



**UCSC**



**Magíster en  
Ecología Marina UCSC**  
Universidad Católica de la Santísima Concepción

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

**EFFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y DE LOS  
PARÁSITOS (ACANTHOCEPHALA) SOBRE EL FACTOR DE CONDICIÓN DE  
PECES ANTÁRTICOS (NOTOTHENIIDAE)**

Por

**FERNANDA NOEMÍ VARGAS ACEVEDO**

**TESIS PARA OPTAR AL  
GRADO DE MAGÍSTER EN ECOLOGÍA MARINA**

Director de Tesis: MARIO ANTONIO GEORGE-NASCIMENTO FAILLA

Co-Directora de Tesis: LISETTE MABEL ZENTENO DEVAUD

Concepción, Chile

2022



Universidad Católica de la Santísima Concepción

## ACTA DE GRADO

En Concepción de Chile, a 27 de JULIO de 2022, vistos y revisados los requisitos de Grado presentados por:

Doña **FERNANDA NOEMÍ VARGAS ACEVEDO**

RUT **17804909-7**

Alumna de la Carrera de **MAGISTER EN ECOLOGIA MARINA**

La Comisión Examinadora ha otorgado las siguientes calificaciones:

Nombre	Calificación
CARLOS LARA PEÑA MINISTRO DE FE	6.80 (SEIS , OCHENTA)
LISETTE ZENTENO DEVAUD CO-DIRECTOR DE TESIS	6.80 (SEIS , OCHENTA)
MARIO GEORGE-NASCIMENTO FAILLA DIRECTOR DE TESIS	6.80 (SEIS , OCHENTA)
MARCELA ALDANA PEREIRA MIEMBRO EXTERNO COMISIÓN DE TESIS	6.80 (SEIS , OCHENTA)
SERGIO CONTRERAS QUINTANA MIEMBRO INTERNO COMISIÓN DE TESIS	6.80 (SEIS , OCHENTA)

Se determina que el alumno Doña **FERNANDA NOEMÍ VARGAS ACEVEDO**, ha cumplido satisfactoriamente con todas las exigencias académicas para obtener el Grado de **MAGISTER EN ECOLOGÍA MARINA** según el siguiente detalle:

### TESIS O PROYECTO

"EFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y DE LOS PARÁSITOS (ACANTHOCEPHALA) SOBRE EL FACTOR DE CONDICIÓN DE PECES ANTÁRTICOS (NOTOTHENIIDAE)"

### RESUMEN CALIFICACIONES:

PROMEDIO NOTAS PLAN ESTUDIO	% 75	6.04	(SEIS , CERO CUATRO)
CALIFICACION FINAL DE EXAMEN	% 25	6.80	(SEIS , OCHENTA)
<b>NOTA GRADUACIÓN</b>		<b>6.23</b>	<b>(SEIS , VEINTITRES)</b>

Ivan Hinojosa Toledo  
Secretario Académico Ciencias



Florence Tellier .  
Decano Facultad



**UCSC**



**Magíster en  
Ecología Marina UCSC**  
Universidad Católica de la Santísima Concepción

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

# **EFFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y DE LOS PARÁSITOS (ACANTHOCEPHALA) SOBRE EL FACTOR DE CONDICIÓN DE PECES ANTÁRTICOS (NOTOTHENIIDAE)**

Por

**FERNANDA NOEMÍ VARGAS ACEVEDO**

## **TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN ECOLOGÍA MARINA**

La autora y el Director de Tesis certifican que la investigación presentada es original y cumple con las normas establecidas para todo aspecto relativo a su ejecución.

Concepción, Chile

2022

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director Dr. Mario George-Nascimento y mi codirectora Dra. Lisette Zenteno, por la entrega de sus conocimientos, confianza, orientación y tiempo dedicado para realizar esta investigación.

Al proyecto FONDECYT 3190455 [IR. Dra. Lisette Zenteno] y al Instituto Antártico Chileno. Gracias a los cuales fue posible realizar las salidas a terreno para la toma de muestras, actividades de formación indispensables que facilitaron mi proceso de aprendizaje.

Al programa de Magister en Ecología Marina y a la Dirección de Postgrado de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, por las becas de manutención y de apoyo de actividades académica para el financiamiento del análisis de metales pesados en las muestras de peces y parásitos. Además, por las herramientas entregadas para mi formación como profesional.

A mi esposa Lauri por su apoyo incondicional, contención, paciencia y amor para lograr cada meta propuesta en mi camino académico y profesional.

A mis papás Vero y Quique y mis hermanas Clau y Paly por siempre confiar en mí, por su amor incondicional y apoyo para completar mis metas.

A mis amigas y amigos de la vida por escucharme, animarme y contenerme en cada parte de este proceso.

A mis compañeras y compañeros del programa de Magister, en especial a Sara y Lucas, por todo el cariño y apoyo mutuo durante este camino.

Muchísimas gracias a todos!!!

## TABLA DE CONTENIDOS

Acta de examen .....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras .....	ix
Resumen .....	10
Abstract .....	11
Introducción .....	12
Hipótesis.....	17
Hipótesis General .....	17
Hipótesis Específicas.....	17
Objetivos .....	18
Objetivo General .....	18
Objetivos Específicos .....	18
Métodos.....	19
Sitios de muestreo.....	19
Obtención de muestras .....	19
Análisis de metales pesados .....	20
<i>Digestión de las muestras</i> .....	20
<i>Lectura de metales pesados</i> .....	20
Análisis estadísticos.....	21
Resultados .....	23
Caracterización de las muestras.....	23
Análisis de metales pesados de peces antárticos .....	24
Comparación de metales pesados entre hospedadores y parásitos .....	28
Presencia de parásitos.....	31
Fuentes de variación del factor de condición .....	31
Discusión.....	36
Análisis de metales pesados de peces antárticos .....	36
Comparación de metales pesados entre hospedadores y sus parásitos.....	40
Presencia de parásitos.....	41

Fuentes de variación del factor de condición .....	41
Conclusiones .....	43
Referencias bibliográficas .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Registros bibliográficos de concentraciones de metales pesados en organismos marinos de la Península Antártica. ....	14
Tabla 2. Datos bibliográficos de las concentraciones de metales pesados ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en <i>N. coriiceps</i> , <i>N. rossii</i> y <i>H antarcticus</i> . ....	15
Tabla 3 Longitud estándar y peso corporal (promedio $\pm$ 1 desviación estándar) según las especies de peces muestreadas en Bahía Fildes y Bahía Sur. n = tamaño de la muestra. ....	23
Tabla 4. Concentraciones promedio $\pm$ 1 desviación estándar de metales pesados, en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , según especie de pez y de sus acantocéfalos, en Bahía Fildes y Bahía Sur. n = tamaño de la muestra. ....	24
Tabla 5. Resumen de resultados de la comparación de las concentraciones de metales pesados, para cada especie de pez, según sitios de muestreo. Se indica el valor de “U” de la prueba U de Mann-Whitney, y el valor de probabilidad (P), n = tamaño de la muestras, Bahía Fildes (F), Bahía Sur (S). ....	25
Tabla 6. Resumen de resultados de la comparación de las concentraciones de metales pesados entre especies de peces, para cada sitio de muestreo. Se indica el valor de $\chi^2$ , con 2 grados de libertad, resultante de la prueba de Kruskal-Wallis, y el valor de probabilidad (P). n = tamaño de la muestras para <i>H. antarcticus</i> (Ha), <i>Notothenia coriiceps</i> (Nc) y <i>N. rossii</i> (Nr). ....	26
Tabla 7. Abundancia parasitaria (promedio + 1 desviación estándar), prevalencia (P, en %) de acantocéfalos y factor de condición de Fulton (k, promedio + 1 desviación estándar) según especie de pez y sitio de muestreo. n = tamaño de la muestra. ....	31
Tabla 8. Resumen del análisis de las fuentes de variación (modelo GLM) del factor de condición según la longitud total, la concentración del analito, la identidad de las especies de peces, los sitios de muestreo e interacciones entre la especie de pez y el sitio de muestreo. Se indican los valores de F de Fisher, con 1, 45 grados de libertad, excepto las pruebas entre especies y la de Lt*Sp con 2 y 45 grados de libertad, para 53 peces. R <sup>2</sup> es el coeficiente de determinación del modelo. ....	34
Tabla 9. Coeficiente de correlación de Spearman ( $r_s$ ) entre el factor de condición y la longitud total según especie de pez ( <i>N. coriiceps</i> , <i>N. rossii</i> y <i>H. antacticus</i> ) y sitio de muestreo (Bahía Fildes y Sur). ....	34

Tabla 10. Resumen del análisis de las fuentes de variación (modelo GLM) del factor de condición según la longitud total, las identidad de las especies de *Notothenia*, la abundancia de parásitos, la concentración del analito, los sitios de muestreo, la interacción entre la especie de pez y el sitio de muestreo, y la interacción entre la concentración del analito y el sitio de muestreo. Se indican los valores de F de Fisher, con 1, 34 grados de libertad para 42 peces del género *Notothenia*.  $R^2$  es el coeficiente de determinación del modelo. ....35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la Península Antártica, sitios de muestreo son (A) Bahía Fildes en Isla Rey Jorge, indicado con un rombo rojo y, (B) Bahía Sur en la Isla Doumer, indicada con un rombo azul.....	19
Figura 2. Diagramas de caja (box plot) de la longitud total (cm) de los peces de cada especie en ambos sitios de muestreo. Ha = <i>Harpagifer anctarticus</i> , Nc = <i>Notothenia coriiceps</i> , Nr = <i>N. rossii</i> , F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur. ....	24
Figura 3. Diagramas de caja (box plot) de la concentración de metales pesados (en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en los peces de cada especie en ambos sitios de muestreo. Ha = <i>Harpagifer anctarticus</i> , Nc = <i>Notothenia coriiceps</i> , Nr = <i>N. rossii</i> , F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur.....	28
Figura 4. Diagramas de caja (box plot) de la concentración de metales pesados (en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en los peces de cada especie del género <i>Notothenia</i> y de los acantocéfalos en ambos sitios de muestreo. Nc = <i>Notothenia coriiceps</i> , Nr = <i>N. rossii</i> , F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur, H = hospedador, P = Parásitos.....	31
Figura 5. Diagramas de caja (box plot) del factor de condición en los peces de cada especie en ambos sitios de muestreo. Ha = <i>Harpagifer anctarticus</i> , Nc = <i>Notothenia coriiceps</i> , Nr = <i>N. rossii</i> , F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur. ....	32
Figura 6. Diagrama de dispersión de la relación entre la longitud total (cm) y el factor de condición de cada especie de pez ( <i>N. coriiceps</i> , <i>N. rossii</i> y <i>H. antarcticus</i> ) según sitios de muestreo.....	33

