

Propiedades biogeoquímicas y comunidades de poliquetos en sedimentos costeros bajo influencia del Glaciar Collins, Bahía Collins, Isla Rey Jorge, Antártida



Jennifer Pereira Coletto

Tesis de grado de la Licenciatura en Ciencias Biológicas-
Profundización Oceanografía

Tutora: Dra. Natalia Venturini,
Co-tutora: Dra. Noelia Kandratavicius

Montevideo, Uruguay
Enero, 2021

Agradecimientos

La realización de esta tesis fue posible gracias al apoyo de varias personas.

A Naty, por su paciencia y enseñanzas en todo momento sin las cuales este trabajo no hubiese sido posible.

A Noe que me transmitió su pasión por lo que hace y me ayudó en la identificación de los poliquetos y en la elaboración de la tesis, con mucha paciencia a pesar de las mil preguntas que le hacía.

A Pablo por haber confiado en mí y ayudarme varias veces, ya sea en la lupa o enviándome algún artículo que sabía enriquecería mi trabajo.

A Marcel por enseñarme a utilizar el rot-up y también ayudarnos con la identificación de los poliquetos.

Al IAU por el financiamiento del proyecto en el cual se enmarca mi tesis.

Al INACH por gentilmente haber facilitado la utilización de su lancha para realizar los muestreos.

A todos los integrantes del piso 10 que siempre están ahí para dar una mano.

A Gissell y Ernesto muchas gracias por ser parte del tribunal y por sus aportes.

Quiero agradecer profundamente a mi familia, a mis padres y mi hermana, por haber estado ahí siempre apoyándome y entender todas las veces que les dije que no los podía ver porque tenía que trabajar en la tesis. Ya está pronta ma, aunque no lo creas!

A Carlos, mi compañero de vida desde hace muchos años, por bancar el estrés y la ansiedad que muchas veces me invadía, remando juntos siempre.

A Vane por su amistad incondicional desde hace muchos años, ahora sí a festejar!

A Facundo que a pesar de no vernos seguido, siempre está ahí presente con algún mensajito.

Por último, a ese grupo hermoso de personas que conocí en facultad, biólogos y ya no biólogos, Sofi, Mati, Katita, Mar, Lucy, Noe, Santi, Cle, Flo con los cuales compartí muchos buenos momentos a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

Índice de figuras.....	1
Índice de tablas.....	2
Resumen.....	3
Abstract.....	5
1. Introducción.....	7
2. Objetivos.....	
2.1 Objetivo general.....	10
2.2 Preguntas que busca responder esta tesis.....	10
2.3 Objetivos específicos.....	10
3. Material y Métodos.....	
3.1 Área de estudio.....	12
3.2 Estrategia de muestreo.....	13
3.3 Análisis de laboratorio.....	14
3.4 Análisis de datos.....	15
4. Resultados.....	
4.1 Agua de superficie.....	19
4.2 Sedimentos.....	
4.2.1 Características granulométricas.....	19
4.2.2 Contenido de materia orgánica y pigmentos fotosintéticos.....	21
4.2.3 Composición bioquímica de la materia orgánica.....	22
4.3 Comunidades de poliquetos.....	
4.3.1 Descriptores comunitarios.....	26
4.3.2 Grupos tróficos e Índice de importancia trófica.....	27
4.3.3 Grupos funcionales de alimentación.....	28
4.3.4 Categorías de bioturbación.....	29
4.4 Análisis multivariados.....	29
5. Discusión.....	
5.1. Condiciones ambientales y propiedades biogeoquímicas de los sedimentos....	33
5.2. Estructura taxonómica y funcional de las comunidades de poliquetos y relaciones organismo-sustrato.....	39
6. Conclusiones.....	47
7. Perspectivas.....	49
Referencias bibliográficas.....	50
Anexo	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del área de estudio.....	13
Figura 2. Características granulométricas del sedimento en las estaciones de muestreo.....	20
Figura 3. Porcentaje de materia orgánica total (% MOT) en sedimentos superficiales de las estaciones de muestreo.....	21
Figura 4. Concentración de clorofila-a y feopigmentos en sedimentos ($\mu\text{g gss}^{-1}$) en las estaciones de muestreo.....	22
Figura 5. Biopolímeros orgánicos en sedimentos superficiales ($\mu\text{g gss}^{-1}$) de las estaciones de muestreo.....	23
Figura 6. Contribución relativa de las tres clases de biopolímeros orgánicos al BPC total.....	24
Figura 7. Índice de importancia de cada grupo trófico en las estaciones de muestreo.....	27
Figura 8. Abundancia relativa (%) de familias de poliquetos en cada grupo funcional de alimentación (GFA)	28
Figura 9. Abundancia relativa (%) de familias de poliquetos en cada categoría de bioturbación (CB) en las estaciones de muestreo.....	29
Figura 10. Análisis de Componentes Principales (ACP).....	30
Figura 11. Coeficientes de correlación de cada variable (“loadings”) para los dos primeros ejes del Análisis de Componentes Principales (ACP).....	31
Figura 12. Diagrama de ordenamiento de las estaciones en función de los datos biológicos. Escalamiento multidimensional no métrico (nMDS).....	32
Figura 13. Esquema conceptual de las principales conclusiones de este trabajo.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas geográficas, profundidad (Prof.), temperatura (T), salinidad, pH y concentración de oxígeno disuelto en agua (O ₂) en las estaciones de muestreo.....	19
Tabla 2. Características granulométricas del sedimento en las estaciones de muestreo.....	20
Tabla 3. Razón PRT:CHO (proteínas:carbohidratos) y CHO:LIP (carbohidratos:lípidos), carbono biopolimérico (BPC, µg gss ⁻¹), contribución algal al BPC (%) y razón clorofila-a:feopigmentos (Clor-a:Feop)	24
Tabla 4. Clasificación de las familias en grupos funcionales de alimentación (GFA) y en categorías de bioturbación (CB). Abundancia total (ind/0,15 m ²) de poliquetos en cada familia y abundancia total (ind/0,15 m ²) de familias de poliquetos en las estaciones de muestreo.....	25
Tabla 5. Descriptores de las comunidades de poliquetos, a nivel de familia, en las estaciones de muestreo.....	26
Tabla 6. Análisis BIO-ENV (biota-ambiente) de las relaciones entre las variables ambientales, biogeoquímicas de los sedimentos y la abundancia de familias de poliquetos en las estaciones de muestreo.....	32

Resumen

La Isla Rey Jorge es la más grande de las Islas Shetland del Sur, archipiélago ubicado al NO de la Península Antártica. Presenta un ambiente glaciar de templado a subpolar y es una región vulnerable a sufrir cambios en la cobertura de hielo inducidos por el clima. El aumento del derretimiento glaciar influye en la densidad y estructura de los *blooms* de microalgas planctónicas, con efectos sobre los organismos pelágicos y bentónicos que dependen de los máximos estacionales de producción primaria como fuente de alimento. A su vez, las relaciones organismos-sedimento son fundamentales para la distribución, desarrollo y sustento de las comunidades bentónicas. Las propiedades bioquímicas de los sedimentos, como la cantidad y composición de la materia orgánica sedimentaria, están entre los principales factores que regulan la abundancia y biomasa de las comunidades bentónicas. En este contexto, se realizó una caracterización de las propiedades biogeoquímicas y características ecológicas y funcionales de las comunidades de poliquetos en sedimentos costeros de la Bahía Collins en un gradiente batimétrico. Se comparó una zona más cercana y otra más alejada de la influencia del Glaciar Collins (Glaciar Collins y Caleta de North, respectivamente). Las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos variaron en función del gradiente batimétrico, relacionado con las características topográficas propias de los fiordos, los procesos de sedimentación glacio-marina y las condiciones hidrodinámicas locales. Esto fue más evidente en la transecta de Caleta de North donde a mayor profundidad se encontró un aumento del porcentaje de sedimentos finos y del contenido orgánico. En cambio, en la transecta próxima al Glaciar Collins este gradiente no fue tan evidente, probablemente debido a la ocurrencia de eventos abruptos de sedimentación glaciar que producen mayor heterogeneidad en la composición de los sedimentos. Un importante acoplamiento bento-pelágico en las estaciones próximas al Glaciar Collins y en una estación en Caleta de North (CN3) fue evidenciado por las altas concentraciones de proteínas, lípidos y carbono biopolimérico, resultante del aporte masivo desde la columna de agua hacia los sedimentos, de material orgánico fresco y con alto valor energético, derivado tanto de la productividad primaria como secundaria. En contraste, mayores concentraciones de carbohidratos en las estaciones de Caleta de North estarían asociadas con el aporte de material orgánico terrestre y/o de fitodetritos derivados de la producción primaria con cierto grado de degradación. La presencia en todas las estaciones de poliquetos de la familia Maldanidae, constituida por poliquetos depositívoros de subsuperficie y sésiles y también de la familia Cirratulidae, compuesta por poliquetos depositívoros de superficie y móviles, está asociada a ambientes con cierto grado de estabilidad y con una alta heterogeneidad en la composición de los sedimentos. Sin embargo, en las estaciones próximas al Glaciar Collins el predominio de organismos de la

familia Paraonidae, indica un ambiente más inestable con mayor frecuencia de perturbación por la erosión del hielo. La dominancia de la categoría de bioturbación “*Conveyor belt transport*” en las estaciones más someras de Caleta de North, estuvo asociada a la presencia de las familias Maldanidae, Capitellidae y Orbiniidae. Estos organismos son depositívoros de subsuperficie, favorecidos por la presencia de fitodetritos degradados. En contraste, la dominancia de la categoría de bioturbación “*Diffusive mixing*” en las estaciones más profundas, tanto de Caleta de North como de Glaciar Collins, está asociada al flujo de materia orgánica derivado de la productividad primaria y secundaria, indicando un fuerte acoplamiento bento-pelágico en las estaciones más profundas, asociado a procesos deposicionales. El enfoque funcional proporciona información complementaria para la evaluación y comprensión de las relaciones bilaterales entre los organismos bentónicos y las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos marinos, así como, el funcionamiento del ecosistema en su conjunto.

Abstract

King George Island is the largest of the South Shetland Archipelago, which is located to the NW of the Antarctic Peninsula. It presents a temperate to subpolar glacial environment and is a region vulnerable to climate-induced changes in ice cap cover. Increased glacial melting influences the density and structure of planktonic microalgae blooms, with effects on pelagic and benthic organisms that depend on primary production peaks as a food resource. In turn, organisms-sediment relationships are fundamental for the distribution, development and sustenance of benthic communities. Biochemical properties of the sediments, such as the quantity and composition of the sedimentary organic matter are among the main regulating factors of the abundance and biomass of benthic communities. In this context, a characterization of the biogeochemical properties and ecological and functional characteristics of the polychaete communities in coastal sediments of Collins Bay was carried out in a bathymetric gradient. We compare an area close and other distant from the influence of the Collins Glacier (Collins Glacier and North Cove, respectively). The biogeochemical properties of the sediments varied as a function of the bathymetric gradient, related to the topographic characteristics of the fjord, the glacio-marine sedimentation processes and the local hydrodynamic conditions. This was more evident in North Cove transect, where there was an increase in the percentage of fine sediments and the organic content with depth. In contrast, in the transect close to the Collins Glacier this gradient was not as evident, probably due to the occurrence of abrupt glacial sedimentation events that produce greater heterogeneity in the composition of the sediments. A strong benthic-pelagic coupling in the stations close to the Collins Glacier and in the CN3 station, was evidenced by the high proteins, lipids and biopolymeric carbon concentrations, resulting from the massive contribution from the water column to the sediments of fresh organic material with high energy value, derived from both primary and secondary productivity. In contrast, high carbohydrates concentrations in North Cove stations may be associated with the contribution of terrestrial and/or phytodetrital organic material derived from primary production with some degree of degradation. The occurrence in all the stations of the Maldanidae family, constituted by subsurface and sessile depositivorous polychaetes and also of the Cirratulidae family, which is composed of surface and mobile depositivorous polychaetes, is linked with environments with some degree of stability and high heterogeneity in sediment composition. However, in the stations close to the Collins Glacier, the predominance of organisms of the Paraonidae family indicates a more unstable environment with high frequency of disturbance by ice scouring. The dominance of the bioturbation category "Conveyor belt transport" in the shallower stations of North Cove was associated with the occurrence of the families Maldanidae, Capitellidae and Orbiniidae. All of them are

subsurface depositivorous organisms favored by the presence of degraded phytodetritus. In contrast, the dominance of the “Diffusive mixing” bioturbation category in the deepest stations, both in North Cove and Collins Glacier transects, is associated with the flux of organic matter derived from primary and secondary productivity, indicating a strong benthic-pelagic coupling in the deepest stations, linked to depositional processes. The functional approach provides complementary information for the evaluation and understanding of the bilateral relationships between benthic organisms and the biogeochemical properties of marine sediments, as well as, the functioning of the ecosystem as a whole.

1. Introducción

La Isla Rey Jorge (IRJ) es la más grande de las Islas Shetland del Sur y se encuentra en el extremo norte de la Península Antártica (PA), una de las regiones donde el calentamiento y la retracción del hielo avanzan más rápidamente en la Tierra (Clarke *et al.*, 2007; Turner *et al.*, 2013). Debido a la influencia del mar, la IRJ presenta condiciones relativamente cálidas, con temperaturas del aire en pleno verano, muy por encima del punto de congelación (Rückamp *et al.*, 2011). Estas condiciones climáticas producen un ambiente glaciar de templado a subpolar, que a su vez hacen de la IRJ una región vulnerable a sufrir cambios en la cobertura de hielo inducidos por el clima (Griffith & Anderson, 1989). Cerca del 90% de la IRJ está cubierta por glaciares, pero la cobertura de hielo ha disminuido en un 7% entre 1956-1995 y en un 1,6% más entre 2000-2008, siendo los glaciares que presentan un frente marítimo los que se han retraído más rápidamente en muchas áreas costeras (Rückamp *et al.*, 2011; Moon *et al.*, 2015).

Las aguas superficiales en el oeste de la PA se han calentado en casi 1 °C en los últimos 50 años y fuertes cambios en la salinidad de la superficie, especialmente en las zonas costeras durante el verano, han sido registrados (Sahade *et al.*, 2015). Los cambios regionales también incluyen un mayor derretimiento de la nieve, que a su vez acelera el derretimiento del hielo y del permafrost (capa de suelo permanentemente congelado) en los meses de verano, causando un mayor aporte de agua dulce, así como, de material orgánico y sedimentos terrestres hacia las aguas costeras antárticas (Pasotti *et al.*, 2015). El aumento del derretimiento glaciar, tanto por escorrentía como por el desprendimiento de bloques de hielo hacia el mar, tiene como consecuencia el aumento de la estratificación y la turbidez de la columna de agua, y de la concentración de nutrientes disueltos (Dierssen *et al.*, 2002). A su vez, esto influye en la densidad y estructura de los *blooms* de microalgas planctónicas, con efectos sobre los organismos pelágicos y bentónicos que dependen de los máximos estacionales de producción primaria marina como fuente de alimento (Mincks *et al.*, 2005; Hass *et al.*, 2010). El acoplamiento entre los procesos que ocurren en el compartimento pelágico y el bentónico es más intenso en las zonas costeras, así como el flujo de partículas hacia el fondo (Mincks *et al.*, 2005; Baldi *et al.*, 2010). La materia orgánica marina (autóctona) representa una fuente de alimento rica en proteínas para los organismos marinos, mientras que la materia orgánica terrestre (alóctona) tiene un valor alimenticio bajo (Antonio *et al.*, 2010).

Un aumento del aporte de agua derivada del derretimiento y retracción glaciar y de material orgánico terrestre es esperado en respuesta al calentamiento global. Los flujos de material orgánico desde la tierra hacia las aguas costeras antárticas y desde la columna de agua hacia los sedimentos podrían verse alterados respecto a su cantidad y composición si

las tendencias climáticas se mantienen (Ingels *et al.*, 2012). Por lo tanto, es probable que el estudio de la composición del material exportado desde la tierra y los glaciares antárticos, hacia los ecosistemas marinos adyacentes, sus efectos y destino final en los sedimentos marinos adquieran una importancia creciente en un futuro cercano.

Las relaciones organismos-sedimento son fundamentales para la distribución, el desarrollo y el sustento de las comunidades bentónicas. Estas relaciones son complejas y a menudo no está claro si las propiedades de los sedimentos del fondo marino definen las características de las comunidades bentónicas o los factores bióticos controlan las propiedades físico-químicas de los sedimentos (Snelgrove & Butman, 1994; Isla *et al.*, 2006). El tamaño de grano del sedimento determina en gran medida la heterogeneidad de hábitats, el número de especies dentro de una comunidad bentónica y la diversidad biológica de estas comunidades (Etter & Grassle, 1992). Además, el contenido orgánico del sedimento también depende del tamaño de grano (Grémare *et al.*, 2002). Esta relación influye en la distribución de la fauna dentro del sustrato, ya que las propiedades bioquímicas de los sedimentos (en términos de la cantidad y calidad de la materia orgánica sedimentaria) están entre los principales factores que regulan la abundancia y biomasa de las comunidades bentónicas (Isla *et al.*, 2006).

Los poliquetos frecuentemente constituyen el grupo dominante de la macrofauna bentónica de fondos blandos (Sicinski, 1986; Clarke & Johnston, 2003; Clarke *et al.*, 2004). Existen diferentes abordajes respecto al estudio de las comunidades de poliquetos. En ese sentido, los grupos funcionales de alimentación surgen como una herramienta útil (Fauchald & Jumars, 1979; Muniz & Pires, 1999; Pagliosa, 2005). Estos se definen considerando conjuntamente sus hábitos alimenticios, patrones de locomoción y estructuras utilizadas en la alimentación (Fauchald & Jumars, 1979; Pagliosa, 2005; Jumars *et al.*, 2015). Debido a la amplia gama de grupos funcionales de alimentación y estilos de vida, los poliquetos promueven efectos intensos (irrigación, reciclaje de nutrientes, bioturbación) en la biogeoquímica de los sedimentos, siendo considerados algunos de ellos, especies clave para el funcionamiento de los ambientes marino-costeros (Waldbusser *et al.*, 2004). La bioturbación modifica las características físicas, químicas y biológicas de los sedimentos (Quintana *et al.*, 2010) y es uno de los factores más importantes en la distribución de la materia orgánica (autóctona y alóctona) en los sedimentos (Blair *et al.*, 1996). Las comunidades bentónicas modifican las condiciones geoquímicas locales mediante la redistribución de partículas de sedimento, irrigación y ventilación del sustrato que habitan, mediante la alimentación, excreción y locomoción dentro y a través de los distintos estratos de la columna de sedimentos (Kristensen & Holmer, 2001; Venturini *et al.*, 2011).

En áreas costeras poco profundas de la Antártida, próximas al frente marino de los glaciares, el frecuente desprendimiento de bloques de hielo durante el verano altera tanto la

costa como el fondo marino, erosionando sustratos duros y blandos y teniendo un fuerte efecto estructurador sobre las comunidades bentónicas (Pasotti *et al.*, 2014). El flujo de materia orgánica hacia los sedimentos en las aguas costeras antárticas, tiene su máximo en un período corto de la primavera-verano, cuando se da el *bloom* de producción primaria, el hielo marino se derrite y libera su carga sólida, rica en compuestos lábiles (Isla *et al.*, 2006). El rápido hundimiento de partículas, sumado a la inhibición a baja temperatura de la actividad microbiana, lleva a la acumulación de materia orgánica lábil en los sedimentos, dando lugar a un "banco de alimento" para las comunidades bentónicas, el cual persiste por un período de tiempo mayor en comparación con la columna de agua (Mincks *et al.*, 2005). Además, la retracción de los glaciares deja expuestos nuevos sustratos libres para la colonización por otros organismos (Rückamp *et al.*, 2011).

Los efectos de un mayor derretimiento de la cobertura de hielo de la Antártida y de la retracción glacial aún son inciertos, pero podrían alterar la fisiología, distribución, diversidad, composición trófica y el funcionamiento de las comunidades bentónicas de los ecosistemas marinos antárticos (Ingels *et al.*, 2012). Tales efectos pueden ser diferentes a nivel específico que a otros niveles de organización biológica lo cual, junto con el conocimiento relativamente limitado que se tiene aún de la fauna bentónica marina antártica (Gutt *et al.*, 2004; Griffiths *et al.*, 2011), dificulta la predicción de las posibles respuestas de dichas comunidades a los potenciales impactos del cambio climático. Por lo tanto, entender las estrategias de los distintos taxones del macrobentos para hacer frente a cambios ambientales derivados del cambio climático, desde el individuo o especie hasta el nivel de la comunidad de cada taxón, es crucial para poder predecir futuras tendencias locales, regionales y globales.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Caracterizar y contrastar las propiedades biogeoquímicas y las características ecológicas y funcionales de las comunidades de poliquetos en sedimentos costeros de la Bahía Collins (Isla Rey Jorge, Antártida) en un gradiente batimétrico, comparándolas en una zona cercana y otra más alejada de la influencia del Glaciar Collins.

