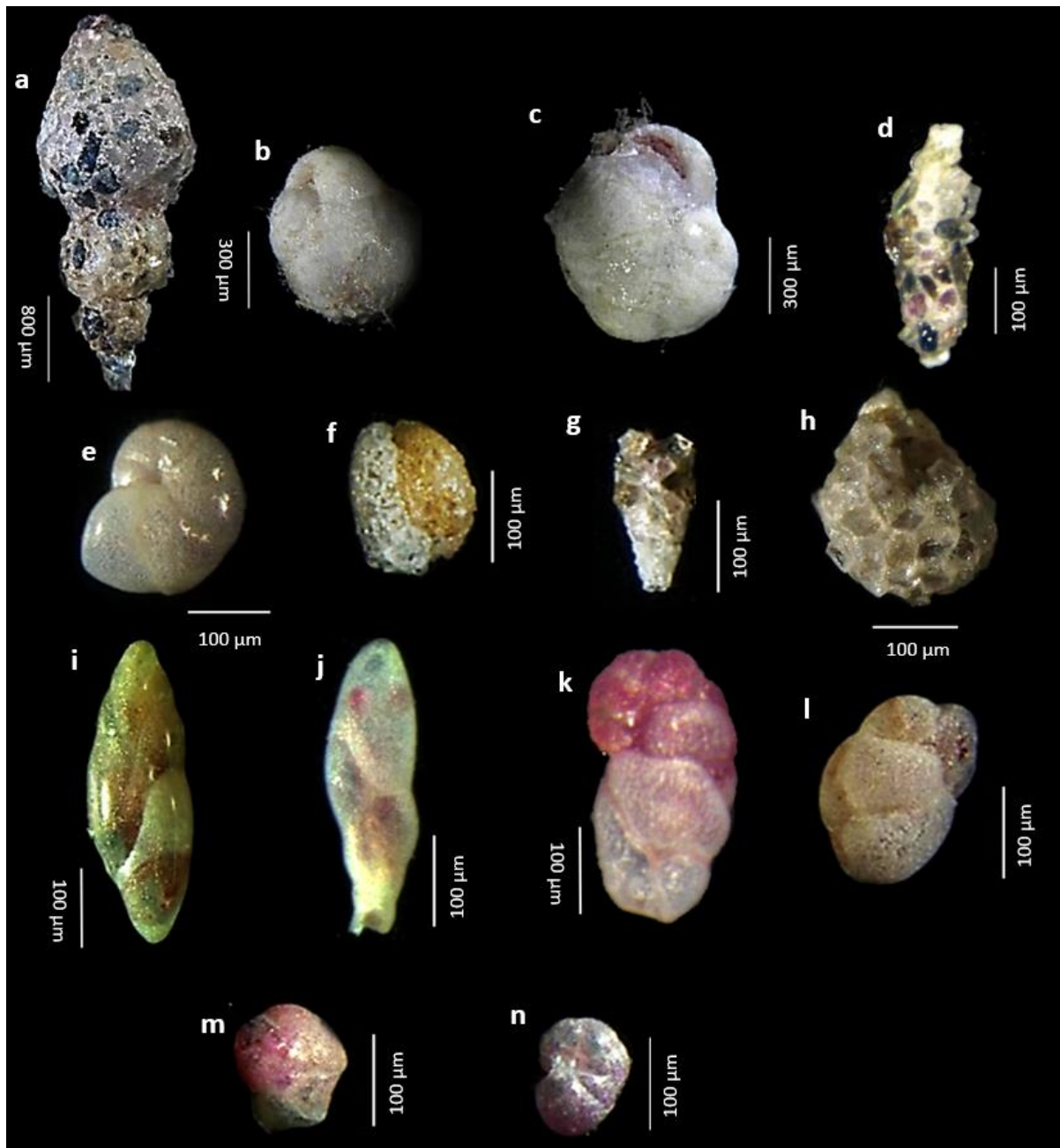
## 6.2. Caracterización del ensamble de foraminíferos bentónicos

### 6.2.1. Composición por especie

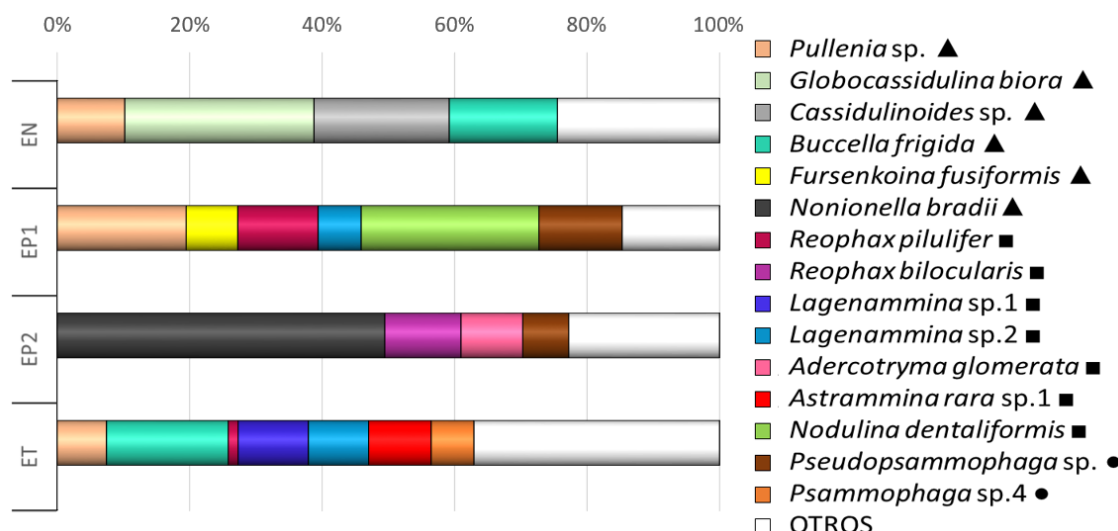
Se determinó un total de 1398 foraminíferos bentónicos correspondientes a 42 taxa (Tabla 2). Del total de individuos obtenidos, 43% fueron identificados hasta especie, 40% hasta género, 12% hasta familia y 5% hasta el grupo testal. En la figura 11, se muestran las fotografías al estereoscopio de algunas de las especies encontradas.

Las especies más abundantes en la estación más somera (EN: 127 m) fueron de testa calcárea: *Globocassidulina bitor* (34 ind/10cm<sup>2</sup>; 35%), *Cassidulinoides* sp. (20 ind/10cm<sup>2</sup>; 20%), *Buccella frigida* (16 ind/10cm<sup>2</sup>; 16%) y *Pullenia* sp. (10 ind/10cm<sup>2</sup>; 10%). Las especies más abundantes de la estación EP1 fueron *Nodulina dentaliniformis* (62 ind/10cm<sup>2</sup>; 27%) y *Pullenia* sp. (45 ind/10cm<sup>2</sup>; 19%). En la estación EP2 la especie calcárea *Nonionella bradii* (228 ind/10cm<sup>2</sup>; 49%) fue la más abundante (Fig. 12). Para la estación más profunda ET, la especie calcárea *Buccella frigida* (111 ind/10cm<sup>2</sup>; 18%) y las especies aglutinadas *Lagenammia* sp.1 (64 ind/10cm<sup>2</sup>; 11%) y *Lagenammia* sp. 2 (60 ind/10cm<sup>2</sup>; 105) fueron las más abundantes.

Considerando las especies con frecuencia mayor a 5%; la especie calcárea *Pullenia* sp. estuvo presente en la estación más somera, como también en la estación EP1 y en la estación más profunda (ET:358m) con 45 ind/10cm<sup>2</sup>, siendo la única especie que se encontró en más de dos estaciones (Fig. 12). La especie calcárea *Buccella frigida* estuvo presente tanto en la estación más somera como en la más profunda. *Pseudopsammophaga* sp. fue la única especie que coincidió en las estaciones adyacentes EP1 y EP2. La especie de testa aglutinada *Reophax pilulifer* estuvo presente en la estación P1 (28 ind/10cm<sup>2</sup>) y en la ET (34 ind/10cm<sup>2</sup>). *Lagenammia* sp. 2 estuvo presente en EP1 (15 ind/10cm<sup>2</sup>) y en ET (60 ind/10cm<sup>2</sup>).



**Figura 11.** Fotografías al estereoscopio de algunas especies encontradas en el Estrecho de Bransfield. a) *Reophax pilulifer*, b) *Globocassidulina* sp., c) *Globocassidulina biora*, d) *Reophax bilocularis*, e) *Pullenia* sp., f) *Adercotryma glomerata*, g) *Lagenammmina* sp. 1, h) *Lagenammmina* sp. 2, i) *Fursenkoina fusiformis*, j) *Fursenkoina davisii*, k) *Cassidulinoides parkerianus*, l) *Cassidulinoides* sp., m) *Buccella frigida* y n) *Nonionella bradii*.

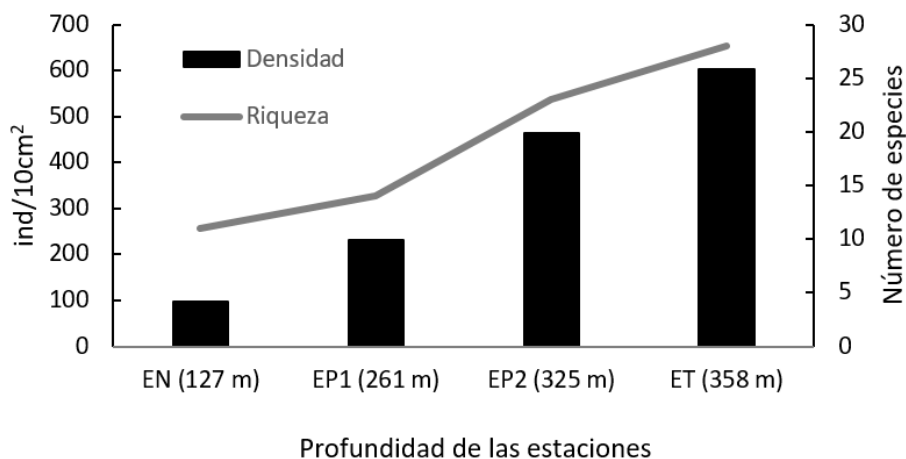


**Figura 12.** Especies con representatividad mayor al 5%. ▲: Calcáreo, ■: Aglutinado, ●: Tectinácea; OTROS: especies y/o taxa <5%.