## RESUMEN

Diversos estudios han reportado la presencia de metales en organismos marinos que forman parte de las tramas tróficas de la Península Antártica. Los metales pesados pueden ser estresores debido a su alta toxicidad, persistencia, bioconcentración y su posible biomagnificación. Determinar sus potenciales efectos en las especies antárticas es crucial para evaluar la salud de los organismos y monitorear la distribución de los contaminantes. Por ello, en esta tesis se comparó la concentración de metales pesados (Fe, Zn, Cd, Cu) en el hígado y músculo de los peces *Nothotenia coriiceps*, *N. rossii* y *Harpagifer antarcticus*, y en los acantocéfalos que los parasitan, entre Bahía Fildes y Bahía Sur, dos sitios con distinta intensidad de actividad humana. Además, se analizó el efecto de los metales pesados y la abundancia de parásitos sobre el factor de condición en las especies de peces en ambas bahías. Para el análisis estadístico, se realizaron pruebas U de Mann-Whitney y de Kruskal-Wallis para comparar las concentraciones de metales pesados entre los sitios de muestreo y entre las especies de peces. Además, se utilizaron modelos lineales para determinar el posible efecto sobre el factor de condición de los peces. Así, al comprar entre bahías se encontraron mayores concentraciones de Fe en Bahía Fildes que en Bahía Sur, tanto en *N. rossii* como en *H. antarcticus*. Por otro lado, en Bahía Fildes *N. rossii* y *N. coriiceps* presentaron mayores concentraciones de Zn y Cd que *H. antarcticus*. Mientras, en Bahía Sur, *N. rossii* y *N. coriiceps* registraron mayores concentraciones de Cd y Fe que *H. antarcticus*. Estos resultados sugieren que las diferencias de concentraciones de metales pesados entre especies y sitios pueden relacionarse con los hábitos alimentarios, hábitat y ciclos de vida de las especies. Así también, con la biodisponibilidad natural de los metales, los aportes provenientes de la desglaciación y por contaminación. Los acantocéfalos, presentaron mayores concentraciones de metales pesados que sus hospedadores, lo que podría relacionarse con su avidez metabólica. Por último, los efectos de los metales pesados en el factor de condición podrían deberse a los impactos negativos que éstos producen en los peces.

**Palabras clave:** Ecotoxicología, contaminación, Antártica, *Nothotenia coriiceps*, *Nothotenia rossii*, *Harpagifer antarcticus*

## ABSTRACT

Several studies have reported the presence of heavy metals in marine organisms that are part of the trophic webs of the Antarctic Peninsula. Heavy metals can be stressors due to their high toxicity, persistence, bioconcentration and possible biomagnification. Consequently, determining their potential effects on Antarctic species is crucial for assessing the health of organisms and monitoring the distribution of contaminants. Therefore, in this thesis it is compared the concentration of heavy metals (Fe, Zn, Cd, Cu) in the liver and muscle of the fish *Nothotenia coriiceps*, *N. rossii* and *Harpagifer antarcticus*, and in the acanthocephalans that parasitize them, between Fildes Bay and South Bay, two sites with different intensity of human activity. In addition, the effect of heavy metals and parasite abundance on the condition factor on fish species in both bays was analyzed. For statistical analysis, Mann-Whitney U tests or Kruskal-Wallis tests were performed to compare heavy metal concentrations between sampling sites and between fish species. In addition, linear models were used to determine the possible effect on the fish condition factor. Thus, when comparing between bays, higher Fe concentrations were found in Fildes Bay than in South Bay, both in *N. rossii* and *H. antarcticus*. On the other hand, in Fildes Bay *N. rossii* and *N. coriiceps* presented higher concentrations of Zn and Cd than *H. antarcticus*. Meanwhile, in South Bay, *N. rossii* and *N. coriiceps* registered higher concentrations of Cd and Fe than *H. antarcticus*. These results suggest that the differences in heavy metal concentrations between species and sites may be related to the feeding habits, habitat and life cycles of the species. Also, with the natural bioavailability of metals and contributions from deglaciation. The acanthocephalans presented higher concentrations of heavy metals than their hosts, which could be related to their metabolic avidity. Finally, the effects of heavy metals on the condition factor could be due to their negative impacts on fish.

Keywords: Ecotoxicology, contamination, Antarctica, *Nothotenia coriiceps*, *Nothotenia rossii*, *Harpagifer antarcticus*

## INTRODUCCIÓN

La intensidad y diversidad de las actividades humanas en la Antártica ha ido en aumento. Por ejemplo, en 1960 acudían 1.000 turistas por año, los que han aumentado a cerca de 37.000 (Tin et al. 2009; Aronson et al. 2011; IAATO 2020). Asimismo, las actividades científicas han aumentado en las 75 estaciones de investigación, donde trabajan aproximadamente 5.000 personas anualmente, de las cuales 1.000 permanecen durante todo el invierno (COMNAP 2017). Como resultado de estas actividades, plásticos (e.g. PET, PP, PVC), hidrocarburos aromáticos policíclicos, policlorobifenilos y metales pesados (plomo, cobre, zinc, hierro y cadmio) han sido registrados en sedimentos, columna de agua y en diversos organismos marinos (Negri et al. 2006; Palmer et al. 2010; Waller et al. 2017; Reed et al. 2018; Chu et al. 2019; Vergara et al. 2019).

Los metales pesados adquieren relevancia como estresores debido a su alta toxicidad, persistencia, bioacumulación y su posible biomagnificación en las tramas tróficas (Sures & Reimann 2003; Croteau et al. 2005; Padeiro et al. 2016; Cipro et al. 2017). Los procesos de bioacumulación y toxicidad por metales pesados son regulados por la biodisponibilidad de los metales y por factores bióticos (e.g. historia de vida de los organismos) y abióticos tales como la temperatura, pH, dureza del agua y corrientes (Ribeiro et al. 2005; Padeiro et al. 2016). Los glaciares, nieve y cuencas son la fuente de agua de todos los organismos en el continente antártico. Por lo tanto, la presencia de metales pesados en algún componente biótico o abiótico podría significar un peligro significativo para cualquier organismo (Bengtson Nash et al. 2010).

Algunos metales son considerados dañinos para los organismos, por ejemplo el Pb en los peces marinos podría causar inhibición del crecimiento gonadal y una disminución de los niveles de colesterol (Authman et al. 2015). Además, en concentraciones sobre 0.4 mg/g son letales para los peces (Zeitoun & Mehana 2014). El Cd podría causar decoloraciones y necrosis en el hígado, inhibe la absorción de Ca en las branquias y efecto negativo en las tasas de crecimiento (Authman et al. 2015). Además, las concentraciones de Cd sobre 0.1 mg/g son letales para los peces (Zeitoun & Mehana 2014).

En este contexto, la detección temprana de los potenciales efectos de los metales pesados en las especies antárticas es crucial para evaluar la salud de los organismos y para monitorear la distribución de los contaminantes.

En la Península Antártica las actividades humanas y la contaminación no están presentes de forma homogénea. Dos bahías que tienen diferentes intensidades de actividades humanas son Bahía Sur y Bahía Fildes. Bahía Sur está localizada en Isla Doumer en el Archipiélago Palmer, se encuentra a 20 km frente a la costa occidental y tiene afluencia de agua oceánica por la corriente superficial del estrecho Gerlache. Su comunidad bentónica está conformada principalmente por macroalgas, esponjas, artrópodos, moluscos, briozoos, equinodermos y peces (Zhou et al. 2002; Cárdenas et al. 2018). En esta bahía, la base científica Yelcho es la única operativa y se puede trabajar exclusivamente durante la estación de verano, usando como medios de transporte embarcaciones (INACH 2020). De hecho, es un sector con actividades humanas de baja escala y es escasa la información sobre contaminación. En la Isla Doumer registrado la presencia de metales pesados en pingüinos (Pb, Cd, As, Cu y Zn), sedimentos (Al, Fe, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb y Cd) y en hielo (PCB)(Risebrough et al. 1976; Carrasco & Préndez 1991; Espejo et al. 2014). A su vez, existen antecedentes de actividades humanas y contaminación en zonas cercanas a Isla Doumer. Por ejemplo, Kennicutt et al. (1992, 1995) identificaron la presencia de contaminación por hidrocarburos y metales pesados (Ag, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Se) en la Estación Palmer. Khan et al. (2019) registraron altas concentraciones de carbón negro ( $16.5-1.5 \mu\text{g rBC} / \text{L-H}_2\text{O}$ ) en la estación Palmer. Sontag et al. (2019) estudiaron la bioacumulación de mercurio ( $12.6 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) y metilmercurio ( $1.61 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en eufáusidos en la Isla Anvers.

Bahía Fildes se encuentra en la península Antártica, tiene afluencia de agua oceánica del Estrecho de Bransfield y aportes de agua dulce por el derretimiento de los glaciares (Khim & Yoon 2003; Griffiths & Waller 2016). La comunidad bentónica de esta bahía está formada por una alta diversidad de macroalgas e invertebrados, esponjas, briozoos, ascidias y peces (Valdivia et al. 2014). Además, el intermareal es rocoso y con fondos blandos, y en él habitan algas, anfípodos, gastrópodos y peces (Valdivia et al. 2014). Esta bahía es una de las zonas costeras con mayor intensidad de actividad humana, desarrolladas principalmente en el ámbito turístico, militar y científico (Braun et al. 2012; Amaro et al. 2015; Padeiro et al. 2016). Cuenta con 8 bases (militares y científicas), y se trabaja a lo largo de todo el año utilizando como medios de

transporte embarcaciones, automóviles, aviones y helicópteros. La ejecución de actividades en el sector conlleva un alto consumo de combustibles fósiles por transporte, calefacción y electricidad, siendo éstas las principales fuentes de metales pesados disponibles en la zona (Padeiro et al. 2016). Además, las altas concentraciones de Pb se han relacionado con la presencia de tanques de combustible cercanos a la base Bellingshausen (Padeiro et al. 2016).