2.2. Preguntas que busca responder esta tesis de grado

1) ¿Las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos difieren en el gradiente batimétrico, y en la zona con mayor influencia del Glaciar Collins respecto a la zona con menor influencia?

2) ¿La composición y la estructura taxonómica (a nivel de familias) y funcional de las comunidades de poliquetos bentónicos difieren en la zona más cercana al Glaciar Collins, respecto a la zona más alejada? ¿Y en el gradiente batimétrico?

3) ¿Es el gradiente batimétrico y/o la influencia del Glaciar Collins el factor determinante de las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos y, por tanto, también de las características ecológicas y funcionales de las comunidades de poliquetos que habitan dichas zonas?

2.3. Objetivos específicos

-Determinar las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos, características granulométricas, calidad y cantidad de la materia orgánica sedimentaria a través del análisis de biopolímeros orgánicos (proteínas, lípidos y carbohidratos totales) y pigmentos fotosintéticos en el gradiente batimétrico, en una zona cercana y otra más alejada de la influencia del Glaciar Collins.

-Determinar las propiedades ecológicas y funcionales de las comunidades de poliquetos bentónicos, a través del análisis de la abundancia, composición a nivel de familias y estructura funcional (grupos tróficos, grupos funcionales de alimentación y categorías de bioturbación) en el gradiente batimétrico, en una zona cercana y otra más alejada de la influencia del Glaciar Collins.

-Determinar la relación entre las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos y las características ecológicas y funcionales de las comunidades de poliquetos, a través del análisis integrado/combinado de ambos aspectos o características, tanto abióticas como bióticas, en una zona cercana y otra más alejada de la influencia del Glaciar Collins.

3. Material y métodos

3.1 Área de estudio

La Isla Rey Jorge se encuentra entre las coordenadas 61°54 – 62° 16´S y 57°35 – 59° 02´W y es la mayor de las islas del Archipiélago de las Shetland del Sur. Está delimitada por el Pasaje de Drake al norte y por el Estrecho de Bransfield al sur (Figura 1). Esta región presenta un clima de templado a subpolar, con una temperatura media en verano que varía de 1,1 en diciembre a 2,2 °C en enero, y una humedad relativa media del 89 % en verano (Yoon *et al.*, 2000). El área de estudio está situada en la Bahía Maxwell y abarca el extremo sur del Glaciar Collins conocido comúnmente como el Domo de Bellingshausen o Domo Pequeño, el cual se encuentra próximo a la Base Científica Antártica Artigas (BCAA) (Chinarro, 2014). Al suroeste de la BCAA se encuentra Caleta de North, ubicada en un área libre de hielo (Figura 1). La Bahía Maxwell es un fiordo en forma de U con una extensión cercana a 140 km², con varias bahías y caletas tributarias y una profundidad media de 260 metros. La máxima profundidad ocurre en la bahía exterior y es cercana a los 500 m. La misma, aumenta gradualmente desde la línea de costa hasta aproximadamente los 200 m y luego lo hace abruptamente hasta los 500 m de profundidad (Munoz & Wellner, 2018). Las áreas poco profundas están caracterizadas por una topografía irregular mientras que la parte central de la bahía es relativamente plana (Yoon *et al.*, 1998; Yoon *et al.*, 2000). La Bahía Collins es una pequeña bahía tributaria de la Bahía Maxwell ubicada al norte. Recientemente se han reportado en esta área temperaturas del agua de superficie entre 0,6 y 3,5 °C y salinidades entre 31,2 y 32,7 (Venturini *et al.*, 2020). El área de cobertura glaciar en la Bahía Collins es de aproximadamente 50 km², estando el área costera adyacente directamente influenciada por la presencia del Glaciar Collins (Munoz & Wellner, 2018). El Glaciar Collins tiene varias ramas que se derriten antes de llegar al mar, generando cañadas de agua de deshielo que desembocan en ambos lados de la costa (Chinarro, 2014). Este Glaciar es bastante sensible a las variaciones climáticas regionales (Simões *et al.*, 2015). Tanto una significativa retracción como una disminución del espesor de la cobertura de hielo han sido reportadas para el Glaciar Collins (Meredith & King, 2005; Rückamp *et al.*, 2011; Simões *et al.*, 2015). Aproximadamente un 8,42 % (0,639 km²) de su área total ha disminuido desde 1983 a 2006 (Simões *et al.*, 2015). Escenarios construidos en base a modelos numéricos, prevén su desaparición en aproximadamente 285 años, si las condiciones climáticas de la región continúan igual (Rückamp *et al.*, 2011). Por lo tanto, la intensificación del derretimiento estival y de la retracción del Glaciar Collins pueden ser esperadas, entre otros cambios ambientales, los cuales probablemente tengan un impacto significativo en el ecosistema marino adyacente de la Bahía Collins. Tales características

hacen del Glaciar Collins un lugar ideal para evaluar la influencia del derretimiento y de la retracción glaciario sobre las aguas costeras antárticas a escala local.

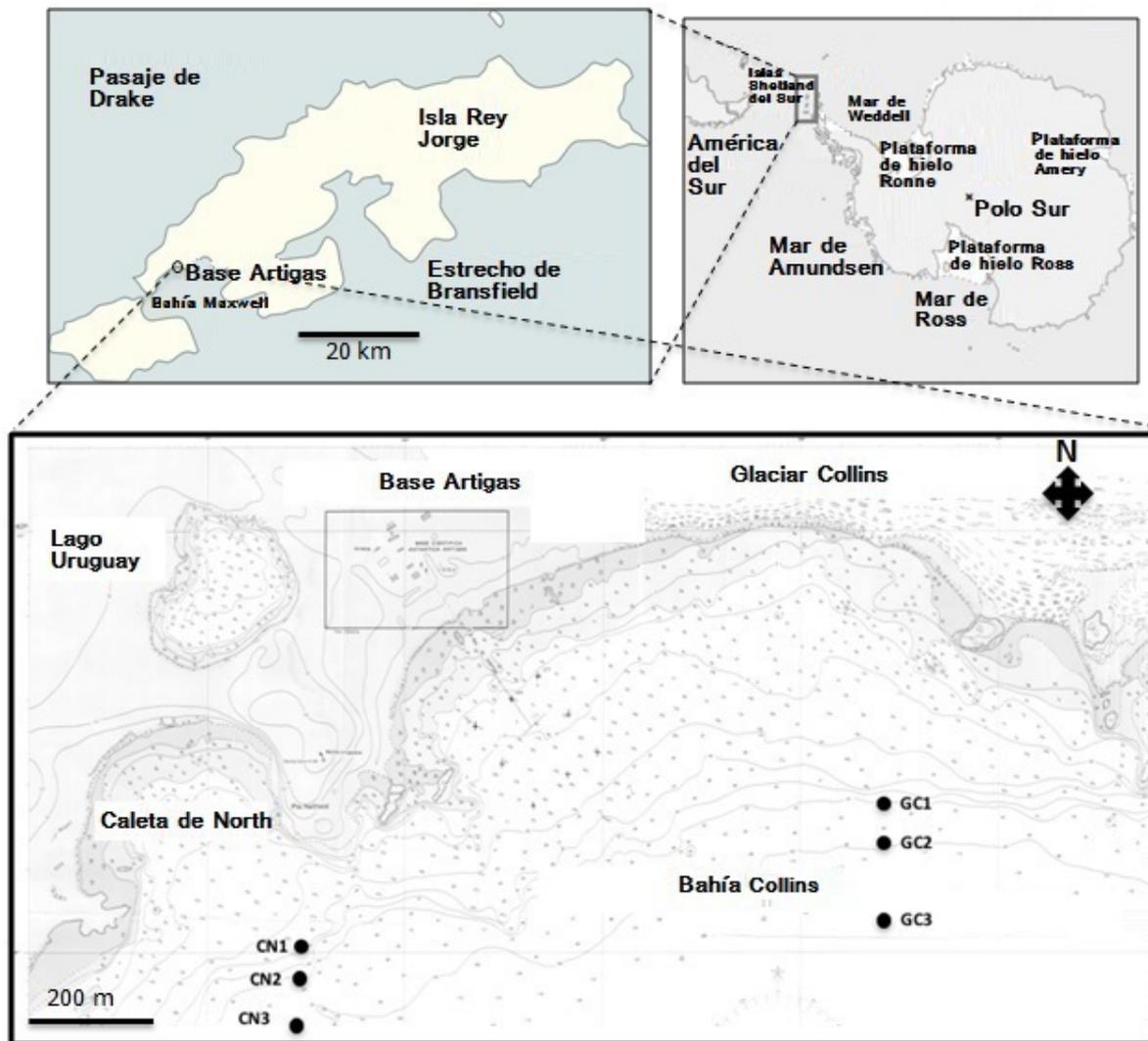


Figura 1. Mapa del área de estudio. Los puntos negros indican las estaciones de muestreo.

3.2. Estrategia de muestreo

Las muestras fueron colectadas en marzo del 2017 en el marco del proyecto “Efectos del derretimiento del Glaciar Collins sobre el ecosistema costero marino antártico”, (responsable Natalia Venturini), el cual cuenta con el apoyo del Instituto Antártico Uruguayo (IAU). A bordo de la lancha “*Isabel*”, propiedad del Instituto Antártico Chileno (INACH), se tomaron 6 muestras en la Bahía Collins, distribuidas en dos transectas perpendiculares a la costa (Figura 1). Una transecta fue posicionada en una zona cercana al Glaciar Collins (estaciones GC) y la otra en una zona alejada del mismo en Caleta de North (estaciones CN). En cada transecta se ubicaron las estaciones de muestreo a distintas profundidades,

variando de 28 a 160 m. Se determinaron *in situ* los principales parámetros físico-químicos del agua superficial (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) mediante un multiparámetro YSI. Se colectaron dos muestras por estación con una draga van Veen de 0,05 m² para la caracterización granulométrica, el análisis de las propiedades bioquímicas del sedimento y pigmentos fotosintéticos. Estas muestras fueron acondicionadas en bolsas de plástico y bandejas de aluminio, respectivamente. Las bandejas de aluminio fueron previamente calcinadas (4 hs, 450 °C) y las muestras conservadas a -20 °C hasta su análisis en el laboratorio de Oceanografía y Ecología Marina (Facultad de Ciencias, UdelaR). Además, en cada estación fueron colectadas tres réplicas independientes con draga para el análisis de las comunidades de poliquetos bentónicos, excepto en la estación GC3 (160 m) debido a la profundidad y deriva de la draga por la corriente.

3.3. Análisis de laboratorio

La determinación de las características granulométricas del sedimento se realizó utilizando el método de Suguio (1973), empleando un rot-uP que consiste en una columna de tamices que varía en 1Φ (phi) su tamaño de malla, desde 4000 μm a 63 μm . Cada fracción se pesó con una balanza de 0,01 g de precisión. Posteriormente, los parámetros de Folk & Ward (1957) fueron calculados para la caracterización granulométrica usando el programa GRADISTATv8. El porcentaje de materia orgánica total (% MOT) en el sedimento se estimó mediante el procedimiento de pérdida por ignición establecido por Byers *et al.* (1978). Para el análisis de clorofila-*a* y feopigmentos se utilizó el método de Lorenzen (1967) modificado por Sundbäck para sedimentos (1983).

El análisis de las proteínas (PRT), carbohidratos (CHO) y lípidos (LIP) totales en sedimentos se realizó por métodos colorimétricos en triplicado (Anexo). Las PRT fueron analizadas por el método de Lowry *et al.* (1951) modificado para sedimento por Hartree (1972), basado en la habilidad de los aminoácidos tirosina, triptófano y algunos complejos proteína-ión Cu^{+2} de reducir el reactivo Folin Ciocalteau, dando un producto azul que se leyó colorimétricamente a 750 nm. La concentración de CHO fue determinada mediante la metodología descrita por Dubois *et al.* (1956) y modificada para sedimento por Gerchacov & Hatcher (1972). El método se basa en la capacidad de los azúcares simples, oligosacáridos, polisacáridos y sus derivados de resultar en un producto de color amarillo - anaranjado ante la presencia de fenol y ácido sulfúrico concentrado, el cual puede leerse espectrofotométricamente a 485nm. Los LIP se extrajeron con una solución de cloroformo y metanol (2:1 v/v) en ultrasonido según Folch *et al.* (1957) modificado y determinados por calcinación según Marsh & Weinstein (1966). La concentración de lípidos totales se determinó a 375nm. Para las PRT, LIP y CHO se construyó una curva de calibración con un

coeficiente de determinación $r^2 > 0,95$ utilizando seroalbúmina bovina (BSA), tripalmitina y glucosa como patrones, respectivamente. A partir de las mismas se calcularon las concentraciones de los distintos biopolímeros. Para cada uno de estos métodos una fracción de sedimento fue incinerada en mufla (500 °C, 4 hs), con el fin de eliminar la materia orgánica y ser utilizada como blanco. Los blancos fueron tratados y analizados de la misma forma que las muestras.

Las muestras destinadas a la identificación de los poliquetos bentónicos fueron tamizadas (500 μm) en la BCAA, preservadas en alcohol 70% para su transporte hasta Montevideo y fueron analizadas mediante lupa binocular en el laboratorio de Oceanografía y Ecología Marina (Facultad de Ciencias, UdelaR). Posteriormente, los poliquetos presentes se identificaron taxonómicamente, a nivel de familia, con la ayuda de claves de identificación (Amaral *et al.*, 2006) y de especialistas (Dra. Noelia Kandratavicius, Dr. Pablo Muniz y MSc. Marcel Rodríguez).

3.4. Análisis de datos

Las razones proteínas carbohidratos (PRT:CHO) y carbohidratos lípidos (CHO:LIP) fueron calculadas y utilizadas como indicadores del estado de degradación de la materia orgánica y de su valor energético, respectivamente (Galois *et al.*, 2000). Valores de la razón PRT:CHO mayores a 1 indican la presencia de material orgánico fresco, mientras que valores PRT:CHO menores a 1 indican material orgánico detrítico parcialmente degradado. Las razones CHO:LIP mayores a 1 sugieren la presencia de materia orgánica de menor valor energético para los organismos bentónicos, mientras que razones CHO:LIP menores a 1 sugieren la presencia de materia orgánica con un mayor valor energético.

Los biopolímeros orgánicos fueron convertidos en equivalentes de carbono para la estimación del carbono biopolimérico (BPC) de acuerdo a Pusceddu *et al.* (2011). Esta conversión se realizó empleando los factores de conversión 0,49 mg (PRT), 0,40 mg (CHO) y 0,75 mg (LPD) de C mg^{-1} para cada biopolímero (Fabiano & Danovaro, 1994). También se calculó la razón entre clorofila-*a* y feopigmentos (Clor-*a*:Feop) como indicador de la proporción relativa entre materia orgánica fresca derivada de los productores primarios y fitodetritos degradados. La contribución algal al BPC se calculó como el porcentaje de carbono derivado de la clorofila-*a* en relación al BPC, convirtiendo previamente la concentración de clorofila-*a* en equivalentes de carbono utilizando un factor de conversión medio de 40 (Pusceddu *et al.*, 1999).

Los descriptores comunitarios como número de individuos (N), riqueza de familias (S), diversidad ($H' \log_e$) (Shannon & Weaver, 1963) y equitatividad (J') (Pielou, 1969) fueron calculados para las comunidades de poliquetos. Se consideró la totalidad de los poliquetos

colectados en las 3 réplicas para cada estación. La clasificación de las familias en grupos funcionales de alimentación (GFA) se realizó en base a literatura (Fauchald & Jumars, 1979; Pagliosa, 2005; Jumars *et al.*, 2015). La construcción de las categorías de los grupos de alimentación (GFA) se realizó con la conjunción del grupo trófico, categoría de movilidad y la estructura para la alimentación presente en la familia de poliquetos. Fueron considerados cinco grupos tróficos: carnívoros (C) depositívoros de superficie (S), depositívoros de subsuperficie (B), suspensívoros (S) y omnívoros (H); tres categorías de motilidad: móviles (M), discretamente móviles (D) y sésiles (S); y tres tipos de estructuras morfológicas utilizadas para la alimentación: mandibulado (J), tentaculado (T) y otras estructuras, usualmente faringe eversible en forma de saco (X). De esta forma, por ejemplo la familia Maldanidae depositívora de subsuperficie, sésil con faringe eversible en forma de saco pertenece a la categoría BSX. A su vez, las familias clasificadas en más de un GFA fueron incluidas en todos los casos correspondientes.

Los poliquetos también se clasificaron en cuatro categorías de bioturbación (CB) de acuerdo con Dauwe *et al.* (1998):

1) "*Diffusive mixing*": difusión unidimensional que tiende a redistribuir rápidamente la materia orgánica fresca dentro del sedimento. Esta categoría se encuentra asociada con organismos depositívoros de subsuperficie libres, excavadores y carnívoros de vida libre.

2) "*Surface deposition*": explica la excreción de partículas en la superficie del sedimento. Esta categoría incluye individuos suspensívoros, depositívoros de superficie y aquellos que alternan entre estos dos tipos de alimentos (alimentadores de interface) como algunos poliquetos tubícolas y bivalvos sedentarios.

3) "*Conveyor belt transport*": ocurre durante la alimentación de organismos en subsuperficie (depositívoros) o durante la excavación. Resulta en el transporte activo de partículas, desde una cierta profundidad en el sedimento hasta la superficie, y también se produce una fuerza gravitacional de partículas en la dirección opuesta. Esta categoría de bioturbación está asociada con la actividad de poliquetos de las familias Maldanidae, Capitellidae y Orbiniidae.

4) "*Reverse conveyor belt transport*": se produce debido a la alimentación y excreción de algunos organismos depositívoros de superficie. Resulta en el transporte de partículas desde la superficie hasta una cierta profundidad dentro del sedimento y, en contraste con la categoría 3, no hay retorno de las partículas a la superficie del sedimento.

Se calculó el índice de importancia trófica (Ti) propuesto por Paiva (1993) para evaluar el grado de importancia ecológica de cada grupo trófico en las distintas estaciones. Se utiliza Ti dado que reduce la importancia de la densidad al aplicar la transformación logarítmica de la abundancia, preservando así el factor de riqueza de familias (en este caso)

generalmente subestimado en los análisis que no están sujetos a esta transformación (Paiva, 1993; Muniz & Pires, 1999). T_i se expresa como:

$$T_i = \sum_{i=1}^s \ln ni + 0,1$$

donde s es el número de familias del grupo trófico en la muestra; ni es el número de individuos de la i -ésima familia en la muestra y 0,1 es una constante cuando $ni = 1$, entonces $T_i > 0$. A mayor T_i mayor importancia ecológica del grupo trófico.

Se testeó la normalidad de los datos ambientales del agua superficial a través del test de Kolmogórov-Smirnov y luego se realizó el test de medias (Test t) para evaluar diferencias en estas variables entre las dos transectas, considerando un nivel de significancia $p < 0,05$ (Zar, 1999). Además, se realizaron ANOVAs simples de 1 vía para testear si existían diferencias significativas en las variables biogeoquímicas del sedimento entre estaciones. Previo a estos se realizó test de Kolmogórov-Smirnov para verificar el cumplimiento de los supuestos de homocedasticidad de varianza y normalidad. De ser necesario, se aplicó la transformación de las variables para lograr el cumplimiento de los supuestos. Las diferencias fueron visualizadas utilizando el Test de Tukey *a posteriori* (Zar, 1999), con un nivel de significancia $p < 0,05$.

Por otro lado, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el fin de identificar el patrón de ordenamiento de las estaciones según sus características ambientales y las propiedades biogeoquímicas del sedimento (Clarke & Warwick, 1994). Para este análisis se utilizaron 14 variables: profundidad, temperatura, pH, porcentaje de finos, porcentaje de arenas, porcentaje de gravas, porcentaje de materia orgánica total, concentración de clorofila-*a*, concentración de feopigmentos, concentración de PRT, concentración de CHO, concentración de LIP, BPC y contribución algal al BPC, por 6 muestras/estaciones: CN1, CN2, CN3, GC1, GC2 y GC3. Todos los datos fueron estandarizados ($(x-\mu)/\sigma$) previamente al análisis.

Para identificar el patrón de ordenamiento de las estaciones en función de la abundancia de las familias de poliquetos, se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no métrico nMDS (*“non-metric Multi Dimensional Scaling”*) según su sigla en inglés. Se construyó una matriz de similitud utilizando la transformación $\text{Log}(x+1)$ de la abundancia de cada familia y el coeficiente de similitud de Bray–Curtis (Bray & Curtis, 1957).

Por último, se construyó una matriz ambiental de distancia euclidiana con las mismas 14 variables utilizadas en el ACP y se relacionó con la matriz biológica mediante un análisis BIO-ENV (biotic-environmental), el cual permite verificar relaciones entre ambos

conjuntos de datos y establecer que combinación de variables ambientales explica mejor el o los patrones biológicos observados (Clarke & Ainsworth, 1993). Los métodos estadísticos uni y multivariados fueron realizados utilizando los programas PAST 4.03 (Hammer *et al.*, 2001), STATISTICA 10 de StarSoft y PRIMER 6.0 (Clarke&Warwick,1994).