### 6.2.2. Densidad e índices de diversidad

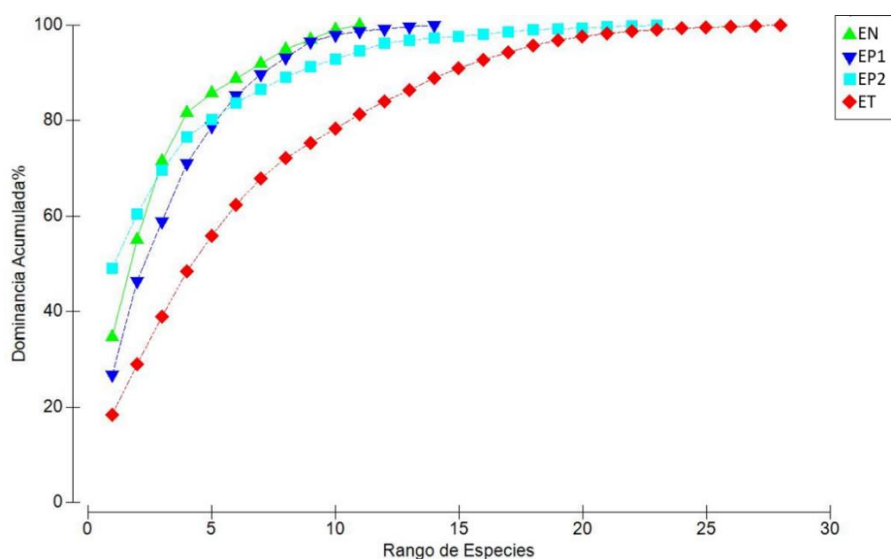
Se observó una tendencia en el incremento de la densidad de foraminíferos con el aumento de la profundidad (Fig. 13). La densidad fue mayor en la ET (604 ind/10cm<sup>2</sup>), en tanto que las estaciones EP2 y EP1 se distinguieron en más de 200 ind/10cm<sup>2</sup> con 465 y 231 ind/10cm<sup>2</sup>, respectivamente. La densidad fue menor en la estación más somera EN con 98 ind/10cm<sup>2</sup>. La riqueza también mostró una tendencia similar a la densidad (Fig. 13), aumentando con la profundidad, registrándose 11, 14, 23 y 28 taxa para la EN, EP1, EP2 y ET, respectivamente (Tabla 2).

El índice de Margalef (d) fue mayor en las estaciones más profundas (EN: 2.18, EP1: 2.38, EP2: 3.58 y ET: 4.21). El índice de Shannon-Wiener (H), por su parte, mostró el valor más alto en la estación ET (2.76), en tanto que las estaciones EN y EP2 registraron valores similares (1.87 y 1.93) siendo el valor obtenido en la EP1 (2.10) mayor al de la EP2. En cuanto al índice de Simpson (1-λ), este mostró valores de más baja dominancia en la ET (0.91) (Tabla 2).



**Figura 13.** Densidad de individuos por 10cm<sup>2</sup> (barras) y número de especies (línea) en las cuatro estaciones, en orden creciente de profundidad de izquierda a derecha. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET).

La curva de dominancia acumulada de ET muestra un patrón diferenciado de las demás estaciones siendo la más sutil, llegando a una dominancia acumulada de 80% en un rango de especies mayor a 10. Esto se debe a que exhibe densidades mejor distribuidas entre más especies. Por el contrario, las demás estaciones tienen especies con mayor contribución a la densidad total lo que se refleja en que los valores de sus índices de Simpson son menores que en ET. (Fig. 14).



**Figura 14.** Curvas de dominancia acumulada por estación. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET).

**Tabla 2.** Parámetros bióticos por estación y densidad (ind/10cm<sup>2</sup>) para cada especie en cada espectro de tamaño. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET).

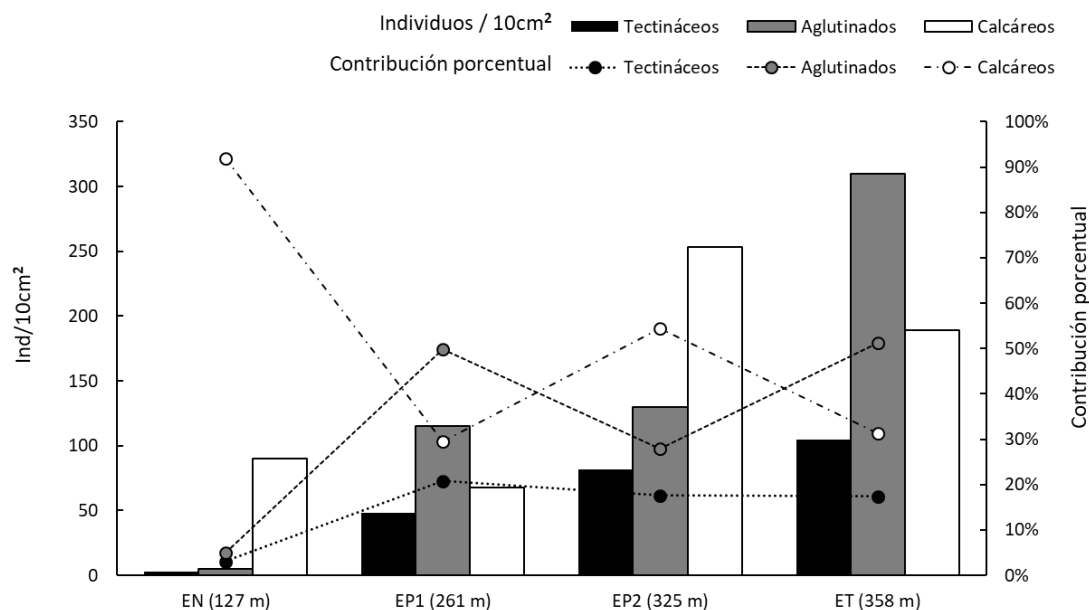
		EN (127 m)			EP1 (261 m)			EP2 (325 m)			ET (358 m)			
Abundancia (N)		98			231			465			604			
Riqueza (S)		11			14			23			28			
Margalef (d)		2.1818			2.389			3.582			4.216			
Shannon-Wiener (H)		1.877			2.101			1.934			2.768			
Simpson (1-λ)		0.7955			0.8447			0.7279			0.9153			
Espectros de tamaño (μm)		63-150	150-500	>500	63-150	150-500	>500	63-150	150-500	>500	63-150	150-500	>500	
Tectináceos	<i>Gloiogullmia</i> sp.1	-	-	-	8	-	-	-	-	-	2	2	-	
	<i>Gloiogullmia</i> SP.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	6	-	
	<i>Pseudopsammophaga</i> sp.	-	-	-	29	-	-	32	-	-	19	-	-	
	<i>Psammophaga</i> sp.1	-	3	-	7	3	-	1	1	-	-	-	-	
	<i>Psammophaga</i> sp.2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<i>Psammophaga</i> sp.4	-	-	-	-	-	-	12	-	-	36	3	-	
	<i>Psammophaga</i> sp.5	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	
	Allogromiidae 1	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-	
	Allogromiidae 2	-	-	-	-	-	-	5	3	-	4	-	-	
	Allogromiidae 3	-	-	-	-	-	-	13	-	-	2	-	-	
	Allogromiidae 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	5	-	
	Allogromiidae 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	
Aglutinados	<i>Reophax pilulifer</i>	-	-	-	28	-	-	-	-	1	-	9	25	
	<i>Reophax bilocularis</i>	-	-	-	-	-	-	24	29	-	5	13	-	
	<i>Nodulina dentaliniformis</i>	1	1	-	46	16	-	7	3	-	2	23	1	
	<i>Lagenammina</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	64	-	-	
	<i>Lagenammina</i> sp.2	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	55	5	
	<i>Adercotryma glomerata</i>	3	-	-	1	-	-	43	-	-	11	-	-	
	<i>Astrammia rara</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	1	2	-	31	26	-	
	<i>Astrammia rara</i> sp.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
	<i>Miliammina</i> sp.	-	-	-	5	3	-	9	7	-	3	12	-	
	<i>Glomospira</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
	<i>Verneulina minuta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	12	-	
	<i>Vanhoeffenella gaussi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
	<i>Recurvodes controtus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
	Aglutinado 1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Aglutinado 2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	
Calcáreos	Hialino	<i>Fursenkoina fusiformis</i>	4	-	-	17	1	-	-	1	-	-	-	
		<i>Bolivina pseudopunctata</i>	3	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	
		<i>Pullenia</i> sp.	3	7	-	26	19	-	-	-	-	-	45	-
		<i>Globocassidulina biora</i>	14	14	6	-	-	-	-	-	-	-	-	1
		<i>Nodosaria</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
		<i>Nonionella iridea</i>	-	-	-	-	-	-	12	5	-	-	-	-
		<i>Nonionella bradii</i>	-	-	-	-	-	-	205	23	-	7	-	-
		<i>Fursenkoina davisii</i>	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
		<i>Cassidulinoides</i> sp.	17	3	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-
		<i>Buccella frigida</i>	16	-	-	-	-	-	-	-	-	111	-	-
		<i>Fissurina laevigata</i>	-	-	-	-	-	-	2	-	-	9	6	-
		<i>Globocassidulina</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	2	-
		<i>Lotostomoides calamorphum</i>	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Porcelanado	<i>Pyrgo</i> sp.1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
	<i>Pyrgo</i> sp.2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

### 6.2.3. Composición por tipo de testa

Se identificaron tres grupos testales. El grupo de los calcáreos estuvo compuesto por 15 taxa, de estos solo dos taxa fueron de testa porcelanada. Se identificaron hasta especie el 60% y hasta género el 40%. Los tectináceos estuvieron conformados por un total de 12 taxa; de este grupo se identificó hasta Género el 58% de las especies encontradas mientras el 42% se consideró dentro de la Familia Allogromiidae. El grupo de los aglutinados estuvo conformado por un total de 15 taxa de los cuales se identificaron hasta especie el 60%, hasta género el 27% y un 13% se le consideró orden Textulariida.

En la estación EN (127 m) el grupo de los calcáreos presentó una marcada dominancia conformando el 92% del total de individuos. Dentro de este grupo testal, sólo se registró un individuo del grupo de los calcáreos porcelanados perteneciente al género *Pyrgo*, el cual representó el 1.1% y el 1% del total de individuos de la estación. Los tectináceos y aglutinados tan sólo conformaron el 3% y 5 %, respectivamente. La estación EP1 (261 m), ubicada en la plataforma de la PA, la conformación testal fue de 50 % aglutinados, 21% tectináceos y 29% calcáreos (100% por calcáreos hialinos). Para la EP2 (325 m), estación adyacente a la anterior mencionada, la composición por grupo testal fue de 54% calcáreos, gran parte de este porcentaje (90%) lo brinda la especie *Nonionella bradii* por sí sola, la contribución del género *Pyrgo* fue mínima (0.2%), los aglutinados conformaron un 28% mientras que los tectináceos un 18%. Finalmente, la composición testal más profunda ET (358 m) y a su vez la más meridional de las estaciones, fue de 51% aglutinados, 18% tectináceos y 31% calcáreos.

La densidad de los tectináceos y aglutinados mostró un aumento gradual en el gradiente batimétrico estudiado (Fig. 15), en tanto que el patrón en la densidad de los calcáreos fue más errático.



