

ARTÍCULO

Variabilidad espacio-temporal del fitoplancton de la ensenada Mackellar, Bahía Almirantazgo, Isla Rey Jorge, Antártida, durante el verano austral 2012/2013

Spatial and temporal variability of the phytoplankton in the Mackellar inlet, Admiralty Bay, King George Island, Antarctic, during summer 2012/2013

Maribel Baylón¹, David U. Hernández-Becerril^{2*}, Aldo Indacochea³ y Sara Purca⁴

¹Laboratorio de Ecología Acuática, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

²Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México

³Laboratorio de Ecología Marina, Facultad de Ciencias Veterinarias y Biológicas, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú

⁴Área de Investigaciones Marino Costeras, Dirección de Investigaciones en Acuicultura, Instituto del Mar del Perú - IMARPE, Lima, Perú

*Autor de correspondencia: dhermand@cmarl.unam.mx

Abstract.- The Antarctic ecosystem is one of the most sensitive world regions to the climate change, and exhibits a wide environmental variability that modifies the temporal and spatial patterns of the phytoplankton structure. The phytoplankton community and its spatial and temporal variability of Mackellar inlet- Admiralty bay, Antarctic, were studied in two austral summers (years 2012 and 2013). Samplings were done in 11 fixed stations at three depths (0, 10 and 20 m). Antarctic Surface Water mass was identified in the surface layer at the study area. Phytoplankton composition in the water column consisted in 40 diatoms taxa, 6 dinoflagellate taxa and various species of nanoflagellates (< 20 µm). Nanoflagellates from the Mackellar inlet included Prasinophytes, Cryptophytes and Haptophytes species. Diatoms of the microplankton fraction (20-200 µm) and nanoflagellates (< 20 µm) were in alternation during the period of this study: by summer 2012 nanoflagellates were more abundant (86 %), with diatom species of the genus *Thalassiosira* (11%), and by summer 2013 phytoplankton abundance was dominated by microplanktonic diatoms such as *Thalassiosira delicatula* (36%), *Pseudo-nitzschia* group *delicatissima* (9%), *Porosira glacialis* (6%), the athecate dinoflagellate *Gymnodinium* sp. (19%) and nanoflagellates (20%). Cell densities were lower in summer 2012 compared with those in summer 2013, where a diatom bloom occurred. Phytoplankton diversity was relatively low (< 1.97 bits·cell⁻¹) in both summers. The main differences between the two sampling periods were the dominance of microplanktonic diatoms and nanoflagellates, which were probably caused by the decrease in salinity and increase in subsurface dissolved oxygen in the study area produced by ice melting in summer 2012 and 2013.

Key words: Antarctic, diatoms, microplankton, nanoflagellates, variability

Resumen.- El ecosistema antártico es una de las regiones del mundo más sensibles al cambio climático, y presenta amplia variabilidad ambiental que modifican los patrones espaciales y temporales de la estructura fitoplanctónica. Se estudió la comunidad del fitoplancton y su variabilidad espacial y temporal de la ensenada Mackellar-bahía Almirantazgo, Antártida, en los veranos australes de 2012 y 2013. Se hicieron muestreos de agua para fitoplancton y variables ambientales en 11 estaciones a tres profundidades (0, 10 y 20 m). La masa de Agua Superficial Antártica de la zona de estudio fue reconocida. La composición total del fitoplancton en la columna de agua incluyó 40 taxones de diatomeas, 6 taxones de dinoflagelados y varias especies de nanoflagelados (< 20 µm). Los nanoflagelados pertenecen a Prasinophyceae, Cryptophyta y Haptophyta. La alternancia entre diatomeas del microplankton (20-200 µm) y nanoflagelados (< 20 µm) fue evidente durante el período de estudio: en el verano 2012 el grupo de los nanoflagelados fue más abundante (86%), con especies de diatomeas del género *Thalassiosira* sp. (11%), y para el verano 2013 los nanoflagelados disminuyeron considerablemente (20%), la abundancia del fitoplancton estuvo dominada por diatomeas como *Thalassiosira delicatula* (36%), *Pseudo-nitzschia* grupo *delicatissima* (9%), *Porosira glacialis* (6%), y el dinoflagelado *Gymnodinium* sp. (19%). La densidad celular en el verano 2012 fue menor, en comparación con el verano 2013, donde ocurrió una floración de diatomeas. La diversidad del fitoplancton fue baja (< 1,97 bits·célula⁻¹) en ambos veranos. Las principales diferencias fueron la dominancia de diatomeas del microplankton y nanoflagelados, las cuales probablemente fueron causadas por la disminución de la salinidad y el aumento de oxígeno superficial observado en la Antártida, producto del deshielo ocurrido durante los veranos 2012 y 2013.

Palabras clave: Antártida, diatomeas, microplankton, nanoflagelados, variabilidad

INTRODUCCIÓN

El ecosistema antártico presenta un especial interés científico por sus características particulares, ya que mantienen altas concentraciones de nutrientes inorgánicos, que son utilizados por el fitoplancton autótrofo, base de la cadena alimenticia (Torres *et al.* 2006), que incluye más de 200 especies de crustáceos, resaltando el “krill” (pequeños

crustáceos de alto contenido proteico que debido a su abundancia llega a teñir de un color rojizo algunas zonas marinas), así como peces, focas, lobos marinos, aves y ballenas.

Durante la primavera y verano austral se desarrolla la mayor producción planctónica, siendo consecuencia directa del aporte de nutrientes procedentes del deshielo y

del incremento de la intensidad luminosa, que en latitudes altas pasa de ser prácticamente nula durante el invierno a durar casi las 24 h del día en primavera (Gili *et al.* 2000). A estas floraciones de productores primarios suceden las de consumidores primarios: zooplancton herbívoro, como el krill. En muchos casos, los consumidores no agotan la producción primaria, generada en poco tiempo y a gran escala. Una vez terminado el verano y durante el prolongado invierno austral, la oscuridad y la escasez de nutrientes frenan la producción planctónica y, por ende, cortan el suministro vertical de alimento (Gili *et al.* 2000).

En las últimas décadas, Perú ha registrado escasas publicaciones científicas sobre la abundancia del plancton en las Islas Shetland del Sur, Antártida. En contraste, recientemente se ha producido un incremento de publicaciones sobre estudios del plancton de la Antártida debido al rol ecológico que la producción primaria y secundaria podrían tener en los polos en un escenario de calentamiento global (Sayed 2005, Bonicelli *et al.* 2008). Las Campañas Científicas del Perú a la Antártida (ANTAR) se vienen realizando desde 1988 en la ensenada Mackellar y la bahía Almirantazgo, Estrecho de Bransfield, la Isla Rey Jorge (perteneciente a las Islas Shetland del Sur) y alrededores de la Isla Elefante, ambas vinculadas a la Península Antártica (PA). Sánchez & Villanueva (2001) mostraron cambios marcados en la composición taxonómica del fitoplancton, la cual se caracterizó por una alternancia en la especie dominante dada por las diatomeas o el nanoplancton. En particular, los estudios relacionados con la composición del fitoplancton en el sur de las Islas Shetland y los alrededores de la PA han sido relativamente abundantes (García-Muñoz *et al.* 2013). Recientemente en la bahía Almirantazgo se ha reportado una dominancia de nanoflagelados en número y biomasa sobre diatomeas del microplancton, en las cercanías de la zona costera de la estación Polaca Henryk Arctowski, donde se encontró una tendencia de disminución de dichas diatomeas en la contribución total, de 44% entre 1996-1998 a 5% entre 2003-2005 (Wasilowska *et al.* 2015). Adicionalmente, Vanzan *et al.* (2015) mostraron una alternancia estacional entre nanoplancton y picoplancton asociado al sistema de corrientes de mesoescala y el pastoreo estacional, donde sugieren que a futuro se debe desarrollar trabajos para comunidades < 20 µm para estudiar los efectos en la trama trófica microbiana y sus posibles efectos ambientales en altos niveles tróficos de las zonas costeras de la bahía Almirantazgo.

La bahía Almirantazgo se ha convertido en un sitio de actividades humanas de diversidad creciente que continuamente se están multiplicando y más complejas. Durante los últimos 30 años se han emplazado más estaciones en la zona, que han ido creciendo, y el número de visitantes ha aumentado cada año, pasando de algunos

cientos a más de 3.000 (Secretaría del Trabajo Antártica 1996). La Península Antártica (PA) es una de las regiones del mundo más sensibles al cambio climático (Turner *et al.* 2005), sin embargo, las consecuencias de estos cambios todavía no se entienden completamente. Los cambios ambientales en la región de la PA han estado modificando el espacio y los patrones temporales de la biomasa y composición del fitoplancton (Garibotti *et al.* 2005). En la cabecera de la bahía Almirantazgo, el casquete glacial desemboca en tres ensenadas: Ezcurra, Mackellar y Martel, y específicamente el área de la ensenada Mackellar, es una zona importante por ser un hábitat protegido y somero, y en la actualidad no se han publicado trabajos sobre el fitoplancton en esa zona, por lo que es significativo realizar estudios y complementar la información de microalgas planctónicas para la bahía Almirantazgo, Isla Rey Jorge, Antártida.