4. Resultados

4.1. Agua de superficie

La temperatura del agua varió entre 1,1 y 3,5 °C obteniéndose diferencias significativas entre las transectas, con menores valores en las estaciones GC próximas al Glaciar Collins ($t=5,363$; $p=0,0058$). La salinidad varió entre 28,9 y 31,2 no registrándose diferencias significativas entre ambas transectas. Por otro lado, el pH varió entre 6,07 y 7,63 obteniéndose diferencias significativas entre las transectas con los menores valores en las estaciones CN ubicadas en Caleta de North ($t=3,198$; $p=0,0329$). El oxígeno disuelto varió entre 11,7 y 12,5 mg.L⁻¹ correspondiendo a CN1 el menor valor, pero no se obtuvieron diferencias significativas entre las transectas (Tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas geográficas, profundidad (Prof.), temperatura (T), salinidad, pH y concentración de oxígeno disuelto en agua (O₂) en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

Estación	Latitud (S)	Longitud (W)	Prof. (m)	T (°C)	Salinidad	pH	O ₂ disuelto (mg.L ⁻¹)
CN1	62 11 32.3	58 54 29.5	28	2,4	29,8	6,8	11,7
CN2	62 11 33.7	58 54 27.9	50	2,8	31,2	6,07	12,5
CN3	62 11 35.6	58 54 27.4	96	3,5	28,9	6,26	12,3
GC1	62 11 20.9	58 53 02.8	50	1,2	30,5	7,63	12
GC2	62 11 22.1	58 53 03.3	99	1,1	30,5	7,22	12,5
GC3	62 11 25.7	58 53 00.8	160	1,2	30,1	7,01	12

4.2. Sedimentos

4.2.1. Características granulométricas

En las estaciones más profundas de ambas transectas (CN3 y GC3) los sedimentos finos (sedimentos de tamaño > 63µm) fueron la fracción dominante, con valores de 69,9% y 85,8% respectivamente, seguidos de arena y grava (Tabla 2; Figura 2). En la estación más cercana a la costa de Caleta de North (CN1) se observó un predominio de las fracciones arenosas con un total de 70,8%, mientras que en la estación del medio (CN2), si bien hubo un mayor porcentaje de arena (48,1%), los sedimentos finos también fueron abundantes (30,6%). En la estación más cercana al Glaciar Collins (GC1) las fracciones grava y sedimentos finos estuvieron presentes en proporciones similares (38,4% y 44,1%, respectivamente). En la estación del medio de esta transecta (GC2) se registraron los mayores porcentajes de gravas en comparación con el resto de las muestras analizadas

(67,6%) (Tabla 2; Figura 2). En general, la distribución de los sedimentos fue heterogénea, con un bajo grado de selección, el cual varió de pobremente seleccionado (CN1 y GC3) a muy pobremente seleccionado en las estaciones restantes (Tabla 2).

Tabla 2. Características granulométricas del sedimento en las distintas estaciones de muestreo. Abreviaciones: CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins; G: grava; A: arena; F: finos; PS: pobremente seleccionado; MPS: muy pobremente seleccionado.

Estación	%G	%A	%F	Media (ϕ)	Desvío (ϕ)	Selección
CN1	29,10	70,80	0,10	-0,003 /Arena muy gruesa	1,582	PS
CN2	21,30	48,10	30,60	1,847 /Arena media	3,262	MPS
CN3	1,80	28,20	69,90	4,697 /Limo muy grueso	2,385	MPS
GC1	38,40	17,60	44,10	2,395 /Arena fina	3,711	MPS
GC2	67,60	10,50	21,80	0,192 /Arena gruesa	3,303	MPS
GC3	0,20	14,00	85,80	5,667 /Limo grueso	1,572	PS

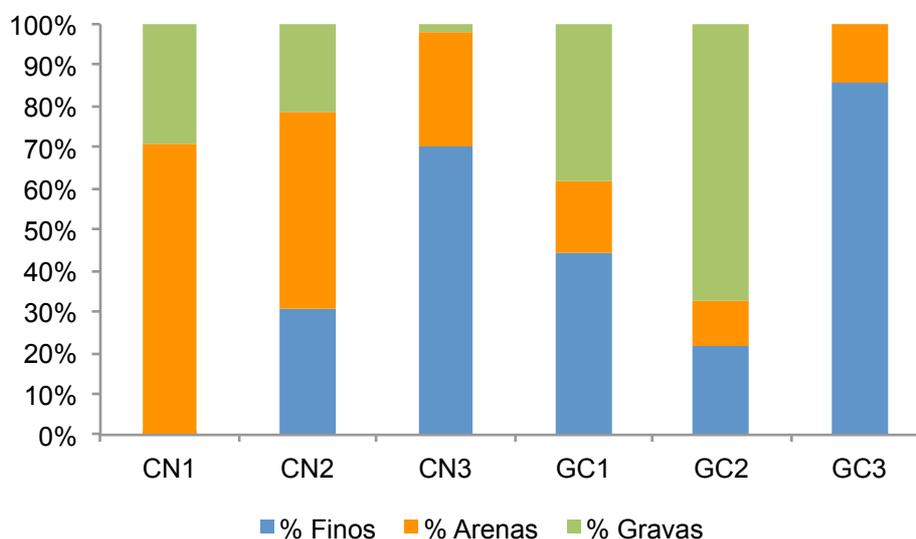


Figura 2. Características granulométricas del sedimento en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

4.2.2. Contenido de materia orgánica y pigmentos fotosintéticos

El porcentaje de materia orgánica total (% MOT) en las estaciones de Caleta de North aumentó con la profundidad registrándose el menor valor 1,48% en CN1 y el mayor 4,11% en CN3 (Figura 3), siendo en esta última significativamente mayor a las anteriores (ANOVA: $F_{(5,12)}=12,762$, $p=0,0019$; Tukey: $MS=19513$, $DF=12,000$). En la transecta del Glaciar Collins no se observó el mismo patrón y el contenido de materia orgánica fue similar en las tres estaciones, variando entre 3,05% (GC3) y 3,45% (GC2), no observándose diferencias significativas (Figura 3).

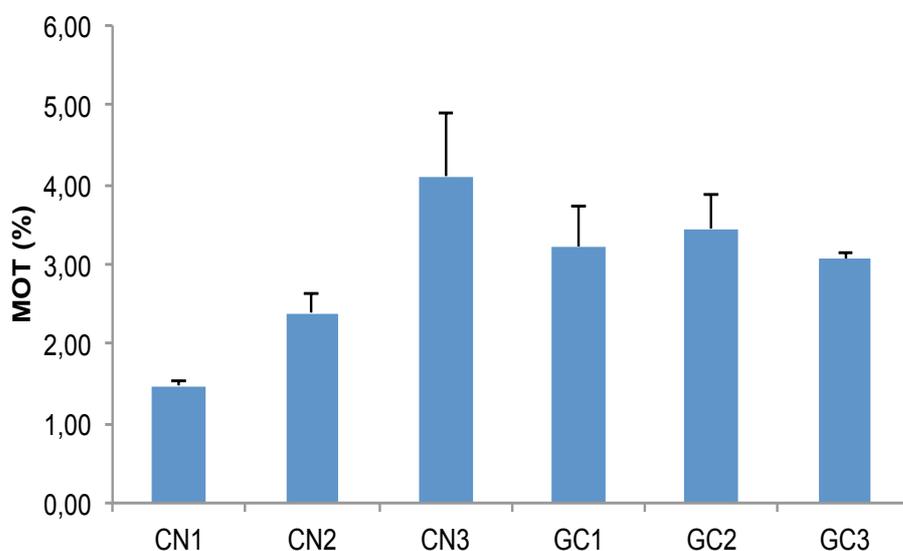


Figura 3. Porcentaje de materia orgánica total (% MOT) en sedimento en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

Los pigmentos fotosintéticos presentaron concentraciones mayores al incrementar la profundidad en la transecta de Caleta de North. Los valores de feopigmentos variaron entre $1,2 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN1 y $47,9 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN3 (Figura 4), siendo CN3 significativamente mayor al resto al igual que lo ocurrido con el % MOT (ANOVA: $F_{(5,12)}=9,0948$, $p=0,0009$; Tukey: $MS=78,319$, $DF=12,000$). La concentración de clorofila-a en las estaciones de Caleta de North varió entre $3,8 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN2 y $9,9 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN3, no observándose diferencias significativas. Por otra parte, la concentración de feopigmentos en las estaciones del Glaciar Collins varió entre $28,1 \mu\text{g gss}^{-1}$ en GC2 y $31,0 \mu\text{g gss}^{-1}$ en GC3, no registrándose diferencias significativas entre las estaciones. En cuanto a la concentración de clorofila-a en esta transecta, se registraron variaciones entre $4,0 \mu\text{g gss}^{-1}$ en GC1 y $7,2 \mu\text{g gss}^{-1}$ en GC2 (Figura 4), sin diferencias significativas entre las mismas. Cabe destacar, que en todas las estaciones, excepto en CN1, la concentración de feopigmentos fue mayor a la de clorofila-a.

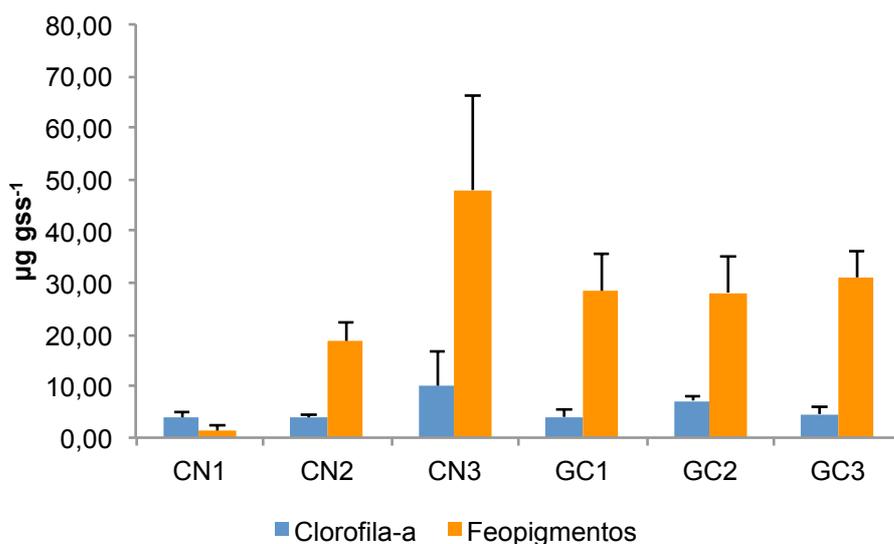


Figura 4. Concentración de clorofila-a y feopigmentos en sedimento ($\mu\text{g gss}^{-1}$) en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

4.2.3. Composición bioquímica de la materia orgánica

Excepto en GC2 y GC3, las PRT fueron la clase predominante de biopolímeros orgánicos, seguida por los LIP y por último los CHO (Figura 5). La concentración de PRT varió entre $509,74 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN1 y $995,01 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN3, obteniéndose diferencias significativas entre CN1 y CN3 (ANOVA: $F_{(5,12)}=4,4469$, $p=0,01594$; Tukey: $MS=0,02110$, $DF=12,000$). Por otro lado, las menores concentraciones de CHO en Caleta de North fueron registradas en CN1 y las mayores en CN3, con valores de $224,11 \mu\text{g gss}^{-1}$ y $809,44 \mu\text{g gss}^{-1}$, respectivamente, registrándose diferencias significativas entre las tres estaciones de esta transecta. Además, CN3 presentó concentraciones significativamente mayores a las obtenidas en las estaciones próximas al Glaciar Collins (ANOVA: $F_{(5,12)}=17,617$, $p=0,00004$; Tukey: $MS=0,00743$, $DF=12,000$).

En cuanto a las concentraciones de LIP, las mismas variaron entre $250,07 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN1 y $868,98 \mu\text{g gss}^{-1}$ en CN3, observándose diferencias significativas entre CN1 y CN3 (ANOVA: $F_{(5,12)}=10,144$, $p=0,00055$; Tukey: $MS=0,02891$, $DF=12,000$). En las estaciones de Caleta de North se observó que las concentraciones de los tres biopolímeros orgánicos aumentaron a mayor profundidad. Sin embargo, en la transecta correspondiente al Glaciar Collins no se observó el mismo patrón para los tres biopolímeros, no registrándose diferencias significativas entre las estaciones. La concentración de PRT varió entre $651,72 \mu\text{g gss}^{-1}$ en GC2 y $921,74 \mu\text{g gss}^{-1}$ en GC3.

Las concentraciones de CHO presentaron el menor valor de 273,99 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en GC3 y el mayor valor de 411,63 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en GC2. Los LIP fueron la única clase de biopolímeros orgánicos que presentó mayores valores a mayor profundidad en esta transecta, variando entre 796,84 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en GC1 y 1172,00 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en GC3 (Figura 5), pero no se evidenciaron diferencias significativas entre las mismas.

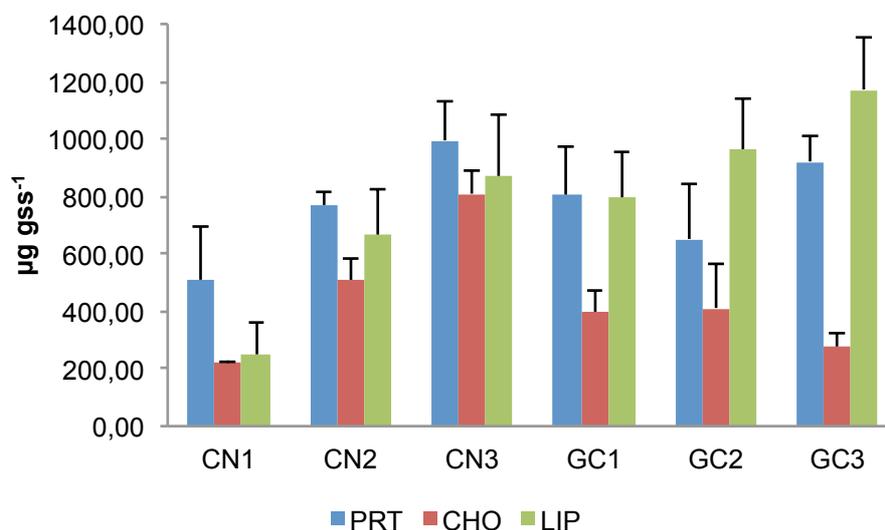


Figura 5. Biopolímeros orgánicos en el sedimento ($\mu\text{g gss}^{-1}$) en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins; PRT: proteínas; CHO: carbohidratos; LIP: lípidos.

La razón PRT:CHO presentó valores mayores a 1 tanto en las estaciones de Caleta de North como en las del Glaciar Collins. El mayor valor correspondió a GC3 (Tabla 3). En la transecta de Caleta de North esta razón varió entre 1,23 en CN3 y 2,27 en CN1. En las estaciones del Glaciar Collins los valores de la razón PRT:CHO presentaron valores entre 1,58 en GC2 y 3,36 en GC3. La razón CHO:LIP en las estaciones de Caleta de North presentó un valor mínimo de 0,77 en CN2 y un máximo de 0,93 en CN3, mientras que para la transecta del Glaciar Collins el mínimo fue 0,23 en GC3 y el máximo 0,50 en GC1. La razón CHO:LIP presentó valores mayores en las estaciones de Caleta de North que en las del Glaciar Collins (Tabla 3). El BPC en las estaciones de Caleta de North presentó valores entre 526,97 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en CN1 y 1463,07 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en CN3. Por otro lado, en la transecta del Glaciar Collins se registró la menor concentración de BPC igual a 1149,76 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en GC1 y la mayor de 1440,25 $\mu\text{g gss}^{-1}$ en GC3. La contribución algal al BPC varió desde 14,05 % en CN2 a 29,74 % en CN1 para la transecta de Caleta de North. En las estaciones del Glaciar Collins, la contribución algal al BPC varió entre 12,72 % en GC3 y 24,00 % en GC2.

La razón clorofila-a:feopigmentos (Clor-a:Feop) presentó, en general, valores menores a 1, excepto en CN1 (3,41) donde la concentración de clorofila-a fue mayor a la de

los feopigmentos. A su vez, en esta transecta el menor valor se ubicó en 0,20 en CN2. En las estaciones del Glaciar Collins se observaron variaciones entre 0,14 (GC1) y 0,26 (GC2) (Tabla 3).

Tabla 3. Razón PRT:CHO (proteínas:carbohidratos) y CHO:LIP (carbohidratos:lípidos), carbono biopolimérico (BPC, $\mu\text{g gss}^{-1}$), contribución algal al BPC (%) y razón clorofila-a:feopigmentos (Clor-a:Feop) en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

Estación	PRT:CHO	CHO:LIP	BPC ($\mu\text{g gss}^{-1}$)	Contribución algal al BPC (%)	Clor-a:Feop
CN1	2,27	0,90	526,97 \pm 80	29,74	3,41
CN2	1,51	0,77	1077,95 \pm 150	14,05	0,20
CN3	1,23	0,93	1463,07 \pm 160	26,99	0,21
GC1	2,04	0,50	1149,76 \pm 220	14,00	0,14
GC2	1,58	0,43	1204,22 \pm 290	24,00	0,26
GC3	3,36	0,23	1440,25 \pm 390	12,72	0,15

Con respecto a la contribución relativa de cada biopolímero al BPC total se observó que, en la mayoría de las estaciones, los LIP fueron la clase de biopolímeros dominante. En CN1 las PRT dominaron con 47 % seguidas por los LIP con 36 %. Tanto en CN2 como en CN3 la mayor contribución fue por parte de los LIP, con valores de 46 % y 45 %, respectivamente, seguidos por las PRT con proporciones similares en ambas estaciones. En la transecta del Glaciar Collins los LIP dominaron en todas las estaciones con contribuciones mayores al 50 %. En GC2 se registró la menor proporción de PRT y en GC3 la menor de CHO (27 % y 8 %, respectivamente) en comparación con las demás estaciones (Figura 6).

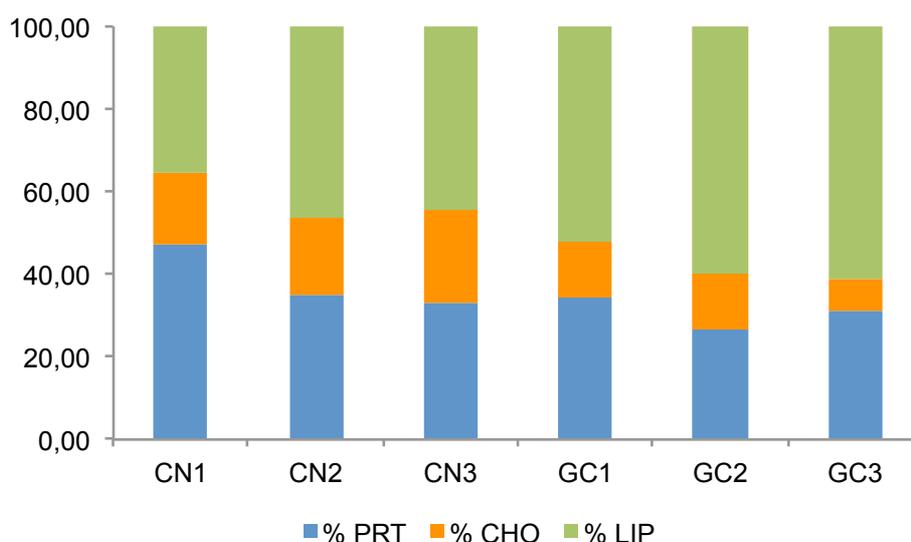


Figura 6. Contribución relativa de los biopolímeros al BPC total en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

4.3 Comunidades de poliquetos

Se cuantificaron un total de 919 individuos, agrupados en 20 familias (Tabla 4). En CN1 y CN2 de Caleta de North se observó una dominancia de la familia Maldanidae, mientras que en CN3 predominó la familia Cirratulidae. En CN2 también se registraron altas abundancias de las familias Ampharetidae y Terebellidae. La estación GC1 del Glaciar Collins presentó mayor abundancia de individuos de las familias Maldanidae y Paraonidae. A su vez, la familia Paraonidae dominó en GC2, seguida por Maldanidae y Cirratulidae, las cuales presentaron proporciones similares. Las familias Capitellidae, Glyceridae, Goniadidae, Heterospionidae, Lumbrineridae, Orbiniidae y Sigalionidae fueron exclusivas de las muestras provenientes de Caleta de North, mientras que Sabellidae y Thrichobranchidae de las del Glaciar Collins (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de las familias en grupos funcionales de alimentación (GFA) y en categorías de bioturbación (CB). Abundancia total (ind/0,15 m²) de poliquetos por familia en cada estación y abundancias totales (ind/0,15 m²) en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

Familia	GFA	CB	CN1	CN2	CN3	GC1	GC2
Ampharetidae	SST	SURF	6	32	7	3	5
Capitellidae	BMX	CONV	12	3	1	0	0
Cirratulidae	SMT	DIFF	19	14	33	10	58
Glyceridae	CDJ, BMJ	DIFF	1	0	0	0	0
Goniadidae	CDJ	DIFF	1	0	0	0	0
Heterospionidae	SDT	SURF	0	2	0	0	0
Lumbrineridae	HMJ, CMJ, CDJ, BMJ	DIFF	0	1	0	0	0
Maldanidae	BSX	CONV	34	106	12	73	61
Nereididae	HMJ, CMJ, CDJ, SDJ	DIFF	2	5	0	3	0
Orbiniidae	BMX	CONV	3	3	0	0	0
Paraonidae	HMX, SMX	DIFF	1	20	11	60	183
Phyllodocidae	CMX	DIFF	1	2	0	1	1
Polynoidae	CMJ	DIFF	1	7	0	4	7
Sabellidae	FST	SURF	0	0	0	9	2
Scalibregmidae	BMX	DIFF	1	0	4	0	7
Sigalionidae	CMJ	DIFF	0	1	0	0	0
Spionidae	FDT, SDT	SURF	5	3	0	2	5
Syllidae	CMJ	DIFF	2	7	2	2	5
Terebellidae	SST	SURF	1	24	0	0	7
Thrichobranchidae	SST	SURF	0	0	0	2	19
Abundancia TOTAL (ind/0,15 m ²)			90	230	70	169	360

Dentro de los GFA: C: carnívoros; S: depositívoros de superficie; B: depositívoros de subsuperficie; F: suspensívoros; H: omnívoros; M: móviles; D: discretamente móviles; S: sésiles; J: mandibulado; T: tentaculado; X: otras estructuras, usualmente faringe eversible en forma de saco.

