

La comunidad macrobentónica intermareal de bahía Chile (isla Greenwich, Antártica) y su relación entre parámetros fisicoquímicos y granulométricos

DANIEL PÉREZ¹, CLAUDIO GÓMEZ², DANIEL ARAVENA & NANCY CALISTO³

1. <https://orcid.org/0000-0003-4914-5668>

2. <https://orcid.org/0000-0001-9060-7727>

3. <https://orcid.org/0000-0002-5517-1750>

OPEN ACCESS

Recibido:

02/12/2022

Revisado:

10/12/2022

Aceptado:

14/12/2022

Publicado en línea:

30/12/2022

Editor en Jefe:

Dr. Américo Montiel San Martín

ISSN 0718-686X



RESUMEN

La actividad humana ha ido aumentando en el continente antártico, lo que se traduce un impacto directo en áreas litorales por medio de las aguas residuales, los cuales afectan a las comunidades bentónicas intermareales. Además, estas comunidades han sido poco estudiadas debido a la escasez de áreas intermareales libres de hielo en el continente blanco. El presente estudio tiene como objetivo determinar los parámetros comunitario de los macroinvertebrados bentónicos en el intermareal de bahía Chile/Discovery (Isla Greenwich) y su relación con variables fisicoquímicas (materia orgánica, hidrocarburos totales del petróleo, fósforo libre y nitrógeno total) en las proximidades del emisario de la base naval Arturo Prat. Para ello, se tomaron muestras de sedimento en dos transectos paralelos a la línea de costa a ambos lados del emisario a 25, 50, 200 y 300 metros de distancia. Se identificaron un total de 10 taxones de los cuales Harpacticoidea y Oligochaeta fueron los más abundantes. Los valores de abundancia por muestra variaron entre 256 y 12.176 (Ind* m^{-2}). Mientras que el promedio del índice de Shannon-Wiener (H') varió entre 0,57 ($\pm 0,53$) y 1,32 ($\pm 1,26$) y la uniformidad promedio (J') varió entre 0,32 ($\pm 0,29$) y 0,63 ($\pm 0,60$). El análisis de componentes principales mostró una relación directa entre la abundancia y la concentración de las variables fisicoquímicas. Por otro lado, los resultados obtenidos muestran que las variables fisicoquímicas, composición taxonómica, equidad y valores de diversidad eran similares a las obtenidas para otras áreas de la Isla Rey Jorge.

Palabras clave: Base Prat, emisario, variables fisicoquímicas, abundancia, sedimento

Intertidal macrobenthic community of bahía Chile (Greenwich island, Antarctic) and its relationship between physicochemical and granulometric parameters

Contribución de los autores:

D.P.: Obtención de datos, análisis taxonómico y bentónico, elaboración de tablas y gráficos, elaboración de mapas, redacción del texto y edición del texto.

C.G. y N.C.: Diseño del estudio, análisis químico, revisión borrador.

D.A.: Análisis de la información química, elaboración de tablas y gráficos.

Declaración de intereses:

No existen conflictos de intereses

Financiamiento:

Los autores no declaran ninguno financiamiento.

ABSTRACT

Human activities have been increasing on the Antarctic continent resulting in a direct impact on littoral areas through waste waters, which affect intertidal benthic communities. In addition, these communities have been little studied because there are few ice-free intertidal areas on the white continent. The present study aims to determine the community parameters of benthic macroinvertebrates in the intertidal of Chile/Discovery Bay (Greenwich Island) and their relationship with physicochemical variables (organic matter, total petroleum hydrocarbons, free phosphorus and total nitrogen) in the vicinity of the Arturo Prat naval base outfall. For this purpose, sediment samples were taken in two transects parallel to the coastline and at both sides of the outfall. The sediment samples were collected at 25-, 50-, 200- and 300-meters distance from the outfall. A total of 10 taxa were identified of which Harpacticoidea and Oligochaeta were the most abundant. Abundance values per sample ranged from 256 to 12,176 (Ind*m⁻²). While the average Shannon-Wiener index (H') ranged from 0.57 (±0.53) to 1.32 (±1.26) and the average evenness (J') ranged from 0.32 (±0.29) to 0.63 (±0.60). Principal component analysis showed a direct relationship between abundance and concentration of physicochemical variables. On the other hand, the results obtained show that the physicochemical variables, taxonomic composition, equity and diversity values were similar to those obtained for other areas of King George Island.

Key Words: Prat Base, Antarctica, outfall, physicochemical parameters, abundance, sediment

INTRODUCCIÓN

Los efectos ecológicos producidos por aguas residuales que descargan contaminantes al océano son un tema de constante preocupación para las comunidades tanto científicas como gubernamentales. Debido a que los contaminantes se depositan en los sedimentos intermareales, afectando a las comunidades bentónicas que allí habitan. En el continente Antártico las actividades humanas han ido aumentando y diversificándose (Tejedo *et al.* 2011). Por lo que concomitantemente los desechos de origen antropogénico han aumentado (Grøndahl *et al.* 2008), y éstos pueden descargar al agua marina nitrógeno, fósforo, materia orgánica, metales pesados, hidrocarburos, entre otros (Grøndahl *et al.* 2008; Smith & Riddle, 2009; Tin *et al.* 2009). Sin embargo, los efectos de la descarga de estos elementos han sido poco estudiados en las comunidades bentónicas que habitan en la antártica.

Por otro lado, las comunidades bentónicas intermareales del litoral antártico se encuentran constantemente afectados por la acción erosivas del hielo (Torres & Calderón, 2006). Pese a estas adversas condiciones ambientales, muchos invertebrados han sido capaces de aclimatarse a estas drásticas condiciones (Ansart & Vernon 2003; Martín *et al.* 2016), llegando a presentar una alta riqueza de especies (Kim 2001; Bick & Arlt. 2013).