Los primeros estudios de fitoplancton en la bahía Almirantazgo fueron dados por Kopczyńska (1980, 1981, 1996), los cuales ofrecen información de la composición, distribución vertical y estacional del fitoplancton de la Ensenada Ezcurra, brindados por la estación Polaca Arctowski. La comunidad fitoplanctónica en la bahía Almirantazgo mostró una relación directa en los picos de floraciones algales con las condiciones hidrográficas y atmosféricas (Kopczyńska 1981). Así por bastante tiempo se ha planteado que la sucesión y los picos de fitoplancton en el océano sur son altamente influenciadas por las condiciones oceanográficas, tales como las corrientes, estabilidad de las aguas superficiales, recesión y duración del hielo (Hasle 1969, Steyeart 1973). Estudios de hidrografía extensiva en la bahía Almirantazgo han documentado una gran variabilidad de factores locales, tales como la alta velocidad de las corrientes, profundidad de las capas de mezcla y la influencia de aguas del Estrecho de Bransfield (Pruszk 1980, Rakusa-Suszczewski 1980, 1993; Szafranski & Lipski 1982, Catewicz 1984). La influencia de agua dulce de la tierra (Rakusa-Suszczewski 1996), fuertes vientos en caída y la morfología de la cuenca de la bahía (Rakusa-Suszczewski & Kidawa 1997, Robakiewicz & Rakusa-Suszczewski 1999) pueden también afectar considerablemente las poblaciones de plancton.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue identificar las especies fitoplanctónicas de la ensenada Mackellar-bahía Almirantazgo, Antártida y estudiar sus variaciones temporales (durante dos veranos) espaciales y verticales en la columna de agua (a 3 profundidades), junto con evaluar las posibles relaciones entre variables ambientales sobre la estructura del fitoplancton.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está localizada en la ensenada Mackellar-bahía Almirantazgo (BA). La BA es la bahía más grande de la Isla Rey Jorge, Islas Shetland del Sur, cubriendo un área de 120 km². Se encuentra entre los 62°04'-62°14'S y 58°14'-58°38'W (Fig. 1), a 750 km al sur-este de América del Sur (Fig. 1B y C).

El estudio abarcó toda el área de la ensenada Mackellar sobre la cual se establecieron 11 estaciones de muestreo. Las estaciones E01, E02, E03 y E04 están situadas en el primer transecto de la ensenada, colindante a los glaciales, mientras que las estaciones E05, E06, E07 y E08 están en el segundo transecto; cabe mencionar que la estación E05 está ubicada cerca a la Estación Científica Antártica y las estaciones E09, E10 y E11 en la entrada de la ensenada

(Fig. 1A). La localización geográfica de cada una de las estaciones se muestra en las Tablas 1 y 2.

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO

Los muestreos fueron realizados del 20 al 22 de enero del verano austral 2012 (ANTAR XX) y del 2 al 6 de febrero del verano austral 2013 (ANTAR XXI). El trabajo se realizó a bordo de una embarcación tipo Zodiac®. Se colectaron muestras de agua (botellas Niskin de 5 L de capacidad) a profundidades de 0, 10 y 20 m de profundidad, para la determinación cuantitativa de fitoplancton. Las muestras obtenidas se fijaron con formalina hasta tener una concentración final del 2%. Adicionalmente se midieron las variables ambientales de la columna de agua: temperatura, salinidad, oxígeno y pH, con ayuda de una sonda multiparámetro de campo HANNA® HI 9828.

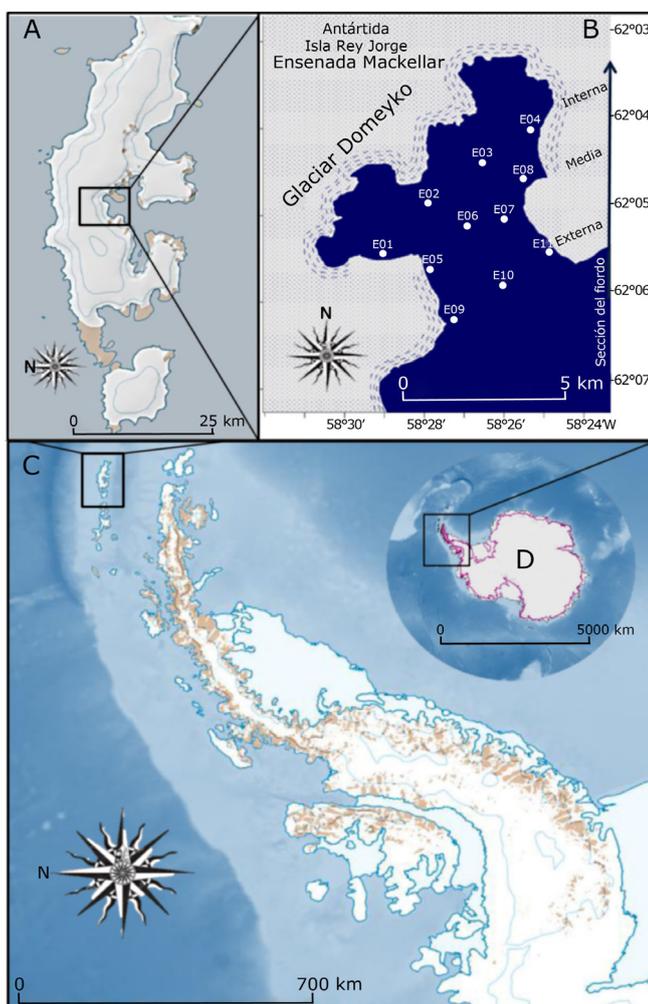


Figura 1. Mapa de ubicación de la ensenada Mackellar-Bahía Almirantazgo. A) Ensenada Mackellar, B) Estaciones de muestreo de la ensenada Mackellar, C) Isla Rey Jorge, D) Antártida / Map of the Mackellar inlet, Admiralty Bay. A) Mackellar inlet, B) Sampling stations at the Mackellar inlet, C) King George Island, D) Antarctic continent

Tabla 1. Ubicación de las estaciones biológicas y valores de abundancia de diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados a tres profundidades durante la Campaña Científica ANTAR XX, verano 2012 / Location of the biological stations and values of abundance for diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates at three depths during the oceanographic cruise ANTAR XX, summer 2012

Estación	Latitud sur	Longitud oeste	Abundancia diatomeas (células·L ⁻¹)			Abundancia dinoflagelados (células·L ⁻¹)			Abundancia nanoflagelados (células·L ⁻¹)		
			0 m	10 m	20 m	0 m	10 m	20 m	0 m	10 m	20 m
1	62°05'7.4"	58°29'0.5"	25.911	6.780	17.706	580	675	562	20.011	9.422	15.711
2	62°04'14.05"	58°27'14.9"	13.520	17.524	20.624	909	660	2.178	554	12.320	17.730
3	62°04'3.6"	58°26'0.5"	2.920	8.400	7.900	20	380	1.295	0	34.297	14.745
4	62°04'0.3"	58°25'5.1"	9.195	3.840	7.820	0	100	400	1.955	5.237	5.160
5	62°05'39"	58°27'53.9"	4.700	5.000	3.860	120	260	1.109	18.611	24.527	53.886
6	62°05'2.1"	58°26'15.4"	4.980	4.820	16.060	80	1.249	1.189	2.729	17.847	35.608
7	62°05'0.3"	58°25'16.5"	2.120	6.640	15.858	40	540	420	2.690	16.000	32.176
8	62°04'33.1"	58°25'29.4"	460	860	660	0	140	260	31.650	126.991	366.551
9	62°06'09.6"	58°27'17"	460	980	740	40	700	60	408.510	163.507	140.330
10	62°06'10"	58°27'04.2"	1.900	1.940	3.340	0	535	180	2.309	7.800	7.986
11	62°05'24.8"	58°24'53.5"	2.540	4.140	1.360	60	160	40	2.009	10.447	2.315
Total			68.706	60.924	95.928	1.849	5.399	7.693	491.028	428.395	692.198

Tabla 2. Ubicación de las estaciones biológicas y valores de abundancia de diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados a tres profundidades durante la Campaña Científica ANTAR XXI, verano 2013 / Location of the biological stations and values of abundance for diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates at three depths during the oceanographic cruise ANTAR XXI, summer 2013

Estación	Latitud sur	Longitud oeste	Abundancia diatomeas (células·L ⁻¹)			Abundancia dinoflagelados (células·L ⁻¹)			Abundancia nanoflagelados (células·L ⁻¹)		
			0 m	10 m	20 m	0 m	10 m	20 m	0 m	10 m	20 m
1	62°05'7.4"	58°29'0.5"	4.560	8.729	6.602	220	20	120	909	909	989
2	62°04'14.05"	58°27'14.9"	2.320	6.540	7.780	0	100	60	0	909	3.182
3	62°04'3.6"	58°26'0.5"	5.680	8.449	9.860	0	0	1.464	2.273	4.091	0
4	62°04'0.3"	58°25'5.1"	2.240	7.520	9.840	0	80	40	0	3.636	0
5	62°05'39"	58°27'53.9"	5.520	5.940	13.160	20	120	60	1.364	5.000	909
6	62°05'2.1"	58°26'15.4"	5.349	3.580	9.260	20	60	40	909	1.818	6.364
7	62°05'0.3"	58°25'16.5"	2.960	7.280	13.240	20	200	120	455	1.818	5.454
8	62°04'33.1"	58°25'29.4"	3.260	4.340	11.760	0	100	0	909	11.818	5.000
9	62°06'09.6"	58°27'17"	16.200	3.200	8.820	0	455	495	3.182	1.818	4.091
10	62°06'10"	58°27'04.2"	5.680	2.860	7.560	26.363	8.580	780	909	6.818	2.727
11	62°05'24.8"	58°24'53.5"	5.822	7.360	8.220	0	320	39.857	0	5.909	0
Total			59.591	65.798	106.102	26.643	10.035	43.036	10.910	44.544	28.716

PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

El análisis se realizó en el Laboratorio de Ecología Acuática y Laboratorio de Hidrobiología y Pesquería de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. El análisis de fitoplancton se realizó bajo un microscopio invertido marca Leica, aplicando la metodología de Utermöhl (Lund *et al.* 1958), que consistió en homogeneizar las muestras suavemente y sedimentarlas en cámaras cilíndricas de 50 mL, por un tiempo no menor de 48 h. Para el conteo de las especies menores de 20 µm y de las especies muy abundantes se emplearon aumentos de 40X, en un área de 86,75 mm². Los organismos mayores a 20 µm y poco abundantes fueron contados en toda la cámara a 20X. En cada muestra se contaron al menos 100 células a lo largo de los transectos de la cámara elegidos aleatoriamente.