En Bahía Fildes, Padeiro et al. (2016) encontraron altas concentraciones de mercurio ( $0.3 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ), y Lu et al. (2012) registraron concentraciones de Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Ti, y Zn en el sedimento costero terrestre. También, Amaro et al. (2015) registraron concentraciones de As, Cd, Cu, Zn, Pb y Hg en líquenes colectados en Bahía Fildes. En adición, hay estudios de presencia de metales en organismos marinos que forman parte de las tramas tróficas de la Península Antártica, tales como en el molusco bivalvo (*Laternula elliptica*), invertebrados marinos (*Nacella concinna* y *Odontaster validus*), pingüinos (*Pygoscelis papua* y *P. antarctica*), parásitos (*Aspersentis megarhynchus*) y peces (*Notothenia coriiceps*) (Tabla 1) (Ahn et al. 1996; Sures & Reimann 2003; Espejo et al. 2014; Trevizani et al. 2016; Abakumov et al. 2017; Webb et al. 2020).

TABLA 1. Registros bibliográficos de concentraciones de metales pesados en organismos marinos de la Península Antártica.

Especies	Zn $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Cd $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Cu $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$
<i>Laternula elliptica</i>	115 ± 22	3.9 ± 1.25	50
<i>Nacella concinna</i>	74.37 ± 0.7	1.08 ± 2.5	3.28 ± 1.1
<i>Odontaster validus</i>	59.5	21.5	93.2
<i>Pygoscelis papua</i>			229.86
<i>Pygoscelis antarctica</i>	227.80 ± 63.90	3.13 ± 0.59	259.99 ± 79.51
<i>Aspersentis megarhynchus</i>		2.21 ± 2.1	25.06
<i>Notothenia coriiceps</i>	87.00	0.31 ± 0.04	2.03

En consecuencia, todos estos estudios apuntan a una preocupante evidencia de concentración de metales pesados en los organismos, la cual ha sido solo parcialmente estudiada debido a la dificultad de mantener monitoreos a largo plazo (de Voogt 2017). En este contexto, las especies centinela adquieren relevancia ya que son organismos que reaccionan o acumulan contaminantes en sus tejidos lo que permite evaluar e identificar sus efectos (Glickman et al. 1991). Esto proporciona información de la integración de contaminantes en diferentes escalas

espaciales y temporales, según sus posiciones tróficas, edad, tamaño corporal y distribución (Tao et al. 2012; Cipro et al. 2017).

Los peces bentónicos *Notothenia coriiceps*, *N. rossii* y *Harpagifer antarcticus* son considerados importantes especies centinela debido a su abundancia y amplia distribución en las zonas costeras antárticas (DeWitt et al. 1990; Eastman et al. 2011). *N. coriiceps* es un pez demersal que se encuentra hasta los 550 m de profundidad, se distribuye en la Antártica oriental y occidental (46°S - 78°S, 180°W - 180°E) y se alimenta principalmente de algas, anfípodos, gastrópodos, salpas e isópodos (Casaux et al. 1990; Casaux & Barrera-Oro 2013, Barrera-Oro et al. 2019). *N. rossii* es demersal en su estado juvenil, mientras que los adultos son bentopelágicos y se distribuyen en Antártica oriental y occidental (45°S - 67°S, 75°W - 165°E), y se encuentra hasta los 350 m de profundidad, alimentándose principalmente de eufáusidos, salpas y algas (Raga et al. 2015; Calì et al. 2017, Barrera-Oro et al. 2019). Esta especie disminuyó considerablemente su tamaño poblacional en la Antártica como resultado de su sobreexplotación pesquera durante 1970 y 1980 (Barrera-Oro et al. 2017). Por otra parte, *H. antarcticus* es un pez bentónico, que se puede encontrar entre los 5 y 100 m de profundidad y es considerado un consumidor especialista porque se alimenta principalmente del anfípodo *Gondogeneia antarctica* (Casaux 1998; Eastman et al. 2011).

La importancia ecológica de *N. coriiceps* y *N. rossii* se atribuye a que, como depredadores, son nexos importantes en la trama trófica de las comunidades bentónicas costeras (Casaux et al. 1990, 2003; Casaux 1998; Casaux & Barrera-Oro 2013). Esto ha convertido a estas especies en objetos de estudio para determinar la bioacumulación de contaminantes y así se ha registrado en ellas bioacumulación de metales pesados (Cu, Zn, Pb, Cd y Hg, Tabla 2). En el caso de *H. antarcticus*, también se han evidenciado concentraciones de algunos metales pesados (Zn, Hg, Cu y Se).

TABLA 2. Datos bibliográficos de las concentraciones de metales pesados ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en *N. coriiceps*, *N. rossii* y *H. antarcticus*.

Especies	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Se	Referencias
<i>N. coriiceps</i>	87.0 ± 16.9	1.4 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.1 ± 0.03	0.7 ± 0.4		Beltcheva et al. 2011, de Moreno et al. 1997
<i>N. rossii</i>	99.0 ± 18.9	2.8 ± 1.6		0.5 ± 0.2	4.8 ± 1.6		Bustamante et al. 2003
<i>H. antarcticus</i>	27.4 ± 3.5			0.2 ± 0.14	1.6 ± 1.3	0.2 ± 0.4	Espejo et al. 2019, 2020

Otras especies centinela relevantes en los ecosistemas antárticos son los parásitos, ya que pueden bioacumular contaminantes en niveles significativamente mayores que el ambiente y que sus huéspedes (Sures & Reimann 2003; Nachev & Sures 2016). Por ejemplo, los parásitos del Phylum Acanthocephala (p. ej. *Pomphorhynchus laevis*) pueden acumular hasta 2700 veces más Pb y 400 veces más Cd que sus hospedadores (*Leuciscus cephalus*) (Sures 2003). Esta particular característica se debe a que los acantocéfalos asimilan los contaminantes a través del tegumento que es un grueso epitelio sincitial, constituido por una capa externa rodeada de microvellosidades y una interna con diferentes orgánulos que le permiten hacer los procesos de absorción y excreción (Klimpel et al. 2017). Esta característica en los acantocéfalos de bioacumular metales pesados podría ayudar a disminuir los efectos de contaminantes en los hospedadores. Por ejemplo, Sures & Siddall (2003) y Azmat et al. (2008) observaron que los acantocéfalos adultos alojados en el intestino de los peces presentaron mayores concentraciones de metales pesados en comparación con otras especies de parásitos y tejidos de sus hospedadores (*Leuciscus cephalus*).

La presencia de parásitos, de metales pesados, alteraciones en las variables ambientales, actividades humanas, contaminación y cualquier fuente de estrés podrían afectar el estado de condición corporal de los peces, alterando su fisiología, salud, peso o su morfología (Timi & Poulin 2020). Al respecto, el estado de salud de los peces se puede estimar a través del factor de condición de Fulton que es un índice que relaciona el peso corporal y la longitud de los peces (Cifuentes et al. 2012). En este estudio se comparan las concentraciones de los metales pesados Fe, Zn, Cu, Cd y Pb entre *N. coriiceps*, *N. rossii*, *H. antarcticus* y en sus parásitos acantocéfalos, entre dos bahías con distinta presión humana, y su potencial efecto sobre el factor de condición de los peces.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis General**

La mayor actividad humana en Bahía Fildes, y por ende la mayor contaminación, se reflejará en mayores concentraciones de metales pesados en los peces (*Notothenia coriiceps*, *N. rossii* y *Harpagifer antarcticus*) y en los acantocéfalos que los parasitan, lo que redundará en un menor factor de condición de los peces en comparación con los de Bahía Sur.

### **Hipótesis Específicas**

1. En Bahía Fildes las concentraciones de metales pesados en los peces y parásitos serán mayores que en los ejemplares recolectados en Bahía Sur.
2. En ambos sitios de estudio, los peces con mayor abundancia de acantocéfalos revelarán una menor concentración de metales pesados en hígado y músculo de sus hospedadores.
3. El factor de condición de los peces estará relacionado con la abundancia de acantocéfalos y/o con las concentraciones de metales pesados.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Comparar las concentraciones de metales pesados entre las especies de peces objetos de este estudio y en los acantocéfalos, entre dos sitios con distinta intensidad de impacto humano y su posible efecto en el factor de condición de los peces.

### **Objetivos Específicos**

- O1: Contrastar registros bibliográficos de concentraciones de metales pesados de las especies objetivo en ambos sitios de estudio.
- O2: Determinar diferencias de concentraciones de metales pesados entre sitios de estudio y entre especies objetivo.
- O3: Contrastar entre especies y sitios de muestreo la concentración de metales pesados en hígado, músculo y acantocéfalos.
- O4: Evaluar el efecto de la presencia de metales pesados y de la abundancia de acantocéfalos en el factor de condición de las especies en ambas bahías.

## MÉTODOS

### Sitios de muestreo

Los muestreos se realizaron entre enero y febrero del 2020 en Bahía Sur en Isla Doumer en el archipiélago Palmer ( $64^{\circ}52'S$ ,  $63^{\circ}35'O$ ), y entre febrero y marzo del mismo año en Bahía Fildes en Isla Rey Jorge en Shetlands del Sur ( $62^{\circ}12'S$ ,  $58^{\circ}57'O$ ) (Figura 1).