La combinación de ambos factores (creciente contaminación y erosión por el hielo), inciden directamente en las comunidades bentónicas intermareales. Por lo que estudiar las comunidades intermareales y la interacción de los factores abióticos de gran interés científico. En este contexto, los objetivos del presente trabajo fueron determinar la estructura de la comunidad macrobentónica del intermareal de bahía Chile bahía Chile/Discovery (Isla Greenwich) y determinar la relación a las concentraciones de materia orgánica, hidrocarburos totales del petróleo, fósforo libre, nitrógeno total y parámetros granulométricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se ubica en el intermareal frente a la Base Naval Chilena Arturo Prat (Chile; 62°28'54"S, 59°37'49"W) la cual opera desde 1947 hasta la actualidad. Se ubica en la Bahía Chile (Isla Greenwich). Esta Bahía tiene un ancho máximo de 3,5 km (Villacrés & Goyes. 1993) y una longitud máxima de 5,5 km (Serrano 2003), esta presenta un intermareal que es estacionalmente cubierto por hielo e influencia directamente por el glaciar Fuerza Aérea (Fig. 1B). El clima de la isla se caracteriza por presentar una alta oscilación térmica anual que va desde los 1°C a -21°C y una precipitación anual que varía entre los 400 a 600 mm (Serrano, 2001).

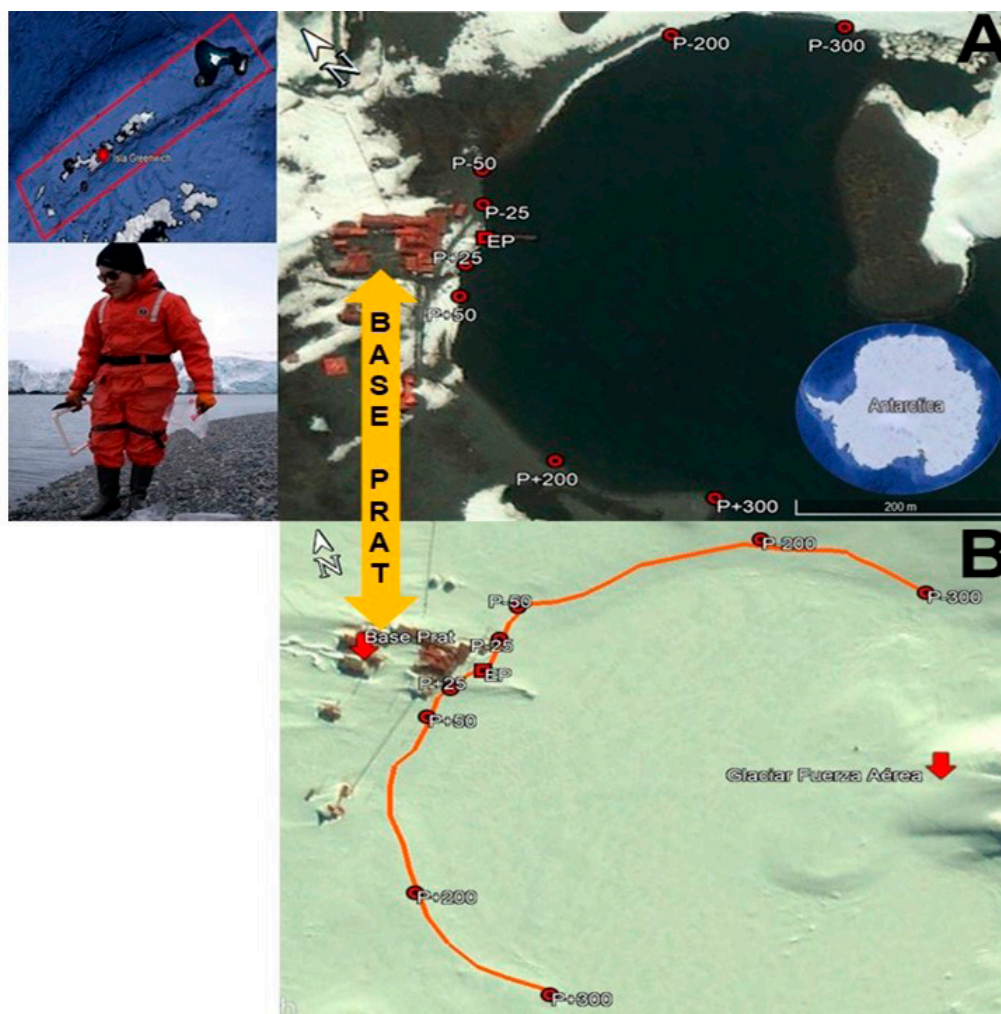
TRABAJO EN TERRENO

Diseño muestral

Los muestreos se realizaron en enero de 2019 usando a la Base Prat como centro logístico. El diseño muestral contempló dos transectos paralelos a la línea de marea baja, los cuales estaban ubicados a ambos lados del emisario (EP), con el fin de distinguir los transectos,

Figura 1.
Estaciones de muestreo
en bahía Chile/Discovery
($62^{\circ} 28'54''S$, $59^{\circ} 37'49''$
W) (Base Prat), Isla
Greenwich, Archipiélago
Islas Shetland del
Sur. Donde EP es el
emisario efuyente y
las numeraciones (P +
N°), corresponde a las
estaciones de muestreo
en relación a la distancia
(m) al emisario. A. Islas
Shetland del Sur, B.
muestreo realizado y C.
Estaciones de muestreo
en Bahía Chile. Mapa de
Google Earth (Fecha:
Diciembre-2011).

Influencia del hielo
para el intermareal de
bahía Chile, Base Prat
($62^{\circ} 28'54''S$,
 $59^{\circ} 37'49''W$),
Isla Greenwich,
Archipiélago Islas
Shetland del Sur.
Durante los meses de
invierno. Mapa
Google Earth (Fecha:
Octubre-2012)



el transecto 1 se le asignó el signo negativo (-) y el transecto 2 el signo positivo (+). En cada uno de ellos se tomaron muestras a partir del emisario a 25, 50, 200 y 300 m de distancia. En cada uno de estos puntos de muestreo se recolectaron tres muestras de sedimento intermareal (Fig. 1A). Para el análisis de la macrofauna, las muestras de sedimento se recolectaron dentro de un cuadrante de $0,1\text{ m}^2$. El sedimento fue extraído manualmente con ayuda de una pala hasta donde la dureza del sustrato lo permitió, por lo que los puntos -200, -300 y +200 no se obtuvieron muestras. En el caso de los análisis físico-químicos, se procedió con el mismo diseño muestral, pero se extrajo manualmente el sedimento superficial.