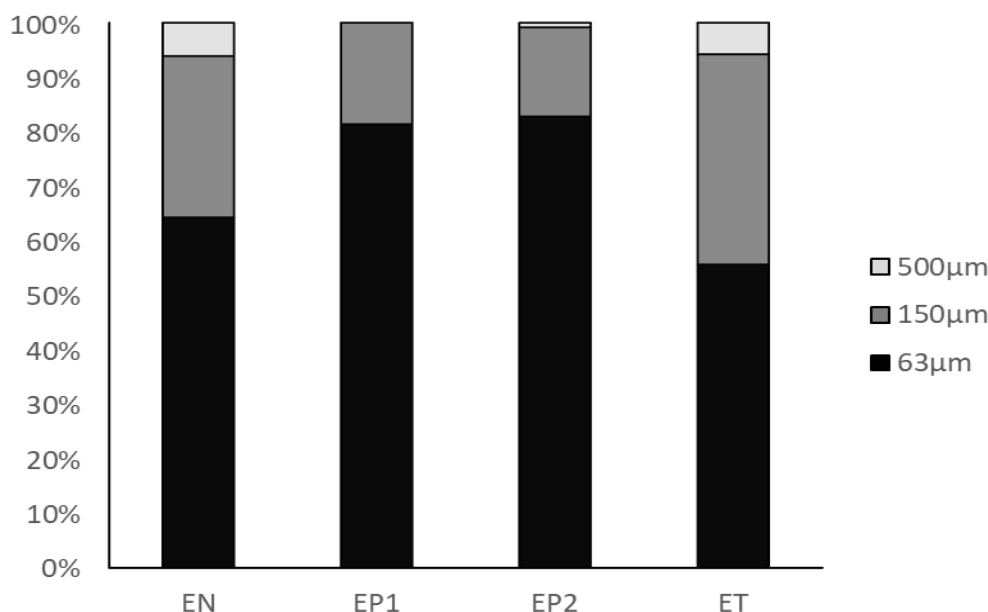
**Figura 15.** Contribución de los grupos testales por estación. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET).

#### 6.2.4. Composición por espectro de tamaño

Para las cuatro estaciones, la fracción de menor tamaño (63-150  $\mu\text{m}$ ) fue la dominante, pero sólo superó el 80% de representación en las estaciones EP1 y EP2 (Fig. 16). Las estaciones (EN y ET) registraron testas teñidas con tamaños mayores a 500  $\mu\text{m}$  (6 %), a diferencia de las estaciones ubicadas en la plataforma de la PA, en donde la EP2 fue la única estación que presentó testas teñidas mayores a 500  $\mu\text{m}$  (1%). La contribución en el espectro mediano (150 a 500  $\mu\text{m}$ ) fue de 39% y 30% en las estaciones ET y EN, respectivamente; mientras que en las estaciones P1 y P2 el porcentaje de testas teñidas dentro de la fracción mediana fue menor a 20%.

Las especies como *Pullenia* sp. y *Cassidulinoides* sp., que superaron el 5% de frecuencia en cada estación, estuvieron en más de un espectro de tamaño (Fig.13). *Buccella frigida* fue encontrada solo en la fracción menor (63-150  $\mu\text{m}$ ), por el contrario, *Globocassidulina biora* presentó individuos en los tres espectros de tamaño de esta estación (Tabla 2).





**Figura 16.** Representación de los espectros de tamaño. Estación Nelson (EN), estación península 1 (EP1), estación península 2 (EP2) y estación Trinidad (ET).

En la estación EP1 hubo también individuos del espectro pequeño y mediano de *Pullenia* sp. con mayor cantidad en el espectro pequeño (26 ind/10cm<sup>2</sup>) que en el mediano (19 ind/10cm<sup>2</sup>); ocurrió lo mismo en esta estación con el aglutinado *Nodulina dentaliniformis* (46 y 19 ind/10cm<sup>2</sup>). En la estación EP2 se halló un alto número de individuos de la especie *Nonionella bradii* (205 ind/cm<sup>2</sup>) en el espectro más pequeño, siendo más del 50% del total en este espectro para esta estación; se reportó un número mucho menor en el espectro mediano (23 ind/10cm<sup>2</sup>). También en la EP2, *Reophax bilocularis* exhibió densidad similar en el espectro menor (24 ind/cm<sup>2</sup>) y el mediano (29 ind/cm<sup>2</sup>). En la estación más profunda (ET), *Psammophaga* sp.4, uno de los dos únicos tectináceos con más de 5% de representación, ocurrió en más de un espectro de tamaño (pequeño: 36 ind/cm<sup>2</sup> y mediano: 3 ind/cm<sup>2</sup>). El otro tectináceo con >5% fue *Pseudopsammophaga* sp. y sólo fue hallado en el espectro más pequeño.

Cabe resaltar que hubo especies que estuvieron presentes en distintos espectros de tamaño, pero no en la misma estación como *R. pilulifer*, la cual estuvo exclusivamente en el espectro de 63-150 µm en la EP1, pero presentó individuos con tamaños >500 µm en EP2 y así también en el espectro de 150-

500  $\mu\text{m}$  y  $>500 \mu\text{m}$  en ET, mas no se visualizan en la figura 17 ya que su representación para las dos últimas estaciones fue menos al 5% (otros). *Lagenammia* sp.1 se encontró en EP2 con tamaños de testa mayores a 500  $\mu\text{m}$  mientras que en ET sólo en tamaños del espectro 63-150  $\mu\text{m}$ . *Lagenammia* sp. 2 presentó individuos de 63-150  $\mu\text{m}$  en EP1 y de 150-500  $\mu\text{m}$  en ET.

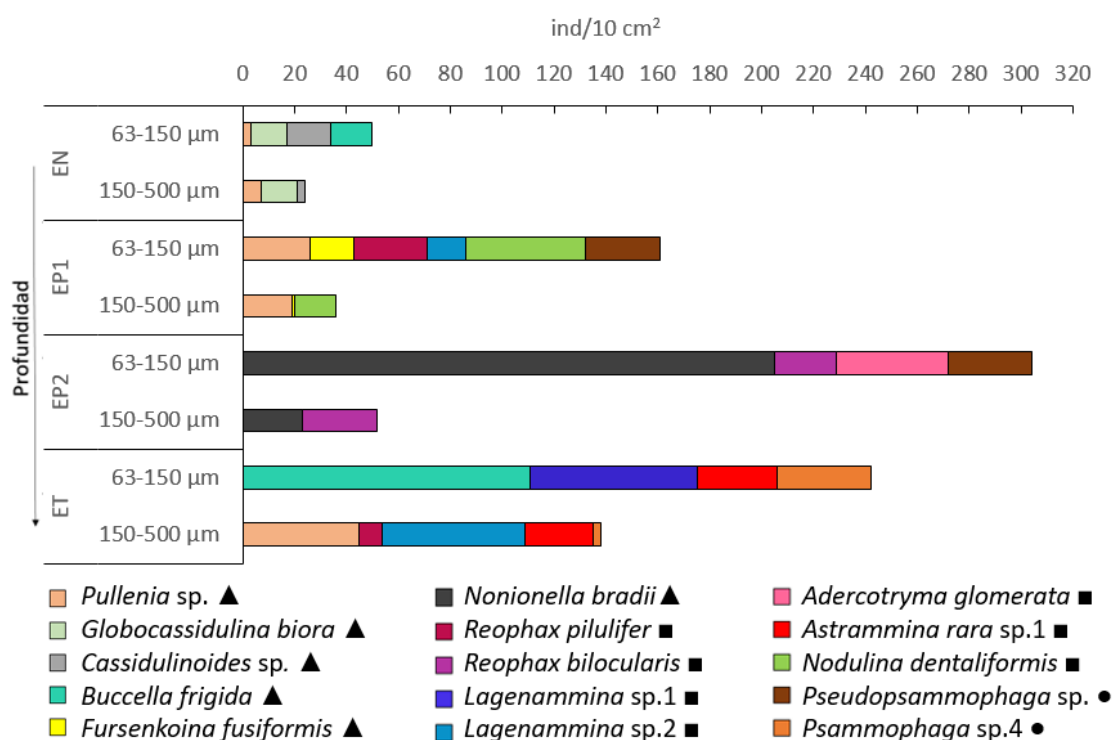
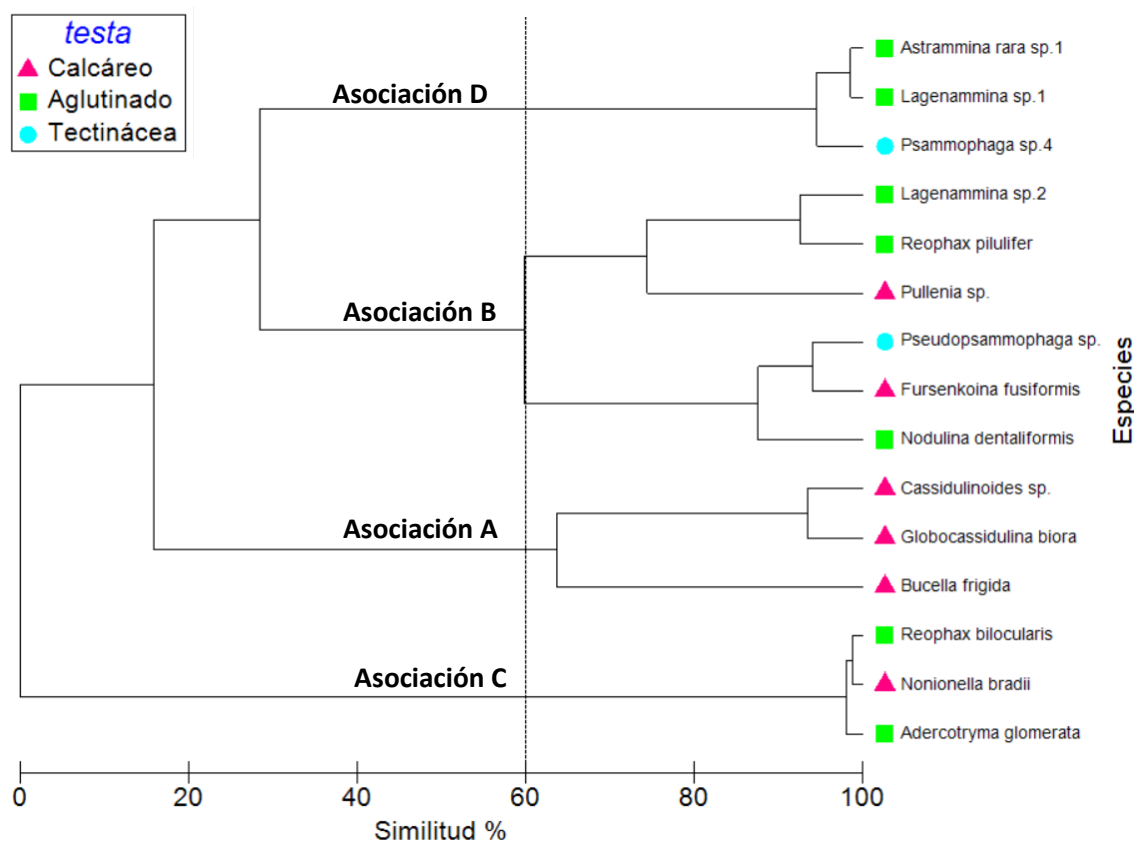


Figura 17. Composición de las especies para los dos espectros de tamaño más relevantes (63-150 y 150-500  $\mu\text{m}$ ), basado en aquellas especies  $>5\%$  de frecuencia.  $\blacktriangle$ : Calcáreo,  $\blacksquare$ : Aglutinado,  $\bullet$ : Tectinácea.