Los resultados obtenidos se dieron en número de células por litro (N° cél·L⁻¹).

Las diatomeas fueron identificadas hasta el nivel de género o especie. Debido a que no fue posible determinar todos los organismos encontrados, como el caso del grupo de nanoflagelados atecados (< 20 µm) fueron identificados hasta el nivel de clase. Los nanoflagelados de la ensenada Mackellar incluyen especies de Prasinophyceae, Cryptophyta y Haptophyta; los dinoflagelados no se incluyeron dentro del grupo de los nanoflagelados. Para la identificación de las microalgas se emplearon las obras de Frenguelli (1943), Balech (1944), Frenguelli & Orlando (1958), Balech (1976), Sournia *et al.* (1979), Priddle & Fryxell (1985), Medlin & Priddle (1990), Round *et al.* (1990), Hasle & Syvertsen (1997).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis estadístico en relación a la naturaleza de los datos y se necesitó el uso de herramientas de comparación no paramétricas. Para los aspectos cuantitativos de la estructura comunitaria se empleó la abundancia y número de especies. La abundancia en cada estación de muestreo se empleó para calcular la diversidad empleando el índice de Shannon-Weaver (1963) usando Log_2 . Los resultados se expresan en bits·células⁻¹. Los análisis univariados y multivariados se realizaron usando el programa PAST versión 3.14 (Hammer *et al.* 2001, 2013) y PRIMER, versión 6 (Clarke & Gorley 2006).

MÉTODOS MULTIVARIADOS

Para la identificación de las principales asociaciones florísticas se realizó el análisis de clasificación jerárquica (cluster) en base a una matriz de similitud entre muestras (previa integración de los datos de 0, 10 y 20 m) elaborada a partir de los índices de Bray-Curtis y se expresó en un dendrograma usando el método de agrupamiento UPGMA. Para estos análisis, los datos de abundancia fueron transformados con $\log(x+1)$. Se empleó el test de ANOSIM también con los datos de abundancia estandarizados $\log(x+1)$ para evaluar las diferencias entre las profundidades (0, 10 y 20 m). Posteriormente se realizó el procedimiento SIMPER para identificar los taxones que más contribuyeron con la disimilitud de Bray Curtis entre los estratos y los veranos estudiados.

Para determinar el grado de correspondencia de las variables biológicas (grupos fitoplanctónicos) y las variables abióticas, se empleó el Análisis de Correspondencia Canónica (ACC).

ANÁLISIS OCEANOGRÁFICO

Adicionalmente se utilizó información procedente de 1.807 estaciones entre los años 1970 al 2000 de la base de datos oceanográfica mundial (WOD09 2016)¹. Para el análisis de las masas de agua durante los veranos se utilizó el programa Ocean Data View (Schlitzer 2016)², lo cual comprende los alrededores de las Islas del Sur Shetland y la Península Antártida.

RESULTADOS

HIDROGRAFÍA Y CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

En el verano 2012, la temperatura superficial del mar (TSM) presentó un valor promedio de $1,63 \pm 0,22$ °C, mientras que en el verano 2013 la TSM presentó un valor promedio de $1,14 \pm 0,41$ °C (Tabla 3).

Para el verano 2012, la salinidad promedio superficial del mar (SSM) fue de 34, para los 10 m de profundidad hubo un valor promedio de 34,43, y para los 20 m de profundidad hubo un valor promedio de 34,51. Se evidenció una variación mínima de la salinidad promedio entre estratos. Para el verano del 2013, la SSM presentó un valor promedio de 33,69, a 10 m de profundidad el valor promedio fue de 33,94, mientras que a 20 m el promedio fue de 34,04. Se evidenció un aumento de la salinidad promedio a 20 m de profundidad (Tabla 3).

El oxígeno disuelto y pH tuvieron muy pequeñas variaciones a lo largo de la ensenada. En la Tabla 3 se muestran las variables ambientales con sus respectivos valores mínimos, máximos y promedios con relación a la profundidad.

Las masas de agua promedio durante los veranos entre 1970 a 2000, según la base de datos mundial (1.807 estaciones) presentó Aguas Superficiales Antárticas y costeras entre 0-2 °C y salinidad de 34, características de fiordos cerca de las Islas Shetland del Sur, mientras que Aguas Intermedias Antárticas se presentaron entre los 100 a 200 m. Aguas Antárticas de Fondo se presentaron a partir de los 500 m (Fig. 2).

Las masas de agua promedio durante los veranos del 2000 (WOD09 2016)¹, indicaron Aguas Superficiales Antárticas y costeras entre 0-2 °C y salinidad de 34, y Aguas Intermedias Antárticas entre los 200 a 300 m. Se identificaron Aguas Antárticas de Fondo a partir de los 500 m, a diferencia de los promedios totales de temperatura, durante 2000 se presentaron núcleos de hasta 3 °C al oeste de las Islas Shetland del Sur (Fig. 3).

¹WOD09. 2016. Data Sets & Products. World Ocean Database 2009. NOAA National Centers for Environmental Information - NCEI, Maryland Office, Website Survey <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD09/pr_wod09.html>

²Schlitzer R. 2016. Ocean Data View. <<https://odv.awi.de>>

Tabla 3. Variables ambientales con sus valores mínimos, máximos, promedios con relación a la profundidad (m) de los veranos 2012 y 2013 / Environmental variables with their minima, maxima and average values with respect to depth (m) for the summers of 2012 and 2013

	Prof. (m)	Temperatura (°C)		Salinidad		Oxígeno (mL·L ⁻¹)		pH	
		2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Min	0	1,41	0,69	32,82	33,46	7,52	10,24	7,88	9,24
Max	0	1,84	1,51	34,47	34,04	9,80	12,70	9,49	10,01
Prom	0	1,63	1,14	33,99	33,69	8,54	11,10	8,47	9,80
Min	10	1,38	0,72	34,02	33,83	7,37	9,52	7,89	9,17
Max	10	1,56	1,14	34,70	34,02	9,77	11,30	9,42	9,92
Prom	10	1,49	1,01	34,43	33,94	8,27	10,44	8,52	9,78
Min	20	1,33	0,77	34,36	33,94	7,70	9,04	7,84	9,20
Max	20	1,54	1,16	34,71	34,09	10,28	11,69	9,39	9,95
Prom	20	1,46	1,00	34,51	34,04	8,80	10,42	8,58	9,78