Muestreo de sedimento para macrofauna y análisis físicoquímico

Las muestras de macrofauna fueron fijadas en una solución de agua con formaldehído al 10%. Seguidamente, cada muestra fue cernidas en un tamiz de 500 μm de malla y preservada en frascos plásticos etiquetados. El análisis taxonómico fue realizado en Punta Arenas, Chile.

Las muestras de sedimentos para análisis químicos fueron secadas en horno a una temperatura de 105°C y homogenizadas. Luego, se realizaron análisis de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo libre e hidrocarburos totales de petróleo, los cuales se realizaron en el laboratorio.

ANÁLISIS EN LABORATORIO

Análisis de la macrofauna

Para analizar la macrofauna, las muestras de sedimentos fueron tamizadas utilizando cernidores de 0,5 mm de abertura de malla. Cada muestra fue lavada con agua hasta lograr una fracción reducida de la muestra (Montiel *et al.* 2001). Las muestras fueron observadas bajo una lupa estereomicroscópica (Marca Carl Zeiss) con aumento de 10X. Los organismos encontrados fueron separados, contabilizados e identificados en taxa mayores siguiendo el protocolo *sensus* Gerdes (1982) y por medio de literatura especializada (Fauna der Antarktis, Herausgegeben & Wolfgang 1990). Seguidamente los organismos fueron preservados en frasco con formalina al 10% con sus respectivas rotulaciones.

Determinación de materia orgánica, hidrocarburos totales del petróleo (HTP), fósforo libre (P-Olsen) y nitrógeno total (NTK)

Para determinar materia orgánica, se utilizó la metodología por calcinación (Schulte & Hopkins, 1996), el cual cuantifica el contenido de materia orgánica y se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al ser sometida a elevadas temperaturas (Eyherabide *et al.* 2014). Esta metodología, consiste en realizar un presecado de las muestras de suelo a una temperatura de 105°C durante un periodo de tiempo de tres días, por otro lado, se realizó un secado de las cápsulas de porcelana que se utilizaran para las muestras de suelo, las cuales fueron sometidas a una temperatura de 375°C. Las muestras de suelo fueron dejadas en una mufla a una temperatura de 430°C durante un periodo de 24 horas. La temperatura seleccionada evita el desprendimiento del CO₂ presentes en el suelo. Posterior a este procedimiento, se pesa la cápsula y se coloca nuevamente en la mufla, hasta obtener un peso constante.

Para determinar hidrocarburos totales de petróleo (HTP), se utilizó la metodología de extracción por reflujo o Soxhlet (Manual de técnicas de análisis de suelo) (Sadzawka *et al.* 2006). Se colocaron 8 g. de muestra de suelo seco y molido, se les añadió sulfato de sodio anhidro. Se insertaron dedales en los equipos de extracción y se adicionó diclorometano en un matraz de bola, junto con piedras de ebullición, este procedimiento realiza entre 6 a 8 reflujos por hora de acuerdo a la metodología utilizada. Posteriormente, se recuperó el solvente del matraz y se llevó al rotavapor, el cual extrae la totalidad del solvente quedando la fase orgánica junto con las piedras de ebullición. Por medio de las diferencias de pesos, se determinó la cantidad de HTPs.

La determinación de fósforo, se realizó utilizando la metodología de extracción con solución de bicarbonato de sodio y determinación colorimétrica del azul de molibdeno (Sadzawka *et al.* 2006). Este método se basa en que la solución de bicarbonato de sodio reduce la concentración de los iones de calcio, aluminio y hierro (III) por precipitación del carbonato de calcio e hidróxidos de aluminio y hierro (III), de esta manera se libera iones fosfato a la solución. La muestra se extrae utilizando una solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L a pH 8,5 y el fósforo resultante, se determina por colorimetría mediante el método de azul de molibdeno usando ácido ascórbico como agente reductor.

Se pesaron $2,5 \pm 0,01$ g. de muestra de suelo y 0,3 g. de carbón activados, además se midió 50 mL de bicarbonato de sodio y se procedió a agitar durante 30 min. Las muestras se filtraron a través de un papel filtro para obtener el extracto incoloro en un vaso precipitado. Con 5 mL del extracto y 20 mL de reactivo de desarrollo de color, se dejó reposar durante 60 min para que el color se estabilice. Finalmente se utilizó un espectrofotómetro UV/VIS Optizen POP para medir la absorbancia contra agua a 880 nm.

Para determinar nitrógeno, se utilizó la metodología de micro-Kjeldahl, modificada por Bremner & Mulvaney, 1982. Debido a los bajos resultados del análisis de materia orgánica, se utilizó 1 g de muestra de suelo, donde se añadió 2 g de mezcla compuesta por catalizadores (Sulfato de Potasio K_2SO_4 y Sulfato de Cobre Pentahidratado $CuSO_4 \times 5H_2O$). Luego se colocaron en la unidad de digestión DK6 de Velp Scientifica. Se utilizaron las siguientes temperaturas: 150 °C por 15 min (Elimina rastros de humedad), 300 °C por 15 min (Reduce la producción de humos blancos) y 400 °C por 90 min (Para la digestión). Terminado el proceso de digestión, los tubos se taparon hasta enfriar. Se destiló el nitrógeno utilizando la unidad UDK127 de Velp Scientifica, cuyo producto se recibió en un matraz con ácido bórico e indicador Tashiro, para finalmente ser titulado con ácido sulfúrico, donde la coloración paso de verde a rosado.