### 6.2.5. Agrupamiento de especies

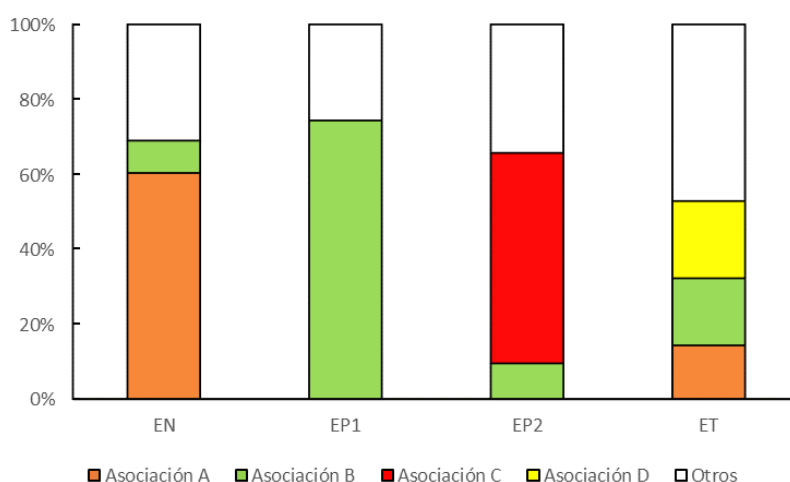
El análisis de agrupamiento mostró cuatro asociaciones de especies con similitud mayor al 60% (Fig.18). La asociación A la conformó *Cassidulinooides* sp., *G. biora* y *B. frígida* y fue el único grupo conformado por solo un grupo testal. La asociación B está conformada por *Pullenia* sp., *Lagenammia* sp. 2, *R. pilulifer*, *Pseudopsammophaga* sp., *F. fusiformis* y *N. dentaliformis*; además es el grupo menos similar con 60% de similitud. La asociación C la conformaron *R.*

*bilocularis*, *N. bradii* y *Adercotryma glomerata*; este grupo presento mayor similitud entre sus especies con 98% de similitud. La asociación D la conformaron *Astrammmina rara* sp. 1, *Lagenammmina* sp. 1 *Psammophaga* sp. 4.



**Figura 18.** Análisis de agrupamiento basado en el índice de Bray-Curtis para las especies más frecuentes (>5%). EN: Estación Nelson, EP1: Estación Península 1, EP2: Estación Península 2 y ET: Estación Trinidad.

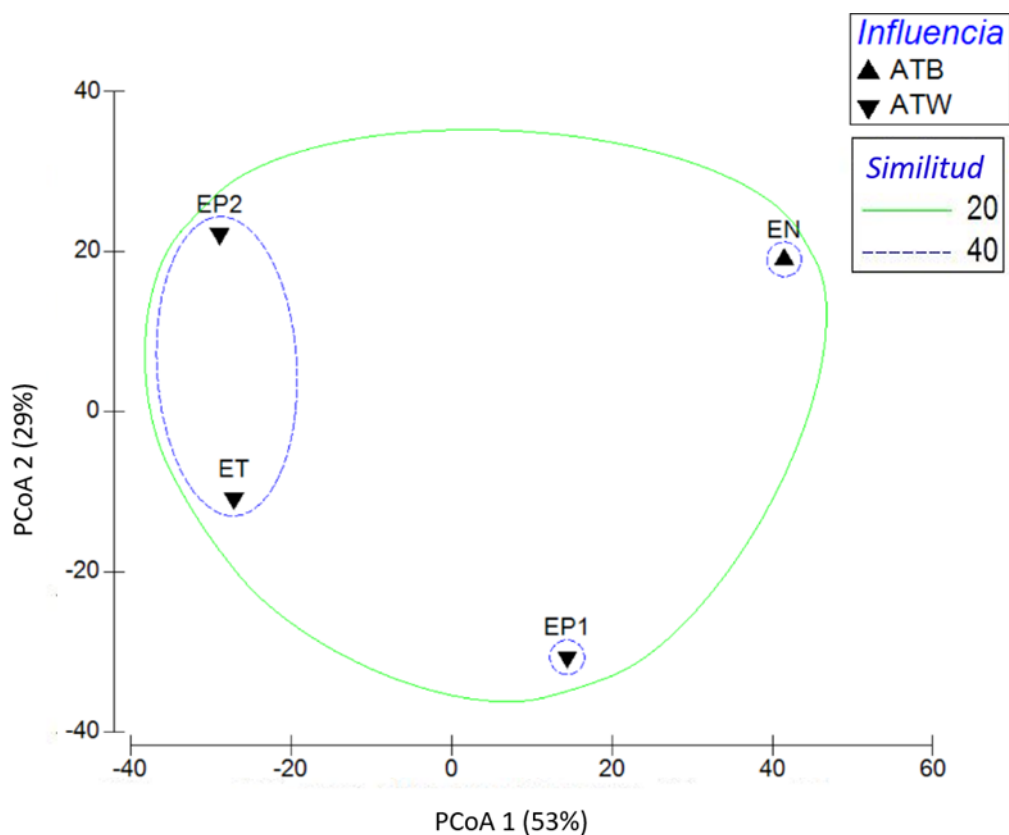
La estación EN estuvo dominada por la asociación de especies A con un 60% de representación y también tuvo la presencia de la asociación B con 9% de representación. La estación EP1 fue dominada por la asociación B con 74% de representación. La estación EP2 estuvo dominada por la asociación C con 56% y también tuvo la presencia de la asociación B en un 9%. La contribución de las 3 asociaciones en la estación más profunda ET fue más uniforme; asociación A, B y D con 14, 18 y 21% respectivamente (Fig.19).



**Figura 19.** Asociaciones de especies que componen las estaciones. EN: Estación Nelson, EP1: Estación Península 1, EP2: Estación Península 2 y ET: Estación Trinidad. Otros: especies con representación <5%

### 6.2.6. Similitud entre estaciones

El componente principal 1 (PCO1) explicó 53% de la variabilidad mientras que el PCO2 lo hizo con 29%, resultando en un acumulado de 82% de la variabilidad entre estaciones tomando como atributo la abundancia de especies (Fig. 20). El análisis de agrupamiento (*cluster*) modo Q, comparó la similitud entre muestras, es decir, la densidad de individuos encontrados en las estaciones y representó el agrupamiento de las estaciones en burbujas por similitud >20 y >40% y por influencia de zona de transición siendo ATW: Zona de transición con influencia del Mar del Weddell y ATB: Zona de transición con influencia del Mar de Bellingshausen (Fig. 20). Las estaciones más similares entre fueron EP2 y ET con más de 40% de similitud. Las estaciones geográficamente más adyacentes EP1 y EP2 sólo fueron similares en un 31%; las estaciones EP2 y EN sólo mostraron un 25% de similitud; y, por último, las estaciones que más difirieron entre sí fueron la estación más somera EN y la más profunda ET (23%).



**Figura 20.** Análisis de coordenadas principales (PCoA), basado en el índice de Bray-Curtis representando la similitud modo Q entre las estaciones utilizando como atributo la abundancia. La burbuja verde contiene a las estaciones más de 20% de similitud y la burbuja azul punteada contiene a las estaciones con más de 40% de similitud. Los triángulos están presentes en las estaciones influenciadas por la ATB (Zona de transición con influencia del Mar de Bellingshausen) y los triángulos invertidos están presentes en las estaciones influenciadas por la ATW (Zona de transición con influencia del Mar del Weddell).

### 6.3. Relación entre parámetros ambientales y bióticos

El coeficiente de correlación Spearman mostró que no hubo correlaciones significativas entre parámetros bióticos y parámetros abióticos (agua de fondo y sedimento). Se encontró una correlación negativa entre el OD y los FPT ( $p < 0.01$ ) mientras que una correlación positiva entre Cl-a y la razón Cl-a:Feop.

**Tabla 3.** Matriz de correlación de Spearman entre parámetros bióticos (agua de fondo y sedimento) contra parámetros bióticos.

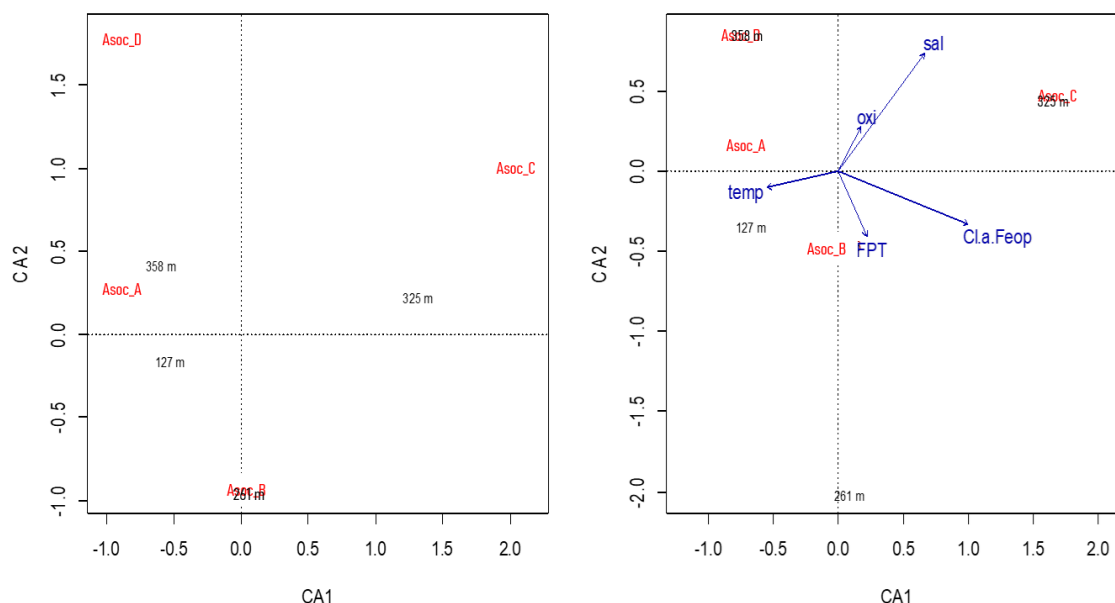
		Parámetros Abióticos					
		OD	Temp	Sal	Cl-a	Cl-a:Feop	FPT
Parámetros Abióticos	OD	1.000	-0.200	-0.316	-0.400	-0.400	-1,000**
	Temp	-0.200	1.000	-0.316	-0.800	-0.800	0.200
	Sal	-0.316	-0.316	1.000	0.316	0.316	0.316
	Cl-a	-0.400	-0.800	0.316	1.000	1,000**	0.400
	Cl-a:Feop	-0.400	-0.800	0.316	1,000**	1.000	0.400
	FPT	-1,000**	0.200	0.316	0.400	0.400	1.000
Parámetros Bióticos	Tectináceos	0.800	-0.400	0.316	-0.200	-0.200	-0.800
	Aglutinados	0.800	-0.400	0.316	-0.200	-0.200	-0.800
	Calcáreos	0.200	0.600	0.316	-0.800	-0.800	-0.200
	>500µm	0.200	0.600	0.316	-0.800	-0.800	-0.200
	500-150µm	0.800	-0.400	0.316	-0.200	-0.200	-0.800
	150-63µm	0.400	-0.800	0.632	0.400	0.400	-0.400
	Densidad	0.800	-0.400	0.316	-0.200	-0.200	-0.800
	S	0.800	0.400	-0.632	-0.800	-0.800	-0.800
	d	0.800	0.400	-0.632	-0.800	-0.800	-0.800
	H	0.800	0.400	-0.632	-0.800	-0.800	-0.800
	Lam	0.800	0.400	-0.632	-0.800	-0.800	-0.800
	Asociación A	-0.316	0.949	0.000	-0.738	-0.738	0.316
	Asociación B	0.800	-0.400	-0.632	0.000	0.000	-0.800
	Asociación C	-0.258	-0.775	0.816	0.775	0.775	0.258
Asociación D	0.775	0.258	0.000	-0.775	-0.775	-0.775	

\*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

\*\*.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Para los parámetros bióticos (riqueza y densidad), no se encontraron diferencias significativas entre estaciones (prueba de Kruskal-Wallis,  $H_{(3,3)}$ ,  $p=0.39$ ).