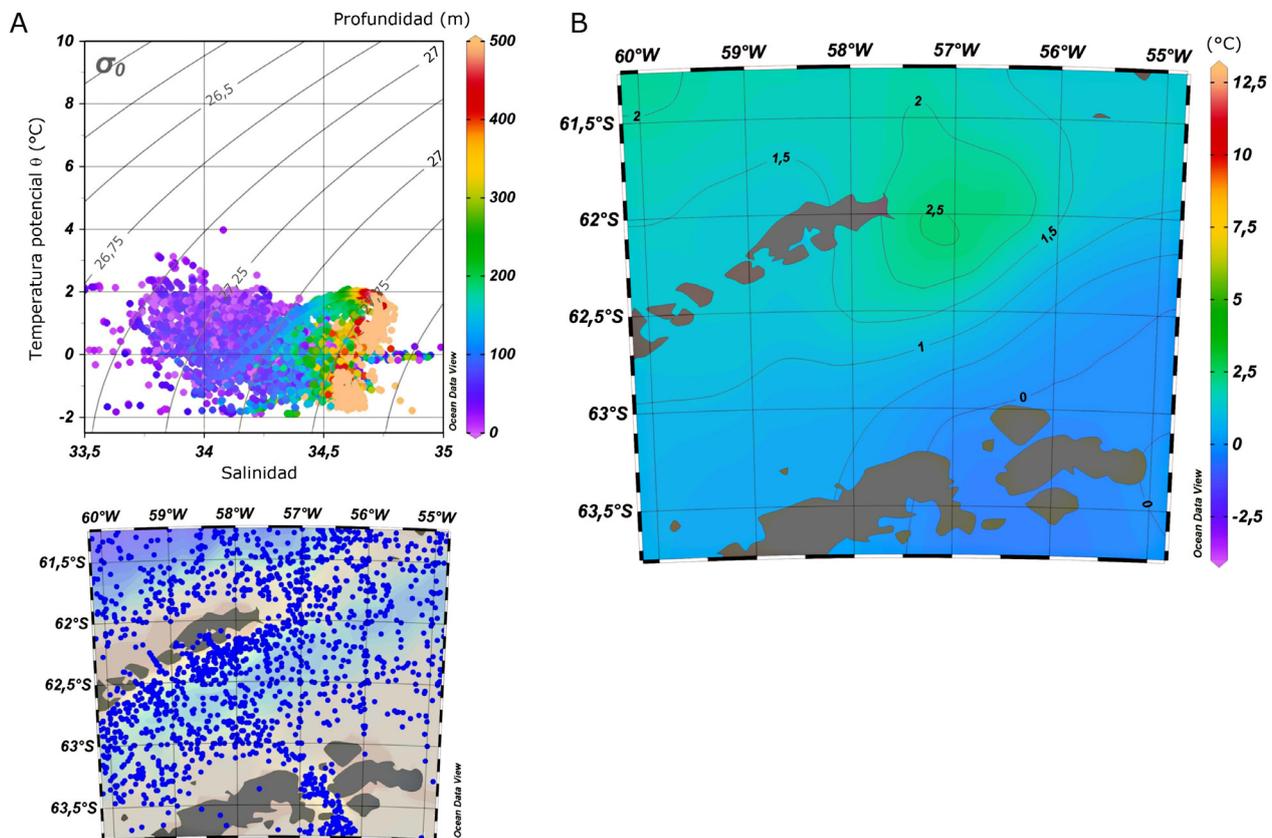


Figura 2. Condiciones oceanográficas entre las Islas Shetland del Sur y la Península Antártica para los veranos de los años 1970 a 2000. A) Masas de agua, B) Temperatura superficial del agua / Oceanographic conditions between southern Shetland Islands and the Antarctic peninsula for all summers of the years 1970 to 2000. A) Water masses, B) Sea surface temperature

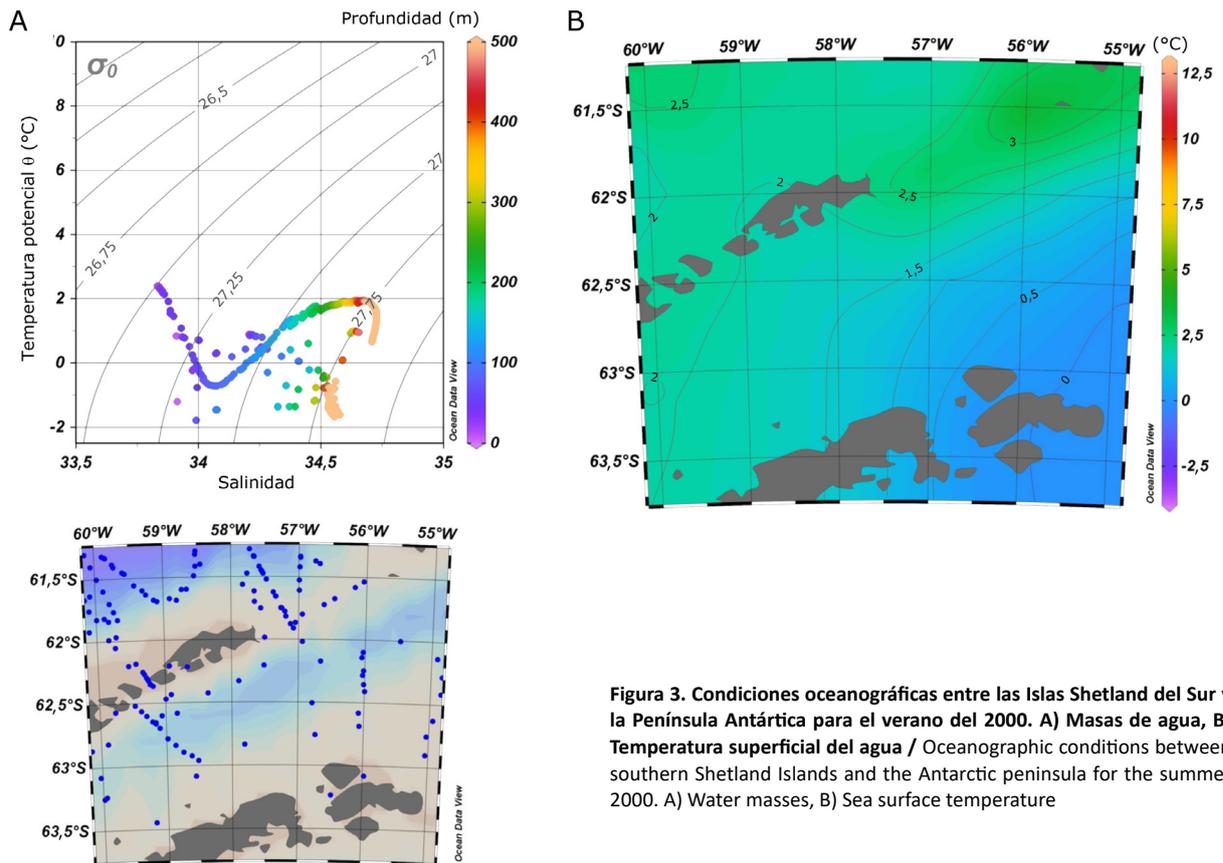


Figura 3. Condiciones oceanográficas entre las Islas Shetland del Sur y la Península Antártica para el verano del 2000. A) Masas de agua, B) Temperatura superficial del agua / Oceanographic conditions between southern Shetland Islands and the Antarctic peninsula for the summer 2000. A) Water masses, B) Sea surface temperature

ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

Para el verano del 2012, la densidad del fitoplancton varió entre 2.940 células·L⁻¹ (E03-0 m) y 409.010 células·L⁻¹ (E09-0 m). Los valores de abundancia fueron mayores en las estaciones E08 y E09. En el verano 2013, la densidad del fitoplancton varió entre 2.260 células·L⁻¹ (E04-0 m) y 47.522 células·L⁻¹ (E11-20 m). Las mayores concentraciones celulares se localizaron en las estaciones E10 y E11 que conforman la entrada de la ensenada, en superficie y 20 m de profundidad (Tabla 4).

El índice de diversidad (H') en general fluctuó entre 0,01 y 1,97 bits·célula⁻¹. Ambos veranos presentaron índices de diversidad bajos, mostrando una distribución bastante homogénea con valores entre 1 y 1,97 bits·célula⁻¹ a excepción de las estaciones E08 y E09 (verano 2012) en donde los valores son muy bajos (< 0,1 bits·células⁻¹) asociados a una baja riqueza de especies (menor de 11, ver Tabla 4).

El análisis de agrupamiento al 60% de similitud, define un solo grupo (G1) para ambos veranos, aglomerando a todas las estaciones de la ensenada. Entre las especies más frecuentes tenemos a *Thalassiosira antarctica*, *Thalassiosira delicatula*, *Porosira glacialis* y nanoflagelados (Figs. 4A y 4B).

DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL

En el verano 2012, en la columna de agua (0, 10 y 20 m) se identificaron 42 especies, de las cuales 33 son diatomeas, 6 dinoflagelados y varios nanoflagelados. Los nanoflagelados fueron dominantes en los 3 estratos estudiados, con un promedio de 87% del total y las diatomeas con un 12% del total. Verticalmente el fitoplancton muestra una distribución bastante homogénea asociada a densidades menores de 18.000 células·L⁻¹, con excepción de pequeños parches en las estaciones E08 y E09 atribuido a los nanoflagelados (Tabla 1).

La ensenada presentó especies comunes de aguas antárticas como *Corethron criophilum*, *Thalassiosira antarctica*, *Pseudo-nitzschia* grupo *delicatissima*, *Porosira glacialis*, *Haslea troyii*, *Fragilariopsis kerguelensis*, *Gyrodinium lachryma* y *Gymnodinium* sp. (Tabla 5).

Algunas diatomeas bentónicas como *Achnanthes* sp., *Gyrosigma fasciola*, *Gyrosigma* sp. y *Licmophora antarctica* estuvieron presentes en el primer transecto de la ensenada, colindante a los glaciales; mientras otras diatomeas bentónicas como *Cocconeis placentula*, *Gomphonema margaritae*, *Navicula* sp., *Nitzschia* sp. y *Tropidoneis antarctica* estuvieron presentes tanto en el primer como segundo transecto.