ANÁLISIS DE GRANULOMETRÍA

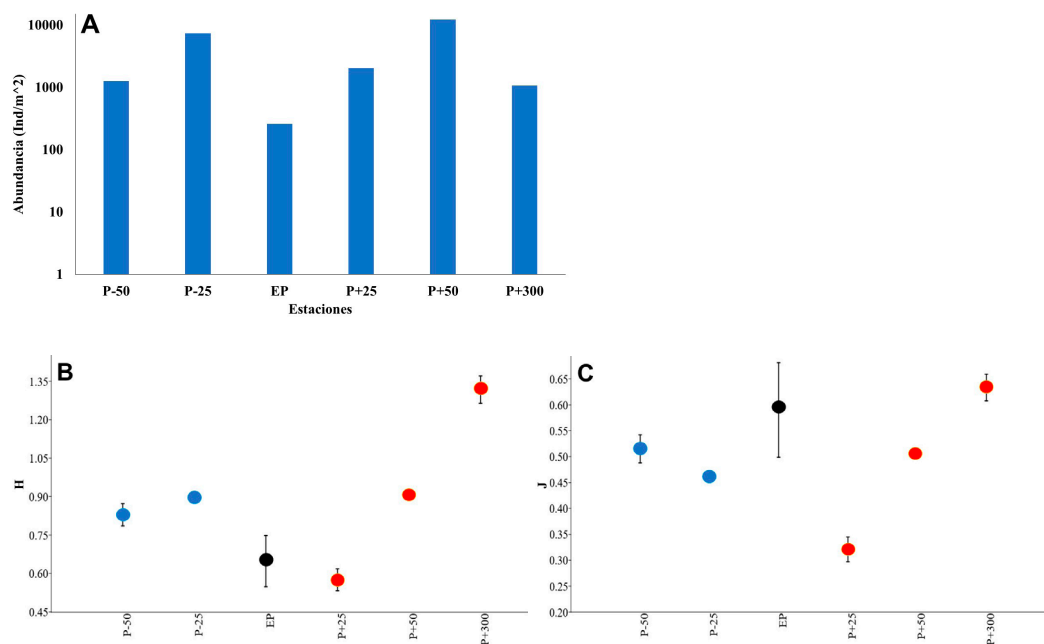
Los análisis de granulometría fueron realizados en dependencias de la Universiti Malaysia Sabah/Instituto de investigación marina de Borneo a cargo del Dr. Chen Cheng Ann.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Se calculó la diversidad, utilizando el índice de Shannon-Weiner (Shannon & Weiner 1949) y de equidad, utilizando el índice de equidad de Pielou (Pielou 1969). Además, se realizó un análisis de conglomerados para determinar la similitud entre los distintos puntos de muestreo. Para ello se utilizó la estrategia de conglomerado *Paired group* con el índice de similitud de Bray-Curtis (Bray & Curtis 1957) y un número de Bootstrap de 10.000.

Por otro lado, se realizaron Análisis de Componentes Principales (ACP), para relacionar las variables fisicoquímicas y biológicas y de esta manera relacionarlos entre sí. Se utilizó ACP para describir el conjunto de datos en términos de variables no correlacionadas, los cuales explican la mayor parte de la variación presenten en los datos y permite simplificar la complejidad de espacios muestrales con muchas dimensiones conservando la información (Amat 2017; Zamora & Esnaola, 2015). Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Paleontological statistics (PAST v4.0) (Hammer, 2001)

Figura 2.
 A. Cálculo de abundancia por estación de muestreo, escala en función logarítmica base 10.
 B. Cálculo de biodiversidad de acuerdo al índice de Shannon-Weiner (H') para cada estación de muestreo.
 C. Cálculo de diversidad, de acuerdo al índice de Equidad de Pielou (J') para cada estación de muestreo. Barras de error, correspondiente a la desviación estándar



RESULTADOS

Macrofauna en el intermareal

La composición taxonómica fue compuesta por 10 taxones. Los taxones más abundantes para el sitio de muestreo fueron los taxones Harpacticoidea ($10.794 \text{ Ind m}^{-2}$, Media=1799,1 $\pm$ DS=3043,92), Oligochaeta (8952 Ind m^{-2} , $1492,0 \pm 1907,10$), Gastropoda (3.773 Ind m^{-2} , $628,9 \pm 902,32$), Nematoda (274 Ind m^{-2} , $45,8 \pm 84,67$), Bivalvia (130 Ind m^{-2} , $21,8 \pm 29,33$), Acari (69 Ind m^{-2} , $11,6 \pm 21,44$), Nemertina (64 Ind m^{-2} , $10,7 \pm 15,46$), Amphipoda (37 Ind m^{-2} , $6,2 \pm 6,23$), Polychaeta (16 Ind m^{-2} , $2,7 \pm 6,53$) e Hydrozoa un grupo colonial estuvo presente (Tabla 1).

La estación EP, fue la estación que presentó el menor promedio de individuos cuyo valor fue de $25,6 (\pm 62,63)$.

En el transecto 1, correspondiente a los puntos de muestreo P-25, P-50 y P-300. La estación P-25, presentó un promedio de 731,7 individuos (DS $\pm 1593,97$). La estación P-50, presentó un promedio de 126,4 individuos ($\pm 270,66$). La estación P-300, no registró individuos.

En el transecto 2, correspondiente a las estaciones P+25, P+50 y P+300. La estación P+25, presentó un promedio de 20,32 individuos ($\pm 529,28$). La estación P+50, fue la estación que presentó el mayor promedio y el valor más elevado para la desviación estándar en relación a los demás puntos de muestreo, donde presentó un promedio de 1217,6 individuos ($\pm 2506,85$). La estación P+300, fue la estación que presentó la mayor diversidad con ocho taxones diferentes, en relación a los demás puntos de muestreo, el promedio de individuos fue de $107,2 (\pm 176,21)$.

Figura 3.

Dendrograma de análisis de Conglomerado para las seis estaciones de muestreo en el sector de bahía Chile, Isla Greenwich. La similitud fue calculada según el índice de Bray-Curtis a partir de datos de abundancia. Número de los nodos indican los niveles basados en el procedimiento de Bootstrap, basada en un conjunto de datos remuestrados.

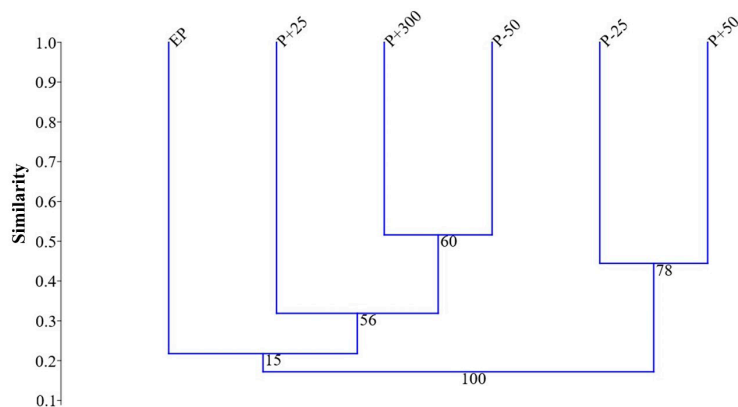


Tabla 1.
Resultados
obtenidos de la
abundancia de
macroinvertebrados,
colectados en las
estaciones del
intermareal de
bahía Chile, Isla
Greenwich.