Dentro de las CB: CONV: *Conveyor belt transport*; SURF: *Surface deposition*; DIFF: *Diffusive mixing*.

4.3.1 Descriptores comunitarios

En CN1 y CN3 se identificaron las menores abundancias de organismos (90 y 70 individuos, respectivamente) (Tabla 4; Tabla 5). Por otro lado, en GC1 se reportaron 169 organismos. La mayor abundancia de poliquetos se observó en CN2 y GC2, con 230 y 360 organismos, respectivamente.

El mayor número de familias se registró en CN1 y CN2 (15) correspondientes a Caleta de North mientras que el menor número se ubicó en CN3 (7). En las estaciones del Glaciar Collins se observaron cantidades similares, 11 (GC1) y 12 (GC2) familias, respectivamente (Tabla 5).

Respecto al índice de diversidad de Shannon ($H'(\log_e)$), en CN1 y CN2 se registró la mayor diversidad de familias, alcanzando valores de 1,94 y 1,85 en cada estación, respectivamente, mientras que en CN3 se observó el menor valor (1,50). En la transecta del Glaciar Collins los valores de la diversidad a nivel de familias fueron similares, correspondiendo 1,47 en GC1 y 1,55 en GC2 (Tabla 5). En general, el índice fue similar en todas las estaciones estudiadas.

El índice de equitatividad de Pielou (J') presentó los mayores valores en CN1 (0,72) y CN3 (0,77), mientras que CN2 presentó un valor de 0,68. En las estaciones de la transecta del Glaciar Collins se observaron prácticamente los mismos valores (0,61, GC1 y 0,62, GC2) (Tabla 5). Al igual que la diversidad a nivel de familias, la equitatividad fue similar en todas las estaciones, no indicando dominancia de alguna familia en particular.

Tabla 5. Descriptores de las comunidades de poliquetos en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins; N: número de individuos; S: Riqueza de familias; $H'(\log_e)$: diversidad de Shannon; J' : equitatividad de Pielou.

Estación	N	S	$H'(\log_e)$	J'
CN1	90	15	1,94	0,72
CN2	230	15	1,85	0,68
CN3	70	7	1,50	0,77
GC1	169	11	1,47	0,61
GC2	360	12	1,55	0,62

4.3.2 Grupos tróficos e Índice de importancia trófica

De acuerdo con el índice de importancia trófica (Ti), el principal grupo trófico de los poliquetos en la Bahía Collins fue el de los depositívoros de superficie (S), seguido por los depositívoros de subsuperficie (B), omnívoros (H), carnívoros (C) y suspensívoros (F) (Tabla 4; Figura 7). Los organismos depositívoros de superficie fueron predominantes en todas las estaciones analizadas. En CN1 los filtradores y los omnívoros tuvieron baja importancia, mientras que en CN2 y CN3 los filtradores resultaron ser los organismos con menor importancia. A su vez, en CN2 hubo una mayor importancia de los carnívoros y los omnívoros en comparación al resto de las muestras de esa transecta. En las tres estaciones de Caleta de North se observó una alta importancia del grupo de los depositívoros de subsuperficie. En las estaciones del Glaciar Collins el Ti mostró un aumento de la importancia de los organismos omnívoros y de los depositívoros de subsuperficie. En GC1 los carnívoros tuvieron mayor importancia que en GC2. Cabe destacar, que el Ti mostró un aumento de la importancia de depositívoros de superficie en CN2 y GC2 con respecto a las demás estaciones de ambas transectas (Figura 7).

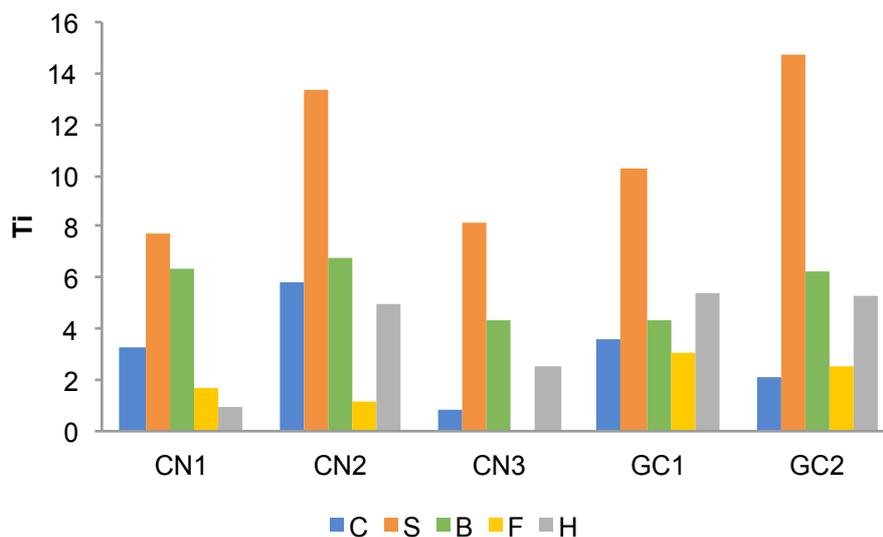


Figura 7. Índice de importancia de cada grupo trófico en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins; C: carnívoros; S: depositívoros de superficie; B: depositívoros de subsuperficie; F: suspensívoros; H: omnívoros.

4.3.3 Grupos funcionales de alimentación

Las 20 familias registradas en las muestras colectadas en la Bahía Collins fueron clasificadas en 15 grupos funcionales de alimentación (GFA) (Tabla 4; Figura 8).

El grupo BSX correspondiente a poliquetos depositívoros de subsuperficie, sésiles con faringe eversible en forma de saco, predominó en CN1 y CN2, mientras que en CN3 dominó el grupo SMT, representado por poliquetos depositívoros de superficie, móviles con tentáculos. A su vez, en CN1 se observó una alta proporción de los grupos SMT y BMX correspondiendo este último a poliquetos depositívoros de subsuperficie, móviles con faringe eversible en forma de saco. El segundo grupo en proporción en CN2 fue el grupo SST representado por poliquetos depositívoros de superficie, sésiles con tentáculos. En CN3 se registraron porcentajes similares de los grupos BSX, SMX y HMX correspondientes a poliquetos depositívoros de subsuperficie, sésiles con faringe eversible en forma de saco (BSX), a poliquetos depositívoros de superficie, móviles con faringe eversible en forma de saco (SMX) y a poliquetos omnívoros, móviles con faringe eversible en forma de saco (HMX) (Tabla 4; Figura 8). Por otro lado, en la estación más próxima al Glaciar Collins (GC1), BSX fue el grupo con mayor proporción seguido por los grupos SMX y HMX. En cambio, en GC2 el grupo BSX estuvo poco representado mientras que los grupos SMX y HMX predominaron con iguales proporciones. Los poliquetos identificados en ambas transectas fueron predominantemente organismos móviles, seguidos por organismos sésiles y pocos discretamente móviles (Tabla 4; Figura 8).

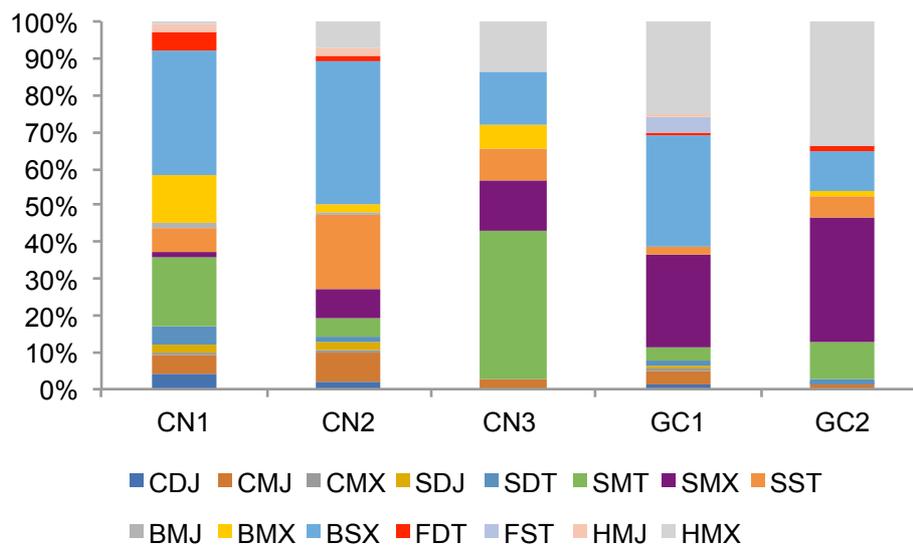


Figura 8. Abundancia relativa (%) de poliquetos en cada grupo funcional de alimentación (GFA) en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins; C: carnívoros; S: depositívoros de superficie; B: depositívoros de subsuperficie; F: suspensívoros; H: omnívoros; M:

móviles; D: discretamente móviles; S: sésiles; J: mandibulado; T: tentaculado; X: otras estructuras, usualmente faringe eversible en forma de saco.

4.3.4 Categorías de bioturbación

En relación a las categorías de bioturbación (CB), en CN1 y CN2 la categoría “*Conveyor belt transport*” (CONV) fue la que presentó mayor abundancia relativa (Figura 9). En CN1, CONV fue seguida por la categoría “*Diffusive mixing*” (DIFF) y “*Surface deposition*” (SURF), mientras que en CN2 estas dos categorías presentaron la misma proporción. Sin embargo, en CN3, se observó la dominancia de la categoría DIFF, con bajas proporciones de CONV y SURF. En las dos estaciones del Glaciar Collins la categoría de bioturbación DIFF predominó, seguida por CONV con mayor porcentaje relativo en GC1 que en GC2 (Figura 9).

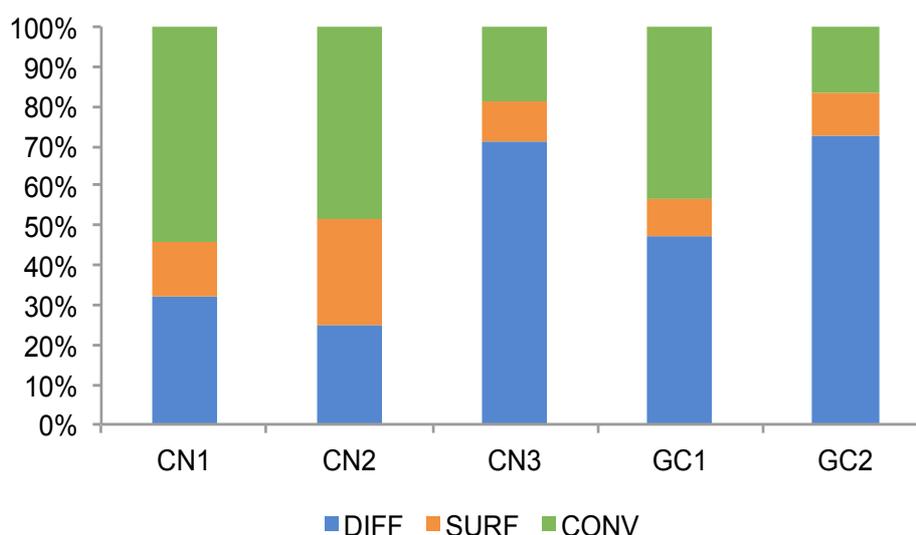


Figura 9. Abundancia relativa (%) de poliquetos en cada categoría de bioturbación (CB) en las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins; CONV: *Conveyor belt transport*; SURF: *Surface deposition*; DIFF: *Diffusive mixing*.

4.4 Análisis multivariados

Los dos primeros ejes del Análisis de Componentes Principales (ACP) con las variables ambientales explicaron el 78 % de la varianza total de los datos (Figura 10). El eje 1, explicó el 52,77 % y presentó correlación positiva y loadings $\geq 0,30$ con la profundidad, porcentaje de sedimentos finos, % MOT, concentración de feopigmentos, PRT, LIP y el BPC. La estación CN3 y las estaciones del Glaciar Collins presentaron mayores valores de

estas variables, asociándose a este eje. A su vez, este eje presentó correlación negativa con el porcentaje de arenas (“loading” = -0,30), siendo CN1 y CN2 las estaciones que registraron mayores porcentajes de esta variable. Se puede observar que las estaciones provenientes de Caleta de North se distribuyeron en un gradiente batimétrico. Por otro lado, el eje 2, explicó el 25,25 % y se correlacionó positivamente con la temperatura, CHO y la contribución algal al BPC (“loadings” $\geq 0,30$). Las estaciones de Caleta de North presentaron mayores valores de estas variables. A su vez, este eje presentó correlación negativa con el pH (“loading” $\geq -0,30$) (Figura 10 y 11), siendo las estaciones del Glaciar Collins las que registraron mayores valores. Las estaciones presentes en Caleta de North fueron diferentes entre sí desde el punto de vista ambiental, mientras que las estaciones del Glaciar Collins presentaron condiciones ambientales similares. A su vez, CN3 presentó condiciones ambientales y propiedades biogeoquímicas de los sedimentos más parecidas con las estaciones del Glaciar Collins que con el resto de las estaciones de Caleta de North (Figura 10).

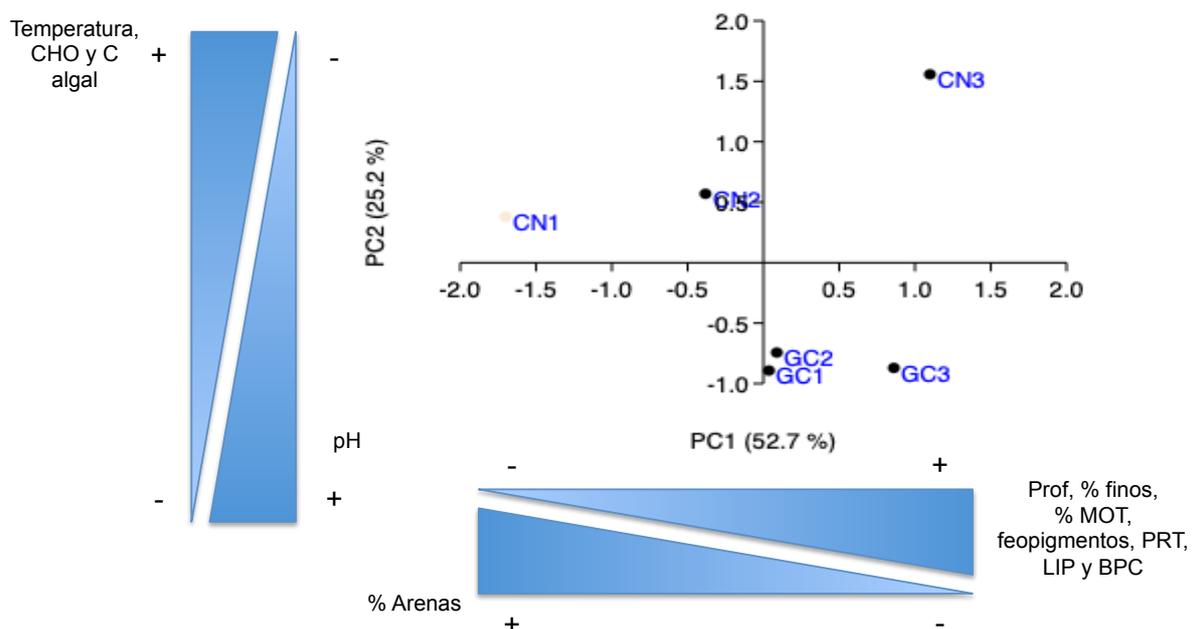


Figura 10. Análisis de Componentes Principales (ACP) con las variables ambientales para las distintas estaciones de muestreo. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins; Prof: profundidad; % MOT: porcentaje de materia orgánica total; PRT: proteínas; LIP: lípidos; BPC: carbono biopolimérico; CHO: carbohidratos; C algal: contribución algal al BPC.

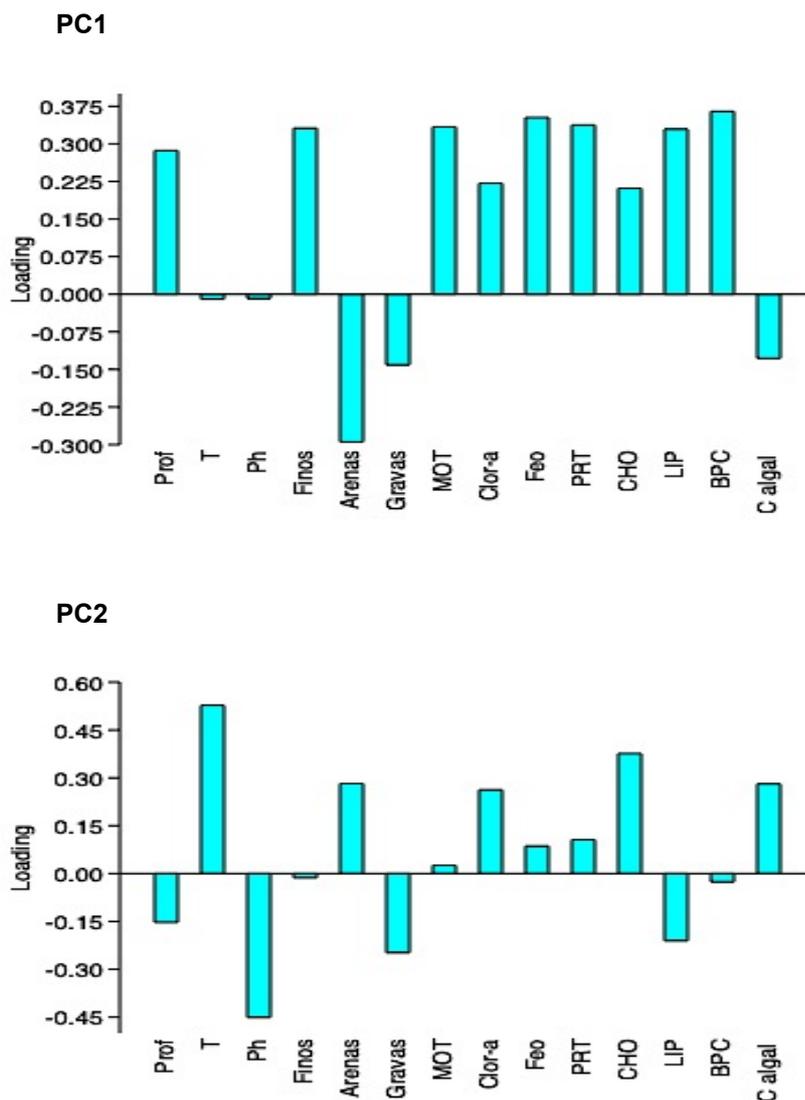


Figura 11. Coeficientes de correlación de cada variable (“loadings”) para los dos primeros ejes del Análisis de Componentes Principales (ACP). Prof: profundidad; T: temperatura; MOT: % de materia orgánica total; Clor-a: clorofila-a; Feo: feopigmentos; PRT: proteínas; CHO: carbohidratos; LIP: lípidos; BPC: carbono biopolimérico; C algal: contribución algal al BPC.