Tabla 4. Número de especies, abundancia e índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') registrados para los veranos 2012 y 2013 / Number of species, abundance and Shannon-Weaver index (H') recorded for the summers of 2012 and 2013

Est/Prof	Nº especies (2012)	Abundancia	Shannon (H')	Nº especies (2013)	Abundancia	Shannon (H')
E1-0	19	46.502	1,49	11	6.598	1,68
E1-10	13	16.897	1,60	12	10.567	1,87
E1-20	15	33.979	1,62	14	8.700	1,45
E2-0	10	14.983	1,34	6	2.320	1,29
E2-10	20	30.504	1,63	14	8.458	1,51
E2-20	16	40.532	1,60	16	14.204	1,84
E3-0	10	2.940	1,50	12	9.317	1,97
E3-10	10	43.077	0,72	13	16.631	1,76
E3-20	13	23.940	1,40	12	11.324	1,21
E4-0	11	11.150	1,45	8	2.260	1,00
E4-10	21	9.177	1,52	10	14.872	1,65
E4-20	20	13.380	1,62	10	9.880	0,71
E5-0	13	23.431	0,86	12	8.268	1,45
E5-10	12	29.787	0,69	14	16.060	1,72
E6-0	15	7.789	1,90	8	7.187	1,76
E6-10	15	23.916	1,16	8	7.276	1,51
E6-20	16	52.857	1,05	12	22.028	1,54
E7-0	11	4.850	1,60	6	3.435	1,28
E7-10	16	23.180	1,30	12	11.116	1,86
E7-20	13	48.454	1,06	13	24.268	1,50
E8-0	7	32.110	0,10	7	5.078	1,53
E8-10	9	127.991	0,06	13	28.076	1,22
E8-20	11	367.471	0,02	12	21.780	1,54
E9-0	5	409.010	0,01	9	22.564	1,44
E9-10	9	165.187	0,07	10	7.291	1,65
E10-0	8	4.209	1,49	9	33.861	0,88
E10-10	10	10.275	1,01	9	25.076	1,45
E10-20	8	11.506	1,02	13	13.794	1,83
E11-0	9	4.609	1,33	6	5.822	1,16
E11-10	9	14.747	1,22	14	19.043	1,84
E11-20	7	3.715	1,22	12	47.522	0,77

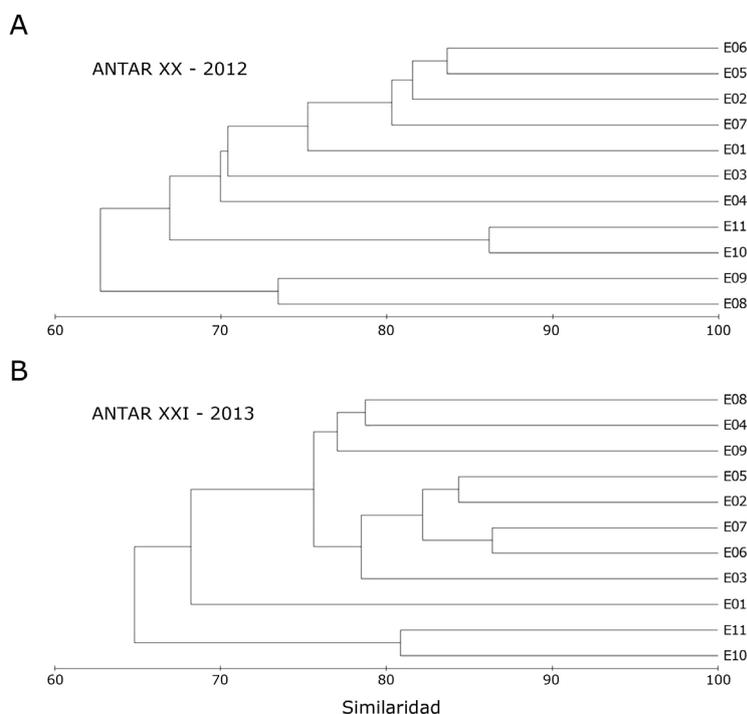


Figura 4. Similitud del fitoplancton durante las expediciones científicas ANTAR XX (verano austral 2012) y ANTAR XXI (verano austral 2013) en la ensenada Mackellar-Bahía Almirantazgo. A) Dendrograma de similitud (índice Bray-Curtis), verano 2012. B) Dendrograma de similitud, verano 2013 / Similarity of the phytoplankton during the oceanographic cruises ANTAR XX (Austral summer 2012) and ANTAR XXI (Austral summer 2013) from the Mackellar inlet, Admiralty Bay. A) Dendrogram of similarity (Bray-Curtis index), summer 2012. B) Dendrogram of similarity, summer 2013

En el verano 2013, en la columna de agua se identificaron 29 especies, de las cuales 23 fueron diatomeas, 4 dinoflagelados y varios nanoflagelados. Las diatomeas dominaron con un 56% del total. Verticalmente el fitoplancton estuvo dispuesto irregularmente, las mayores concentraciones de fitoplancton se localizaron en superficie y a 20 m de profundidad. Las diatomeas a 20 m llegaron a concentraciones celulares de 13.000 células·L⁻¹. Para los dinoflagelados en la E10-0 m y E11-20 m las concentraciones

celulares llegaron a 26.363 y 39.587 células·L⁻¹ y para los nanoflagelados las abundancias tuvieron valores menores a 12.000 células·L⁻¹ (Tabla 2).

Las especies presentes en toda la ensenada fueron *Thalassiosira antarctica*, *Thalassiosira delicatula*, *Pseudo-nitzschia* grupo *delicatissima*, *Porosira glacialis*, *Navicula* sp., *Gomphonema margaritae* y *Gyrodinium lachryma* (Tabla 5).

Tabla 5. Lista de especies de diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados a tres profundidades durante los veranos 2012 y 2013 / List of species of diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates at three depths during the summers of 2012 and 2013

	Verano 2012			Verano 2013		
	0 m	10 m	20 m	0 m	10 m	20 m
Diatomeas						
<i>Actinocyclus actinochilus</i>		x	x			
<i>Actinocyclus</i> sp.	x	x			x	x
<i>Achnanthes brevipes</i>		x				
<i>Amphora</i> sp.		x				
<i>Asteromphalus hookerii</i>		x	x			
<i>Cocconeis placentula</i>		x				
<i>Cocconeis</i> sp.	x	x	x	x		
<i>Corethron criophilum</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Chaetoceros gelidus</i> (=C. socialis)					x	x
<i>Chaetoceros</i> sp.						x
<i>Cylindrotheca closterium</i>			x		x	x
<i>Cylindrotheca gracilis</i>		x	x			
<i>Fragilariopsis cylindrus</i>					x	x
<i>Fragilariopsis kerguelensis</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Gomphonema margaritae</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Grammatophora marina</i>		x				
<i>Grammatophora</i> sp.			x			
<i>Gyrosigma fasciola</i>	x	x			x	x
<i>Gyrosigma spencerii</i>	x					
<i>Gyrosigma</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Haslea trompii</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Licmophora antarctica</i>		x	x	x	x	x
<i>Navicula</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Nitzschia longissima</i>			x			
<i>Nitzschia ventricosa</i>			x			
<i>Nitzschia</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Odontella litigiosa</i>						x
<i>Pinmularia</i> sp.				x		x
<i>Pleurosigma</i> sp.	x					
<i>Porosira glacialis</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Pseudo-nitzschia</i> grupo <i>delicatissima</i>				x	x	x
<i>Pseudo-nitzschia subcurvata</i>	x	x	x			
<i>Rhizosolenia</i> sp.		x	x		x	x
<i>Thalassiosira antarctica</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Thalassiosira condensata</i>	x	x	x			
<i>Thalassiosira delicatula</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Thalassiosira</i> sp.	x	x	x			
<i>Trachyneis</i> sp.			x			
<i>Trichotoxon reinboldii</i>	x	x				
<i>Tropidoneis antarctica</i>	x	x	x			
Diatomea Pennate				x		x
Dinoflagelados						
<i>Amphidinium</i> sp.	x	x	x			
<i>Diplopetopsis</i> sp.	x	x	x		x	x
<i>Gymnodinium</i> sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Gyrodinium lachryma</i>	x	x	x	x	x	x
<i>Oxytoxum</i> sp.	x	x	x			
<i>Protoperidinium defectum</i>			x			
Nanoflagelados						
<i>Leucocryptos marina</i>	x	x	x	x	x	x
Nanoflagelados nd.	x	x	x	x	x	x

nd.: no determinado

Las especies bentónicas como *Cocconeis* sp. y *Gyrosigma* sp. estuvieron presentes en el primer transecto, otras diatomeas bentónicas como *Fragilariopsis kerguelensis* y *Nitzschia* sp. en el primer y segundo transecto y cabe mencionar a *Chaetoceros gelidus* (= *C. socialis*) en el primer y tercer transecto y *Gymnodinium* sp. en la entrada de la ensenada (tercer transecto).

La abundancia relativa de las principales especies para el 2012 muestra que esta comunidad estuvo dominada por nanoflagelados (86%) (Fig. 5A). Para el 2013, la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por diatomeas céntricas de pequeño tamaño como *Thalassiosira delicatula* (36%), *Pseudo-nitzschia* grupo *delicatissima* (9%), *Porosira glacialis* (6%), *Thalassiosira antarctica* (2%), *Navicula* sp. (2%) y *Chaetoceros gelidus* (= *C. socialis*) (2%). Además de nanoflagelados (20%) y el dinoflagelado *Gymnodinium* sp. (19%) (Fig. 5B).