El análisis de correspondencia (Fig. 21) permite mostrar algunas características sobre las estaciones y los potenciales factores ambientales que modulan la presencia de cada asociación. La asociación A y D como también la estación más profunda (ET: 358m) se ubican en el cuadrante donde la razón (Cl-a:Feop) y los FPT son bajos. La asociación C se encuentra fuertemente relacionada con la estación EP2 (325m) y se ubica en el cuadrante donde la salinidad es mayor. La asociación B parece estar estrechamente relacionado a los FPT.



**Figura 21.** Análisis de correspondencia de las asociaciones con las cuatro estaciones de muestreo y parámetros abióticos. 127 m: EN, 261 m: EP1, 325 m: EP2 y 358 m: ET.

## 7. DISCUSIONES

### 7.1. Distribución espacial de las variables ambientales

#### 7.1.1. Agua de fondo

Los patrones de distribución de la temperatura en esta tesis coincidieron con los patrones presentados por Huneke et al. (2016) para el periodo del año 2013 y por Sangrá et al., (2011) para 2010, correspondientes a la zona de transición con influencia del Mar de Bellingshausen (ZTB) y a la zona de transición del Mar de Weddell (ZTW). Sangrá et al. (2011) encontraron que la lengua de aguas profundas circumpolares se extiende a lo largo de todo el talud de las iSS, a diferencia de este trabajo que solo la encontró en el sur como se observa en la figura 8 en el perfil 1 y 2. El agua de fondo de la estación ET, exactamente al occidente de la isla Trinidad y a la profundidad de esta estación (358 m), la domina las aguas frías de ZTW como se observa en el perfil 1 de la figura 8 (Tokarczyk, 1987), aunque superficialmente sea la entrada de agua proveniente del Mar de Bellingshausen que va en dirección norte transportada por la corriente



de Bransfield (Sangrá et al., 2017). La estación EN se ubica dentro de la ZTB y presentó una temperatura ligeramente menor a la esperada ( $-0.28^{\circ}\text{C}$ ) (Huneke et al., 2016), a pesar de eso fue la temperatura más alta de todas las estaciones. En cuanto a las estaciones EP1 y EP2, ubicadas dentro de la ZTW, fueron las que presentaron las temperaturas más bajas ( $<-1^{\circ}\text{C}$ ), lo cual se debe a que están ubicadas más cerca a la entrada, en el Noreste de la isla Joinville, de la masa de agua que proviene del frío Mar de Weddell figura 8 perfiles 3 y 4 (Huneke et al., 2016).

Valores de salinidad similares a los encontrados fueron reportados por Huneke et al. (2016); siendo el agua de fondo de las estaciones ET, EP1 y EP2 muy cercanos como puede verse en el perfil 8 de la figura 9. Sangrá et al. (2011), por su parte, reportaron valores de 34.6 ppm entre los 375 a 550 m para la zona adyacente a las iSS que corresponderían a la lengua de agua profunda circumpolar. Estos valores no se visualizaron en esta tesis.

Los valores de OD disminuyeron a partir de los 200 m, donde pudo notarse la clara presencia de una lengua profunda circumpolar (Sangrá et al., 2017). Todas las estaciones presentaron valores que se consideran altos de OD en el agua de fondo, siendo las más oxigenadas las que se ubicaron adyacentes a la PA (EN, EP1 y EP2) como se observa en la figura 10, esta elevada oxigenación en general se debe a las bajas temperaturas del agua, ya que mientras sea menor temperatura de agua la solubilidad de gases aumenta.

### **7.1.2. Sedimento**

Los FPT en el sedimento variaron desde 2.9 a 7.3  $\mu\text{g/g}$  siendo valores altos comparados con los reportados para profundidades mayores a 400 m a lo largo del centro del EB (0.7  $\mu\text{g/g}$ ) en el verano austral del 2013 (Veit-köhler et al. 2018). Los valores más bajos de Cl-a, FPT y razón Cl-a: Feop se ubicaron en la estación más profunda (ET) ubicada al suroeste del EB, al sur del occidente de la PA como se ve claramente en la figura 7.

Dorschel et al. (2016) encontraron que las concentraciones de clorofila-a (PP) en superficie fueron menores hacia la zona adyacente a la PA y mayor alrededor de las iSS para el periodo de 2003-2013, lo cual podría explicar estos resultados; sin embargo, las otras dos estaciones también ubicadas adyacentes a la PA (EP1:0.9  $\mu\text{g/g}$  y EP2 1.25  $\mu\text{g/g}$ ) registraron valores mayores a 0.8  $\mu\text{g/g}$  en la estación EN, ubicada en la zona de alta productividad.

Palanques et al., 2002 afirmaron que en el EB existe una alta tasa de transporte lateral de sedimentos e inclusive de diatomeas bentónicas de una zona del EB a otra, y puede ocurrir que éstas sean resuspendidas de ambientes más someros y/o productivos hacia cuencas o depresiones donde terminan depositándose. Es posible que las estaciones EP1 y EP2 estén ubicadas en una de las varias depresiones que tiene la plataforma continental occidental de la PA (Veit-köhler et al., 2018) ya que entre estas dos estaciones hay más de 60 m de diferencia en cuanto a su profundidad, pero solo están distanciadas por 343 m (0.19 mn). Esto explicaría los altos valores de pigmentos fotosintéticos.

## **7.2. Patrones de distribución espacial**

### **7.2.1. Densidad y diversidad en relación a la profundidad**

Un total de 42 taxa de foraminíferos bentónicos vivos (teñidos) fueron identificados en el EB en el mes de enero del 2018, a diferencia de Bordelon (2009) que encontró 70 taxa en el Suroeste del EB en el mes de abril del 2008. Sin embargo, hay que considerar que en esta tesis sólo se cuantificó las especies del primer centímetro de sedimento mientras que el de Bordelon (2009) consideró los 10 primeros centímetros, encontrando las mayores densidades en los primeros dos centímetros.

El análisis de similitud entre estaciones (Fig. 20) que utiliza como atributo la densidad de especies mostró que las estaciones que sobrepasaron los 300 m de profundidad (EP2 y ET) eran las más similares, cuando lo esperado hubiera sido que las estaciones ubicadas geográficamente más adyacentes (EP1 y EP2) lo

fueran, ya que están influenciadas con igual intensidad por las aguas provenientes del Mar de Weddell. Esto sugiere que la concentración de algún factor ambiental en estos rangos de profundidad mayores a 300 m modula en mayor grado la abundancia de especies de foraminíferos bentónicos en el EB que la ubicación geográfica. Todos los factores ambientales que se analizaron entre la estación EP1 y EP2 resultaron ser más similares entre sí que con cualquiera de las otras estaciones, con lo que parecería que el factor modulante de las asociaciones no es ninguno de los que esta tesis presenta. En el caso específico del Mar de Ross, Kennett (1968) propuso rangos de profundidad cuyos límites estuvieron basados en los cambios en la composición de las especies de foraminíferos bentónicos nominándolos como zonas faunales batimétricas, con esto pudo relacionar que por encontrarse el límite de disolución de carbonatos de calcio en el mismo rango de profundidad que una de las zonas faunales que identificó sería este el factor modulante, pero no pudo confirmar cuales fueron los factores que modulaban otras 3 zonas batimétricas. Se podría suponer que el factor diferencial en estas dos estaciones es un tipo de alimento no analizado por no ser un organismo fotosintético, se sabe que los foraminíferos pueden alimentarse de varias fuentes con tal que tengan tamaños  $<50 \mu\text{m}$  siendo las bacterias uno de los alimentos más consumidos (Lipps & Valentine, 1970) como también larvas de metazoarios (Dayton, 1990).

Los valores del índice de Shannon-Wiener ( $H$ ) que Bordelon (2009) halló al final del verano (abril) ( $H:2.71$ ) y en invierno (junio) ( $H:2.77$ ) fueron muy similares a los de la estación ET ( $H:2.76$ ), lo que podría deberse a que geográficamente esta estación se encuentra cerca de la zona de muestreo de Bordelon (2009) (suroeste del EB), sin embargo, se diferenció en que todos sus puntos de muestreo se encontraron a mayores profundidades (580-1227 m), mostrando que en profundidades mayores a 300 m parece haber una mayor diversidad de especies, la cual no aumenta a partir de esta profundidad sino que llega a estabilizarse, ya que Bordelon (2009) no encontró diferencia entre los índices de diversidad de Shannon-Wiener de sus estaciones.

### 7.2.2. Factores influyentes sobre los foraminíferos calcáreos.

La proporción de aglutinados: calcáreos mostró que las estaciones adyacentes a la PA (ZTW) presentaron mayor cantidad de testas aglutinadas (Fig. 15) a excepción de la estación EP2 en donde los calcáreos aumentan por la alta densidad de una sola especie (*N. bradii*) (Fig.17). Esta distribución también fue observada por Herb (1971), quien mostró una proporción mayor de testas calcáreas para la ZTB en el EB, mientras que hacia la ZTW la proporción de aglutinados fue la dominante.

La asociación de especies A conformado únicamente por calcáreos dominó en la estación más somera que a su vez es la única estación bajo la influencia del mar de Bellingshausen, sin embargo, también estuvo presente en porcentajes menores a 9% (Fig. 19) en la estación más profunda. La profundidad si bien es un factor altamente modulante del grupo calcáreo es en gran parte debido a la ubicación de la CCD pues bajo esta se imposibilita la formación de testas calcáreas (Hughes et al., 2000). Sin embargo, la CCD no fue tomada como un limitante para el desarrollo de especies calcificantes ya que Ishman & Domack, (1994) reportaron que la asociación dominada por especies calcáreas (principalmente *Fursenkoina* spp.) que hallaron en el EB se vio limitada por la CCD a partir de los 900 m, profundidad fuera del rango estudiado en esta tesis.

Kennett (1968) por otro lado notó una disminución de los organismos calcáreos a partir de profundidades menores a 900 m en el Mar de Ross, proponiendo un límite en la solución de carbonato de calcio a los 550 m, a partir de la cual el grupo de los aglutinados fue dominante. Este autor atribuyó altas cantidades de carbonatos a la alta instauración del agua hasta profundidades de 450-550 m en el Mar de Ross, las mismas que son causadas por las bajas temperaturas (0 a -2°C) y altas salinidades (34.75 a 35 ppm) marcando un límite a esa profundidad en la solución de carbonato de calcio en el agua. Se puede con ello inferir que la influencia de la CCD a profundidades menores a 400 m es nula permitiendo el desarrollo de asociaciones calcáreas.