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), mostró diferencias en la abundancia de las familias de poliquetos entre las estaciones (Figura 12). La estación CN1 se encontró más próxima a CN2 debido a que las familias Cirratulidae y Orbiniidae presentaron abundancias similares, encontrándose Orbiniidae en muy bajas proporciones. Por otro lado, GC1 y GC2 estuvieron cercanas dado que compartieron similares abundancias de la familia Maldanidae, siendo las familias Sabellidae y Thrichobranchidae exclusivas de estas estaciones. La estación CN3 presentó características biológicas más similares con las estaciones del Glaciar Collins que con las otras dos estaciones de Caleta

de North (Figura 12). Estas características similares fueron las proporciones observadas de las familias Cirratulidae y Ampharetidae.

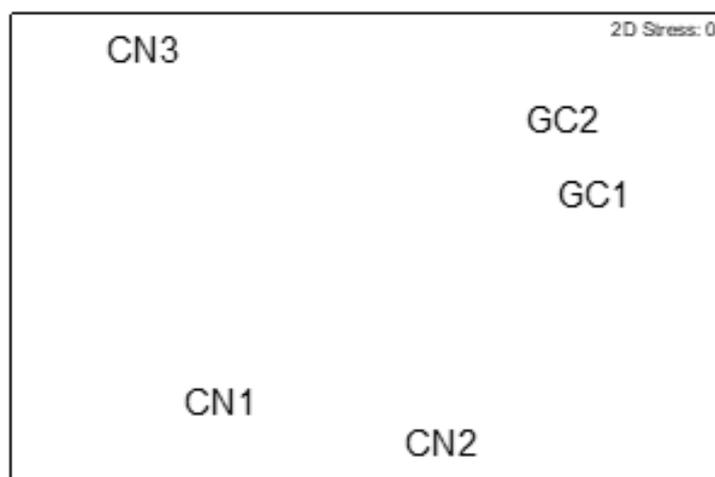


Figura 12. Escalamiento multidimensional no métrico, nMDS. CN: Caleta de North; GC: Glaciar Collins.

Para el análisis BIO-ENV (biotic-enviromental) las variables utilizadas fueron profundidad, porcentaje de finos, porcentaje de arenas, porcentaje de gravas, porcentaje de materia orgánica total, concentración de clorofila-*a*, concentración de feopigmentos, concentración de PRT, concentración de CHO, concentración de LIP, BPC y contribución algal al BPC. Los resultados de este análisis mostraron que la combinación de variables ambientales que explica mejor los patrones biológicos observados fueron el porcentaje de arenas, el porcentaje de gravas, la concentración de clorofila-*a* y la contribución algal al BPC, con un valor del coeficiente de correlación de rango de Spearman ρ igual a 0,83 (Tabla 6). Sin embargo, como se puede apreciar en la tabla, existen otras combinaciones de variables cuyo ρ también es alto y similar (0,782).

Tabla 6. Análisis BIO-ENV (biota-ambiente) de las relaciones entre las variables ambientales y biogeoquímicas y la comunidad de poliquetos en las distintas estaciones de muestreo. ρ global: 0,83. ρ : Coeficiente de correlación de rango de Spearman; % MOT: porcentaje de materia orgánica total; Clor-*a*: clorofila-*a*; Feo: feopigmentos; PRT: proteínas; C algal al BPC: contribución algal al carbono biopolimérico.

Nro. de variables	ρ	Variables ambientales
4	0,830	% Arenas; % Gravas; Clor- <i>a</i> ; C algal al BPC
3	0,782	% Finos; % MOT; Clor- <i>a</i>
3	0,782	% MOT; Clor- <i>a</i> ; PRT
5	0,782	% Gravas; % MOT; Clor- <i>a</i> ; Feo; C algal al BPC
2	0,770	Clor- <i>a</i> ; Feo

5. Discusión

5.1. Condiciones ambientales y propiedades biogeoquímicas de los sedimentos

La Isla Rey Jorge presenta un elevado número de glaciares que se están retrayendo, de los cuales, principalmente los glaciares de marea están retrocediendo muy rápidamente en muchas áreas costeras (Cook *et al.*, 2005; Moon *et al.*, 2015). Estos cambios vienen dados por diversos factores, entre los que se incluyen el cambio climático del Holoceno, el aumento de las precipitaciones y los cambios de la temperatura superficial del océano (Cook *et al.*, 2005). A su vez, el derretimiento estacional de estos glaciares que terminan en el mar, como es el caso del Glaciar Collins, y la consecuente entrada de agua de deshielo en las aguas costeras de la Bahía Collins impactan sobre el ambiente marino local (Tatian *et al.*, 2008; Pasotti *et al.*, 2014; Moon *et al.*, 2015). Estos eventos promueven una mayor presencia de partículas en suspensión en el mar, especialmente en las áreas cercanas al frente del glaciar durante los meses de primavera-verano, limitando en muchos casos la productividad primaria (Schloss *et al.*, 2012), afectando la fisiología de organismos que se alimentan por filtración y la distribución vertical de las macroalgas, lo cual conduce a una alteración de la estructura de los ensamblajes y el comportamiento de las especies en estos fiordos antárticos glacio-marinos (Tatian *et al.*, 2008; Sahade *et al.*, 2015; Lager *et al.*, 2017). La menor temperatura registrada en el agua de superficie en las estaciones cercanas al Glaciar Collins estaría asociada al aporte de agua de deshielo glacial durante el verano austral, lo cual ha sido previamente reportado para el área (Venturini *et al.*, 2020). La Bahía Collins es un fiordo fuertemente estratificado durante el verano, con una capa de agua dulce más fría derivada de la escorrentía superficial y/o del deshielo glacial, superpuesta a aguas saladas más cálidas de origen oceánico (Llanillo *et al.*, 2019). A su vez, Llanillo *et al.* (2019) han observado la retención de esta agua de deshielo glacial en la zona próxima al Glaciar Collins debido al efecto de las mareas durante la pleamar.

En general, los valores de pH de las aguas superficiales marinas pueden variar por procesos físicos y biológicos (Hansen, 2002). Los valores de pH responden a cambios en la concentración de CO₂, alcalinidad y temperatura. La dimensión del cambio depende de la salinidad, debido a que la concentración de sal influye en las distintas constantes de equilibrio y a su vez varios componentes de la sal marina están involucrados en las reacciones ácido-base del agua de mar (Hinga, 2002). Además, la absorción de CO₂ por parte del fitoplancton durante la fotosíntesis puede aumentar el pH marino, mientras que la liberación de CO₂ a través de procesos respiratorios y de degradación microbiana disminuiría el pH (Hansen, 2002; Hinga, 2002). Por lo tanto, las diferencias observadas en el pH en ambas transectas podrían estar reflejando menores concentraciones de CO₂ en las

estaciones cercanas al Glaciar Collins, asociadas a una mayor productividad primaria en esta área, mientras que los menores valores en las estaciones de Caleta de North estarían reflejando mayor respiración y degradación microbiana.

Las diferencias granulométricas observadas en el sedimento de ambas zonas de estudio, responden a las características propias de los fiordos. En la transecta de Caleta de North se apreció un claro gradiente batimétrico, con una mayor proporción de sedimentos gruesos (gravas y arenas) en las estaciones más someras y finos en la más profunda. En cambio, en la transecta del Glaciar Collins, a pesar de que también dominaron los sedimentos finos en la estación más profunda, no se observó el mismo patrón respecto al gradiente batimétrico, y hubo una mayor heterogeneidad granulométrica entre las estaciones. Esta heterogeneidad en el tamaño de grano, abarcando desde gravas y arenas gruesas a sedimentos finos principalmente, se corresponde con lo encontrado por Baldi *et al.* (2010) en estaciones con profundidades similares (19-66m) de la Bahía de Terra Nova, Mar de Ross (continente Antártico). En términos generales, hay una tendencia a la deposición de sedimentos más finos, como limos y arcillas, en zonas con menor energía hidrodinámica, y sedimentos más gruesos, como arenas, en zonas con mayor energía (Suguio, 1973). Los glaciares con frente marítimo, como lo es el Glaciar Collins en el área de estudio, se caracterizan por presentar un importante desprendimiento de bloques de hielo en sus bordes durante los meses de verano (Yoon *et al.*, 1998; Llanillo *et al.*, 2019). Estos eventos ocasionales, tienen como consecuencia el aporte abrupto de sedimentos compuestos tanto de detritos de origen glacial (*ice rafting debris* (IRD) según sigla en inglés) de mayor tamaño, como de origen terrestre, los cuales, junto con partículas de origen marino, son exportados hacia el fondo donde finalmente sedimentan formando depósitos glacio-marinos (Bertrand *et al.*, 2012). A su vez, el agua producto del deshielo glacial transporta partículas litogénicas y terrígenas hacia la bahía, las cuales son el producto de procesos de erosión y meteorización (Yoon *et al.*, 1998; Milliken *et al.*, 2009; Pasotti *et al.*, 2015; Hoffman *et al.*, 2019). Los procesos mencionados podrían explicar la heterogeneidad granulométrica de las estaciones más próximas al Glaciar Collins. Una importante contribución litogénica y terrestre en las proximidades de los glaciares que va disminuyendo con la distancia a estos, y el consecuente aumento de la sedimentación marina, ha sido reportado en fiordos patagónicos del sur de Chile (Rebolledo *et al.*, 2019). Sin embargo, la dominancia de las fracciones granulométricas más finas en las estaciones más profundas (CN3 y GC3), estaría indicando condiciones de menor energía hidrodinámica propias de un ambiente deposicional a medida que la profundidad aumenta y la sedimentación marina se incrementa. El bajo grado de selección de los sedimentos en todas las estaciones de la Bahía Collins, con la presencia de diferentes clases granulométricas y alta heterogeneidad en la distribución de estos sedimentos es característico de la topografía propia de los fiordos

(Boldt *et al.*, 2013) y de los distintos procesos de sedimentación descritos anteriormente. La alternancia entre la sedimentación marina y los aportes glaciales abruptos, junto con una mayor hidrodinámica más cerca de la costa, serían responsables por el bajo grado de selección de los sedimentos en el área de estudio.

El aumento del porcentaje de materia orgánica con la profundidad en las estaciones de Caleta de North puede relacionarse con las características granulométricas descritas previamente, estando asociada la deposición de sedimentos finos a la acumulación de materia orgánica. Se sabe que el mayor contenido orgánico está asociado con los sedimentos finos, debido a la alta relación superficie/volumen (Mayer, 1994). Sin embargo, en las estaciones del Glaciar Collins se registró mayor homogeneidad en el porcentaje de materia orgánica total, independientemente de la profundidad y las características granulométricas, que podría ser el resultado de los aportes por derretimiento glacial y algas asociadas al hielo marino anual, así como, de los *blooms* de fitoplancton que ocurren en cada primavera y verano austral (Massom & Stammerjohn, 2010).

Las concentraciones de pigmentos fotosintéticos registradas en ambas transectas siguen los patrones mencionados anteriormente para MOT. Las concentraciones de clorofila-*a* registradas en este trabajo son semejantes a las reportadas por Pasotti *et al.* (2014) en sedimentos costeros de Caleta Potter, un pequeño fiordo tributario de la Bahía Maxwell cercano al área de estudio. Las razones Clor-*a*:Feop menores a 1 indican la presencia en los sedimentos de fitodetritos con cierto grado de degradación e indican la contribución de material derivado de la producción primaria hacia los sedimentos (Pusceddu, 2000). Existe una limitada productividad primaria en las capas superficiales de la columna de agua durante la mayor parte del año debido a la presencia de la cobertura de hielo marino anual, la cual provoca una reducción del espacio disponible para que se desarrollen las floraciones algales (Arrigo & van Dijken, 2003). Además, el efecto del albedo del hielo juega un papel importante. Las regiones polares se caracterizan por presentar un alto albedo debido a que el hielo es un material muy reflectante, provocando una baja absorción de la energía solar y en consecuencia baja actividad fotosintética hasta que el hielo se derrite (Arrigo *et al.*, 1997). Sin embargo, existe una reserva de algas contenidas en la capa de hielo marino anual, cuya liberación junto con el aporte de nutrientes y el pulso estabilizador del agua de deshielo glacial, se combina con niveles de luz más altos que promueven extensas floraciones de algas en las aguas costeras antárticas (Riebesell *et al.*, 1991; Massom & Stammerjohn, 2010). Por lo tanto, en cada temporada estival una combinación de partículas orgánicas frescas y detríticas, liberadas del hielo marino, aportadas desde tierra por la escorrentía y el derretimiento glacial, originadas de floraciones algales y restos de macroalgas, se concentran en las aguas superficiales antárticas y son exportadas a los sedimentos marinos (Isla *et al.*, 2006; Mincks *et al.*, 2005; Passotti *et al.*,

2015). La mayor parte de la clorofila-a producida en la zona eufótica es degradada a feopigmentos como producto de la lisis celular bacteriana o autolítica y de las actividades de pastoreo o *grazing*, principalmente (Shuman & Lorenzen, 1975; Bianchi *et al.*, 1988; Bianchi *et al.*, 1991; Sañé, 2010). Cuanto más tiempo permanezca este material en la columna de agua, más tiempo estará expuesto a la degradación (Bianchi *et al.*, 2002). Esta serie de sucesos trae como consecuencia que los feopigmentos sean la forma predominante de pigmentos fotosintéticos en los sedimentos marinos antárticos (Sañé, 2010; Pasotti *et al.*, 2014). A su vez, la degradación de los pigmentos fotosintéticos también puede ocurrir en los sedimentos, dependiendo de varios factores como la labilidad propia del pigmento, la actividad microbiana, la luz, el oxígeno y la velocidad de sedimentación (Bianchi *et al.*, 1988; Sañé, 2010). Altas concentraciones de feopigmentos sugieren un fuerte acoplamiento entre los procesos que ocurren en la columna de agua y el fondo marino, así como un importante aporte de fitodetritos a los sedimentos a través de los pulsos resultantes de las floraciones de fitoplancton de primavera y verano (Danovaro *et al.*, 2000; Mincks *et al.*, 2005; Sañé, 2010).

Las concentraciones de proteínas registradas en las estaciones de Caleta de North y del Glaciar Collins son similares a las observadas en trabajos previos para otras áreas costeras de la Antártida. En la Bahía de Terra Nova, con profundidades entre 19 y 66 metros, se encontraron concentraciones de PRT = 60-1042 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Baldi *et al.*, 2010) y en Caleta Potter, a 15 metros de profundidad, concentraciones de PRT < 2000 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Pasotti *et al.*, 2014). Las PRT indican la presencia de materia orgánica fresca de origen fitoplanctónico en los sedimentos, reflejando la productividad del ecosistema (Danovaro *et al.*, 1999; Isla *et al.*, 2006). Las PRT fueron la clase dominante de biopolímeros orgánicos en todas las estaciones, excepto en GC2 y GC3, sugiriendo una alta productividad y la deposición de material orgánico fresco derivado del fitoplancton en los sedimentos del fondo en la mayoría de las estaciones analizadas.

Por otro lado, los CHO son producidos por los organismos autótrofos en la fotosíntesis, forman parte de los tejidos estructurales y de reserva de las plantas terrestres y acuáticas, y altas concentraciones están asociadas a la presencia de fitodetritos degradados (Danovaro *et al.*, 1999). Los CHO fueron la clase de biopolímeros orgánicos que presentó menores concentraciones en ambas transectas, aunque las mayores correspondieron a la transecta de Caleta de North, sugiriendo un mayor aporte terrestre y de fitodetritos degradados en estas estaciones. Este patrón de menor concentración de CHO en sedimentos costeros antárticos también fue observado por Baldi *et al.* (2010) y Pasotti *et al.* (2014) en la Bahía de Terra Nova y en Caleta Potter, respectivamente. La razón PRT:CHO indica el grado de degradación de la materia orgánica presente en los sedimentos, ya que las PRT son compuestos más lábiles que tienden a degradarse más

rápidamente que los CHO que son compuestos estructurales (Pusceddu *et al.*, 1999). Esta relación presentó en todas las estaciones valores mayores a 1, indicando la presencia de materia orgánica fresca con bajo grado de degradación. Razones PRT:CHO similares a las obtenidas en este estudio han sido reportadas en otras zonas costeras de la Antártida, asociadas a floraciones fitoplanctónicas y a la exportación de altas cantidades de compuestos orgánicos recién producidos o frescos, desde la columna de agua hacia los sedimentos (Pusceddu *et al.*, 2000; Isla *et al.*, 2006; Baldi *et al.*, 2010).

Los LIP presentaron el mismo patrón batimétrico en ambas transectas, aumentando con la profundidad. Los agregados de diatomeas y los gránulos fecales del zooplancton son los portadores más importantes de LIP a los sedimentos antárticos (Gutt *et al.*, 1998; Schnack-Schiel & Isla, 2005; Isla *et al.*, 2006; Baldi *et al.*, 2010; Sañé *et al.*, 2012). En particular, los agregados de diatomeas junto con los gránulos fecales del zooplancton pueden ser responsables de la alta calidad nutritiva y alto valor energético (en términos del contenido de PRT y LIP, respectivamente) del material orgánico que llega a través de pulsos al fondo marino (Isla *et al.*, 2006; Isla *et al.*, 2011). El predominio de LIP en GC2 y GC3, podría estar asociado a la mayor profundidad de estas estaciones y a un mayor tiempo de permanencia del material orgánico fresco en la columna de agua expuesto al pastoreo o *grazing* del zooplancton. Altas concentraciones de lípidos, particularmente ácidos grasos derivados de diatomeas, bacterias y un aporte significativo de zooplancton y fauna asociada al hielo, han sido reportadas recientemente en el material orgánico particulado en suspensión en las aguas superficiales cercanas al Glaciar Collins (Venturini *et al.*, 2020). Además, los LIP debido a su estructura y carácter hidrofóbico son la clase de biopolímeros orgánicos más persistente en los sedimentos marinos donde tienden a acumularse (Pusceddu *et al.*, 1999). La razón CHO:LIP es utilizada como indicadora del valor energético de la materia orgánica presente en los sedimentos que puede ser utilizada como fuente de alimento por los organismos bentónicos (Galois *et al.*, 2000). En la transecta de Caleta de North las razones CHO:LIP fueron cercanas a 1, debido a la semejanza en las concentraciones de CHO y LIP, esto sugiere la presencia de materia orgánica con relativamente bajo valor energético para los organismos bentónicos heterótrofos. Por otro lado, en la transecta del Glaciar Collins las razones registradas fueron mucho menores a 1 indicando la presencia de material orgánico con mayor contenido de LIP y por lo tanto con alto valor energético.

El BPC es utilizado como un estimador de la fracción lábil del carbono orgánico que es fácilmente digerida y asimilada por los organismos bentónicos, indicando mayores concentraciones de BPC, una mayor cantidad y mejor calidad (en aspectos nutricionales) del alimento disponible para el bentos (Pusceddu *et al.*, 2007). En la transecta de Caleta de North los valores de BPC fueron variables indicando diferencias en la cantidad y calidad del

alimento disponible para los organismos bentónicos. En contraste, los mayores valores de BPC registrados en todas las estaciones del Glaciar Collins, sugieren una alta cantidad y calidad de la materia orgánica en los sedimentos en dicha zona. Los LIP fueron la clase de biopolímeros orgánicos con la mayor contribución relativa al BPC, principalmente en las estaciones de la transecta cercana al Glaciar Collins, a diferencia de lo reportado por otros estudios (Isla *et al.*, 2006). Dichos autores encontraron para la zona este del Mar de Weddell que las PRT presentaron la mayor contribución. Las concentraciones de los distintos biopolímeros en los sedimentos varían a lo largo del año asociados a las variaciones de la productividad primaria y secundaria (Isla *et al.*, 2006; Isla *et al.*, 2011). Los mayores contenidos de LIP al final del verano/principios del otoño austral cuando fue realizado el presente estudio, serían producto de la intensa actividad de pastoreo o *grazing* del zooplancton sobre el material fresco derivado de la productividad primaria y originado con anterioridad, en la primavera/principios del verano austral cuando ocurren las floraciones de fitoplancton (Cattaneo-Vietti *et al.*, 1999; Schnack-Schiel & Isla, 2005; Isla *et al.*, 2009; Isla *et al.*, 2011; Sañé, 2012).

Los resultados del ACP (Figura 10) evidencian diferencias en las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos en las estaciones de cada transecta asociadas a las diferentes condiciones ambientales que predominan en Caleta de North y Glaciar Collins. La composición biogeoquímica de los sedimentos en las estaciones de Caleta de North reflejan un gradiente batimétrico que resulta en un aumento del porcentaje de sedimentos finos, materia orgánica, fitopigmentos y BPC con el incremento de la profundidad. Esto, probablemente se encuentra asociado a la disminución de la energía hidrodinámica y a un aumento del acoplamiento bento-pelágico y de la sedimentación marina con la profundidad. A medida que la profundidad aumenta, condiciones hidrodinámicas de menor energía, son más propicias para generar un ambiente deposicional con mayor acumulación de sedimentos finos y materia orgánica procedente de la columna de agua, comparativamente a las estaciones más someras y cercanas a la costa. Este gradiente batimétrico no es tan evidente en las estaciones bajo influencia del Glaciar Collins, debido probablemente, a que la ocurrencia ocasional de aportes abruptos de sedimentos de origen glacial les confiere mayor heterogeneidad. En las estaciones próximas al Glaciar Collins y en CN3 las altas concentraciones de PRT, LIP y BPC indican un aporte masivo desde la columna de agua hacia los sedimentos de material orgánico fresco, rico en proteínas y con alto valor energético, derivado de la productividad primaria y secundaria, destacándose la importancia del acoplamiento bento-pelágico en las estaciones más profundas y alejadas de la costa. La mayor temperatura del agua superficial, la mayor concentración de CHO y contribución algal al BPC en las estaciones de Caleta de North comparativamente a las del Glaciar Collins, indican la ausencia de agua de deshielo en esa zona, así como, la mayor contribución de

fitodetritos degradados, desde la columna de agua hacia los sedimentos. En contraste, en las estaciones próximas al Glaciar Collins los resultados sugieren la presencia de agua de deshielo proveniente del glaciar, de materia orgánica más fresca y con menor contribución de fitodetritos degradados.