ID	P-300	P-200	P-50	P-25	EP	P+25	P+50	P+200	P+300
Nemertina	S/M	S/M	37	21	0	0	0	S/M	5
Nematoda	S/M	S/M	0	53	0	0	8	S/M	213
Gastropoda	S/M	S/M	11	1499	0	37	2040	S/M	187
Bivalvia	S/M	S/M	0	37	0	11	8	S/M	75
Oligochaeta	S/M	S/M	816	5061	40	272	2208	S/M	555
Polychaeta	S/M	S/M	0	0	0	16	0	S/M	0
Amphipoda	S/M	S/M	11	0	16	5	0	S/M	5
Harpacticoidea	S/M	S/M	389	592	200	1691	7896	S/M	27
Acari	S/M	S/M	0	53	0	0	16	S/M	0
Hydrozoa	S/M	S/M	0	0	0	0	0	S/M	5
Abundancia (Ind m ⁻²)	---	---	1264	7317	256	2032	12176	---	1072

Biodiversidad (Índice de Shannon-Weiner H') (Tabla1)

El índice Shannon-Weiner (H') (Fig. 2.B). La estación correspondiente al emisario (EP), presento un valor de biodiversidad de 0,65 ($\pm 0,55$).

Los valores de biodiversidad, para el transecto 1. La estación P-50 presentó un valor de 0,83($\pm DS= 0,78$). La estación P-25 presento un valor de 0,89 ($\pm 0,87$).

Los valores de la biodiversidad de acuerdo al índice de Shannon-Weiner (H') para el transecto 2. La estación P+25 presento un valor de 0,57 ($\pm 0,53$), siendo la estación con la menor biodiversidad en relación a las demás estaciones. La estación P+50, fue la segunda estación con el valor más alto de acuerdo al índice de biodiversidad con un valor de 0,90 ($\pm 0,89$). Por último, la estación P+300, fue la estación con la mayor biodiversidad, cuyo valor fue de 1,32 ($\pm 1,26$)

ÍNDICE DE PIELOU (J')

El índice de Pielou (J') (Fig. 2.C) para el transecto 1. La estación P-50 presentó un valor de 0,51(± 0,48). La estación P-25 presentó un valor de equidad de 0,46 (± 0,45).

Los valores de la equitatividad de acuerdo al índice de Pielou (J') para el transecto 2. La estación P+25, fue la estación que presentó el menor valor de equitatividad, cuyo valor fue de 0,32 (± 0,29), donde el taxón Harpacticoidea fue exponencialmente más abundante en relación a los demás taxones. Para la estación P+50, el valor de equitatividad fue de 0,50 (± 0,49). Y, por último, la estación P+300, fue la estación que presentó la mayor equidad de abundancia entre los taxones identificados cuyo valor fue de 0,63 (± 0,60), donde de acuerdo al índice, esta estación presentó valores en el rango de la media, sin embargo, puede haber una o más especies cuya dominancia sea mayor en relación a los demás taxones.

La estación correspondiente al emisario (EP), presentó un valor de equitatividad de 0,59 (± 0,50), siendo el segundo valor más alto, detrás de la estación P+300.

Análisis de conglomerado para estaciones de muestreo

El punto EP correspondiente al emisario presentó la menor similitud en relación a los demás puntos de muestreo, similitud equivalente a 0,2 (22 %) en relación a la muestra P+25 y al conglomerado de los puntos P+300 y P-50. El punto de muestreo P+25, presentó una similitud de 0,32 (32 %) con el conglomerado P+300 y P-25. El conglomerado donde se encuentran presentes los puntos de muestreo P+300 y P-50, presentaron una similitud de 0,53 (53 %). Y, por último, el conglomerado de los puntos de muestreo P-25 y P+50, presentaron una similitud de 0,45 (45 %) (Fig. 3).

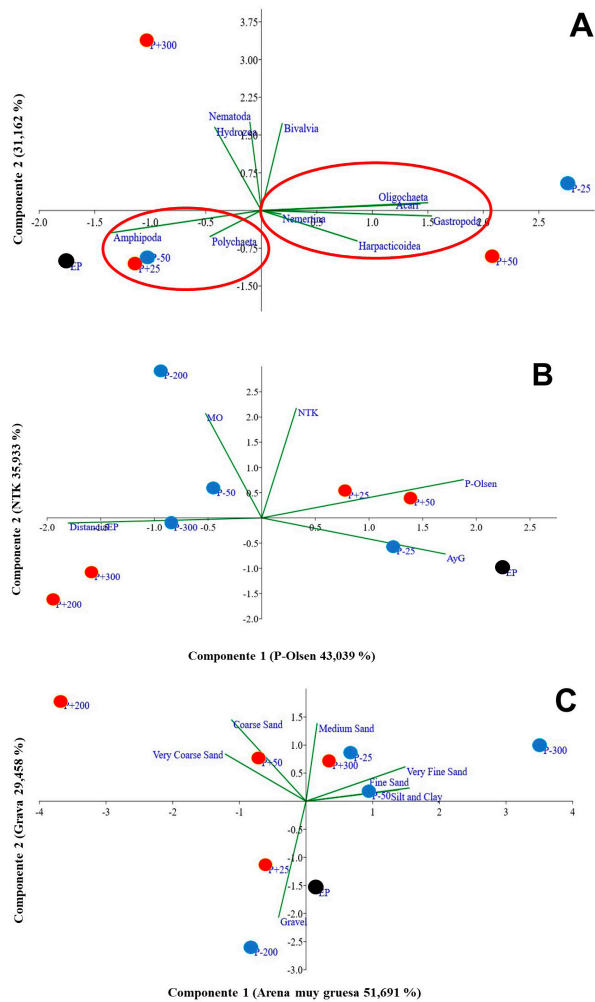
Concentración de Materia Orgánica (MO)

Las mayores concentraciones de materia orgánica (MO) (Tabla 2) se registraron en las estaciones del transecto 1, siendo la estación P-200, la que registró la mayor concentración con 47,26 g/kg, seguido de la estación P-300 con una concentración de 36,04 g/kg, contrariamente. Las estaciones en donde se registró las menores concentraciones de materia orgánica (MO) fueron las estaciones P+200 y P+300 con 17,44 g/kg y 17,68 g/kg respectivamente. Estos patrones de concentración, se pueden explicar a la oceanografía de la bahía, donde el intercambio de agua y la profundidad somera son factores significativos, para la acumulación de materia orgánica en el área.