La estación EP2 reportó una gran contribución (90%) a la composición de calcáreos con la especie *N. bradii*, especie reportada como típica de sedimentos ricos en materia orgánica en el EB (Ishman & Domack, 1994), junto con especies como *F. fusiformis* y *N. iridea*, también reportadas en esta misma estación. Estas especies entonces podrían estar aprovechando la calidad de alimento en esta estación ya que fue la que presentó los valores más altos de razón CI-a: Feop (0.29). Por otro lado, el análisis de correspondencia (Fig. 21) mostró que la asociación A, conformado por los calcáreos *Cassidulinoidea* sp., *G. biora* y *B. frígida*, no parece relacionarse a ambientes con altos contenidos de FPT o con una alta calidad del alimento (razón CI-a: Feop) ni por ninguno de los factores abióticos presentados en esta tesis.

Es importante mencionar que existen factores ambientales sedimentarios importantes que pueden estar modulando la composición y proporción de las asociaciones, que no se han incluido en este trabajo. La granulometría es determinante en la distribución de las asociaciones debido a que las características físicas del sedimento hacen a algunas estrategias de alimentación más efectivas que otras, lo cual crea una selectividad de microhábitats (Linke & Lutze, 1993). Magno et al. (2012) encontró que trece de las especies que encontró presentaban correlaciones significativas con distintos tamaños grano de sedimento, concluyendo que el tipo de sedimento tenía una alta influencia sobre las especies. Veitkhler (2018) menciona que los FPT, la razón CI-a: Feop y la proporción arcilla-limo son los factores que hacen que las comunidades meiofaunales del EB y las del Mar de Weddell presenten diferencias significativas.

### **7.2.3. Factores influyentes sobre los foraminíferos aglutinados.**

La densidad de los aglutinados presentó un patrón de aumento con la profundidad. Normalmente se espera que exista una mayor densidad de organismos bentónicos en general en ambiente con alto contenido de fitopigmentos en el sedimento, pero para los foraminíferos esta relación es más fuerte en los de testa calcárea que para los aglutinados (Moho et al., 2008).

Cornelius & Gooday (2004) mencionan que las zonas con depresiones del lado de influencia de Mar de Weddell son dominados por el grupo aglutinado entre los 860 – 1920 m. La estación ET (358 m) mostró una gran densidad de foraminíferos de testa aglutinada (>300 ind/10cm<sup>2</sup>) con una representación >50% (Fig. 15), desplazando a los foraminíferos calcáreos en dominancia. A su vez, esta estación presentó los valores más bajos en los valores derivados de fitopigmentos (FPT: 2.98 µg/g, Cl-a: 0.27 µg/g y razón Cl-a: Feop: 0.10). Moho et al. (2008) sugiere que los foraminíferos calcáreos son más sensibles a la falta de materia orgánica lábil y los aglutinados al parecer han desarrollado adaptaciones metabólicas a la falta de alimento lábil (Linke, 1992).

#### 7.2.4. Influencia de la profundidad sobre la distribución

Resulta complicado separar el efecto de la profundidad sobre otros factores, sin embargo, es uno de los parámetros más estudiados en cuanto a la distribución de foraminíferos bentónicos. El trabajo de Cornelius & Gooday (2004) es uno de los pocos relacionados a tectináceos en Antártica, en el cual se reportan porcentajes representativos en zonas profundas del Mar de Weddell, contribuyendo con 16% y 28% en profundidades batiales y abisales, respectivamente. La identificación a nivel de especie resulta dificultosa para este grupo, y tanto esta tesis como el trabajo citado evidencian esta limitante. Sin embargo, sus densidades (17%) reflejan la importancia de su inclusión en estudios ecológicos.

La asociación C conformado por *R. bilocularis*, *N. bradii* y *Adercotryma glomerata*; dominó en la estación EP2 y está relacionado con las características típicas del Mar de Weddell (aguas frías, con salinidad relativamente alta y mejor oxigenadas). Por el contrario, Bordelon (2009) encontró que el aglutinado *A. glomerata* fue una especie representativa de la parte sur adyacente a las iSS, zona de influencia de las cálidas y relativamente poco oxigenadas aguas profundas circumpolares. Los géneros calcáreos *Cassidulinoides*, *Fissurina* y la especie aglutinada *A. glomerata* fueron reportados como típicas de profundidades menores a 270 m en el Mar de Ross (Kennett, 1968); no obstante,

los dos últimos taxa mencionados se encontraron en el EB a profundidades mayores a 350 m.

Se ha observado los rangos de profundidad a los que se encuentran algunas especies para una zona específica del EB puede cambiar radicalmente en otro ambiente, inclusive si este aún sigue perteneciendo al Océano Austral (Kennett, 1968). Esto se debe a que los distintos ambientes marinos de la Antártida presentan características oceanográficas dominantes específicas que entre otras cosas van a modelar la profundidad del límite de solución de carbonatos. Es así que se dificulta la comparación de distribuciones batimétricas entre las mismas especies que provienen de distintos ambientes Antárticos.



## 8. CONCLUSIONES

En total, se determinaron 42 taxones de foraminíferos bentónicos en el ensamble del EB, de los cuales los de testa dura (aglutinados y calcáreos) dominaron sobre los de testa suave (tectináceos) con testas muy pequeñas (63 a 150  $\mu\text{m}$ ).

La densidad y diversidad de especies mostraron una tendencia al aumento con la profundidad de las estaciones, al igual que la densidad de los grupos de testa aglutinada y tectinácea. La estación más profunda presentó el valor más bajo en términos de dominancia.

Ninguno de los parámetros ambientales incluidos en esta investigación explicó la variabilidad de los parámetros bióticos por lo que no se rechaza la hipótesis nula 1 y 2.

Se encontraron cuatro asociaciones de especies con una mejor distribución de la asociación conformada por *Pullenia* sp., *Lagenammia* sp. 2, *R. pilulifer*, *Pseudopsammophaga* sp., *F. fusiformis* y *N. dentaliniformis* en todas las estaciones. No obstante, no mostraron un patrón batimétrico definido por lo que se rechaza parcialmente la hipótesis nula 3 además de no encontrar factor alguno que explica la variación de cada asociación.

Las estaciones con mayor similitud entre sí fueron las estaciones que se encontraban dentro de la zona de transición del mar de Weddell siendo la estación influenciada por el mar de Bellingshausen la menos similar a las demás en cuanto a densidad de especies.

## 9. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios se recomienda tener réplicas de las muestras de sedimento para reforzar los resultados de los análisis estadísticos (Schönfeld et al. 2012).

La inclusión de otros parámetros ambientales sedimentarios como granulometría, concentración de materia orgánica total (MOT) y concentración de carbono orgánico total (COT) brindarían una gran cantidad de información ecológica sobre las preferencias ambientales de las asociaciones de foraminíferos bentónicos.

El análisis de la distribución vertical del ensamble de foraminíferos bentónicos en los primeros centímetros de sedimento es un análisis que junto con el de la distribución vertical de factores ambientales sedimentarios (clorofila y derivados, MOT, COT y granulometría), crean un enfoque mucho más explicativo en términos ecológicos de la preferencia de microhábitats que poseen distintas especies de foraminíferos.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adl, S.M., Bass, D., Lane, C.E., Lukeš, J., Schoch, C.L., Smirnov, A., Agatha, S., Berney, C., Brown, M.W., Burki, F., Cárdenas, P., ... V. and Zhang, Q. (2019), Revisions to the Classification, Nomenclature, and Diversity of Eukaryotes. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 66: 4-119. <https://doi.org/10.1111/jeu.12691>.

Altenbach, A & Sarnthein, M. (1989). Productivity record in benthic foraminifera. En *Productivity of the Ocean: Present and Past*. pp 255-269.

Amesbury, M. J., Roland, T. P., Royles, J., Hodgson, D. A., Convey, P., Griffiths, H., & Charman, D. J. (2017). Widespread Biological Response to Rapid Warming on the Antarctic Peninsula. *Current Biology*, 27(11), 1616–1622.e2. doi:10.1016/j.cub.2017.04.034

Anderson, J. (1975). Ecology and Distribution of Foraminifera in the Weddell Sea of Antarctica. *Micropaleontology*, 21(1), 69-96. doi:10.2307/1485156

Berger W.H. (2016). Calcite Compensation Depth (CCD). In: Harff J., Meschede M., Petersen S., Thiede J. (eds) *Encyclopedia of Marine Geosciences. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6238-1\\_47](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6238-1_47)

Bernasconi, E., Cusminsky, G., & Gordillo, S. (2019). Distribution of foraminifera from South Shetland Islands (Antarctic): Ecology and taphonomy. *Regional Studies in Marine Science*, 100653. doi:10.1016/j.rsma.2019.100653

Bernhard, J.M., (1986). Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research* 16 (3), 207–215.

Binczewska, A., Polovodova Asteman, I., & Farmer, E. J. (2015). Foraminifers (Benthic). En In: Harff J., Meschede M., Petersen S., Thiede J. (eds) *Encyclopedia of Marine Geosciences* (pp. 1-8). Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6644-0\\_60-1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6644-0_60-1).

Borcard, D., Gillet, F., & Legendre, P. (2011). *Numerical Ecology with R*. Library. New York, USA: Springer-Verlag New York

Boltovskoy, E. & Wright, R. (1976) *Recent Foraminifera*. Junk, The Hague, 515 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-2860-7>.

Bordelon, L, A. (2009) austral autumn and winter seasonal affects on benthic foraminiferal communities: bransfield and northern gerlache straits" (2009). Theses. Paper 150.

Boudagher-Fadel, M. (2018). Biology and Evolutionary History of Larger Benthic Foraminifera. In *Evolution and Geological Significance of Larger Benthic Foraminifera* (pp. 1-44).