5.2. Estructura taxonómica y funcional de las comunidades de poliquetos y relaciones organismo-sustrato

Las comunidades bentónicas antárticas se caracterizan por un alto endemismo y, marcada dependencia con las condiciones ambientales locales que modulan su estructuración, como son las características de los sedimentos, las olas y el efecto del hielo (Arntz *et al.*, 1994; Barnes, 1995; Ragua-Gil *et al.*, 2004; de Souza Barbosa *et al.*, 2010). Las diferencias a pequeña escala en la frecuencia de la alteración del hielo debido a la variación en la pendiente y topografía, combinados con factores biológicos como el reclutamiento y la depredación, dan como resultado una mayor variación en la composición de la comunidad entre sitios cercanos (Smale, 2007). Además, Bromberg *et al.* (2000), Barnes & Conlan (2007) y Pasotti *et al.* (2015) sugieren que el hielo es uno de los principales agentes de perturbación para comunidades bentónicas de aguas poco profundas menores a 100 metros. El impacto causado por el hielo fue también observado por Gambi *et al.* (1997), para la comunidad de poliquetos y por Sahade *et al.* (1998), para la comunidad bentónica en general, en la Bahía de Terra Nova y Caleta Potter, respectivamente.

Los poliquetos representan un componente importante, en términos de la riqueza y el número de organismos, de las comunidades bentónicas antárticas (Sicinski, 1986; Gambi *et al.*, 1997; Clarke & Johnston, 2003; Clarke *et al.*, 2004). En el presente estudio, la abundancia de individuos y la riqueza de familias registradas en las cinco estaciones analizadas son acordes a las observadas en Sicinski & Janowska (1993) (4-30m), Bromberg *et al.* (2000) (6-25m) y de Souza Barbosa *et al.* (2010) (20-60m) para sedimentos blandos de la Bahía de Almirantazgo (costa sur, Isla Rey Jorge). Esta bahía presenta una topografía de fondo caracterizada por una fuerte pendiente, con sedimentos areno-limosos mayormente, que se vuelven más finos con el aumento de la profundidad (Sicinski & Janowska, 1993; Bromberg *et al.*, 2000; Petti *et al.*, 2006). Estas características son similares a las registradas en la Bahía Collins aunque con mayor contenido de gravas en esta última.

Diferencias en los parámetros de las comunidades bentónicas en función de la profundidad, particularmente un aumento de la riqueza de especies con el gradiente batimétrico, han sido observadas para otras áreas submareales antárticas por Smale (2007) en la Isla Adelaida (oeste de la Península Antártica), por Sahade *et al.* (1998) y Nonato *et al.*

(2000) en la isla Rey Jorge, así como por Gambi *et al.* (2000) en la Bahía de Terra Nova, en estudios que analizaron la comunidad bentónica en su totalidad. La mayor riqueza y diversidad de familias de poliquetos encontradas en el presente estudio en estaciones más someras, localizadas en Caleta de North, en comparación con el resto de las estaciones más profundas, sugieren la ausencia de una relación aparente de estos parámetros comunitarios con la profundidad. Sin embargo, el haber considerado únicamente un grupo de organismos y a un nivel taxonómico superior (familias), al específico no es posible afirmar que no existe una relación entre especies y dicho gradiente batimétrico.

De acuerdo con los resultados del BIO-ENV (Tabla 6) la distribución de la comunidad de poliquetos responde principalmente al tamaño de grano del sedimento y a la composición biogeoquímica de los sedimentos (concentración de clorofila-a y feopigmentos, contribución algal al BPC, porcentaje de materia orgánica total y concentración de PRT y LIP). Esta relación podría estar asociada a la topografía inclinada típica de los fiordos y los procesos de sedimentación.

Las diferencias en la composición y la abundancia de las familias de poliquetos en las estaciones de ambas transectas, evidenciadas por el nMDS (Figura 12), estarían relacionadas con la influencia de las condiciones ambientales locales, como son el tipo de sedimento y la frecuencia de perturbación por el hielo. La mayoría de las estaciones estuvieron ampliamente dominadas por poliquetos de la familia Maldanidae, llamados también gusanos de bambú. Estos se encuentran compuestos por organismos depositívoros de subsuperficie, en su mayoría tubícolas, sésiles, que se alimentan por eversión de una faringe en forma de saco (Fauchald & Jumars, 1979), caracterizados por estar presentes principalmente en sustratos blandos a distintas profundidades (Sicinski, 1986; Bromberg *et al.*, 2000; de Souza Barbosa *et al.*, 2010). La dominancia de Maldanidae también fue reportada por Sicinski (1986), Sicinski (1993) y de Souza Barbosa *et al.* (2010) para Bahía de Almirantazgo (Isla Rey Jorge). Además, Parapar *et al.* (2011) observaron la presencia de esta familia en el Mar de Bellingshausen asociada a ambientes donde la perturbación creada en el lecho marino por la erosión de los icebergs es baja. Las altas abundancias de la familia Maldanidae en las estaciones más someras de Caleta de North, estarían asociadas a ambientes más estables y sin influencia glacial donde la frecuencia de perturbación creada por la erosión de los icebergs sería baja o casi nula. Bromberg *et al.* (2000) reportaron altas densidades de tubos de Maldanidae en estaciones de la Bahía de Almirantazgo donde el efecto perturbador del hielo es bajo. Los poliquetos de esta familia presentan una gran variedad en la construcción de sus tubos, los cuales pueden ser tubos fuertes, compuestos de revestimientos gruesos con incrustaciones de sedimento de distintos tamaños, mientras que otros tubos simplemente presentan una cubierta frágil de sedimentos finos (Fauchald & Jumars, 1979). Además, las altas abundancias de la familia

Maldanidae registradas en las estaciones cercanas al Glaciar Collins, también sugieren un bajo grado de perturbación por el hielo en esta zona, a pesar de la proximidad del glaciar. El desprendimiento de bloques de hielo durante los meses de verano ha sido reportado para el Glaciar Collins, principalmente en la zona de su frente marítimo que se localiza hacia el noreste del área de estudio del presente trabajo (Yoon *et al.*, 1998; Llanillo *et al.*, 2019), por lo cual un bajo grado de perturbación por el hielo sería esperable. Las mayores abundancias de la familia Maldanidae a los 50 metros de profundidad en ambas transectas (CN2 y GC1), son acordes con lo observado por de Souza Barbosa *et al.* (2010) a una profundidad de 60 metros en la Bahía de Almirantazgo. Según estos autores, las altas abundancias de esta familia podrían estar relacionadas con su ciclo de vida y el desarrollo de una reproducción asexual en respuesta a una alta depredación y mortalidad juvenil (de Souza Barbosa *et al.*, 2010). Por otro lado, la familia Cirratulidae también estuvo presente en todas las estaciones y se encuentra compuesta por poliquetos depositívoros de superficie, móviles, con tentáculos, los cuales utilizan para recolectar el alimento sobre el fondo marino (Fauchald & Jumars, 1979). Bromberg *et al.* (2000) también encontraron altas abundancias de Cirratulidae en la Bahía de Almirantazgo, asociadas a sedimentos heterogéneos. Las especies presentes de esta familia a menudo se alojan en pequeñas cantidades de lodo en grietas, debajo de rocas o en depósitos de macroalgas (Fauchald & Jumars, 1979). Se ha reportado que las macroalgas rojas o rodófitas son muy abundantes en esta zona de la Bahía Collins (Palacios *et al.*, 2009). Por lo tanto, la heterogeneidad sedimentaria mencionada previamente, así como, la presencia de macroalgas, podrían explicar la ocurrencia de poliquetos de esta familia en todas las estaciones del área de estudio. Asimismo, las mayores densidades de estos organismos en las estaciones ubicadas a 100 metros en ambas transectas (CN3 y GC2) estaría asociada a la ocurrencia de sedimentos limosos y gravo-limosos, respectivamente. Otra familia con altas abundancias en el área de estudio, principalmente en las estaciones cercanas al Glaciar Collins, fue Paraonidae. La misma está representada por organismos que pueden ser omnívoros o depositívoros de superficie, siempre móviles y con faringe corta, eversible y en forma de saco (Fauchald & Jumars, 1979). Se han reportado tanto en ambientes arenosos como fangosos y a diferentes profundidades (Parapar *et al.*, 2011). El patrón de excavación de esta familia es muy característico, considerándose altamente selectivo en muchas especies (Fauchald & Jumars, 1979). La mayor abundancia de esta familia en la transecta del Glaciar Collins podría estar relacionada con el mayor grado de perturbación de los sedimentos por la erosión de los icebergs, comparativamente a lo esperado para Caleta de North que es un área libre de hielo, sin influencia del glaciar. Se ha observado en otras áreas con características similares y afectadas por la erosión glaciaria que poliquetos de ciclos de vida corto, como los paraónidos, son abundantes (Parapar *et al.*, 2011). La

estación más profunda de Caleta de North presentó comunidades de poliquetos similares a la estación más profunda cercana al Glaciar Collins que a los registrados para las estaciones más someras de Caleta de North. Este paralelismo probablemente esté relacionado con la profundidad, la topografía del fondo, el tipo de sedimento y las condiciones biogeoquímicas en ambas estaciones.

Diferencias en la abundancia de poliquetos en ambientes antárticos han sido atribuidas principalmente a la productividad primaria en la columna de agua ya que esta parece determinar una segregación espacial de las familias de poliquetos alrededor de la isóbata de 100 metros, relacionándose fuertemente con sus diferentes estrategias tróficas (Lowry, 1975; San Martín *et al.*, 2000). A su vez, los grupos de alimentación están estrechamente relacionados con las características biogeoquímicas de los sedimentos, como el tamaño de grano y el contenido orgánico (Fauchald & Jumars, 1979; Gambi & Giangrande, 1985; Pagliosa, 2005; Jumars *et al.*, 2015). Cada familia de poliquetos puede incluir varios grupos de alimentación (Fauchald & Jumars, 1979), siendo posible realizar el análisis sin necesidad de llegar al nivel taxonómico de especie. Además, los grupos de alimentación de poliquetos son relevantes para las reglas de ensamblaje basadas en la disponibilidad de recursos, la partición de recursos y la competencia interespecifica (Pagliosa, 2005). En este trabajo, el análisis trófico mostró una alta diversidad de grupos tróficos, con un predominio de las diversas formas de depositívoros. En conjunto, depositívoros de superficie y subsuperficie representaron casi el 70% de los organismos encontrados en ambas transectas. En Caleta de North dominaron depositívoros de superficie y subsuperficie, mientras que en las estaciones próximas al Glaciar Collins los depositívoros de superficie y omnívoros, fueron los principales grupos encontrados, seguidos por los depositívoros de subsuperficie. La dominancia de organismos depositívoros fue también verificada por Gambi *et al.* (1997) y Bromberg *et al.* (2000) y relacionada con características favorables de los sedimentos, tales como el tamaño de grano, el contenido orgánico y de microorganismos, principalmente en las estaciones más profundas. Además, la dominancia de los depositívoros es esperable en sedimentos con alta carga de detritos orgánicos (Pearson, 2001). Inmediatamente después de la deposición de detritos orgánicos frescos en la superficie del sustrato, la actividad de alimentación de los depositívoros de superficie es estimulada, pero después de largos períodos de sedimentación y durante la degradación continua de ese material orgánico que está siendo depositado, los depositívoros de subsuperficie son favorecidos, asociados a la presencia de compuestos orgánicos relativamente más refractarios (Josefson *et al.*, 2002; Venturini *et al.*, 2011). Esto último explicaría la presencia de mayores cantidades de depositívoros de subsuperficie en la transecta de Caleta de North, donde las concentraciones de CHO fueron mayores y por lo tanto también el aporte de fitodetritos degradados. En contraste, las

mayores concentraciones de material orgánico fresco en las estaciones próximas al Glaciar Collins derivado de la producción primaria (alto contenido en PRT) y secundaria (alto contenido en LIP y valor energético), explicaría las mayores proporciones de depositívoros de superficie y omnívoros en esta zona. Entre los depositívoros, el predominio de formas móviles con respecto a las formas sésiles, podría deberse a la mayor sensibilidad a la inestabilidad sedimentaria que presentan las formas sésiles (Gambi *et al.*, 1997; Bromberg *et al.*, 2000). Las mayores abundancias de la familia Paraonidae en las estaciones próximas al Glaciar Collins, comparativamente a las registradas en Caleta de North, sugieren que la frecuencia de perturbación producida por el hielo sería mayor en la zona cercana al glaciar, ya que estos eventos de perturbación dan como resultado comunidades más complejas, heterogéneas y dinámicas, dominadas por organismos móviles y errantes, tanto depositívoros como omnívoros, frente a los organismos sésiles. La baja presencia de fauna sésil se ha reportado a nivel general en las comunidades bentónicas antárticas (Smale, 2007). Junto con la perturbación promovida por el hielo, los efectos de la depredación a poca profundidad también podría determinar las distribuciones observadas, dado que la depredación intensa por parte de algunos organismos de la megafauna sobre los poliquetos puede inhibir el asentamiento y el crecimiento de reclutas sésiles en las zonas más someras (Smale, 2007). Los organismos sésiles se encontraron mayormente a profundidades superiores a los 50 metros, representados por las familias Maldanidae, Ampharetidae, Sabellidae, Terebellidae y Thrichobranchidae en ambas transectas. Por otro lado, la familia Capitellidae, que estuvo presente únicamente en Caleta de North, está compuesta por organismos oportunistas, depositívoros, móviles y de cuerpo simple. Según Bromberg *et al.* (2000), los organismos móviles oportunistas se caracterizan por estar presentes en ambientes inestables más someros, mientras que en áreas más profundas habitan mayoritariamente especies sésiles, las cuales requieren cierto grado de estabilidad ambiental. El sustrato en las estaciones de Caleta de North presentaría una mayor estabilidad ambiental al no tener influencia del Glaciar Collins, aunque el alto hidrodinamismo indicado por una mayor proporción de sedimentos gruesos (gravas y arenas) podría explicar la presencia de poliquetos oportunistas de la familia Capitellidae únicamente en las estaciones más someras de esta transecta.

La cantidad y calidad de la materia orgánica que llega al fondo marino pueden considerarse como uno de los principales factores que influyen en la estructura trófica y el metabolismo de las comunidades bentónicas (Danovaro *et al.*, 1999; Pearson, 2001; Venturini *et al.*, 2011). La materia orgánica presente en los sedimentos marinos antárticos, acumulada durante la primavera y el verano austral, es la fuente de alimento que mantiene la alta biomasa bentónica en la región durante el resto del año, cuando la producción primaria es reducida (Isla *et al.*, 2006; Baldi *et al.*, 2010; Isla *et al.*, 2011; Sañé *et al.*, 2012).

Si bien la estructura de las comunidades está influenciada por la cantidad, calidad y distribución de la materia orgánica sedimentaria, su relación es bilateral ya que la fauna también afecta la asignación, dislocación, fraccionamiento y disponibilidad de este material para toda la comunidad a través de la bioturbación (Venturini *et al.*, 2011). En el presente estudio, la dominancia de la categoría de bioturbación "*Conveyor belt transport*" (CONV) en las estaciones más someras de Caleta de North, estuvo asociada principalmente con la presencia de organismos pertenecientes a las familias Maldanidae, Capitellidae y Orbiniidae, todos depositívoros de subsuperficie que son favorecidos por la presencia de fitodetritos degradados. La actividad bioturbadora de estos organismos resulta en el transporte activo de partículas, desde una cierta profundidad en el sedimento hasta la superficie, contribuyendo en gran medida a la mezcla de los sedimentos y favoreciendo el flujo de materiales en la interface agua-sedimento (Cantone *et al.*, 2000). La dominancia de esta categoría de bioturbación fue también registrada por Cantone *et al.* (2000), atribuida a altas proporciones de las familias Maldanidae y Capitellidae en fondos blandos de la Bahía de Terra Nova (Antártida), asociados a distintas fracciones granulométricas. La actividad bioturbadora de los organismos CONV promueve también la actividad bacteriana y la distribución de otros organismos bentónicos dentro del sustrato al mezclar las partículas de sedimento y redistribuir el material orgánico (Levin *et al.*, 1997; Venturini *et al.*, 2011). También fueron importantes en las estaciones más someras de Caleta de North los organismos de las categorías "*Diffusive mixing*" (DIFF) y "*Surface deposition*" (SURF), principalmente SURF en CN2. Según Dauwe *et al.* (1998), dado que la materia orgánica fresca y de alta calidad tiende a desaparecer rápidamente, antes de alcanzar mayores profundidades dentro del sustrato, su presencia favorece inicialmente la proliferación de organismos SURF. Esta categoría incluye individuos suspensívoros, depositívoros de superficie y aquellos que alternan entre estos dos tipos de alimentación (alimentadores de interface) como algunos poliquetos tubícolas. Cuando la calidad del alimento es intermedia, los costos energéticos y los beneficios de su desplazamiento a capas de sedimento más profundas estimulan la presencia de organismos DIFF que redistribuyen rápidamente la materia orgánica fresca dentro del sedimento (Dauwe *et al.*, 1998; Venturini *et al.*, 2011). Por lo tanto, la presencia de SURF, DIFF y CONV en las estaciones más someras de Caleta de North podría estar relacionada con la mezcla de materia orgánica parcialmente degradada y fresca, indicado por las mayores proporciones de CHO y contribución algal al BPC. Por otro lado, la dominancia de la categoría DIFF, tanto en la estación más profunda de Caleta de North, como en las estaciones próximas al Glaciar Collins, principalmente en las ubicadas a 100 metros (CN3 y GC2), estaría asociada a la presencia de materia orgánica fresca, de calidad intermedia, derivada tanto de la productividad primaria como secundaria (rica en PRT y LIP).

Dado que este estudio fue realizado a fines del verano/principio del otoño austral, la calidad intermedia de la materia orgánica que se deposita en los sedimentos sería el resultado de la intensa actividad de pastoreo o *grazing* del zooplancton sobre el material fresco derivado de la productividad primaria ocurrida con anterioridad en la primavera/inicio del verano (Cattaneo-Vietti *et al.*, 1999; Schnack-Schiel & Isla, 2005; Isla *et al.*, 2009; Isla *et al.*, 2011; Sañé, 2012). Los organismos de la categoría DIFF se caracterizan por promover un transporte difusivo unidimensional que redistribuye rápidamente la materia orgánica fresca dentro del sedimento, teniendo una importante influencia en los procesos sedimentarios (Dauwe *et al.*, 1998; Venturini *et al.*, 2011). Esta categoría se encuentra asociada con organismos depositívoros de subsuperficie, libres, excavadores y carnívoros de vida libre. Los poliquetos de la familia Paraonidae, muy abundantes en las estaciones próximas al Glaciar Collins son organismos móviles, omnívoros, los cuales responden rápidamente al flujo de materia orgánica proveniente de la columna de agua (Dauwe *et al.*, 1998). Los individuos de la familia Cirratulidae presentes en todas las estaciones, pero dominantes en la estación más profunda de Caleta de North, son organismos depositívoros de superficie, móviles con tentáculos, muy eficientes en el transporte vertical y lateral de partículas dentro del sedimento teniendo una importante influencia en la distribución y alteración de la materia orgánica dentro del sustrato, así como en la modificación de sus propiedades biogeoquímicas (Jumars *et al.*, 2007). Por lo tanto, la dominancia de la categoría de bioturbación DIFF en las estaciones más profundas del área de estudio, tanto de Caleta de North como de la zona de influencia del Glaciar Collins, sugiere el flujo de materia orgánica derivada de la productividad primaria y secundaria, desde la columna de agua hacia los sedimentos, o sea un fuerte acoplamiento bento-pelágico en las estaciones más profundas, asociadas a procesos deposicionales. En el presente estudio, la bioturbación es impulsada principalmente por organismos depositívoros, tanto de superficie como de subsuperficie tanto sésiles como móviles, pertenecientes a las categorías CONV, SURF y DIFF los cuales se ha visto en trabajos previos que participan activamente en la degradación de la clorofila-a, o sea del material derivado de la productividad primaria procedente de la columna de agua (Bianchi *et al.*, 1988; Sañé, 2010). Además los organismos omnívoros móviles pertenecientes a la categoría DIFF también jugarían un rol importante, principalmente en las estaciones próximas al Glaciar Collins. La coexistencia de organismos sésiles y móviles de distintos grupos funcionales de alimentación y de distintas categorías de bioturbación sugiere cierto grado de estabilidad ambiental en el área de estudio, y también que la materia orgánica presente en los sedimentos, acumulada durante la primavera y el verano austral, sustenta comunidades complejas desde el punto de vista funcional y con distinto potencial de bioturbación, en función de las características biogeoquímicas del ambiente sedimentario.