Concentración de hidrocarburos totales

Los patrones en la concentración de hidrocarburos (Tabla 2), indicaron que el punto EP fue donde se registró la mayor concentración en relación a las demás estaciones, registrando una concentración de 26,01 g/kg. A medida que aumenta la distancia en relación al punto EP, las concentraciones de HTP disminuyen considerablemente. Considerando esto, lo lógico sería que el punto EP fuera el que presentara la mayor concentración de HTP, siendo el punto más cercano a los efluentes provenientes del emisario y cercano al muelle donde es utilizado para el abastecimiento de combustible para las embarcaciones menores (Zodiac).

Figura 4. A. Análisis Componentes Principales (ACP) para datos de macrofauna bentónica intermareal, B. Análisis Componentes Principales (ACP) para datos de parámetros fisicoquímicos y C. Análisis Componentes Principales (ACP) para datos de granulometría



ID	Distancia EP	MO	AyG	P-Olsen	NTK
P-300	300	36,04	10,22	0,012	0,031
P-200	200	47,26	3,22	0,011	0,285
P-50	50	31,12	0,85	0,010	0,127
P-25	25	19,66	15,24	0,013	0,103
EP	0	19,50	26,01	0,015	0,078
P+25	25	23,60	5,19	0,015	0,161
P+50	50	23,47	11,03	0,017	0,148
P+200	200	17,44	0,70	0,004	0,016
P+300	300	17,68	5,65	0,007	0,078

Tabla 2. Resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos del intermareal de bahía Chile, Isla Greenwich. Donde MO: Materia Orgánica, AyG: Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP/ AyG), P-Olsen: Fósforo libre y NTK: Nitrógeno Total Kjeldahl. Medida en g/kg.

Concentración de fósforo libre

La concentración de Fósforo libre (P-Olsen) (Tabla 2), fue relativamente constante en las estaciones que van desde la estación P+50 a la estación P-300, por el contrario, las estaciones P+200 y P+300, las que se encuentran en la entrada de la bahía, la concentración de fósforo fue de 0,004 g/kg y 0,007 g/kg respectivamente.

Concentración de nitrógeno total

Por último, los valores de las concentraciones de nitrógeno para el sedimento en bahía Chile (Tabla 2), indicaron, que la estación P-200, presentó la mayor concentración cuyo valor fue de 0,285 g/kg, contrariamente, las estaciones P-300 y P+200 fueron las que registraron las menores concentraciones, siendo estas de 0,031 g/kg y 0,016 g/kg respectivamente. Observando los valores de las concentraciones de nitrógeno, no se presentó un patrón proporcional en relación a la concentración y ubicación de las estaciones de muestreos en relación al emisario.

RELACIÓN ENTRE LA MACROFAUNA Y LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

De acuerdo a la (Fig. 4A). El componente 1 presento una varianza de 36,859 % y el componente 2 su varianza fue de 31,162 %, teniendo un total de 68,02 %, los cual es relativamente bajo, por lo tanto, la distribución de los datos es poco confiable y no se explica con certeza las conclusiones de este análisis.

Al observar la (Fig. 4A), existen dos vectores negativos que se encuentran correlacionados, el primero de ellos, se encuentra conformado por los grupos taxonómicos Amphipoda y Polychaeta y el segundo conformado por Oligochaeta, Acari, Gastropoda, Nemertina y Harpacticoidea, considerando esto, las especies de lo taxones mencionados, presentaron mayor presencia en las estaciones cercanas al punto de emisario, por el contrario, los grupos taxonómicos Nematoda, Bivalvia e Hydrozoa, se encontraron en mayor abundancia, en la estación alejadas al emisario (P+300), siendo el taxón Hydrozoa presente únicamente en dicha estación.

RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y ESTACIONES DE MUESTREO

La sumatoria de la varianza de los componentes fue de 78,98 %. De acuerdo al gráfico de la (Fig. 4B), el componente principal 1 tiene una mayor influencia en la variable P-Olsen, mientras que el componente principal 2 presentó mayor influencia en la variable NTK.

Por otro lado, el gráfico, determino que la relación entre materia orgánica y las otras variables fisicoquímicas, se correlacionen negativamente, es decir, mientras mayor sea el contenido de nitrógeno, fósforo e hidrocarburos en el sedimento, menor será la concentración de materia orgánica.

RELACIÓN DE LA MACROFAUNA CON LA GRANULOMETRÍA

De acuerdo al gráfico de la (Fig. 4C), el análisis de granulometría presentó una varianza total de 81,15 %. El componente principal 1 correspondiente a Arena muy gruesa y el componente

principal 2 correspondiente a grava, el gráfico indica que existe una gradiente granulométrica en zonas donde el sedimento predominante son de tamaño grueso y medio, pero, además, este indica que para la estación P+25 presento una gradiente anormal en comparación a su homologo P-25, considerando que para la estación P+25 presenta un gradiente en relación al emisario.

DISCUSIÓN

La composición taxonómica fue constituida por 10 taxones, el taxon más abundante fue Harpacticoidea, seguida por Oligochaeta. Ambos taxones estuvieron presentes en todas las estaciones de muestreo y presentaron las mayores abundancias en las estaciones cercanas al emisario, seguido del taxón Gastropoda, ausente solamente en la estación del emisario, pero abundante en estaciones cercanas a esta. Contrariamente, el taxón Hydrozoa, solo estuvo presente en la estación P+300, estación más alejada del emisario.