- Bowser, S. S., & J. L. Travis. (2000). Methods for structural studies of reticulopodia, the vital foraminiferal "soft part." *Micropaleontology* 46, 47–56
- Burki, F. (2014). The Eukaryotic Tree of Life from a Global Phylogenomic Perspective. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 6(5), a016147. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a016147>
- Buzas, M. A., & Gibson, T. G. (1969). Species diversity: benthonic foraminifera in Western north atlantic. *Science (New York, N.Y.)*, 163(3862), 72-75. <https://doi.org/10.1126/science.163.3862.72>
- Cardich, J., Gutierrez, D., Romero, D., Perez, A., Quipuzcoa, L., Marquina, R., ... Rathburn, A. (2015). Calcareous benthic foraminifera from the upper central Peruvian margin: control of the assemblage by pore water redox and sedimentary organic matter. *Marine Ecology Progress Series*, 535, 63-87. <https://doi.org/10.3354/meps11409>
- Caromel, A., Schmidt, D., Fletcher, I. & Rayfield, E. (2015). Morphological Change during The Ontogeny Of The Planktic Foraminifera. *Journal of Micropalaeontology*. 35. [10.1144/jmpaleo2014-017](https://doi.org/10.1144/jmpaleo2014-017).
- Chang, S.-K., & Yoon, H. I. (1995). Foraminiferal assemblages from bottom sediments at Marian Cove, South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Micropaleontology*, 26(1-4), 223–232. doi:10.1016/0377-8398(95)00023-2
- Chapman, F. (1916) Report on the Foraminifera and Ostracoda from Elevated Deposits on the Shores of the Ross Sea, *Ibid. Geol.* 2(2): 25-52.
- Conrad, C. J., & Lovenduski, N. S. (2015) Climate-Driven Variability in the Southern Ocean Carbonate System. *J. Climate*, 28, 5335–5350, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00481.1>.
- Constable, A., Melbourne-Thomas, J., Corney, S., Arrigo, K., Barnes, D., Bindoff, N., Boyd, P., Brandt, A., Costa, D., Davidson, A., Ducklow, H., Emmerson, L., Fukuchi, M., Gutt, J., Hindell, M., Hofmann, E., Hosie, G., Iida, T., & Ziegler, P. (2014). Climate change and Southern Ocean ecosystems I: How changes in physical habitats directly affect marine biota. *Global change biology*. 20. [10.1111/gcb.12623](https://doi.org/10.1111/gcb.12623).
- Cook, A. J., Fox, A. J., Vaughan, D. G. & Ferrigno, J. G. (2005). Retreating glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the past half-century. *Science* 308, 541–544
- Cornelius, N., Gooday, A.J., (2004). 'Live' (stained) deep-sea benthic foraminifers in the western Weddell Sea: trends in abundance, diversity and taxonomic composition along a depth transect. *Deep-Sea Research II* 51, 1571–1602.
- Clarke, R., & Warwick, R. (2001). Clarke KR, Warwick RM. Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation, Primer-E: Plymouth. ResearchGate, (2nd edition). Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/221962838\\_Clarke\\_KR\\_Warwick\\_RM\\_Change\\_in\\_Marine\\_Communities\\_An\\_Approach\\_to\\_Statistical\\_Analysis\\_and\\_I\\_nterpretation\\_Primer-E\\_Ltd\\_Plymouth\\_UK](https://www.researchgate.net/publication/221962838_Clarke_KR_Warwick_RM_Change_in_Marine_Communities_An_Approach_to_Statistical_Analysis_and_I_nterpretation_Primer-E_Ltd_Plymouth_UK)

Dayton, P.K. (1990). Polar biology, In: Polar Oceanography, Part B: Chemistry, Biology, and Geology. W.O. SMITH, editor, Academic Press Inc., 631-685.

Dejardin, Rowan & Kender, S. & Allen, Claire & Leng, Melanie & Swann, George & Peck, Victoria. (2017). "Live" (stained) benthic foraminiferal living depths, stable isotopes, and taxonomy offshore South Georgia, Southern Ocean: Implications for calcification depths. *Journal of Micropalaeontology*. 37. 10.5194/jm-37-25-2018.

Dorschel, B., Gutt, J., Huhn, O., Bracher, A., Huntemann, M., Huneke, W., ... Herr, H. (2016). Environmental information for a marine ecosystem research approach for the northern Antarctic Peninsula (RV Polarstern expedition PS81, ANT-XXIX/3). *Polar Biology*, 39(5), 765-787. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1861-2>

Dowdeswell, J. & Bamber, J. (2007). Keel depths of modern Antarctic icebergs and implications for sea-floor scouring in the geological record, *Marine Geology* 243, (1–4), 120-131. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.04.008>.

Espino, M., Ayón, P., Cornejo, R., Alarcón, J., Vásquez, L., Quiñones, J., Correa, J. (2016). Ecosistema marino del estrecho de Bransfield, bahía Almirantazgo y alrededores de las islas Joinville y Elefante. *ANTAR XXII, 2014. Boletín instituto del mar del Perú*, 31(2), 229-294.

Finger, K. (1975). Benthic foraminifera from Deception island, 10(4), 134-135.  
 Finger, K., & Lipps, J. (1981). Foraminiferal Decimation and Repopulation in an Active Volcanic Caldera, Deception Island, Antarctica. *Micropaleontology*, 27(2), 111-139. <https://doi.org/10.2307/1485283>

Gazdzicki, A., & Majewski, W. (2003). Recent foraminifera from Goulden Cove of King George Island, Antarctica, 24(1), 3-12.

Gooday, A. J. (1988). A response by benthic Foraminifera to the deposition of phytodetritus in the deep sea. *Nature*, 332(6159), 70–73. doi:10.1038/332070a0  
 Gooday, A., Rothe, N., Bowser, S., & Pawlowski, J. (2014). Chapter 5.2. Benthic Foraminifera. In: De Broyer C., Koubbi P., Griffiths H.J., Raymond B., Udekem d'Acoz C. d', et al. (eds.). *Biogeographic Atlas of the Southern Ocean*. Scientific Committee on Antarctic Research, Cambridge, pp. 74-82.

Gordon, A. L., & Nowlin, W. D. (1978). The Basin Waters of the Bransfield Strait. *Journal of Physical Oceanography*, 8(2), 258-264. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1978\)008<0258:TBWOTB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1978)008<0258:TBWOTB>2.0.CO;2).

Gray, S. C., Sturz, A., Bruns, M. D., Marzan, R. L., Dougherty, D., Law, H. B., ... Marcou, M. (2003). Composition and distribution of sediments and benthic foraminifera in a submerged caldera after 30 years of volcanic quiescence. *Deep*

Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 50(10), 1727-1751.  
[https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(03\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(03)00090-0)

Groussin, M., Pawlowski, J., Yang, Z., (2011). Bayesian relaxed molecular clock analysis of divergence times: implications for the speciation timing in Foraminifera. *Molecular Phylogeny and Evolution* 61, 157–166.

Gutiérrez, D. (2000). Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on the bioturbation potential of macrofauna in sublittoral bottoms off central Chile, during the 1997-98 El Niño. *Marine Ecology Progress Series*, 202, 81-99.

Hallock, P. (2011). Foraminifera. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 416–421. doi:10.1007/978-90-481-2639-2\_80

Herb, R. (1971). Distribution of Recent Benthonic Foraminifera in the Drake Passage. *Antarctic Research Series*, 251–300. doi:10.1029/ar017p0251

Hromic, T., Cambolor, M., & Quezada, L. (2012). Foraminíferos Textuláridos en sedimentos someros recientes de la Península Antártica y su relación con el Área Subantártica Sudamericana. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 40(1), 125-138. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-686X2012000100017>

Huneke, W., Huhn, O., & Schröder, M. (2016). Water masses in the Bransfield Strait and adjacent seas, austral summer 2013. *Polar Biology*, 39(5), 789-798. <https://doi.org/10.1007/s00300-016-1936-8>

Ingels, J., Vanreusel, A., Brandt, A., Catarino, A. I., David, B., De Ridder, C., ... Robert, H. (2012). Possible effects of global environmental changes on Antarctic benthos: a synthesis across five major taxa. *Ecology and Evolution*, 2(2), 453-485. <https://doi.org/10.1002/ece3.96>

Ingels, J., Aronson, R. B., Smith, C. R., Baco, A., Bik, H. M., Blake, J. A., Brandt, A., Cape, M., Demaster, D., Dolan, E., Domack, E., Fire, S., Geisz, H., Gigliotti, M., Griffiths, H., Halanych, K. M., Havermans, C., Huettmann, F., Ishman, S., ... Zamora-Duran, M. A. (2021) Antarctic ecosystem responses following ice-shelf collapse and iceberg calving: Science review and future research. *WIREs Clim Change.*; 12:e682. <https://doi.org/10.1002/wcc.682>

Ishman, S. E., & Domack, E. W. (1994). Oceanographic controls on benthic foraminifers from the Bellingshausen margin of the Antarctic Peninsula. *Marine Micropaleontology*, 24(2), 119-155. [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(94\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0377-8398(94)90019-1)

Kannevorff, E., & Nicolaisen, W. (1972). The “Haps” a frame-supported bottom corer. *Ophelia*, 10(2), 119-128. <https://doi.org/10.1080/00785326.1972.10430108>

Karl, D.M., Tilbrook, B.D., and Tien, G., (1991). Seasonal coupling of organic matter production and particle flux in the western Bransfield Strait, Antarctica. *Deep-Sea Research*, vol. 38, pg. 1097-1126.



Kitazato, H., Shirayama, Y., Nakatsuka, T., Fujiwara, S., Shimanaga, M., Kato, Y., ... Suzuki, K. (2000). Seasonal phytodetritus deposition and responses of bathyal benthic foraminiferal populations in Sagami Bay, Japan: preliminary results from "Project Sagami 1996–1999." *Marine Micropaleontology*, 40(3), 135–149. doi:10.1016/s0377-8398(00)00036-0

Lande, R. (1996). Statistics and Partitioning of Species Diversity, and Similarity among Multiple Communities. *Oikos*, 76(1), 5-13. <https://doi.org/10.2307/3545743>

Francesca Leasi, Joseph L. Sevigny, Brandon T. Hassett, (2021). Meiofauna as a valuable bioindicator of climate change in the polar regions. *Ecological Indicators*, Volume 121, 2021, 107133, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107133>.

Linke, P., 1992. Metabolic adaptations of deep-sea benthic foraminifera to seasonally varying food input. *Marine Ecology Progress Series* 81, 51–63.

Linke, P., & Lutze, G. F. (1993). Microhabitat preferences of benthic foraminifera—a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition? *Marine Micropaleontology*, 20(3-4), 215–234. doi:10.1016/0377-8398(93)90034-u

Lipps J. & Valentine J. (1970). The role of foraminifera in the trophic structure of marine communities. *Lethaia* 3:279-286.

Lo Giudice Cappelli, E., & Austin, W. E. N. (2019). Size Matters: Analyses of Benthic Foraminiferal Assemblages Across Differing Size Fractions. *Frontiers in Marine Science*, 6. doi:10.3389/fmars.2019.00752

Mackensen, A; Grobe, H; Kuhn, G & Futterer, D (1990). Benthic foraminiferal assemblages from the eastern Weddell Sea between 68 and 73°S: Distribution, ecology and fossilization potential, *Marine Micropaleontology*, Volume 16, Issues 3–4, pp 241-283, ISSN 0377-8398, [https://doi.org/10.1016/0377-8398\(90\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0377-8398(90)90006-8).

Magno, CM., Bergamin, L., Finioia, M. G., Pierfranceschi, G., Venti, F., & Romano, E. (2012). Correlation between textural characteristics of marine sediments and benthic foraminifera in highly anthropogenically-altered coastal areas. *Marine Geology*, 315-318, 143–161. doi:10.1016/j.margeo.2012.04.002

Majewski, W. (2005). Benthic foraminiferal communities: distribution and ecology in Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*, 26(3), 159-214.

Majewski, W., Lecroq, B., Sinniger, F., & Pawłowski, J. (2007). Monothalamous foraminifera from Admiralty Bay, King George Island, West Antarctica. *Polish Polar Research*, 28(3), 187-210.



Majewski, W., Bowser, S.S. & Pawlowski, J. (2015) Widespread intra-specific genetic homogeneity of coastal Antarctic benthic foraminifera. *Polar Biol* 38, 2047–2058. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1765-1>

Mamo, B., Strotz, L., & Dominey-Howes, D. (2009). Tsunami sediments and their foraminiferal assemblages. *Earth-Science Reviews*, 96(4), 263–278. doi:10.1016/j.earscirev.2009.06.007

Mayer, M. (2000). Zur Ökologie der Benthos-Foraminiferen der Potter Cove (King George Island, Antarktis). *Berichte zur Polarforschung*, 353, 1–126.