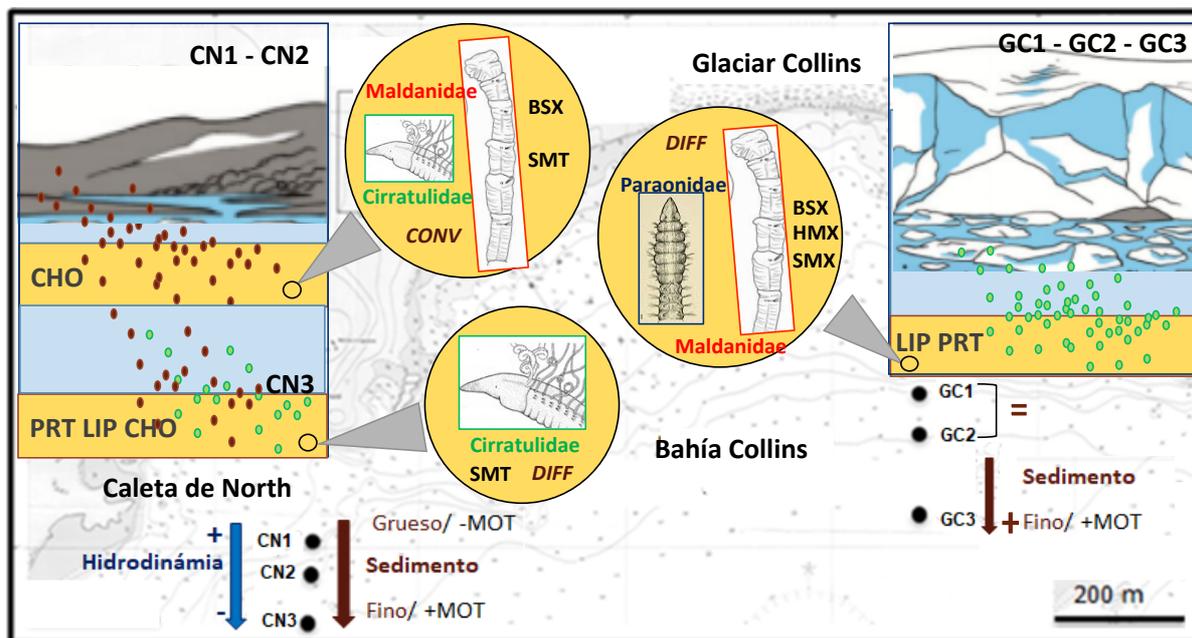


Figura 13. Esquema de las principales conclusiones de este trabajo. Se representan los biopolímeros del sedimento (CHO: carbohidratos, LIP: lípidos, PRT: proteínas) que predominaron en cada estación o transecta (CN: Caleta de North y GC: Glaciar Collins). Los puntos verdes corresponden a materia orgánica fresca mientras que los puntos marrones representan materia orgánica con cierto grado de degradación. La flecha azul representa las variaciones en las condiciones hidrodinámicas mientras que las flechas marrones corresponden a diferencias en el tamaño de grano, asociado con la concentración de materia orgánica (MOT) en el sedimento. Por otro lado, en los círculos amarillos se representan las principales familias de poliquetos (Maldanidae, Cirratulidae y Paraonidae), grupos funcionales de alimentación (BSX: depositívoros de subsuperficie, sésiles con faringe eversible en forma de saco, SMT: depositívoros de superficie, móviles con tentáculos y HMX: omnívoros, móviles con faringe eversible en forma de saco) y categorías de bioturbación (CONV: “Conveyor belt transport” y DIFF: “Diffusive mixing”) en cada estación o transecta, según corresponda.

6. Conclusiones

En la figura 13 se presenta un esquema de las principales conclusiones de este trabajo. En la Bahía Collins, las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos variaron entre las estaciones de muestreo en función del gradiente batimétrico lo cual está relacionado con las características topográficas propias de los fiordos (aumento de la pendiente con la profundidad), los procesos de sedimentación glacio-marina y las condiciones hidrodinámicas locales. Esto fue más evidente en las estaciones de Caleta de North donde a mayor profundidad, se encontró una disminución de las fracciones granulométricas más gruesas (gravas y arenas que predominaron en las estaciones más someras con mayor hidrodinamismo), un aumento del porcentaje de sedimentos finos y del contenido orgánico. En contraste, en las estaciones de la transecta cercana al Glaciar Collins la variación en las propiedades biogeoquímicas no fue tan evidente, probablemente esto se deba a la ocurrencia de eventos abruptos de sedimentación glaciar que producen mayor heterogeneidad en la composición de los sedimentos. En ambas transectas se encontró un aumento de la sedimentación marina y la ocurrencia de ambientes deposicionales a mayor profundidad.

En las estaciones próximas al Glaciar Collins y en CN3 (Caleta de North), las elevadas concentraciones de PRT, LIP y BPC son resultado del aporte masivo desde la columna de agua hacia los sedimentos, de material orgánico fresco y con alto valor energético, derivado tanto de la productividad primaria como secundaria. Esto indica un fuerte acoplamiento bento-pelágico en estas estaciones con mayor profundidad. Las mayores concentraciones de CHO en las estaciones de Caleta de North, comparativamente a las registradas en las estaciones cercanas al Glaciar Collins, están indicando el aporte de material orgánico terrestre y/o derivado de la producción primaria, pero con cierto grado de degradación (fitodetritos degradados). En contraste, mayores contenidos de PRT y LIP en las estaciones cercanas al Glaciar Collins indican el aporte de material orgánico fresco derivado del fitoplancton, zooplancton y fauna asociada al hielo.

En la transecta cercana al Glaciar Collins, la composición y la estructura ecológica y funcional de las comunidades de poliquetos bentónicos fueron diferentes en algunos aspectos y en otros no, con respecto a la transecta de Caleta de North. En todas las estaciones estuvieron presentes organismos de la familia Maldanidae, poliquetos depositívoros de subsuperficie, sésiles, tubícolas y asociados a ambientes con cierto grado de estabilidad. También, la familia Cirratulidae estuvo presente en todas las estaciones, la cual está compuesta por poliquetos depositívoros de superficie, móviles, con tentáculos y asociados a ambientes con una alta heterogeneidad en la composición de los sedimentos. Sin embargo, en las estaciones próximas al Glaciar Collins el predominio de organismos de

la familia Paraonidae, está asociada a un ambiente más inestable con mayor frecuencia de perturbación por la erosión del hielo.

La dominancia de la categoría de bioturbación “*Conveyor belt transport*” (CONV) en las estaciones más someras de Caleta de North, estuvo asociada principalmente a la presencia de organismos pertenecientes a las familias Maldanidae, Capitellidae y Orbiniidae, todos depositívoros de subsuperficie que son favorecidos por la presencia de fitodetritos degradados. En contraste, la dominancia de la categoría de bioturbación DIFF en las estaciones más profundas del área de estudio, tanto de Caleta de North como de la zona de influencia del Glaciar Collins, está asociada al flujo de materia orgánica fresca derivado de la productividad primaria y secundaria, desde la columna de agua hacia los sedimentos, o sea a un fuerte acoplamiento bento-pelágico en las estaciones más profundas, asociadas a procesos deposicionales. El enfoque funcional proporciona información complementaria para la evaluación y comprensión de las relaciones bilaterales entre los organismos bentónicos y las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos marinos, así como, el funcionamiento del ecosistema en su conjunto.

La productividad primaria, el pastoreo del zooplancton y la exportación de partículas desde la columna de agua hacia los sedimentos marinos antárticos, están fuertemente influenciados por la extensión y duración de la cobertura de hielo marino anual, la cual ha presentado una reducción significativa en toda la PA, en los últimos 50 años, como consecuencia del cambio climático (Smith *et al.*, 2006; Sahade *et al.*, 2015). Las respuestas de los ecosistemas marinos antárticos a estos procesos han sido escasamente reportadas para el ambiente bentónico (Sahade *et al.*, 2015). Los efectos de un mayor derretimiento de la cobertura de hielo de la Antártida y de la retracción glaciar aún son inciertos, pero podrían alterar la fisiología, distribución, diversidad, composición trófica y el funcionamiento de las comunidades bentónicas de los ecosistemas marinos antárticos (Ingels *et al.*, 2012). El presente trabajo proporciona evidencias acerca de las relaciones que existen entre las propiedades biogeoquímicas de los sedimentos marinos antárticos (cantidad y composición del material orgánico utilizable por los consumidores heterotróficos bentónicos), con factores tanto ambientales (profundidad e influencia de la sedimentación glacio-marina) como biológicos (ej. composición trófica de las comunidades de poliquetos), las cuales podrían verse alteradas si las tendencias climáticas actuales persisten. Estos resultados pueden ser útiles para evaluar los posibles impactos negativos futuros del retroceso del Glaciar Collins sobre el ecosistema marino de la Bahía Collins, así como posibles respuestas de las comunidades bentónicas a los potenciales impactos del cambio climático. Además, la información obtenida puede ser relevante para otros ecosistemas marinos costeros de la Antártida.

7. Perspectivas

La expansión de los estudios con un enfoque funcional son cruciales para conocer y comprender las interacciones entre los organismos y las propiedades biogeoquímicas, tanto en la columna de agua como en los sedimentos de los ambientes marinos antárticos. Por tal motivo, sería interesante desarrollar los siguientes aspectos en trabajos futuros. En primer lugar, integrar el análisis del material orgánico presente en el sedimento con el que está presente en la columna de agua. Esto podría realizarse a través de la determinación de la composición bioquímica del material en suspensión y el material que sedimenta, colectándolo con trampas de sedimentación, pudiendo así, evaluar las diferencias cuantitativas y cualitativas entre el material orgánico producido en la columna de agua y el que efectivamente llega al fondo. En segundo lugar, complementar la información proporcionada por los biopolímeros con otros análisis, como la relación C/N y de elementos traza, para realizar una caracterización biogeoquímica más detallada sobre el origen de las partículas orgánicas y los sedimentos del fondo. En tercer lugar, si bien la identificación a nivel de familia fue suficiente para el enfoque funcional del presente trabajo, sería importante en el futuro profundizar en el conocimiento taxonómico del macrobentos antártico, con ayuda de especialistas extranjeros, y así poder verificar o no la influencia del gradiente batimétrico en la estructura específica de estas comunidades. Por último, sería relevante desarrollar estudios estacionales y/o interanuales con el fin de conocer y comprender las variaciones en la calidad y disponibilidad del alimento, así como las posibles respuestas de los diferentes organismos bentónicos a estos procesos.

Referencias bibliográficas

- Amaral A.C.Z., Rizzo A.E., Arruda E.P., 2006. Manual de identificación de los invertebrados marinos de la región sur-sudeste de Brasil.
- Antonio E.S., Kasai A., Ueno M., Won N., Ishihi Y., Yo-koyama H., Yamashita Y., 2010. Spatial variation in organic matter utilization by benthic communities from Yura River-Estuary to offshore of Tango Sea, Japan. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 86: 107-117.
- Arntz W.E., Brey T., Gallardo V.A., 1994. Antarctic zoobenthos. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 32: 241-304.
- Arrigo K.R., Worthen D.L., Lizotte M.P., Dixon P., Dieckmann G., 1997. Primary production in Antarctic sea ice. *Science*, 276(5311): 394-397.
- Arrigo K.R. & van Dijken G.L., 2003. Impact of iceberg C-19 on Ross Sea primary production. *Geophysical Research Letters*, 30: 1-4.
- Baldi F., Marchetto D., Pini F., Fani R., Michaud L., Lo Giudice A., Berto D., Giani M., 2010. Biochemical and microbial features of shallow marine sediments along the Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Continental Shelf Research*, 30: 1614-1625.
- Barnes D.K.A., 1995. Sublittoral epifaunal communities at Signy Island, Antarctica. II. Below the ice-foot zone. *Marine Biology*, 121:565-572.
- Barnes D.K.A. & Conlan K.E., 2007. Disturbance, colonization and development of Antarctic benthic communities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 362(1477): 11-38.
- Bertrand S., Hughen K.A., Sepúlveda J., Pantoja S., 2012. Geochemistry of surface sediments from the fjords of Northern Chilean Patagonia (44–47°S): Spatial variability and implications for paleoclimate reconstructions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 76(1): 125-146.
- Bianchi T.S., Dawson R., Sawanwong P., 1988 The effects of macrobenthic deposit-feeding on the degradation of chloropigments in sandy sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 122: 243-255.
- Bianchi T.S., Findlay S., Fontvieille D., 1991. Experimental degradation of plant materials in Hudson River sediments. I. heterotrophic transformations of plant pigments. *Biogeochemistry*, 12: 171-187.
- Bianchi T.S., Rolf C., Widbom B., Elmgren R., 2002. Phytoplankton pigments in Baltic Sea seston and sediments: seasonal variability, fluxes, and transformations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(3): 369-383.

- Blair N.E., Levin L.A., DeMaster D.J., Plaia G., 1996. The short-term fate of fresh algal carbon in continental slope sediments. *Limnology and Oceanography*, 41: 1208-1219.
- Boldt K.V., Nittrouer C.A., Hallet B., Koppes M.N., Forrest B.K., Wellner J.S., Anderson J.B., 2013. Modern rates of glacial sediment accumulation along a 15° S-N transect in fjords from the Antarctic Peninsula to southern Chile. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(4): 2072-2088: <https://doi.org/10.1002/jgrf.20145>.
- Bray J.R. & Curtis J.T., 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27: 325-349.
- Bromberg S., Nonato E.F., Corbisier T.N., Petti M.A. V., 2000. Polychaetes distribution in the nearshore zone of Martel Inlet, Admiralty Bay (King George Island, Antarctica). *Bulletin of Marine Science*, 67(1): 175-188.
- Byers S.C., Mills E.L., Stewart P.L., 1978. A comparison of methods to determining organic carbon in marine sediments, with suggestion for a standard method. *Hydrobiology*, 58: 37-43.
- Cantone G., Castelli A., Gambi M.C., 2000. Benthic polychaetes off Terra Nova Bay and Ross Sea: species composition, biogeography, and ecological role. In: *Ross Sea Ecology*, Springer, Berlin, Heidelberg, 40: 551-561.
- Cattaneo-Vietti R., Chiantore M., Misic C., Povero P., Fabiano M., 1999. The role of pelagic-benthic coupling in structuring littoral benthic communities at Terra Nova Bay (Ross Sea) and in the Straits of Magellan. *Scientia Marina*, 63(S1): 113-121.
- Chinarro D., 2014. Analysis and identification of Collins Glacier Drainage. In: *System Engineering Applied to Fuenmayor Karst Aquifer (San Julián de Banzo, Huesca) and Collins Glacier (King George Island, Antarctica)*, Springer Theses, © Springer International Publishing, Suiza, 5: 117-141: DOI 10.1007/978-3-319-08858-7_5.
- Clarke A. & Johnston N.M., 2003. Antarctic marine benthic diversity. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 41: 47-114.
- Clarke A., Aronson R.B., Crame J.A., Gili J.M., Blake D.B., 2004. Evolution and diversity of the benthic fauna of the Southern Ocean continental shelf. *Antarctic Science*, 16(4): 559-568.
- Clarke A., Murphy E.J., Meredith M.P., King J.C., Peck L.S., Barnes D.K.A., Smith R.C., 2007. Climate change and the marine ecosystem of the western Antarctic Peninsula. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362: 149-166.
- Clarke K.R. & Ainsworth M., 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Marine Ecology Progress Series*, 92: 205-219.
- Clarke K.R. & Warwick R.M., 1994. *Change in Marine Communities: An Approach to*

- Statistical Analysis and Interpretation*. PRIMER-E Ltd, Plymouth Marine Laboratory, UK, 144 p.
- 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.
- Danovaro R., Marrale D., Della Croce N., Parodi P., Fabiano M., 1999. Biochemical composition of sedimentary organic matter and bacterial distribution in the Aegean Sea: trophic state and pelagic–benthic coupling. *Journal of Sea Research*, 42(2): 117-129.
- Danovaro R., Tselepides A., Otegui A., Della Croce N., 2000. Dynamics of meiofaunal assemblages on the continental shelf and deep-sea sediments of the Cretan Sea (NE Mediterranean): relationships with seasonal changes in food supply. *Progress in Oceanography*, 46: 367- 400.
- Dauwe B., Herman P.M.J., Heip C.H.R., 1998. Community structure and bioturbation potential of macrofauna at four North Sea stations with contrasting food supply. *Marine Ecology Progress Series*, 173: 67-83.
- de Souza Barbosa L., Soares-Gomes A., Paiva P.C., 2010. Distribution of polychaetes in the shallow, sublittoral zone of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica in the early and late austral summer. *Natural Science*, 2(10): 1155.
- Dierssen H.M., Smith R., Vernet M., 2002. Glacial meltwater dynamics in coastal waters west of the Antarctic Peninsula. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(4): 1790-1795.
- Etter R.J. & Grassle F., 1992. Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. *Nature*, 360: 576-578.
- Fabiano M. & Danovaro R., 1994. Composition of organic matter in sediments facing a river estuary (Tyrrhenian Sea): relationships with bacteria and microphytobenthic biomass. *Hydrobiology*, 277: 71-84.
- Fauchald K. & Jumars P.A., 1979. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, 17: 193-284.
- Folk R.L. & Ward W.C., 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 326.
- Galois R., Blanchard G., Seguignes M., Huet V., Joassard L., 2000. Spatial distribution of sediment particulate organic matter on two estuarine mudflats: a comparison between Marennes-Oléron Bay (France) and the Humber estuary. *Continental Shelf Research*, 20: 1199-1217.
- Gambi M.C. & Giangrande A., 1985. Caratterizzazione e distribuzione delle categorie trofiche dei policheti nei fondi mobili del Golfo di Salerno. *Oebalia*, 11: 223-240.
- Gambi M.C., Castelli A., Guizzardi M., 1997. Polychaete populations of the shallow soft

- bottoms off Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica): Distribution, diversity and biomass. *Polar Biology*, 17(3): 199-210.
- Gambi M.C., Buia M.C., Mazzella L., Lorenti M., Scipione M.B., 2000. Spatio-temporal variability in the structure of benthic populations in a physically controlled system off Terra Nova Bay: the shallow hard bottoms. In: Faranda F.M., Guglielmo L., Ionora A. (Eds.). *Ross Sea Ecology*. Springer, Berlin, 527-538.
- Gerchacov S.M. & Hatcher P.G., 1972. Improved technique for analysis of carbohydrates in the sediment. *Limnology and Oceanography*, 17: 938-943.
- Grémare A., Medernach L., deBovée F., Amoroux J.M., Vétion G., Albert P., 2002. Relationships between sedimentary organics and benthic meiofauna on the continental shelf and the upper slope of the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 234: 85-94.
- Griffith T.W. & Anderson J.B., 1989. Climatic control of sedimentation in bays and fjords of the northern Antarctic Peninsula. *Marine Geology*, 85: 181-204.
- Griffiths H.J., Danis B., Clarke A., 2011. Quantifying Antarctic marine biodiversity: The SCAR-MarBIN data portal. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 58(1-2): 18-29.
- Gutt J., Starmans A., Dieckmann G., 1998. Phytodetritus deposited on the Antarctic shelf and upper slope: its relevance for the benthic system. *Journal of Marine Systems*, 17: 435-444.
- Gutt J., Sirenko B.I., Smirnov I.S., Arntz W.E., 2004. How many macrozoobenthic species might inhabit the Antarctic shelf? *Antarctic Science*, 16(1): 11-16.
- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistic software package for education and data analysis. *Paleontología electrónica*, 4(1): pp.9.
- Hansen P.J., 2002. Effect of high pH on the growth and survival of marine phytoplankton: implications for species succession. *Aquatic microbial ecology*, 28(3): 279-288.
- Hartree E.F., 1972. Determination of proteins: A modification of the Lowry method that gives a linear photometric response. *Analytical Biochemistry*, 48: 422-427.
- Hass H.C., Kuhn G., Monien P., Brumsack H.J., Forwick M., 2010. Climate fluctuations during the past two millennia as recorded in sediments from Maxwell Bay, South Shetland Islands, West Antarctica. In: Howe J.A., Austin W.E.N., Forwick M., Paetzel M. (Eds.) Fjord Systems and Archives. *Geological Society, London, Special Publications*, 344(1): 243-260.
- Hinga K.R., 2002. Effects of pH on coastal marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 238: 281-300.
- Hoffmann R., Al-Handal A.Y., Wulff A., Deregibus D., Zacher K., Quartino M.L., Wenzhöfer F., Braeckman U., 2019. Implications of glacial melt-related processes on the

- potential primary production of a microphytobenthic community in Potter Cove (Antarctica). *Frontiers in Marine Science*, 6: 655: doi: 10.3389/fmars.2019.00655.
- Ingels J., Vanruesel A., Brandt A., Catarino A.I., David B., De Ridder C., Dubois P, Goodays A.J., Martin P., Pasotti F., Robert H., 2012. Possible effects of global environmental changes on Antarctic benthos: a synthesis across five major taxa. *Ecology and Evolution*, 2: 453-485.
- Isla E., Rossi S., Palanques A., Gili J.M., Gerdes D., Amtz W., 2006. Biochemical composition of marine sediment from the eastern Weddell Sea (Antarctica): high nutritive value in a high benthic-biomass environment. *Journal of Marine Systems*, 60: 255-267.
- Isla E., Gerdes D., Palanques A., Gili J.M., Arntz W.E., König-Langlo G., 2009. Downward particle fluxes, wind and a phytoplankton bloom over a polar continental shelf: a stormy impulse for the biological pump. *Marine Geology*, 259(1-4): 59-72.
- Isla E., Gerdes D., Rossi S., Fiorillo I., Sañé E., Gili J.M., Arntz W.E., 2011. Biochemical characteristics of surface sediments on the eastern Weddell Sea continental shelf, Antarctica: is there any evidence of seasonal patterns? *Polar biology*, 34(8): 1125-1133.
- Josefson A.B., Forbes T.L., Rosenberg R., 2002. Fate of phytodetritus in marine sediments: functional importance of macrofaunal community. *Marine Ecology Progress Series*, 230: 71-85.
- Jumars P.A., Dorgan K.M., Mayer L.M., Boudreau B.P., Johnson B.D., 2007. Physical constraints on infaunal lifestyles: may the persistent and strong forces be with you. In: Miller III W. (Ed.). Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects. *Elsevier Scientific Publishing Company*, Amsterdam.
- Jumars P.A., Dorgan K.M., Lindsay S.M., 2015. Diet of Worms Emended: An Update of Polychaete Feeding Guilds. *Annual review of marine science*, 7: 497-520.
- Kristensen E. & Holmer M., 2001. Decomposition of plant materials in marine sediment exposed to different electron acceptors (O₂, NO₃⁻ and SO₄²⁻), with emphasis on substrate origin, degradation kinetics, and the role of bioturbation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65: 419-433.
- Lagger C., Servetto N., Torre L., Sahade R., 2017. Benthic colonization in newly ice-free soft-bottom areas in an Antarctic fjord. *PLoS ONE*, 12(11): e0186756: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186756>.
- Levin L., Blair N., DeMaster D., Plaia G., Fornes W., Martin C., Thomas C., 1997. Rapid subduction of organic matter by maldanid polychaetes on the North Carolina slope. *Journal of Marine Research*, 55: 595-611.