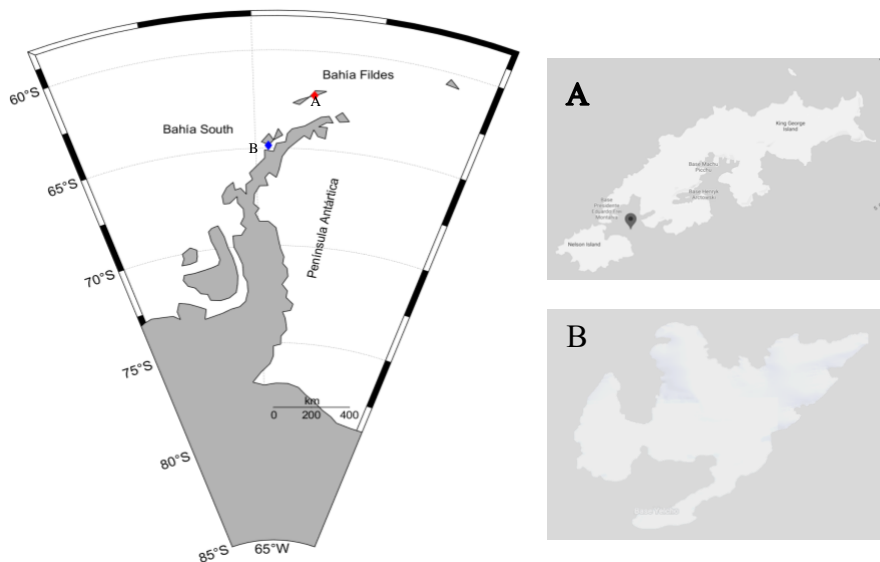


FIGURA 1. Mapa de la Península Antártica, sitios de muestreo son (A) Bahía Fildes en Isla Rey Jorge, indicado con un rombo rojo y, (B) Bahía Sur en la Isla Doumer, indicada con un rombo azul.

### Obtención de muestras

Se recolectaron entre 9 y 13 ejemplares de cada especie de pez por sitio de muestreo. Para la captura de *N. coriiceps* y *N. rossii* se utilizaron líneas de pesca entre los 6 y 35 m de profundidad. Las capturas de *H. antarcticus* se realizaron durante la marea baja en el intermareal usando red de mano y por medio de un buzo autónomo a 5 y 10 m de profundidad.

Los peces fueron sacrificados con 3 mL de benzocaína 20%. Para cada uno se registró peso (g) y longitud total (cm). Posteriormente, se hizo un corte longitudinal desde la cloaca hasta

la cámara branquial para extraer el hígado (en *N. coriiceps* y *N. rossii*), muestras de músculo (en *H. antarcticus*) y los acantocéfalos del hígado e intestino de *Notothenia* spp., los que se almacenaron en tubos Ependorff. Los parásitos se detectaron bajo lupa estereoscópica y se identificaron al menor nivel taxonómico posible con la ayuda de la guía de identificación de Klimpel et al. (2017). Todas las muestras fueron congeladas a -20°C.

## **Análisis de metales pesados**

### *Digestión de las muestras*

En el laboratorio las muestras de hígado, músculo y parásitos fueron lavadas con agua miliQ y luego secadas en un horno a 60°C por 24 h. Para eliminar la materia orgánica en las muestras e incrementar la pureza de los metales se realizó un proceso de digestión (Güven & Akinci 2011). Las muestras se trituraron utilizando un mortero de ágata, luego se pesó 0.1 g de muestra en una balanza analítica y se depositó en un tubo de teflón. Posteriormente, se añadió ácido nítrico (65% Suprapur) y ácido clorhídrico (30% Suprapur) en una proporción 3:1 a cada muestra, para luego ser llevadas al digestor por 3 h a 130°C.

En *N. coriiceps* y *N. rossii* se determinaron las concentraciones de metales pesados en el hígado y en *H. antarcticus* se determinaron en el músculo. Para el análisis de metales pesados en los parásitos, todos los ejemplares encontrados en el hígado o intestino de un mismo individuo hospedador se contabilizaron, fueron agrupados, y tratados como una sola muestra para alcanzar los 0,1g (Sures & Reimann 2003). Además, para alcanzar este peso fue necesario agrupar parásitos del intestino de varios individuos de una misma especie para una sola muestra. Este procedimiento condujo a una disminución del número de datos disponible para los análisis estadísticos.

### *Lectura de metales pesados*

Las muestras fueron aforadas a 25 mL con agua regia y se traspararon a tubos Falcon de 50 mL. Para evitar su contaminación todo el material utilizado fue previamente lavado con ácido nítrico.

La lectura de las concentraciones de metales pesados (Zn y Fe) se realizó en un espectrómetro de absorción atómica de llama de la marca Agilent (Modelo 240AA), y para la lectura de Cd, Pb y Cu se utilizó un espectrómetro de absorción atómica con un accesorio de

horno de grafito (Modelo GTA120). Ambos análisis se hicieron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

Dichos procedimientos también se aplicaron en muestras en blanco y en material estándar de hígado de pez (DOLT-5: material de referencia certificado para hígado de pez (*Squalus acanthias*) para metales traza y otros componentes) (Yang et al. 2014). Esto fue necesario para comprobar la eficiencia y precisión de la metodología realizada en el análisis de metales pesados.

### **Análisis estadísticos**

A partir de los datos obtenidos de las concentraciones de metales pesados en el hígado de *N. coriiceps*, *N. rossii* y en el músculo de *H. antarcticus*, provenientes de Bahías Fildes o Sur, se utilizaron tres estrategias para los análisis estadísticos. Primero, y debido al pequeño tamaño de las muestras, se utilizaron métodos no paramétricos, como la prueba U de Mann-Whitney o la prueba de Kruskal-Wallis, para comparar las concentraciones de los metales pesados (en tejidos y parásitos), entre los sitios de muestreo, o entre las especies de peces. Estos análisis se realizaron con el paquete estadístico Past y el nivel de significancia se estableció en  $\alpha = 0.05$ . Una segunda estrategia para el análisis estadístico consistió en modelos lineales aplicados a los datos de las variables continuas transformados a su secuencia ordinal (ranking), donde el factor de condición fue considerada como variable dependiente. En estos análisis las variables independientes fueron la concentración de los metales pesados, la longitud total de los peces, los sitios de muestreo y la identidad específica de los peces. En esta aproximación se utilizaron los peces de las tres especies. Una tercera estrategia, similar a la anterior, consideró la abundancia de acantocéfalos como un predictor de las variaciones del factor de condición. Sin embargo, al carecer de registros de la abundancia de acantocéfalos para *H. antarcticus*, se consideró solamente los datos para las especies del género *Notothenia*.

No fue posible analizar estadísticamente las variaciones de las concentraciones de metales pesados entre los hospedadores y los parásitos de Bahía Sur, dado el bajo número de muestras de parásitos registradas ( $n = 3$ ).

Se utilizó el factor de condición de Fulton ( $K$ ) para evaluar si la presencia de parásitos o la concentración de metales pesados afectaban su valor. En este índice,  $W$  es el peso corporal en g y  $L$  la longitud estándar en cm.

Además, se calculó el porcentaje de prevalencia ( $p$ ) de los parásitos en los peces, donde  $n_{pp}$  es el número de peces parasitados y  $n$  es el número total de peces examinados.

$$p(\%) = \left(\frac{n_{pp}}{n}\right) \times 100$$

## RESULTADOS

### Caracterización de las muestras

La longitud estándar y peso corporal de los peces se muestran en la Tabla 3 y Figura 2. Se observan diferencias significativas en *N. coriiceps* y *N. rossii*, ya que son de mayor tamaño en Bahía Fildes que en Bahía Sur. Entre las especies ya que los ejemplares de *N. coriiceps* y *N. rossii* son de mayor tamaño que *H. antarcticus* ( $F_{(2, 53)} = 216,05$ ,  $P < 0.0001$ ). No hay diferencias en la longitud total entre los ejemplares de las especies congénéricas. El peso de *N. coriiceps* y *H. antarcticus* fue significativamente mayor en Bahía Sur que en Bahía Fildes. En cambio, en *N. rossii* se registraron individuos de mayor peso en Bahía Fildes que en Bahía Sur.

TABLA 3 Longitud estándar y peso corporal (promedio  $\pm$  1 desviación estándar) según las especies de peces muestreadas en Bahía Fildes y Bahía Sur. n = tamaño de la muestra.

Bahía	n	Especies	Longitud total (cm)	Peso (g)
Fildes	9	<i>N. coriiceps</i>	37.1 $\pm$ 1.7	568.0 $\pm$ 184.8
	13	<i>N. rossii</i>	31.1 $\pm$ 1.7	390.5 $\pm$ 216.3
	10	<i>H. antarcticus</i>	8.0 $\pm$ 0.2	6.1 $\pm$ 1.5
Sur	10	<i>N. coriiceps</i>	33.4 $\pm$ 1.2	590.2 $\pm$ 141.64
	10	<i>N. rossii</i>	27.6 $\pm$ 1.2	297.6 $\pm$ 142.81
	10	<i>H. antarcticus</i>	10.6 $\pm$ 0.1	16.0 $\pm$ 6.8

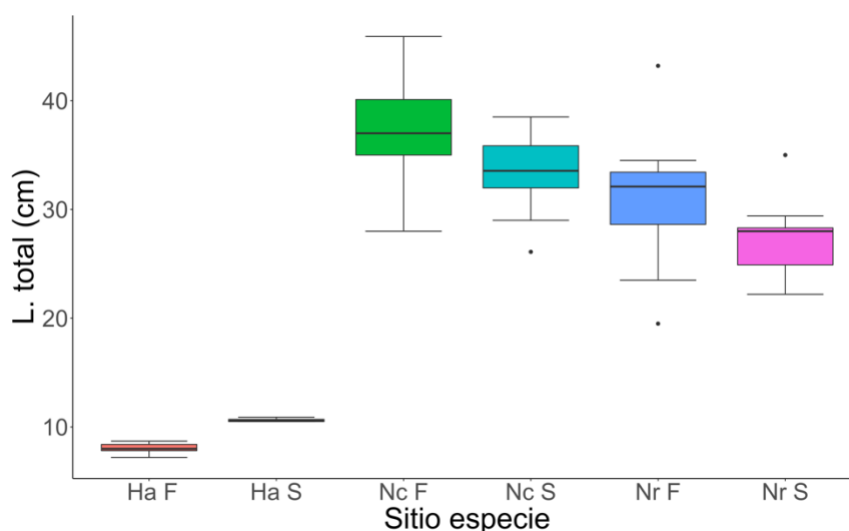


FIGURA 2. Diagramas de caja (box plot) de la longitud total (cm) de los peces de cada especie en ambos sitios de muestreo. Ha = *Harpagifer anctarticus*, Nc = *Notothenia coriiceps*, Nr = *N. rossii*, F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur.