Margalef, R. (1957). La teoría de la información en Ecología. *Real academia de Ciencias y Arte de Barcelona*, 32(13), 373-436.

Meredith, M. & King, J. (2005). Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters*. 32(19). doi:10.1029/2005GL024042.

Meredith, M., M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M.M.C. Muelbert, G. Ottersen, H. Pritchard, and E.A.G. Schuur (2019): Polar Regions. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)].

Mikhalevich, V. I. (2004). The General Aspects of the Distribution of Antarctic Foraminifera. *Micropaleontology*, 50(2), 179-194.

Mohan, P., Dhivya, P., & Narayanamurthy, K. (2013). Distribution of Live Planktonic and Benthic Foraminifera in the Shelf off Port Blair and Hut Bay, Andaman Group of Islands, India. In: Venkataraman, k., et al., (Eds.). *Ecology and Conservation of Tropical Marine Faunal Communities*. Springer, 19-42. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-38200-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-38200-0_2)

Mulvaney, R., Abram, N. J., Hindmarsh, R. C. A., Arrowsmith, C., Fleet, L., Triest, J., ... Ford, S. (2012). Recent Antarctic Peninsula warming relative to Holocene climate and ice-shelf history. *Nature*, 489(7414), 141–144. doi:10.1038/nature11391

Murray, J. (1991). *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific and Technical.

Murray, J & Pudsey, C.J. (2004). Living (stained) and dead foraminifera from the newly ice-free Larsen Ice Shelf, Weddell Sea, Antarctica: ecology and taphonomy. *Marine Micropaleontology*. 53. 67-81. 10.1016/j.marmico.2004.04.001.

Murray, J. (2006). Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 95. 1-426. 10.1017/CBO9780511535529.

Myers, E.H., (1943). Life activities of foraminifera in relation to marine ecology. *Proceedings of the American Philosophical Society* 86, 439–458.

Náñez, Carolina & Malumian, Norberto. (2008). Paleobiogeografía y paleogeografía del Maastrichtiense marino de la Patagonia, Tierra del Fuego y la Plataforma Continental Argentina, según sus foraminíferos bentónicos. *Revista Espanola de Paleontologia*. 23. 273-300.

Palanques A., Isla E., Masqué P., Puig P., Sánchez-Cabeza J.A., Gili J.M., Guillén J. (2002). Downward particle fluxes and sediment accumulation rates in the western Bransfield Strait: Implications of lateral transport for carbon cycle studies in Antarctic marginal seas. *Journal of Marine Research*. 2002, vol. 60, num. 2, p. 347-365

Pawlowski, J. (2009). Foraminifera. *Encyclopedia of Microbiology*, 646–662. doi:10.1016/b978-012373944-5.00361-8

Pawlowski, J. & Burki, F. (2009), Untangling the Phylogeny of Amoeboid Protists1. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 56: 16-25. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2008.00379.x>

Pawlowski, J., Holzmann, M., & Tyszka, J. (2013). New supraordinal classification of Foraminifera: Molecules meet morphology. *Marine Micropaleontology*, 100, 1–10. doi:10.1016/j.marmicro.2013.04.002

Phleger, P.B., Soutar, A., (1973). Production of benthic foraminifera in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontology* 19, 110–115.

Pichlmaier, M., Aquino, F., Da-Silva, C., & Braun, M. (2004). Suspended sediments in Admiralty Bay, King George Island (Antarctica). *Brazilian Antarctic Research*, 4, 77-85.

Pielou E. (1979). Quick Method of Determining the Diversity of Foraminiferal Assemblages. *Journal of Paleontology*, Vol. 53, No. 5 (Sep., 1979), pp. 1237-1242.

Prazeres, M., Roberts, T. E., & Pandolfi, J. M. (2017). Variation in sensitivity of large benthic Foraminifera to the combined effects of ocean warming and local impacts. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/srep45227>

Rathburn, A.E., Corliss, B.H., (1994). The ecology of deep-sea benthic foraminifera from the Sulu Sea. *Paleoceanography* 9, 87–150.

Rodrigues, A., Braga, E., & Eichler, B. (2015). Living Foraminifera in the shallow waters of Admiralty Bay: distributions and environmental factors. *The Journal of Foraminiferal Research*, 45(2), 128-145. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.45.2.128>

Rodrigues, A., Eichler, P., & Eichler, B. (2013). Foraminifera in two inlets fed by a tidewater glacier, King George island, Antarctic Peninsula. *Journal of Foraminiferal Research*, 43(3), 209-220. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.43.3.209>

Rodrigues, A., Maluf, J. C., Braga, E., & Eichler, B. (2010). Recent benthic foraminiferal distribution and related environmental factors in Ezcurra Inlet, King George Island, Antarctica. *Antarctic Science*, 22(04), 343-360. <https://doi.org/10.1017/S0954102010000179>.

Ruggiero, M. A., Gordon, D. P., Orrell, T. M., Bailly, N., Bourgoïn, T., Brusca, R. C., Cavalier-Smith, T., Guiry, M. D., & Kirk, P. M. (2015). A higher level classification of all living organisms. *PloS one*, 10(4), e0119248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119248>

Sangrà, P., Gordo, C., Hernández-Arencibia, M., Marrero-Díaz, A., Rodríguez-Santana, A., Stegner, A., Martínez-Marrero, A., Pelegrí, J.L., Pichon, T., 2011. The Bransfield Current System. *Deep-Sea Res. I* 58, 390–402.

Sangrà, Pablo & Stegner, Alexandre & Hernández-Arencibia, Mónica & Marrero-Díaz, A. & Salinas, Carolina & Aguiar-González, Borja & Henríquez-Pastene, Cristian & Mourino, Beatriz. (2017). The Bransfield Gravity Current. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 119. 1-15. [10.1016/j.dsr.2016.11.003](https://doi.org/10.1016/j.dsr.2016.11.003).

Schmiedl, G., 2019. Use of foraminifera in climate science. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*, Oxford University Press, doi: [10.1093/acrefore/9780190228620.013.735](https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.735)

Schönfeld, J., Alve, E., Geslin, E., Jorissen, F., Korsun, S., Spezzaferri, S., & Members of the FOBIMO group. (2012). The FOBIMO (FOraminiferal Blo-MONitoring) initiative—Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, 94-95, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.06.001>

Sinniger, F; Lecroq, B; Majewski, W & Ansermet, Q. (2008). *Bowseria arctowskii* gen. et sp. nov., new monothalamous foraminiferan from the Southern Ocean. *Polish Polar Research*. 29.

Stroud, J. T., Bush, M. R., Ladd, M. C., Nowicki, R. J., Shantz, A. A., & Sweatman, J. (2015). Is a community still a community? Reviewing definitions of key terms in community ecology. *Ecology and Evolution*, 5(21), 4757–4765. doi: [10.1002/ece3.1651](https://doi.org/10.1002/ece3.1651)

Suhr, S., Pond, D., Gooday, A. & Smith, C. (2003). Selective feeding by benthic foraminifera on phytodetritus on the western Antarctic Peninsula shelf: Evidence from fatty acid biomarker analysis. *Marine Ecology Progress Series*. 262. 153-162. [10.3354/meps262153](https://doi.org/10.3354/meps262153).

Thomsen, E., & Rasmussen, T. L. (2008). Coccolith-agglutinating foraminifera from the early cretaceous and how they constructed their tests. *The Journal of Foraminiferal Research*, 38(3), 193–214. doi: [10.2113/gsjfr.38.3.193](https://doi.org/10.2113/gsjfr.38.3.193)

Tokarczyk, R. (1987). Classification of water masses in the Bransfield Strait and southern part of the Drake Passage using a method of statistical multidimensional analysis. *Polish Polar Research*, 8(4), 333-336.

Thomsen, E., & Rasmussen, T. L. (2008). Coccolith-agglutinating foraminifera from the early cretaceous and how they constructed their tests. *The Journal of Foraminiferal Research*, 38(3), 193–214. doi:10.2113/gsjfr.38.3.193

Torres, J. (2019) Acidificação oceânica e variação interanual de CO<sub>2</sub> antropogênico no estreito de Bransfield, Antártica. /Juan Camilo Torres Lasso, Rio Grande: FURG, 2019. p. 105

Troncoso, J., & Aldea, C. (2008). Macrobenthic mollusc assemblages and diversity in the West Antarctica from the South Shetland Islands to the Bellingshausen Sea. *Polar Biology*, 31(10), 1253-1265. <https://doi.org/10.1007/s00300-008-0464>.

Turner, J., Bindschadler, R., Convey, P., di Prisco, G., Fahrbach, E.,... P., Summerhayes, C. (2009). Antarctic climate change and the environment. SCAR. Cambridge. UK *Ecosistemas* 20 (1). Enero 2011. 41

Tyszka, Jarosław & Bickmeyer, Ulf & Raitzsch, Markus & Bijma, Jelle & Kaczmarek, Karina & Mewes, Antje & Topa, Paweł & Janse, Max. (2019). Form and function of F-actin during biomineralization revealed from live experiments on foraminifera. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 116. 201810394. 10.1073/pnas.1810394116.

Uchio, T. (1960). Benthonic foraminifera of the Antarctic Ocean. *Biological Results Japanese Antarctic Research Expedition*, 12: 3-20.

Vaughan, David & Marshall, Gareth & Connolley, William & Parkinson, Claire & Mulvaney, Robert & Hodgson, Dominic & King, John & Pudsey, Carol & Turner, John. (2003). Recent Rapid Regional Climate Warming on the Antarctic Peninsula. *Climatic Change*. 60. 243-274. 10.1023/A:1026021217991.

Veit-Köhler, G., Durst, S., Schuckenbrock, J., Hauquier, F., Durán Suja, L., Dorschel, B., Vanreusel, A., Martínez Arbizu, P., (2018). Oceanographic and topographic conditions structure benthic meiofauna communities in the Weddell Sea, Bransfield Strait and Drake Passage (Antarctic), *Progress in Oceanography*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.03.005>

Violanti, Donata. (1996). Taxonomy and distribution of recent benthic foraminifers from Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Oceanographic Campaign 1987/1988. Palaeontographia Italica*. 83. 25-71.

Yanko, V., Kronfeld, J., & Flexer, A. (1994). Response of benthic Foraminifera to various pollution sources; implications for pollution monitoring. *Journal of Foraminiferal Research*, 24(1), 1-17. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.24.1.1>

Yoon, H. I., Han, M. W., Park, B. K., Han, S. J., & Oh, J. K. (1992). Distribution, provenance, and dispersal pattern of clay minerals in surface sediments, Bransfield Strait, Antarctica. *Geo-Marine Letters*, 12(4), 223–227. doi:10.1007/bf02091842

Zhou, Meng & Niiler, Pearn & Zhu, Yiwu & Dorland, Ryan. (2006). The western boundary current in the Bransfield Strait, Antarctica. *Deep-sea Research Part I-oceanographic Research Papers - DEEP-SEA RES PT I-OCEANOGR RES*. 53. 1244-1252. 10.1016/j.dsr.2006.04.003.