- Llanillo P.J., Aiken C.M., Cordero R.R., Damiani A., Sepúlveda E., Fernández-Gómez B., 2019. Oceanographic Variability induced by tides, the intraseasonal cycle and Warm Subsurface Water intrusions in Maxwell Bay, King George Island (West-Antarctica). *Scientific Reports*, 9(1): 1-17.
- Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12: 343-346.
- Lowry J.K., 1975. *Soft bottom macrobenthic community of Arthur Harbour*. Antarctic Research Series. 23. American Geophysical Union, Washington DC, 1-19.
- Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193: 265-275.
- Massom R.A. & Stammerjohn S.E., 2010. Antarctic sea ice change and variability – Physical and ecological implications. *Polar Science*, 4(2): 149-186.
- Marsh J.B. & Weinstein D.B., 1966. Simple charring methods for determination of lipids. *The Journal of Lipid Research*, 7: 574-576.
- Mayer L.M., 1994. Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 1271-1284.
- Meredith M.P. & King J.C., 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): L19604: <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL024042>.
- Milliken K.T., Anderson J.B., Wellner J.S., Bohaty S.M., Manley P.L., 2009. High-resolution Holocene climate record from Maxwell Bay, South Shetland Islands, Antarctica. *GSA Bulletin*, 121(11-12): 1711-1725: <https://doi.org/10.1130/B26478.1>.
- Mincks S.L., Smith C.R., DeMaster D.J., 2005. Persistence of labile organic matter and microbial biomass in Antarctic shelf sediments: evidence of a sediment 'food bank'. *Marine Ecology Progress Series*, 300: 3-19.
- Moon H.-W., Hussin W.M.R.W., Kim H.-C., Ahn I.-Y., 2015. The impacts of climate change on Antarctic nearshore mega-epifaunal benthic assemblages in a glacial fjord on King George Island: Responses and implications. *Ecological Indicators*, 57: 280-292.
- Muniz P. & Pires A.M.S., 1999. Trophic structure of polychaetes in the São Sebastião Channel (southeastern Brazil). *Marine Biology*, 134: 517-528.
- Munoz Y.P. & Wellner J.S., 2018. Seafloor geomorphology of western Antarctic Peninsula bays: a signature of ice flow behaviour. *The Cryosphere*, 12: 205-225: <https://doi.org/10.5194/tc-12-205-2018>.
- Nonato E.F., Brito T.A.S., Paiva P.C., Petti M.A.V., Corbisier T.N., 2000. Benthic megafauna of the nearshore zone of Martel Inlet (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica): Depth zonation and underwater observations. *Polar Biology*, 23(8): 580-588.

- Pagliosa P.R., 2005. Another diet of worms: the applicability of polychaete feeding guilds as a useful conceptual framework and biological variable. *Marine Ecology*, 26: 246-254: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0485.2005.00065.x>.
- Paiva P.C., 1993. Trophic structure of a shelf polychaete taxocenosis in southern Brazil. *Cahiers de Biologie Marine*, 35: 39-55.
- Palacios M., Cárdenas C.A., Nwecombe E.M., 2009. Rocky reef seaweeds from Fildes and Collins bays, King George Island Antarctica. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50: 359-366: <https://doi.org/10.4067/S0718-19572015000300014>.
- Parapar J., López E., Gambi M.C., Núñez J., Ramos A., 2011. Quantitative analysis of soft-bottom polychaetes of the Bellingshausen Sea and Gerlache Strait (Antarctica). *Polar Biology*, 34(5): 715-730: doi:10.1007/s00300-010-0927-4.
- Pasotti F., Manini E., Giovannelli D., Wöfl A-C., Monien D., Verleyen E., Braeckman U., Abele D., Vanreusel A., 2014. Antarctic shallow water benthos in an area of recent rapid glacier retreat. *Marine Ecology*, 36: 716-733.
- Pasotti F., Saravia L.A., De Troch M., Tarantelli M.S., Sahade R., Vanreusel A., 2015. Benthic Trophic Interactions in an Antarctic Shallow Water Ecosystem Affected by Recent Glacier Retreat. *PLoS ONE*, 10(11): e0141742: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141742>.
- Pearson T.H., 2001. Functional group ecology in soft-sediment marine benthos: the role of bioturbation. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 39: 233-267.
- Petti M.A.V., Nonato E.F., Skowronski R.S., Corbisier T.N., 2006. Bathymetric distribution of the meiofaunal polychaetes in the nearshore zone of Martel Inlet, King George Island, Antarctica. *Antarctic Science*, 18(2): 163.
- Pielou E.C., 1966. Shannon's formula as a measure of species diversity: its use and misuse. *American Naturalist*, 100: 463-465.
- Pusceddu A., Sarà G., Fabiano M., Mazzola A., 1999. Seasonal and spatial changes in the sediment organic matter of a semi-enclosed marine system (W- Mediterranean Sea). *Hydrobiology*, 397: 59-70.
- Pusceddu A., Dell'Anno A., Fabiano M., 2000. Organic matter composition in coastal sediments at Terra Nova Bay (Ross Sea) during summer 1995. *Polar Biology*, 23: 288-293.
- Pusceddu A., Gambi C., Manini E., Danovaro R., 2007. Trophic state, ecosystem efficiency and biodiversity of transitional aquatic ecosystem: analysis of environmental quality based on different benthic indicators. *Chemistry and Ecology*, 23(6): 505-515.
- Pusceddu A., Bianchelli S., Gambi C., Danovaro R., 2011. Assessment of benthic trophic status of marine ecosystems: significance of meiofaunal rare taxa. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 93: 420-430.

- Quintana C.O., Yoshinaga M.Y., Sumida P.Y.G., 2010. Benthic responses to organic matter variation in a subtropical coastal area off SE Brazil. *Marine Ecology*, 31: 457-472.
- Ragua-Gil J.M., Gutt J., Clarke A., Arntz W.E., 2004. Antarctic shallow-water megapibenthos: shaped by circumpolar dispersion or local conditions? *Marine Biology*, 144:829-839.
- Rebolledo L., Bertrand S., Lange C.B., Tapia F.J., Quiroga E., Troch M., Silva N., Cárdenas P., Pantoja S., 2019. Compositional and biogeochemical variations of sediments across the terrestrial-marine continuum of the Baker-Martínez fjord system (Chile, 48° S). *Progress in Oceanography*, 174: 89-104.
- Riebesell U., Schloss I., Smetacek V., 1991. Aggregation of algae released from melting sea ice: implications for seeding and sedimentation. *Polar biology*, 11(4): 239-248.
- Rückamp M., Braun M., Suckro S., Blindow N., 2011. Observed glacial changes on the King George Island ice cap, Antarctica, in the last decade. *Global and Planetary Change*, 79: 99-109.
- Sahade R., Tatian M., Kowalke J., Kuhne S., Esnal G.B., 1998. Benthic faunal associations on soft substrates at Potter Cove, King George Island, Antarctica. *Polar Biology*, 19(2): 85-91.
- Sahade R., Lager C., Torre L., Momo F., Monien P., Schloss I., Barnes D.K.A., Servetto N., Tarantelli S., Tatián M., Zamboni N., Abele D., 2015. Climate change and glacier retreat drive shifts in an Antarctic benthic ecosystem. *Science Advances*, 1(10): e1500050: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500050>.
- San Martin G., Parapar J., García F.J., Redondo M.S., 2000. Quantitative analysis of soft-bottoms infaunal macrobenthic polychaetes from South Shetland Islands (Antarctica). *Bulletin of Marine Science*, 67(1): 83-102.
- Sañé E., 2010. *Organic matter in sediments of Antarctic continental shelves under the influence of climate change*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Universitat de Barcelona (UB) y Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (Tesis de doctorado).
- Sañé E., Isla E., Gerdes D., Montiel A., Gili J.M., 2012. Benthic macrofauna assemblages and biochemical properties of sediments in two Antarctic regions differently affected by climate change. *Continental Shelf Research*, 35: 53-63.
- Schloss I.R., Abele D., Moreau S., Demers S., Bers A.V., González O., Ferreyra G.A., 2012. Response of phytoplankton dynamics to 19-year (1991–2009) climate trends in Potter Cove (Antarctica). *Journal of Marine Systems*, 92: 53-66.
- Schnack-Schiel S.B. & Isla E., 2005. The role of zooplankton in the pelagic-benthic coupling of the Southern Ocean. *Scientia Marina*, 69:39-55.
- Shannon C.E. & Weaver W., 1963. *The mathematical theory of communication*. University of

- Illinois, Urbana, 111 p.
- Shuman F.K. & Lorenzen C.J., 1975. Quantitative degradation of chlorophyll by a marine herbivore. *Limnology and Oceanography*, 2: 580-586.
- Sicinski J., 1986. Benthic assemblages of polychaeta in chosen regions of Admiralty Bay (King George Island, South Shetlands Island). *Polish Polar Research*, 7(1-2): 63-78.
- Sicinski J., 1993. Polychaeta. In: Racuksa-Suszczewski S. (Ed.) *The Maritime Antarctic Coastal Ecosystem of Admiralty Bay*, Department of Antarctic Biology, Polish Academy of Sciences, Warsaw, 101-107.
- Sicinski J. & Janowska E., 1993. Polychaetes of the shallow sublittoral of Admiralty Bay, King-George Island, South Shetland Islands. *Antarctic Science*, 5(2): 161-167.
- Simões C.L., Da Rosa K.K., Czapela F.F., Vieira R., Simões J.C., 2015. Collins Glacier retreat process and regional climatic variations, King George Island, Antarctica. *Geographical Review*, 105: 462-471.
- Smale D.A., 2007. Continuous benthic community change along a depth gradient in Antarctic shallows: evidence of patchiness but not zonation. *Polar Biology*, 31(2): 189-198.
- Smith C.R., Mincks S.L., DeMaster D.J., 2006. A synthesis of benthic-pelagic coupling on the Antarctic Shelf: food banks, ecosystem inertia and global climate change. *Deep-Sea Research Part II*, 53:875-894.
- Smith C.R. & DeMaster D.J., 2008. Preface and brief synthesis for the FOODBANCS volume. *Deep-Sea Research Part II*, 55: 2399-2403.
- Snelgrove P.V.R. & Butman C.A., 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanography and Marine Biology*, 32: 111-177.
- Suguio K., 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blucher, 317p.
- Sundbäck K., 1983. Microphytobenthos on sand in shallow brackish water, Öresund Sweden. Primary production, chlorophyll a content and species composition (Diatoms) in relation to some ecological factors. PhD thesis, Department of Systematic Botany, University of Lund, Sweden, 209 p.
- Tatián M., Sahade R., Mercuri G., Fuentes V.L., Antacli J.C., Stellfeldt A., Esnal G.B., 2008. Feeding ecology of benthic filter-feeders at Potter Cove, an Antarctic coastal ecosystem. *Polar Biology*, 31: 509-517.
- Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J., Lachlan-Cope T.A., Carleton A.M., Jones P.D., Lagun V., Reid P.A., Lagovkina S., 2005. Antarctic climate change during the last 50 years. *International Journal of Climatology*, 25: 279-294.
- Turner J., Barrand N.E., Bracegirdle T.J., Convey P., Hodgson D.A., Jarvis M., Jenkins A., Marshall G., Meredith M.P., Roscoe H., Shanklin J., French J., Goosse H., Guglielmin M., Gutt J., Jacobs S., Kennicutt M.C., Masson-Delmotte V., Mayewski P.,

- Navarro F., Robinson S., Scambos T., Sparrow M., Summerhayes C., Speer K., Klepikov A., 2013. Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Record*, 50: 237-259.
- Venturini N., Pires-Vanin A.M.S., Salhi M., Bessonart M., Muniz P., 2011. Polychaete response to fresh food supply at organically enriched coastal sites: repercussion on bioturbation potential and trophic structure. *Journal of Marine Systems*, 88: 526-541.
- Venturini N., Zhu Z., Bessonart M., García-Rodríguez F., Bergamino L., Brugnoli E., Muniz P., Zhang J., 2020. Between-summer comparison of particulate organic matter in surface waters of a coastal area influenced by glacier meltwater runoff and retreat. *Polar Science*, 26: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100603>.
- Waldbusser G.G., Marinelli R.L., Whitlatch R.B., Visscher P.T., 2004. The effects of infaunal biodiversity on biogeochemistry of coastal marine sediments. *Limnology and Oceanography*, 49: 1482-1492.
- Yoon H.I., Park B.K., Domack E.W., Kim Y., 1998. Distribution and dispersal pattern of suspended particulate matter in Maxwell Bay and its tributary, Marian Cove, in the South Shetland Islands, West Antarctica. *Marine Geology*, 152(4): 261-275.
- Yoon H.I., Park B.K., Kim Y., Kim D., 2000. Glaciomarine sedimentation and its paleoceanographic implications along the fjord margins in the South Shetland Islands, Antarctica during the last 6000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 157(3-4): 189-211.
- Zar J.H., 1999. *Biostatistical Analysis*, 4th edition. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Anexo

Cuantificación de proteínas totales en sedimentos marinos



Pesar sedimento seco (0.1-2.0 g; ± 0.0001 g) en un tubo de vidrio de 15 mL



Adicionar 1 mL de agua destilada



Vortex (1 min)



Sonicador (3 veces, 1 min con intervalos de 30 seg)



Adicionar 0.9 mL de solución A



Vortex (1 min)



Colocar los tubos en un baño de agua caliente (50 °C, 10 min)



Adicionar 0.1 mL de solución B



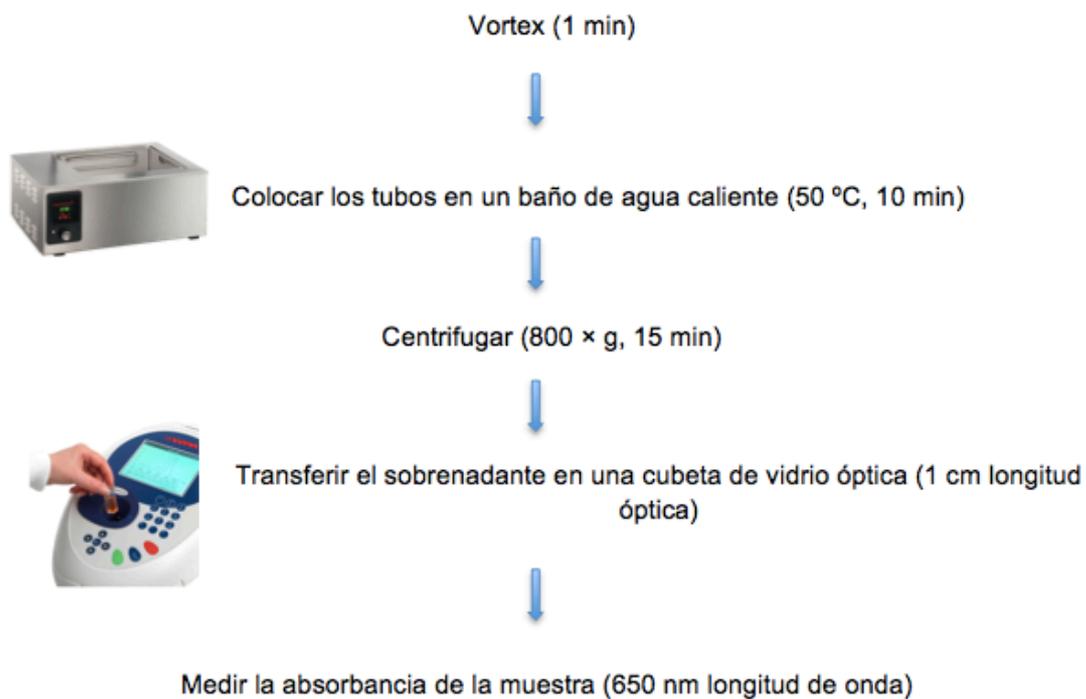
Vortex (1 min)



Esperar 10 min, temperatura ambiente

Adicionar 3 mL de solución C





Solución A- Disolver 2 g de Tartrato-NaK y 100 g de Na₂CO₃ en 500 mL de 1 N NaOH (20 g en 500 mL de agua destilada); la solución, incolora y transparente, es diluída a 1000 mL con agua destilada.

Solución B- Disolver 2 g de Tartrato-NaK y 1 g de CuSO₄ en 90 mL de agua destilada; la solución ligeramente azulada es diluída con 10 mL de 1 N NaOH.

Solución C- 1 mL de el reactivo Folin-Ciocalteau es diluído con 15 mL de agua destilada.

Cuantificación de carbohidratos totales en sedimentos marinos



Poner sedimento seco (0.1-2.0 g; ± 0.0001 g) en un tubo de vidrio de 15 mL, previamente pesado



Pesar los tubos (± 0.0001 g)



Añadir 1 mL de agua destilada



Vortex (1 min)



Sonicador (3 veces, 1 min con intervalos de 30 seg)



Añadir 1 mL de solución de fenol destilada al 5% (en agua destilada)



Vortex (1 min)



Esperar 10 min, temperatura ambiente

Añadir 5 mL de ácido sulfúrico concentrado



Vortex (1 min)



Esperar 10 min, temperatura ambiente



Centrifugar (1000 × g, 20 min)



Poner el sobrenadante en una cubeta de vidrio óptica (1 cm longitud óptica)



Medir la absorbancia del sobrenadante y del blanco (1 mL de agua destilada) (485 y 600 nm longitudes de onda)



Enjuagar el sedimento con agua



Agitar los tubos



Centrifugar (800 × g, 15 min)



Remover el sobrenadante



Secar el sedimento (60 °C, 24 h)



Pesar los tubos (± 0.0001 g)



3 veces

Cuantificación de lípidos totales en sedimentos marinos



Pesar sedimento seco (0.1-2.0 g; ± 0.0001 g) en un tubo de vidrio de 15 mL



Agregar 1 mL de agua destilada



Vortex (1 mL)



Sonicador (3 veces, 1 min con intervalos de 30 seg)



Agregar 1.25 mL de cloroformo y 2.5 mL de metanol (temperatura ambiente)



Vortex (1 min)



Esperar 10 min, 4 °C

Centrifugar (800 × g, 10 min)



Transferir el sobrenadante en un tubo de vidrio Pyrex



Agregar 1.25 mL de cloroformo y 1.25 mL de agua destilada



Vortex (1 min)