El número de individuos por especie, presento una inequidad, algunos taxones presentaron una mayor abundancia por sobre otra. Comparando la biodiversidad intermareal de bahía Chile, en relación a otros estudios intermareales, la biodiversidad fue menor. (Griffiths & Waller, 2016), indicaron que la biodiversidad intermareal antártica incluyó 159 especies registradas correspondiente a 13 phylum, donde el intermareal de Isla Rey Jorge fue la que presento la mayor riqueza, contribuyendo a esto, Aghmish *et al.* (2016), indico que la diversidad en los intermareales de Bahía Fildes fue de 58 especies entre macro y meiofauna. Aún más Waller (2008) encontró que la abundancia de invertebrados intermareales en Isla Adelaida fue de 7358 individuos/m², valores iguales a los encontrados en este estudio para los taxas Harpacticoidea y Oligochaeta.

Estudios realizados por Jazdzeswki *et al.* (2001), en Bahía Almirantazgo (Isla Rey Jorge), un intermareal compuesto por sedimento guijarro, presento una alta riqueza de especies con un total de 20 taxones, pertenecientes a Amphipodos, Moluscos, Nemertinos, Isópodos, Polychaeta y Oligochaeta, siendo los Amphipodos el taxón más abundante y por último Aghsmich *et al.* (2016) y Bick & Arlt (2013), para el intermareal de Bahía Fildes identificaron 51 y 74 especies bentónicas para el intermareal, donde la composición taxonómica para el intermareal comprende especies de los taxones Hydrozoa, Nemertina, Polychaeta, Moluscos, Crustáceas, Echinodermos, Bryozoa y Porifera. Considerando lo anterior, la composición taxonómica de la fauna bentónica entre el intermareal de Bahía Almirantazgo, Bahía Fildes y Bahía Chile, estas fueron iguales entre sí, a excepción de Echinodermos, Bryozoa y Poríferas identificadas para el intermareal de Bahía Fildes.

La diversidad en este estudio, de acuerdo al índice de Shannon-Weiner presentó una variación entre 0,60 y 1,35, considerando este rango, la diversidad fue menor, en comparación a los resultados de Shannon-Weiner realizados por Wallen en (2008) para el intermareal de isla Adelaida, este presento valores entre 1,51 y 2,19, pero además fue menor a los obtenidos en el estudio de Bick & Arlt (2013), donde los valores de diversidad de Shannon, oscilaron entre 2,61 y 3,06, significando que la diversidad se encuentra en valores normales.

En cuanto a los valores del índice de equidad Pielou, tanto en el trabajo de Wallen (2008), Bick & Arlt (2013) y Aghmish *et al.* (2016), se reflejó una baja uniformidad entre las especies, por lo que una o más especies fueron más abundantes, resultados iguales a los obtenidos en este estudio.

El punto de muestro, que presento las mayores concentraciones fueron las cercanas al emisario (EP), estos puntos de muestreo estuvieron marcados por una alta presencia (abundancia) de organismo como Oligochaeta, Gastropoda y Harpacticoideos, en cambio, las estaciones alejadas al efluente, si bien la abundancia de organismos fue menor en comparación a las estaciones adyacentes al efluente, el número de especie fue mayor, en donde se destacan especies como Nematoda, Bivalva e Hydrozoa. Considerando esto, algunos organismos bentónicos pueden responder a variables contaminantes mediante la presencia y ausencia (Warwick. 1993).

Comparando nuestros resultados con otros estudios realizados en las Islas Shetland del Sur, los patrones de distribución de los parámetros fisicoquímicos fueron similares a los obtenidos para la base chilena de Bahía Fildes en torno a su emisario, donde las mayores concentraciones estaban dadas en las estaciones cercanas al emisario (Rodríguez, 2017). Por otra parte, Díaz *et al.* (2014), analizaron el suelo antártico de la Base Argentina Carlini, determinaron que la concentración de hidrocarburos en el suelo fue de 21.909 mg/kg (21,90 g/kg), concentración mayor al promedio obtenido para el intermareal de base Prat, Bahía Chile.

Con respecto a las concentraciones vertidas desde el emisario por medio de la descarga de residuos líquidos hacia las zonas litorales, de acuerdo a la normativa en Chile, bajo el Decreto 90 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2001), el límite máximo permisible para hidrocarburos totales, nitrógeno total y fósforo es de 10, 50 y 5 mg/L respectivamente. Comparando los límites permitidos a los obtenidos en este estudio, nuestros resultados se encuentran por encima de los estándares permitidos por la norma chilena. Las concentraciones de nitrógeno y fosforo fueron el doble de lo permitido, mientras que, para los hidrocarburos totales, la concentración estaba por muy encima del límite máximo permisible (Aravena 2019).

En relación a los resultados de los análisis granulométricos, en este estudio los resultados indicaron que, en los sustratos duros, compuesto principalmente por grava, la macrofauna está caracterizada por la presencia de Polychaeta, Amphipoda y Harpacticoidea, en cambio, los sustratos blandos donde prevalece un sedimento fino compuesto por arenas, limo y arcilla, donde la presencia de organismos bentónicos estaba caracterizada por Oligochaeta, Gastropodo, Bivalva, Nemertinos y Acari. Considerando la relación entre el tamaño y tipo de sedimento con la macrofauna bentónica, Aghmich *et al.* (2016), indico que en los sustratos de fondos blando presentaron una mayor diversidad de organismos en relación a los obtenidos para sustratos rocosos, por lo tanto, el tamaño del sedimento puede ser una variable para el asentamiento y desarrollo para poblaciones bentónicas.

En síntesis, las variaciones fisicoquímicas afectar directamente a las comunidades bentónicas, provocando variaciones en su abundancia, distribución y estructuración de las comunidades.