### Análisis de metales pesados de peces antárticos

Las concentraciones de metales pesados en las tres especies de peces obtenidas en cada sitio de muestreo se detallan en la Tabla 4 y en la Figura 3a, b, c, d, e. El orden de los valores de las concentraciones de los metales pesados en los peces fue Fe > Zn > Cu > Cd > Pb.

TABLA 4. Concentraciones promedio  $\pm$  1 desviación estándar de metales pesados, en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , según especie de pez y de sus acantocéfalos, en Bahía Fildes y Bahía Sur. n = tamaño de la muestra.

Especies	Bahías	Tejidos	n	Fe	Zn	Cu	Pb	Cd
<i>N. coriiceps</i>	Fildes	Hígado	9	246.41 $\pm$ 88.72	94.43 $\pm$ 5.98	12.86 $\pm$ 1.81	0.38 $\pm$ 0.13	2.13 $\pm$ 1.07
		Parásitos	5	118.82 $\pm$ 37.78	145.99 $\pm$ 15.33	43.8 $\pm$ 12.24	0.62 $\pm$ 0.27	18.4 $\pm$ 5.28
	Sur	Hígado	10	261.24 $\pm$ 87.76	98.84 $\pm$ 12.771	11.64 $\pm$ 3.42	0.58 $\pm$ 0.59	5.02 $\pm$ 1.99
<i>N. rossii</i>	Fildes	Hígado	13	385.95 $\pm$ 199.57	108.83 $\pm$ 20.97	18.56 $\pm$ 9.03	0.70 $\pm$ 0.57	2.6 $\pm$ 1.4
		Parásitos	3	205.47 $\pm$ 149.13	172.62 $\pm$ 70.52	34.16 $\pm$ 8.75	0.54 $\pm$ 0.04	15.06 $\pm$ 2.97
	Sur	Hígado	10	186.95 $\pm$ 89.01	110.64 $\pm$ 17.26	21.48 $\pm$ 6.02	0.78 $\pm$ 0.47	2.5 $\pm$ 1.84
<i>H. antarcticus</i>	Fildes	Músculo	10	24.90 $\pm$ 23.14	43.95 $\pm$ 12.74	24.45 $\pm$ 5.51	0.74 $\pm$ 0.24	0.39 $\pm$ 0.18
	Sur	Músculo	10	14.47 $\pm$ 12.68	59.42 $\pm$ 12.38	23.47 $\pm$ 3.60	0.59 $\pm$ 0.21	0.4 $\pm$ 0.11

Al comparar las concentraciones de metales pesados para cada especie de pez entre sitios de muestreo, se observó que en *N. coriiceps* sólo las concentraciones de Cd fueron mayores en Bahía Sur que en Bahía Fildes (Tabla 4 y 5). Las concentraciones de Fe, Zn, Cu y Pb fueron similares entre ambas bahías. La concentración de Fe en *N. rossii* fue mayor en Bahía Fildes que en Bahía Sur (Tabla 4 y 5). Sin embargo, las concentraciones de Zn, Cu, Cd y Pb fueron similares entre ambas bahías para esta especie. Para *H. antarcticus*, las concentraciones de Fe y Pb fueron mayores en Bahía Fildes (Tabla 4 y 5). En cambio, las concentraciones de Zn fueron mayores en Bahía Sur. Por otro lado, las concentraciones registradas para esta especie de Cu y Cd fueron similares entre los sitios de muestreo.

TABLA 5. Resumen de resultados de la comparación de las concentraciones de metales pesados, para cada especie de pez, según sitios de muestreo. Se indica el valor de “U” de la prueba de Mann-Whitney, y el valor de probabilidad (P), n = tamaño de la muestras, Bahía Fildes (F), Bahía Sur (S).

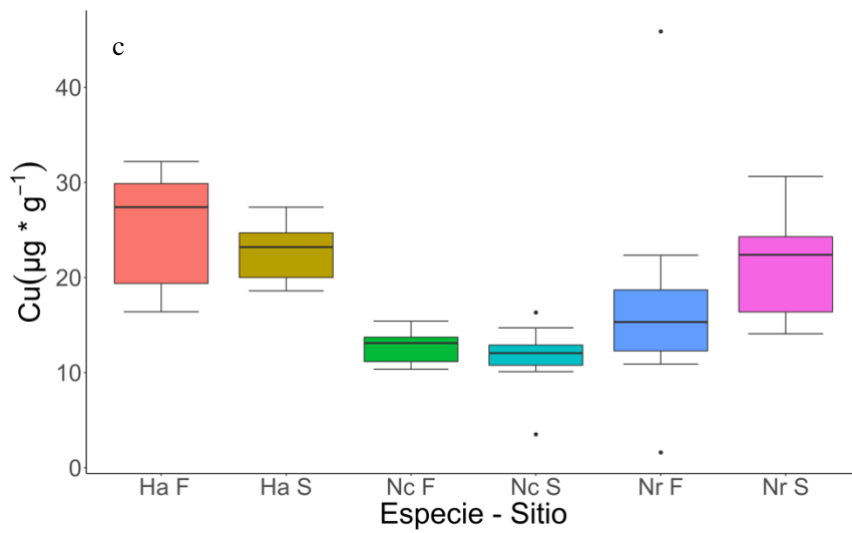
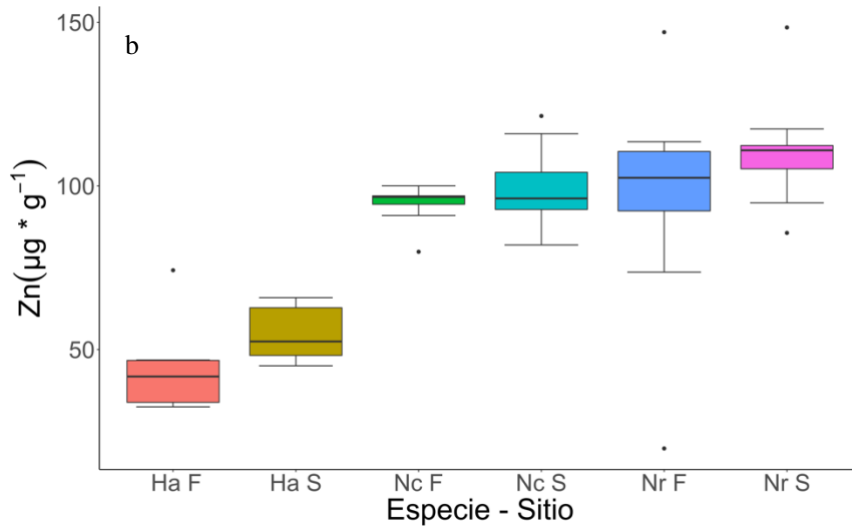
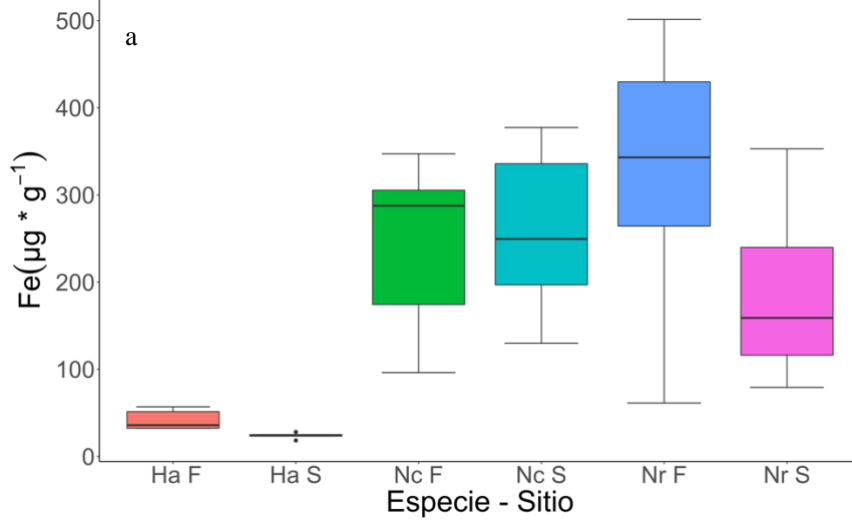
<i>N. coriiceps</i>				
	U	P	n	Resultados
Fe	85	0.3567	9, 10	F = S
Zn	82	0.2701	9, 10	F = S
Cu	103	0.1536	9, 10	F = S
Cd	48.5	0.0004	9, 10	F < S
Pb	84	0.3267	9, 10	F = S
<i>N. rossii</i>				
	U	P	n	Resultados
Fe	81	0.0085	13, 10	F > S
Zn	141	0.1018	13, 10	F = S
Cu	144	0.0725	13, 10	F = S
Cd	113	0.3433	13, 10	F = S
Pb	129	0.5271	13, 10	F = S
<i>H. antarcticus</i>				
	U	P	n	Resultados
Fe	57	0.0025	6, 6	F > S
Zn	69	0.0036	10, 10	F < S
Cu	113.5	0.2726	10, 10	F = S
Cd	109.5	0.3777	10, 10	F = S
Pb	128.5	0.0409	10, 10	F > S

Al comparar las concentraciones de metales pesados entre las especies de peces de cada sitio de muestreo se observó que en Bahía Fildes, las concentraciones Zn y Cd fueron significativamente mayores en el hígado de *N. coriiceps* y *N. rossii* que en el músculo de *H. antarcticus* (Tabla 4 y 6). Sólo en el caso del Fe se registraron diferencias significativas entre las tres especies de peces, encontrándose las concentraciones más elevadas en *N. rossii*, seguida por *N. coriiceps* y por último, los valores más bajos fueron registrados en *H. antarcticus*. El Cu y el Pb fueron significativamente mayores en *H. antarcticus* que en *N. coriiceps*. En Bahía Sur, las concentraciones de Cd en *N. coriiceps* y *N. rossii* fueron significativamente mayores que en *H. antarcticus* (Tabla 4 y 6). Las concentraciones de Fe fueron significativamente mayores en

*N. coriiceps* y *N. rossii* que en *H. antarcticus*. Las concentraciones de Cu fueron significativamente mayores en *H. antarcticus* que en *N. coriiceps*. Las concentraciones de Pb en el hígado de las tres especies fueron similares.