FITOPLANCTON Y SU RELACIÓN CON LOS FACTORES AMBIENTALES

El análisis de correspondencia canónica no mostró una asociación de las variables fisicoquímicas con el fitoplancton para el verano 2012, pero para el verano 2013 el análisis de correspondencia canónica mostró una asociación de algunas variables fisicoquímicas con los grupos fitoplanctónicos y con las abundancias de las estaciones a diferentes estratos. El eje 1 explica el 79% de la variabilidad. Al eje 1 se asoció la salinidad con las estaciones que se ubican en el tercer transecto (E09 y E10); la temperatura se asoció más con las estaciones del primer (E03) y segundo transecto (E08 y E09). El eje 2 explica el 21% de la variabilidad y mostró asociación entre el oxígeno y las diatomeas (Fig. 6).

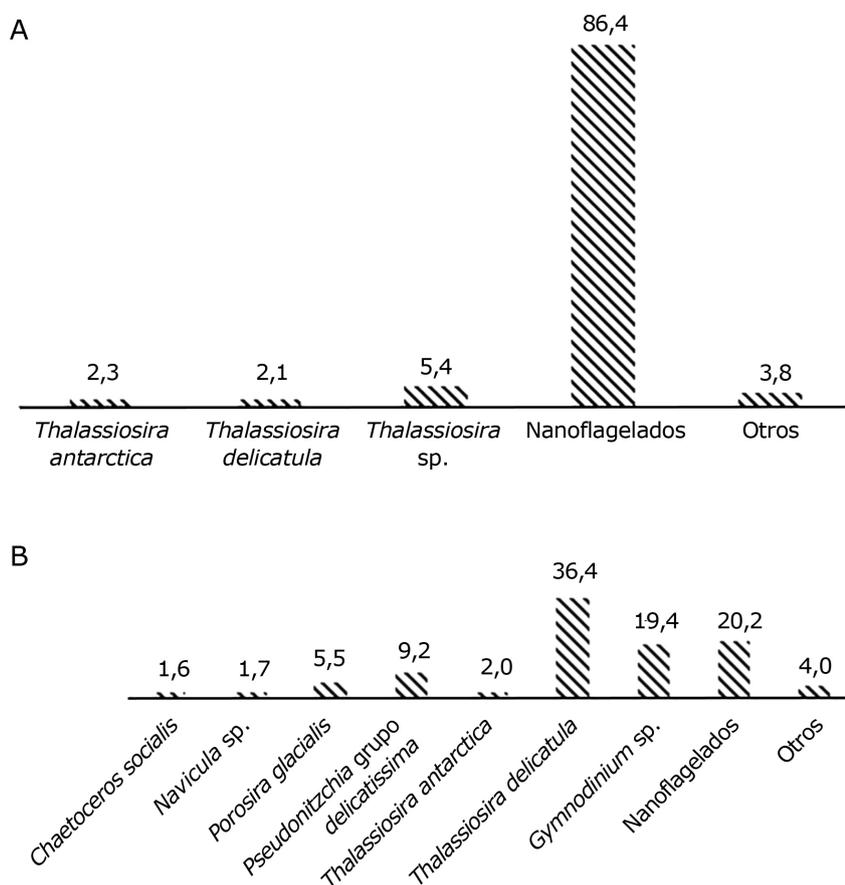


Figura 5. Abundancia relativa de especies de fitoplancton durante las expediciones científicas: A) ANTAR XX (verano austral 2012) y B) ANTAR XXI (verano austral 2013) en la ensenada Mackellar-Bahía Almirantazgo / Relative abundance of phytoplankton species during the oceanographic cruises: A) ANTAR XX (Austral summer 2012) and B) ANTAR XXI (Austral summer 2013) from the Mackellar inlet, Admiralty Bay

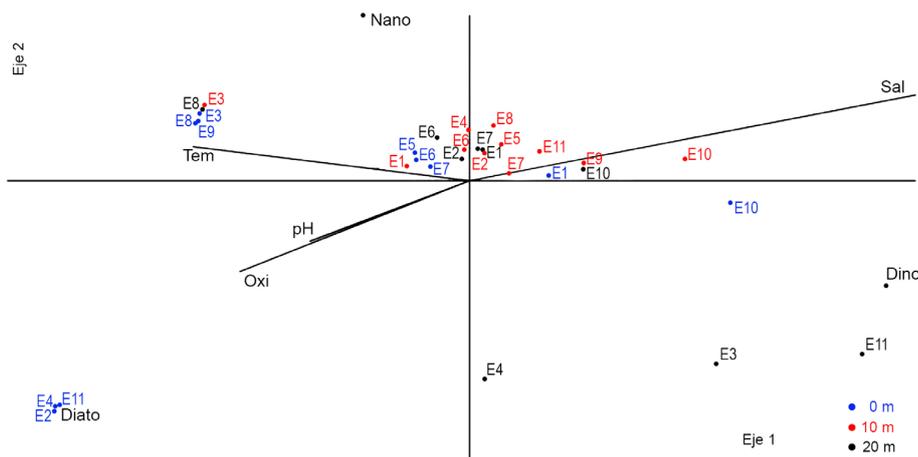


Figura 6. Análisis Canónico de Correspondencias (ACC). Diagrama de ordenación con grupos de fitoplancton (diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados), estaciones de muestreo (-) y variables ambientales: temperatura, salinidad, oxígeno y pH (líneas) en el espacio de los dos primeros ejes de ordenación. El eje horizontal representa el eje 1 y el eje vertical al eje 2 / Canonical correspondence analysis (ACC). Ordination diagram with phytoplankton groups (diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates), sampling stations (-) and environmental variables: temperature, salinity, oxygen and pH (lines). Horizontal axis represents axis 1 and the vertical axis the axis 2

La prueba ANOSIM en los datos estandarizados de la abundancia de la raíz transformada indicó que todos los pares de estaciones fueron significativamente diferentes entre sí excepto H6 y H7, y aquí el nivel de significación fue sólo marginalmente >5% (Tabla 6). Para los datos estandarizados de biomasa transformada de raíz doble, todos los pares de sitios fueron significativamente diferentes entre sí.

Para el verano 2013, el test de ANOSIM con los datos de abundancia estandarizados indica que dos pares de profundidades (0 y 10 m de profundidad y 0 y 20 m de profundidad) fueron significativamente diferentes entre sí ($P < 0,05$) el valor de R fue de 0,179 (Tabla 6). Estos resultados fueron respaldados por el análisis de SIMPER identificando a los nanoflagelados (18-33%), *Thalassiosira delicatula* (20-32%) y *Gymnodinium* sp. (16%) como las principales especies que contribuyeron con la disimilitud (53-59%) en la variación de las diferentes profundidades (Tabla 7).

Tabla 6. Análisis ANOSIM, valores de R y nivel de significancia ($P < 0,05$) basado en la abundancia de las especies fitoplanctónicas en comparaciones realizadas entre los periodos de estudio / ANOSIM analysis, R values and significance level ($P < 0.05$) based on the abundance of the phytoplanktonic species comparing study periods

Periodos	R	Nivel de significancia ($P < 0,05$)
Verano 2012	0,0484	0,1407
Verano 2013	0,179	0,0006

Tabla 7. Valores del Análisis SIMPER para la contribución de las especies/taxones para el verano 2013 a diferentes profundidades / Values of the SIMPER analysis for species or taxa contributions for summer 2013 at different depths

Taxon	Abun. Prom. (0 m)	Abun. Prom. (10 m)	Diss. Prom.	% Contrib.	% Acum.
Nanoflagelados	992	4.270	17,92	33,81	33,81
<i>Thalassiosira delicatula</i>	3.170	3.490	11,05	20,84	54,64
<i>Gymnodinium</i> sp.	2.410	874	8,665	16,34	70,99
Taxon	Abun. Prom. (0 m)	Abun. Prom. (20 m)	Diss. Prom.	% Contrib.	% Acum.
<i>Thalassiosira delicatula</i>	3.170	6.080	19,32	32,45	32,45
Nanoflagelados	992	2.550	11,02	18,51	50,96
<i>Gymnodinium</i> sp.	2.410	4.310	9,851	16,54	67,5

Abun Prom: Promedio de abundancia, Diss Prom: Promedio de disimilaridad, % Contrib: Porcentaje de contribución, % Acum: Porcentaje Acumulativo

Para el verano 2012, la prueba ANOSIM en los datos estandarizados de la abundancia no mostró diferencias significativas entre las profundidades ($P > 0,05$). El valor de R fue de 0,0484 (Tabla 6). El análisis SIMPER, para evaluar a los grupos fitoplanctónicos que contribuyeron más a la disimilitud entre los dos periodos de estudio, se muestra en la Tabla 8. Se evidencia que la mayor contribución (64%) estuvo dada por los nanoflagelados.

DISCUSIÓN

HIDROGRAFÍA Y CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

Durante el 2012 y 2013 se presentaron temperaturas superficiales de mar (TSM) en la ensenada Mackellar en un rango de diferencia entre 0,22 a 0,41 °C, respectivamente, mientras que en los alrededores de la bahía Almirantazgo los valores de TSM varían entre $0,75 \pm 0,42$ °C para el comienzo del verano 2011 y $1,61 \pm 0,15$ °C para finales del verano 2011 (Tenorio *et al.* 2012). Cabe señalar, que los valores de salinidad en los alrededores de la Isla Rey Jorge presentaron signos de derretimiento del glaciar, lo cual se evidenció en la relación encontrada entre la gran cantidad de partículas suspendidas y los eventos de mortalidad de krill entre 2003 a 2012 (Fuentes *et al.* 2016). El incremento de TSM en los alrededores de la Isla Rey Jorge durante 1970 a 1999, y sobre todo durante el 2010 (Figs. 2 y 3) muestra la señal de calentamiento que sufre esta zona de la Antártica, en especial las pequeñas bahías, canales y ensenadas de la Isla Rey Jorge, afectando gradualmente el ecosistema de los polos (Smetacek & Nicol 2005).