Dado las crecientes actividades humanas, el aumento en la dotación en cada base y la construcción de futuras nuevas bases en las islas antárticas, los resultados de la presente investigación son esenciales para comprender los efectos que estas actividades antropogénicas causan en las comunidades intermareales aledañas a las bases antárticas.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Antártico Chileno (INACH) y Centro de Investigación y Monitoreo Ambiental Antártico (CIMAA), por su gestión para el traslado, apoyo y financiamiento para el desarrollo de este trabajo de investigación. Agradecimientos al Dr. Chen Cheng Ann por haber proporcionado los datos de los análisis de granulometría y su relación con la macrofauna intermareal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Aghmich, A., Taboada, S., Toll, L., & Ballesteros, M. (2016). First assessment of the rocky intertidal communities of Fildes Bay, King George Island (South Shetland Islands, Antarctica). *Polar Biology*, 39(1), 189-198.
- Amat, J. (2017). *Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, PCA) y t-SNE*. [Archivo PDF]. http://www.github.com/JoaquinAmatRodrigo/Estadística-con-R/blob/master/PDF_format/35_Principal_Component_Analysis.pdf
- Ansart, A., & Vernon, P. (2003). Cold hardiness in molluscs. *Acta Oecologica*, 24(2), 95-102.
- Aravena, D. (2019). *Estudio de contaminación en sedimentos intermareales de la Base Naval Antártica Capitán Arturo Prat*. [Tesis de Pregrado, Departamento Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes].
- Bick, A., & Arlt, G. (2013). Description of intertidal macro- and meiobenthic assemblages in Maxwell Bay, King George Island, South Shetland Islands, Southern Ocean. *Polar Biology*, 36(5), 673-689.
- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological monographs*, 27(4), 326-349.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen—Total. p. 595–624. AL Page et al.(ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. Nitrogen—Total. p. 595–624. In AL Page et al.(ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI*.
- Calderón, T., & Jaramillo, S. (1998). Estudio de la macrofauna bentónica en Bahía Chile y Ensenada Guayaquil (Isla Greenwich, Antártica).
- Dias, R. L., Ruberto, L., Calabró, A., Balbo, A. L., Del Panno, M. T., & Mac Cormack, W. P. (2015). Hydrocarbon removal and bacterial community structure in on-site biostimulated biopile systems designed for bioremediation of diesel-contaminated Antarctic soil. *Polar biology*, 38(5), 677-687.
- Eyherabide, M., Saíñz Rozas, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia del suelo*, 32(1), 13-19.
- Gerdes, D., Klages, M., Arntz, W. E., Herman, R. L., Galéron, J., & Hain, S. (1992). Quantitative investigations on macrobenthos communities of the southeastern Weddell Sea shelf based on multibox corer samples. *Polar biology*, 12(2), 291-301.
- Griffiths, H. J., & Waller, C. L. (2016). The first comprehensive description of the biodiversity and biogeography of Antarctic and Sub-Antarctic intertidal communities. *Journal of biogeography*, 43(6), 1143-1155.
- Gröndahl, F., Sidenmark, J., & Thomsen, A. (2009). Survey of waste water disposal practices at Antarctic research stations. *Polar Research*, 28(2), 298-306.
- Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Herausgegeben, J. & Wolfgang, J. (1990). *Fauna der Antarktis*. P.Parey.
- Jazdzewski, K., Broyer, C. D., Pudlarz, M., & Zielinski, D. (2002). Seasonal fluctuations of vagile benthos in the uppermost sublittoral of a maritime Antarctic fjord. In *Ecological Studies in the Antarctic Sea Ice Zone* (pp. 89-96). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Kim, D. (2001). Seasonality of marine algae and grazers of an Antarctic rocky intertidal, with emphasis on the role of the limpet *Nacella concinna* Strebel (Gastropoda: Patellidae). *Berichte zur Polar-und Meeresforschung (Reports on Polar and Marine Research)*, 397.

- Martín, A., Miloslavich, P., Díaz, Y., Ortega, I., Klein, E., Troncoso, J., ... & Carbonini, A. K. (2016). Intertidal benthic communities associated with the macroalgae *Iridaea cordata* and *Adenocystis utricularis* in King George Island, Antarctica. *Polar Biology*, 39(2), 207-220.
- Montiel, A., Gerdes, D., & Ríos, C. (2001). Distribution and abundance of macrozoobenthos in a subtidal marine microbasin from the Strait of Magellan, Chile. In *Anales Instituto Patagonia, Serie Cs. Nat.(Chile)* (Vol. 29, pp. 117-133).
- Presidencia, S. G. D. L. (2001). Normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
- Rodríguez, S. (2017). *Estudio de contaminantes presente en sedimentos marinos en las proximidades de las bases antárticas*. [Tesis de Pregrado, Departamento Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes].
- Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R., Mora, M., Flores, H. & Neaman, A. (2006). *Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. 2006
- Serrano, E. (2001). Espacios protegidos y política territorial en las islas Shetland del Sur (Antártida). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (31), 5-21.
- Serrano, E. (2003). Paisaje natural y pisos geoecológicos en las áreas libres de hielo de la Antártida marítima (Islas Shetland del Sur). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*.
- Smith, J. J., & Riddle, M. J. (2009). Sewage disposal and wildlife health in Antarctica. In *Health of Antarctic Wildlife* (pp. 271-315). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Tejedo, P., Pertierra, L., Benayas, J., & Boada, M. (2011). Equilibrios sobre el hielo: una breve (pero completa) revisión del conocimiento sobre el impacto humano en la Antártida. *Ecosistemas*, 20(1), 69-86
- Tin, T., Fleming, Z. L., Hughes, K. A., Ainley, D. G., Convey, P., Moreno, C. A., ... & Snape, I. (2009). Impacts of local human activities on the Antarctic environment. *Antarctic Science*, 21(1), 3-33.
- Torres, G., & Calderón, T. (2006). Descripción de la Comunidad Bentónica (Fito y Zoo Bentos) Litoral de Fort Williams (Isla Greenwich-Antártida), durante el verano austral 2003-4. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 19(1).
- Villacrés, J., & Goyes, P. (1993). Estudio sedimentológico y mineralógico en Bahía Chile, Isla Greenwich, Islas Shetland del Sur (Antártida).
- Waller, C. L. (2008). Variability in intertidal communities along a latitudinal gradient in the Southern Ocean. *Polar biology*, 31(7), 809-816.
- Warwick, R. M. (1993). Environmental impact studies on marine communities: pragmatical considerations. *Australian Journal of Ecology*, 18(1), 63-80.
- Zamora, R., & Esnaola, J. (2015). *Guía de trabajo en "R": Análisis factorial y análisis de componentes principales* [Archivo PDF]. <https://docplayer.es/41799282-Guia-de-trabajo-en-r.html>

Apéndice: Afiliación declara por cada uno de los autores

Número afiliación	Nombre de la institución y/o organización Afiliación
1	Laboratorio de Ecología Funcional, Instituto de la Patagonia, ✉ dpermuno@umag.cl, Punta Arenas, Chile.
2	Departamento Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile

Autor	Afiliación
D. Pérez	1
C. Gómez	2
D. Aravena	2
N. Calisto	2