TABLA 6. Resumen de resultados de la comparación de las concentraciones de metales pesados entre especies de peces, para cada sitio de muestreo. Se indica el valor de  $\chi^2$ , con 2 grados de libertad, resultante de la prueba de Kruskal-Wallis, y el valor de probabilidad (P). n = tamaño de la muestras para *H. antarcticus* (Ha). *Notothenia coriiceps* (Nc) y *N. rossii* (Nr).

Bahía Fildes				
	$\chi^2$	P	n	Resultado
Fe	15.76	0.0004	6, 9, 13	Ha < Nc < Nr
Zn	16.68	0.0002	10, 9, 13	Ha < Nc = Nr
Cu	14.89	0.0006	10, 9, 13	Ha > Nc < Nr
Cd	17.76	0.0001	10, 9, 13	Ha < Nc = Nr
Pb	6.68	0.0354	10, 9, 13	Ha > Nc < Nr
Bahía Sur				
	$\chi^2$	P	n	Resultado
Fe	14.10	0.0009	6,10,10	Ha < Nc = Nr
Zn	20.02	0.0001	10,10,10	Ha < Nc < Nr
Cu	18.26	0.0001	10,10,10	Ha > Nc < Nr
Cd	19.47	0.0001	10,10,10	Ha < Nc = Nr
Pb	3.22	0.1995	10,10,10	Ha = Nc = Nr



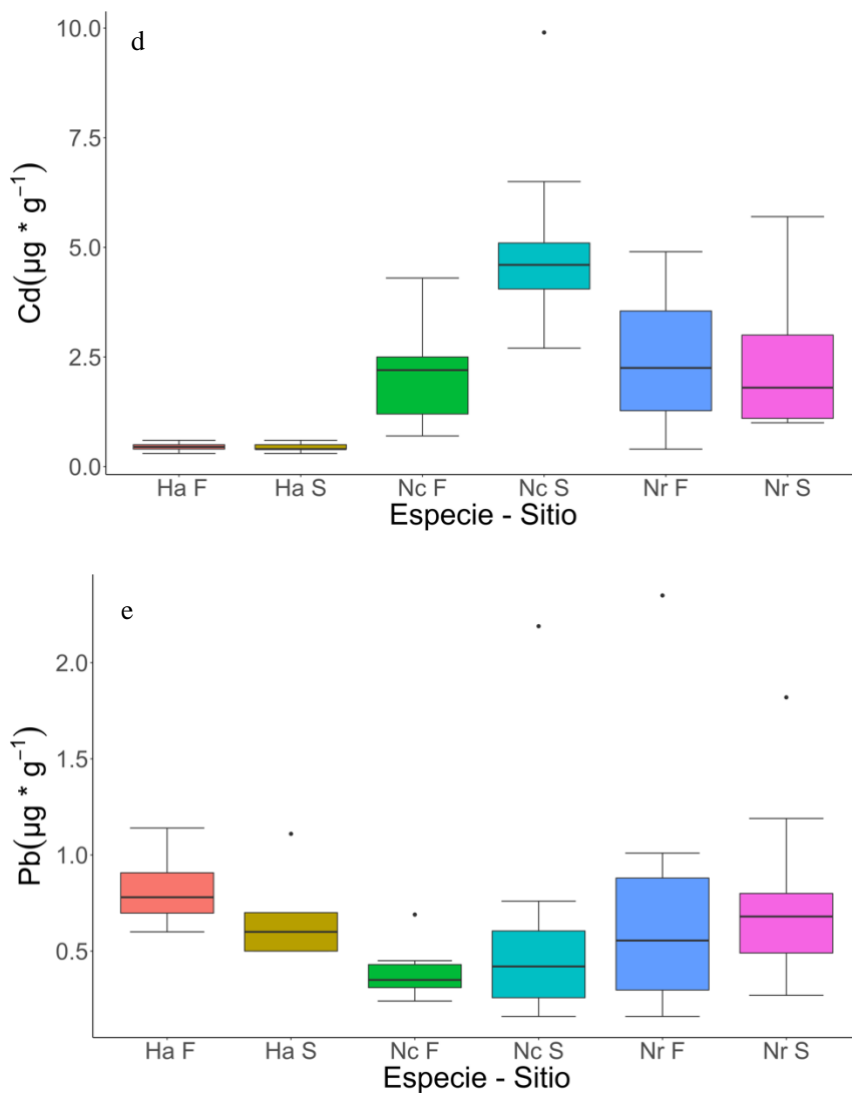


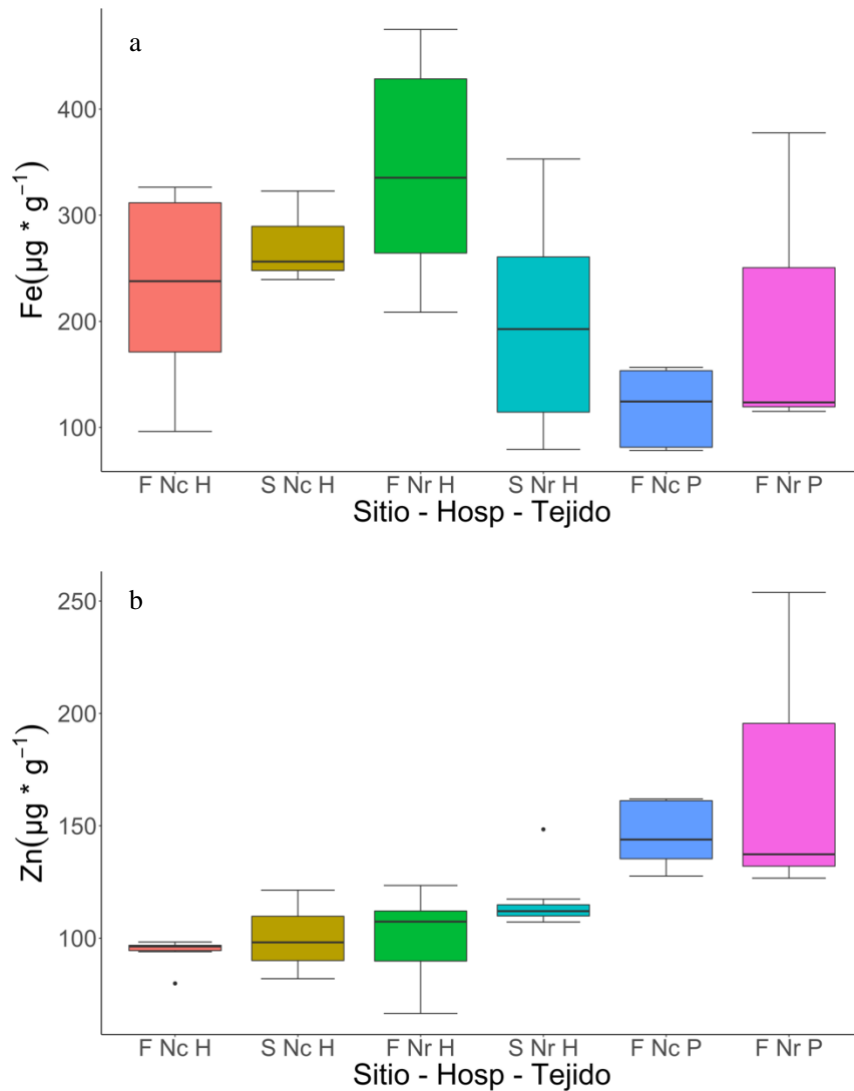
FIGURA 3. Diagramas de caja (box plot) de la concentración de metales pesados (en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en los peces de cada especie en ambos sitios de muestreo. Ha = *Harpagifer anctarticus*, Nc = *Notothenia coriiceps*, Nr = *N. rossii*, F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur.

### Comparación de metales pesados entre hospedadores y parásitos

La mayoría de los metales analizados en este estudio estaban presentes en mayores concentraciones en los parásitos que en sus hospedadores (Figura 4a, b, c, d, e). Los parásitos de *N. coriiceps*, presentaron concentraciones de Fe ( $U = 3$ ;  $z = 2.1$ ;  $p = 0.03$ ), Zn ( $U = 0$ ;  $z = 2.6$ ;  $p = 0.008$ ), Cu ( $U = 0$ ;  $z = 2.7$ ;  $p = 0.008$ ) y Cd ( $U = 0$ ;  $z = 2.6$ ;  $p = 0.008$ ) significativamente

mayores que sus hospedadores. Los parásitos de *N. rossii* presentaron mayores concentraciones de Zn ( $U = 0$ ;  $z = 2.3$ ;  $p = 0.02$ ), Cu ( $U = 1$ ;  $z = 2.1$ ;  $p = 0.03$ ) y Cd ( $U = 0$ ;  $z = 2.3$ ;  $p = 0.01$ ).

No fue posible hacer análisis estadísticos para comparar las concentraciones de metales pesados entre los peces y sus parásitos en Bahía Sur por el bajo número de muestras de parásitos ( $n = 2$ ).