En el estudio realizado por Sánchez *et al.* (2013) en la bahía Almirantazgo, la comunidad fitoplanctónica se caracterizó por la dominancia de la fitoflagelados ND asociados a temperaturas promedio de 1,11 °C y salinidad promedio de 33,86; en cambio en nuestro estudio del verano

2013 la comunidad fitoplanctónica se ha caracterizado por la abundancia de diatomeas (59%), dinoflagelados (20%) y nanoflagelados (20%) asociados a temperatura promedio de 1,27 °C y salinidad promedio de 33,9; la diferencia en la dominancia se puede deber a una alta concentración de nutrientes en zonas más someras que propicia el desarrollo de estos grupos fitoplanctónicos, en cambio a lo largo de la bahía Almirantazgo la prevalencia de los fitoflagelados se puede atribuir a la dinámica de las condiciones hidrográficas características como por ejemplo: los vientos y la estabilidad en la columna de agua que propiciaría la dominancia de este grupo.

COMPOSICIÓN DEL FITOPLANCTON

En ambos periodos de estudio la composición de especies de diatomeas fue similar presentándose diatomeas céntricas de pequeño tamaño como *Thalassiosira antarctica*, *Thalassiosira delicatula*, *Porosira glacialis* y la diatomea formadora de colonias *Pseudo-nitzschia* grupo *delicatissima*, además del dinoflagelado común en aguas antárticas *Gyrodinium lachryma*. Estudios realizados por Sánchez *et al.* (2013) en el estrecho de Bransfield en el verano 2013 confirman la presencia de especies de los géneros *Pseudo-nitzschia* y *Thalassiosira* (Tabla 5).

DISTRIBUCIÓN DEL FITOPLANCTON

Durante el primer periodo de estudio (2012) los nanoflagelados fueron numéricamente el grupo más abundante, muy similar a lo reportado por Kopczyńska (1980, 1992, 2008) y Annett *et al.* (2010). Otros estudios reportaron para el segundo periodo de estudio (2013) que la dominancia del fitoplancton cambió, ya que fueron las diatomeas “centrales” de pequeño tamaño las que dominaron en número.

Tabla 8. Valores del Análisis SIMPER para la contribución de los grupos fitoplanctónicos entre el verano 2012 y 2013 / Values of the SIMPER analysis for contributions of taxonomic groups between summer 2012 and 2013

Taxón	Abun. Prom. (2012)	Abun. Prom. (2013)	Diss. Prom.	% Contrib.	% Acum.
Nanoflagelados	45.700	2.550	38,62	64,41	64,41
Diatomeas	7.130	6.760	16,31	27,19	91,6
Dinoflagelados	445	2.540	5,04	8,404	100

Abun Prom: Promedio de abundancia, Diss Prom: Promedio de disimilaridad, % Contrib: Porcentaje de contribución, % Acum: Porcentaje Acumulativo

Durante el verano 2012, la prevalencia en dominancia de los nanoflagelados sobre las diatomeas se puede atribuir a la estabilidad en la columna de agua originando un alto desarrollo de microalgas de los grupos taxonómicos Prasinophyceae, Cryptophyta o Haptophyta, en aguas con bajas abundancias de diatomeas, caso similar se dio en el periodo de estudio de 1996-98 y 2003-05 en la bahía Almirantazgo (Kopczynska 2008). Esta estabilidad en la columna de agua puede deberse también a una distribución casi uniforme de la temperatura y salinidad en la columna de agua. Según Pruszk (1980), los pequeños cambios en la salinidad, se produce principalmente por aporte de agua dulce de los glaciares. En el verano 2012, la salinidad promedio en cada estrato fue bastante uniforme, lo que podría favorecer a las poblaciones de nanoflagelados, en cambio para el verano 2013 la salinidad fue mayor a 20 m (34,04) comparado a nivel superficial, lo cual indicaría un mayor aporte de agua dulce de los glaciares los cuales podrían favorecer más a las poblaciones de diatomeas y dinoflagelados que a los nanoflagelados.

La turbulencia favorece el mantenimiento de las poblaciones fitoplanctónicas en las zonas más superficiales, contrariamente a lo que sucede en condiciones de estabilidad en la que se configura una distribución vertical del fitoplancton caracterizada por altas densidades de células en profundidad debido al hundimiento de las poblaciones de diatomeas (Avaria & Muñoz 1982), lo que se puede corroborar con nuestros resultados en donde las densidades de diatomeas a 20 m fueron relativamente mayores que en superficie para el 2013 cuya densidad de diatomeas a 20 m fue más del doble que en superficie (59.591 células·L⁻¹ en superficie y 106.102 células·L⁻¹ a 20 m). Además de la turbulencia las diatomeas se pueden ver favorecidas por la limitación de la luz, cuando la fotosíntesis relativa se representa frente a la intensidad de la luz, los organismos de hielo y el plancton aumentan en productividad hasta aproximadamente 18 klx y son algo inhibidos por mayores intensidades a 29 klx (Burkholder & Mandelli 1965), las cuales podrían darse en los primeros metros de profundidad.

En la Antártica se ha descrito un grupo especial de microalgas conocidas como “diatomeas bentónicas” que viven en el fondo, pegadas a las piedras o sedimentos. Ellas son capaces de hacer fotosíntesis con niveles de luz muy bajos (invierno). Esta capacidad se ha llamado foto-adaptación (Uribe 1982). En este estudio, para el verano 2012 se encontraron diatomeas bentónicas como *Achnanthes* sp., *Gyrosigma fasciola*, *Gyrosigma* sp. y *Licmophora antarctica* y para el verano 2013 se encontraron las especies *Cocconeis* sp. y *Gyrosigma* sp. presentes en toda la columna de agua del primer transecto, colindante a los glaciares de hielo, lo cual podría indicar que estas diatomeas están capacitadas para vivir debajo de las capas de hielo marino y favorecidas por los altos niveles de luz durante todo el día en la columna de agua, característica propia de la época de verano.

Ambos veranos presentaron bajos valores en los índices de diversidad, siendo menores de 1,32 bits·célula⁻¹, lo cual es característico de una comunidad típica de la primera fase de la sucesión ecológica (Margalef 1958); similares características fueron reportadas por Antonietti (1989), Gómez (1991), Delgado (1999) y Sánchez & Villanueva (2001).

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto: “Biodiversidad del macrobentos y plancton marino en la ensenada Mackellar y la Bahía Almirantazgo, Isla Rey Jorge - Antártida” de la Dirección de Asuntos Antárticos, Ministerio de Relaciones Exteriores del Perú por el financiamiento del trabajo que constituye parte de la Tesis de Maestría: ‘Variación espacial e interanual del fitoplancton durante los veranos australes de la ensenada Mackellar-Isla Rey Jorge, Antártica: 2008-2013’, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Agradecemos a la Dra. Noemí Ochoa por la confirmación en la identificación de las especies, a todos los expedicionarios que colaboraron con el muestreo y a Bernabé Moreno por la elaboración del mapa.

LITERATURA CITADA

- Annett AL, DS Carson, X Crosta, A Clarke & RS Ganeshram. 2010.** Seasonal progression of diatom assemblages in surface waters of Ryder Bay, Antarctica. *Polar Biology* 33: 13-29.
- Antonietti E. 1989.** Microplancton del Estrecho de Bransfield. Verano de 1989 (Perú ANTAR II). Informe Científico de la Segunda Expedición Peruana a la Antártida, Lima, pp. 9-44.
- Avaria S & P Muñoz. 1992.** Producción actual, biomasa y composición específica del fitoplancton de la Bahía de Valparaíso en 1979. *Revista de Biología Marina* 18(2): 129-157.
- Balech E. 1944.** Plancton de Lennox y Cabo de Hornos. *Revista de la Sociedad Argentina de Ciencias Naturales (Physis)* 19(54): 29-76.
- Balech E. 1976.** Clave ilustrada de dinoflagelados antárticos. Instituto Antártico Argentino, Dirección Nacional del Antártico, Pub. IAA 11: 1-98.
- Bonicelli J, D López, N Ochoa & R Shreeve. 2008.** Estructura comunitaria del zooplancton asociada con el fitoplancton y las masas de agua del Estrecho de Bransfield y La Isla Elefante durante el verano austral del 2006. *Ecología Aplicada* 7(1-2): 159-164.
- Burkholder PR & EF Mandelli. 1965.** Productivity of microalgae in Antarctic sea ice. *Science* 149(3686): 872-874.
- Catewicz Z. 1984.** Variability of water flow in Ezcurra Inlet. *Oceanologia* 15: 73-95.
- Clarke KR & RN Gorley. 2006.** PRIMER 6. User Manual/ Tutorial. Primer-E Ltd, Plymouth.
- Delgado E. 1999.** Fitoplancton del Estrecho de Bransfield e Isla Elefante durante el verano austral 1998. Resultados del programa de Investigación Antártica del Instituto del Mar del Perú Verano Austral 1998, Perú ANTAR IX, Segunda parte, Crucero BIC Humboldt 9801, Informe IMARPE 145: 4-22.
- Freguelli J. 1943.** Diatomeas de las orcadadas del Sur. *Revista del Museo de la Plata, Tomo 5, Botánica* 21: 221-277.