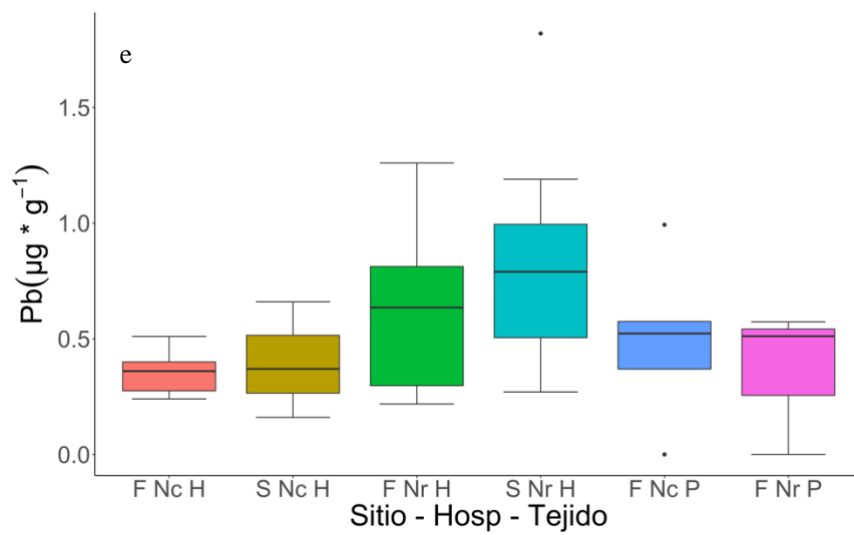
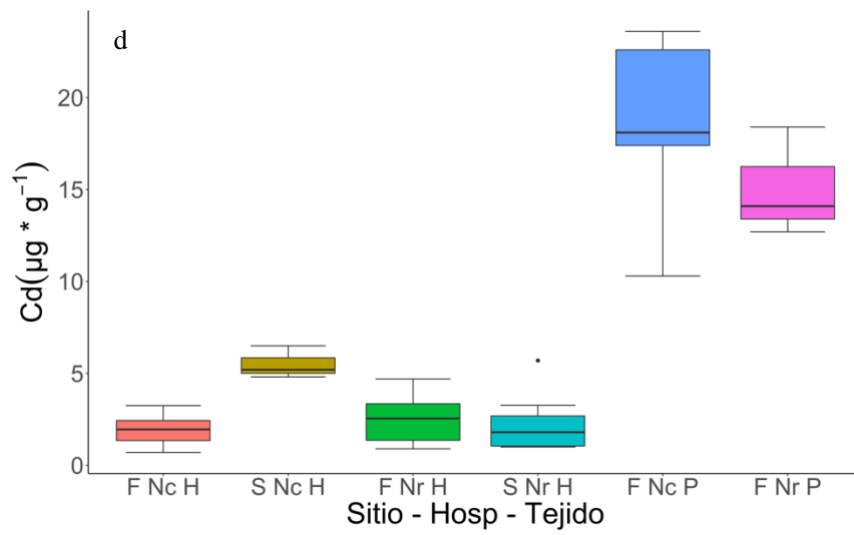
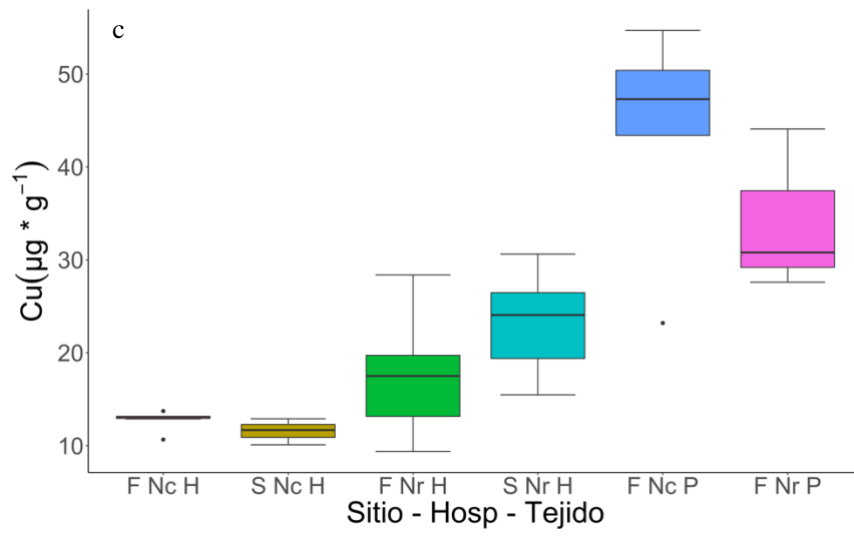


FIGURA 4. Diagramas de caja (box plot) de la concentración de metales pesados (en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en los peces de cada especie del género *Notothenia* y de los acantocéfalos en ambos sitios de muestreo. Nc = *Notothenia coriiceps*, Nr = *N. rossii*, F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur, H = hospedador, P = Parásitos.

### Presencia de parásitos

La prevalencia del parasitismo por acantocéfalos fue similar en ambas especies congénéricas y en ambos sitios de muestreo, aunque la abundancia fue mayor en los peces muestreados en Bahía Fildes (Tabla 7)

TABLA 7. Abundancia parasitaria (promedio  $\pm$  1 desviación estándar), prevalencia (P, en %) de acantocéfalos y factor de condición de Fulton (k, promedio  $\pm$  1 desviación estándar) según especie de pez y sitio de muestreo. n = tamaño de la muestra.

Bahías	Especies	n	Abundancia	Prevalencia (P%)	Factor condición (k)
Fildes	<i>N. coriiceps</i>	9	54,8 $\pm$ 35,8	88,8	1,5 $\pm$ 0,2
	<i>N. rossii</i>	10	51,9 $\pm$ 33,6	92,3	1,4 $\pm$ 0,3
	<i>H. antarcticus</i>	10			2,2 $\pm$ 0,4
Sur	<i>N. coriiceps</i>	10	30,2 $\pm$ 19,6	90,0	2,3 $\pm$ 0,4
	<i>N. rossii</i>	10	37,0 $\pm$ 20,9	90,0	1,9 $\pm$ 0,4
	<i>H. antarcticus</i>	10			2,7 $\pm$ 0,5

### Fuentes de variación del factor de condición

En los individuos de *N. coriiceps* y *N. rossii* de Bahía Sur, el factor de condición de Fulton (k) fue significativamente mayor (U = 0, z = 3.6, P = 0.0003; U = 19, z = 2.82, P = 0.005, respectivamente) que en los individuos capturados en Bahía Fildes (Tabla 7).

En *N. coriiceps* los individuos de mayor tamaño tienen menores valores de factor de condición y se encuentran en Bahía Fildes (Figura 5 y 6). En cambio, los individuos de menor tamaño tienen mayores valores de factor de condición y éstos se encuentran en Bahía Sur. En *N. rossii* los ejemplares con menor factor de condición se encuentran en Bahía Fildes y los de

mayores valores se encuentran en Bahía Sur. Finalmente, en *H. antarcticus*, los ejemplares de menor longitud total y menor factor de condición se encuentran en Bahía Fildes y los individuos de mayor tamaño y que poseen mayores valores del factor de condición se encuentran en Bahía Sur.

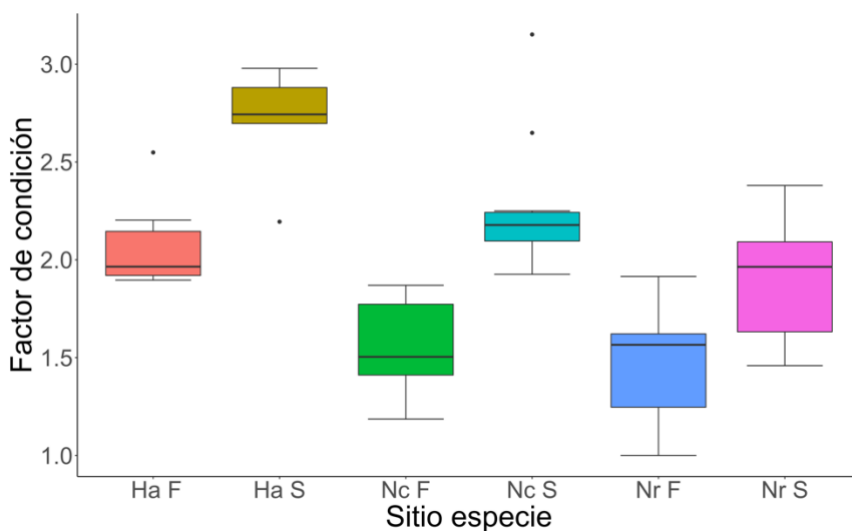


FIGURA 5. Diagramas de caja (box plot) del factor de condición en los peces de cada especie en ambos sitios de muestreo. Ha = *Harpagifer antarcticus*, Nc = *Notothenia coriiceps*, Nr = *N. rossii*, F = Bahía Fildes, S = Bahía Sur.

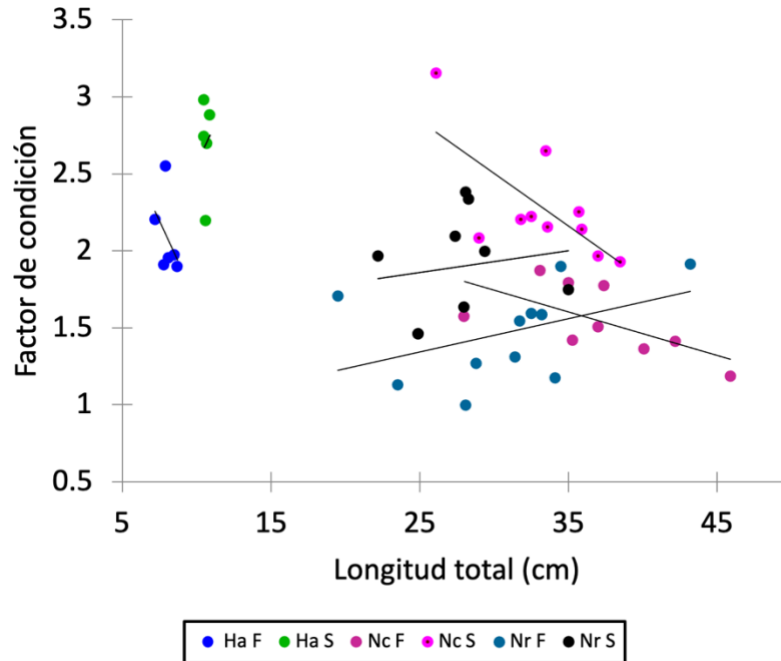


FIGURA 6. Diagrama de dispersión de la relación entre la longitud total (cm) y el factor de condición de cada especie de pez (*N. coriiceps*, *N. rossii* y *H. antarcticus*) según sitios de muestreo.

El análisis de las fuentes de variación del factor de condición que incluyó a las 3 especies de peces, pero que no consideró la abundancia de parásitos revela que la longitud de los peces y el sitio de muestreo son los predictores con mayor importancia (Tabla 8). Sin embargo, la interacción significativa entre ambas variables independientes afecta de distinta forma al factor de condición (Figura 6). En la Tabla 9 se detallan los valores del coeficiente de correlación de Spearman ( $r_s$ ) entre el factor de condición y la longitud total según especie de pez y sitio de muestreo.