- Frenaguelli J & HA Orlando. 1958.** Diatomeas y silicoflagelados del sector antártico sudamericano, 191 pp. Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires.
- Fuentes V, G Alurralde, B Meyer, GE Aguirre, A Canepa, AC Wolff, HC Hass, GN Williams & IR Schloss. 2016.** Glacial melting: an overlooked threat to Antarctic krill. *Scientific Reports* 6(27234). <doi: 10.1038/srep27234>.
- García-Muñoz C, LM Lubián, CM García, A Marrero, P Sangrà & M Vernet. 2013.** A mesoscale study of phytoplankton assemblages around the South Shetland Islands (Antarctica). *Polar Biology* 36: 1107-1123.
- Garibotti IA, M Vernet & ME Ferrario. 2005.** Annually recurrent phytoplanktonic assemblages during summer in the seasonal ice zone west of the Antarctic Peninsula (Southern Ocean). *Deep Sea Research I* 52: 1823-1841.
- Gili J, O Cavadonga, R Joandomènc, P López & WE Arntz. 2000.** La vida en los fondos antárticos. *Investigación y Ciencia* 290: 64-74.
- Gómez O. 1991.** Microplancton del Estrecho de Bransfield durante el verano de 1991. *Informes Científicos de la Tercera Expedición del Perú a la Antártida*, pp. 109-164. Comisión Nacional de Asuntos Antárticos (CONAAN), Lima.
- Hammer Ø, DAT Harper & PD Ryan. 2001.** PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9. <http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>
- Hammer Ø, D Harper & PD Ryan. 2013.** PAST: Palaeontological Statistics, Ver. 3.14. Natural History Museum, Universidad de Oslo, Oslo. <<https://folk.uio.no/ohammer>>
- Hasle GR. 1969.** An analysis of the phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: abundance, composition and distribution during the Bratigg expedition 1947/8. *Hvalradetes Skrifter* 52: 1-168.
- Hasle GR & EE Syvertsen. 1997.** Marine diatoms. In: Tomas C (ed). *Identifying marine phytoplankton*, pp. 5-385. Academic Press, San Diego.
- Kopczyńska EE. 1980.** Small scale vertical distribution of phytoplankton in Ezcurra Inlet, Admiralty Bay, South Shetland Islands. *Polish Polar Research* 1: 77-96.
- Kopczyńska EE. 1981.** Periodicity and composition of summer phytoplankton in Ezcurra Inlet, Admiralty Bay, South Shetland Islands. *Polish Polar Research*, 2(3-4): 55-70.
- Kopczyńska EE. 1992.** Dominance of microflagellates over diatoms in the Antarctic areas of deep vertical mixing and krill concentrations. *Journal of Plankton Research* 14: 1031-1054.
- Kopczyńska EE. 1996.** Annual study of the phytoplankton in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Polish Polar Research* 17(1-2): 151-164.
- Kopczyńska EE. 2008.** Phytoplankton variability in Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands: six years of monitoring. *Polish Polar Research* 29(2): 117-139.
- Lund J, C Kipling & D LeCren. 1958.** The inverted microscope of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. *Hydrobiologia* 11: 143-170.
- Margalef R. 1958.** Temporal succession and spatial heterogeneity in natural phytoplankton. In: Buzzati-Traverso AA (ed). *Perspectives in marine biology*, pp. 232-329. University of California Press, Berkeley.
- Medlin LK & J Priddle. 1990.** *Polar marine diatoms*, 214 pp. British Antarctic Survey, Natural Environmental Council, Cambridge.
- Priddle J & G Fryxell. 1985.** *Handbook of the common plankton diatoms of the Southern Ocean: Centrales except the genus Thalassiosira*, 159 pp. British Antarctic Survey, Natural Environmental Council, Cambridge.
- Pruszek Z. 1980.** Current circulation in the waters of Admiralty Bay (region of Arctowski Station on King George Island). *Polish Polar Research* 1: 55-74.
- Rakusa-Suszczewski S. 1980.** Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay (South Shetland Islands) as part of the near-shore Antarctic ecosystem. *Polish Polar Research* 1: 11-27.
- Rakusa-Suszczewski S. 1993.** Hydrography and hydrochemistry. In: Rakusa-Suszczewski S (ed). *The maritime antarctic coastal ecosystem of Admiralty Bay*, pp. 32-34. Polish Academy of Sciences, Warsaw.
- Rakusa-Suszczewski S. 1996.** Spatial and seasonal variability of temperature and salinity in the Bransfield Strait and Admiralty Bay, Antarctica. *Polish Polar Research* 17: 29-42.
- Rakusa-Suszczewski S & A Kidawa. 1997.** Variability of the South Shetland Islands Geoco- system. *Geographia Polonica* 70: 65-72.
- Robakiewicz M & S Rakusa-Suszczewski. 1999.** Application of 3D circulation model to Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Polish Polar Research* 20: 43-58.
- Round FE, RM Crawford & DG Mann. 1990.** *The diatoms: Biology & morphology of the genera*, 747 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sánchez S & P Villanueva. 2001.** Composición del fitoplancton en el estrecho de Bransfield e Isla Elefante durante el verano austral de 1999. *Revista Peruana de Biología* 8(1): 23-37.
- Sánchez S, P Villanueva & E Delgado. 2013.** Patrón de la distribución espacial del fitoplancton en el Estrecho de Bransfield durante el verano austral 2013 Perú-ANTAR XXI. En: Salazar-Céspedes CM (ed). *ANTAR XXI. Informe Final. Investigaciones Científicas Antárticas del IMARPE en el Estrecho de Bransfield, Bahía Almirantazgo y Ensenada Mackellar*, pp. 30-44. IMARPE, Callao.
- Sayed Z. 2005.** History and evolution of primary productivity studies of the Southern Ocean. *Polar Biology* 28: 423-438.
- Secretaría del Trabajo Antártico. 1996.** Plan de gestión de la zona Antártica especialmente administrada N° 1. Bahía del Almirantazgo (Bahía Lasserre), Isla Rey Jorge (Isla 25 De Mayo). Medida 2 - anexo, pp. 177-209. Partes consultivas del tratado Antártico en la XX RCTA. Buenos Aires, Argentina. <www.ats.aq/documents/recatt/Att338_s.pdf>.
- Shannon C & W Weaver. 1963.** *The mathematical theory of communication*, 125 pp. University of Illinois Press, Urbana.
- Smetacek V & S Nicol. 2005.** Polar ocean ecosystems in a changing world. *Nature* 437(7057): 362-368.
- Sournia A, JR Grall & G Jacques. 1979.** Plankton diatoms and dinoflagellates along a meridian transect in the Southern Indian Ocean (campagne "Antiprod I" du Marion-dufresne, mars 1977). *Botanica Marina* 22: 183-198.
- Steyart J. 1973.** Distribution of plankton diatoms along an African-Antarctic transect. *Investigaciones Pesqueras* 37: 295-328.

- Szafranski J & M Lipski. 1982.** Characteristics of water temperature and salinity in Admiralty Bay (King George Island) during austral summer 1978-1979. *Polish Polar Research* 3: 7-24.
- Tenorio MMB, JJ Barrera-Alba & D Rivera. 2012.** Plankton structure of the shallow coastal zone at Admiralty bay, King George Island, West Antarctic Peninsula (WAP): chlorophyll biomass and size-fractionated chlorophyll during Austral summer 2010/2011. *INCT-APA Annual Activity Report* 10. <doi: 10.4322/apa.2014.105>.
- Torres G, C Palacios, T Calderón & S Recalde. 2006.** Interacción del fitoplancton y zooplancton y sus condiciones oceanográficas durante el verano austral 2004 (Isla Greenwich-Antártica). *Revista Tecnológica-ESPOL* 19(1): 153-160.
- Turner J, SR Colwell, GJ Marshall, TA Iachlan-Cope, AM Carleton, PD Jones, V Lagun, PA Reid & S Iagovkina. 2005.** Antarctic climate change during the last 50 years. *International Journal of Climatology* 25: 279-294.
- Uribe E. 1982.** Influence of the phytoplankton and primary production of the Antarctic waters in relationship with the distribution and behaviour of krill. *INACH, Scientific Series* 28: 147-163.
- Vanzan M, JJ Barrera-Alba, MM Barboza & D Rivera. 2015.** Picoplankton and nanoplankton variability in an Antarctic shallow coastal zone (Admiralty Bay) during the austral summer of 2010/2011. *Polar Biology* 38(8): 1267-1284.
- Wasilowska A, E Kopczynska & M Rzepecki. 2015.** Temporal and spatial variation of phytoplankton in Admiralty Bay, South Shetlands: the dynamics of summer blooms shown by pigment and light microscopy analysis. *Polar Biology* 38: 1249-1265.

Recibido el 26 de abril de 2018 y aceptado el 4 de marzo de 2019

Editor: Claudia Bustos D.