TABLA 8. Resumen del análisis de las fuentes de variación (modelo GLM) del factor de condición según la longitud total, la concentración del analito, la identidad de las especies de peces, los sitios de muestreo e interacciones entre la especie de pez y el sitio de muestreo. Se indican los valores de F de Fisher, con 1, 45 grados de libertad, excepto las pruebas entre especies y la de Lt\*Sp con 2 y 45 grados de libertad, para 53 peces. R<sup>2</sup> es el coeficiente de determinación del modelo.

Fuente de variación	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb
Longitud total (Lt)	37.70***	38.91***	32.38***	31.88***	32.21***
Analito	15.83***	6.77*	5.65*	8.97**	2.39
Sitio de muestreo	48.40***	55.83***	31.61***	23.86***	32.83***
Especie de pez (Sp)	7.52***	1.76	5.23**	6.18**	5.75**
Lt*Sp	8.46***	6.28**	4.58*	5.02*	4.80*
R <sup>2</sup>	0.746	0.697	0.636	0.631	0.634

Diferencias significativas \* <0.05; \*\*<0.01; \*\*\*<0.001

La identidad de la especie de pez (excepto para el caso del Zn) y el analito considerado (excepto para el Pb) también son fuentes significativas de variación del factor de condición (Tabla 8). Todos los modelos tuvieron coeficientes de determinación superiores a 0.59. Un análisis similar que incluyó la abundancia de parásitos pero que excluyó a *H. antarcticus* reveló resultados similares (Tabla 10). No se observaron cambios en las predicciones al incluir la abundancia de parásitos en el análisis.

TABLA 9. Coeficiente de correlación de Spearman (rs) entre el factor de condición y la longitud total según especie de pez (*N. coriiceps*, *N. rossii* y *H. antarcticus*) y sitio de muestreo (Bahía Fildes y Sur)

Especie	Sitio de muestreo	r <sub>s</sub>	n	P
<i>N. rossii</i>	Bahía Sur	0.439	10	0.204
<i>N. coriiceps</i>	Bahía Sur	-0.600	10	0.060
<i>H. antarcticus</i>	Bahía Sur	0.469	7	0.289
<i>N. rossii</i>	Bahía Fildes	0.493	13	0.086
<i>N. coriiceps</i>	Bahía Fildes	-0.783	9	0.012
<i>H. antarcticus</i>	Bahía Fildes	-0.101	10	0.781

TABLA 10. Resumen del análisis de las fuentes de variación (modelo GLM) del factor de condición según la longitud total, las identidad de las especies de *Notothenia*, la abundancia de parásitos, la concentración del analito, los sitios de muestreo, la interacción entre la especie de pez y el sitio de muestreo, y la interacción entre la concentración del analito y el sitio de muestreo. Se indican los valores de F de Fisher, con 1, 34 grados de libertad para 42 peces del género *Notothenia*.  $R^2$  es el coeficiente de determinación del modelo.

Fuente de variación	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb
Longitud total (Lt)	6.31*	6.77*	6.44*	6.30*	6.41*
Especie de pez (Sp)	16.86***	18.08***	17.21***	16.84***	17.14***
Abundancia parásitos	3.13	3.36	3.20	3.13	3.19
Analito	0.19	0.00	0.45	6.67	0.00
Sitio de muestreo (M)	19.10***	24.54***	20.79***	13.03***	20.32***
Sp * M	2.85	1.70	1.76	1.77	2.54
Analito * M	0.03	0.00	0.32	0.62	0.22
$R^2$	0.588	0.616	0.596	0.587	0.594

Diferencias significativas \* <0.05; \*\*<0.01; \*\*\*<0.001

## DISCUSIÓN

### **Análisis de metales pesados de peces antárticos**

Hasta hace algunos años el continente antártico era considerado un lugar libre de contaminación, ya que cuenta con una protección natural debido al intercambio de aguas dada por la Corriente Circumpolar Antártica, la cual impide que ingresen aguas contaminadas provenientes de zonas oceánicas adyacentes (Bargagli 2008). Además, se estima una baja cantidad de actividades humanas en comparación con otros continentes (Tin et al. 2009, IAATO 2020). Sin embargo, actualmente existen registros de hidrocarburos y de metales pesados en sedimentos, glaciares, agua de mar y organismos marinos (Lu et al. 2012, Espejo et al. 2014, Padeiro et al. 2016). Por ello, en este estudio se analizaron las concentraciones de metales pesados (Fe, Zn, Cd, Cu y Pb) en el hígado de los peces *N. coriiceps*, *N. rossii*, en el músculo de *H. antarcticus* y en sus parásitos acantocéfalos, en dos sitios de la Península Antártica contrastantes en la magnitud de actividades humanas (Bahía Fildes y Bahía Sur). Se esperaba encontrar mayores concentraciones de metales pesados en Bahía Fildes que en Bahía Sur, debido a las diferencias en actividad humana entre ambos sitios de estudio. Sin embargo, sólo se observaron mayores concentraciones de Fe y Pb en Bahía Fildes respecto a Bahía Sur, tanto en *N. rossii* como en *H. antarcticus*. Además, se observaron mayores concentraciones de Zn en Bahía Sur que en Bahía Fildes. Esto podría relacionarse con la abundancia de pingüinos presentes en la Isla Doumer en Bahía Sur, ya que Sparaventi et al. (2021) sugieren que pueden liberar grandes cantidades de metales pesados, entre ellos Zn, a través de su defecación. Por otro lado, las elevadas concentraciones de Fe en los peces de Bahía Fildes son consistentes con los incrementos de Fe en icebergs de dicha bahía (Höfer et al. 2019). En el caso del Pb, es posible determinar que estas concentraciones tienen relación con la presencia de tanques de almacenamiento de combustible en desuso cerca de la base Bellingshausen, en Bahía Fildes (Padeiro et al. 2016).

Esta mayor homogeneidad en la concentración de metales pesados entre las bahías podría estar determinada por las fuentes humanas de contaminantes, tales como el transporte de embarcaciones, las actividades en las bases de investigación y el uso de combustibles fósiles que podrían aportar similares cantidades de metales pesados al ecosistema (Padeiro et al. 2016;

Khan et al. 2019; Sontag et al. 2019). O bien, por las fuentes naturales de los metales, entre ellas la presencia de rocas volcánicas que aumenta las concentraciones de Cu, la desglaciación que aumenta las concentraciones de Fe y las afloraciones que aumentan el Cd y el Zn (Boyd et al. 2012; Annett et al. 2015; Padeiro et al. 2016; Turner et al. 2017; Höfer et al. 2019).

En este estudio se registraron diferencias en las concentraciones de algunos metales pesados entre especies en Bahía Fildes, siendo mayores en *N. coriiceps* y *N. rossii* que en *H. antarcticus* (Tabla 4). Éstas podrían deberse a diferencias ecológicas, ya que *N. coriiceps* y *N. rossii* son especies congénéricas, que poseen características similares tales como, hábitat y hábitos alimentarios (Casaux et al. 1990; Casaux & Barrera-Oro 2013; Raga et al. 2015; Cali et al. 2017 y Barrera-Oro et al. 2019). En cambio, *H. antarcticus* es un pez bentónico que se alimenta de anfípodos, gastrópodos y algas (Eastman et al. 2011). A su vez estas características podrían aumentar o disminuir la exposición a las concentraciones de los metales pesados. En el caso de *N. coriiceps* y *N. rossii* sus hábitos alimentarios, tales como krill, anfípodos y algas, podrían beneficiar la bioacumulación en su trama trófica, dado que este es uno de los métodos de transferencia de metales pesados entre organismos. Así, dada la bioacumulación de Cd entre niveles tróficos (Goutte et al. 2015; Signa et al. 2019; Sontag et al. 2019), las altas concentraciones de Cd en el krill se verían reflejadas en los peces nototénidos, uno de sus principales depredadores (Bargagli et al. 1996; Beltcheva et al. 2011). Las elevadas concentraciones de Cu registradas en *H. antarcticus* podrían tener relación con que este metal se encuentran presentes en el sedimento, principalmente en rocas volcánicas (Santos et al. 2005; Padeiro et al. 2016). Al estar en el sedimento es posible que se presenten en mayores concentraciones en las pozas del intermareal donde habita y se alimenta *H. antarcticus* (Tabla 4).

En adición o alternativamente, las mayores concentraciones de algunos metales en *N. coriiceps* y *N. rossii* podría estar asociada al mayor tamaño corporal que estas especies presentan en comparación a *H. antarcticus*. Aunque no existen registros que confirmen una relación entre la longitud y la concentración de metales pesados en los organismos (Goutte et al. 2015), podría existir una relación positiva entre la concentración de metales y la edad de los organismos debido al mayor tiempo de exposición a estos metales. Al respecto, la literatura sostiene que *N. coriiceps* y *N. rossii* son más longevas que *H. antarcticus* (Daniels 1983; Cali et al. 2017). Sin

embargo, en este estudio no fue posible afirmar la relación, dado que no se analizó la edad de individuos estudiados.

Una explicación adicional a las diferencias en las concentraciones de metales pesados entre especies de peces podría estar asociada al tejido ocupado para el análisis, hígado en el caso de *N. corriceps* y *N. rossi*, y músculo en *H. antarcticus*. Al respecto, existen evidencias que la bioconcentración de metales pesados no tiene una distribución homogénea en los distintos tejidos, ya que la mayoría de los metales tienen mayor afinidad con el hígado (Sures & Reimann 2003; Beltcheva et al. 2011). El Cd, Cu y Pb están presentes en mayores concentraciones en el hígado y riñón que en otros tejidos (Langston et al. 2002; Authman 2015). En cambio, el Fe presenta mayores concentraciones en el hígado que en otros tejidos (Authman 2015). Esto es consistente con las concentraciones en los tejidos analizados en este estudio y con los resultados de Sures & Reimann (2003), donde se observan mayores concentraciones en la mayoría de sus metales pesados en el hígado que en el músculo.

Las concentraciones de Cu, Cd y Zn presentadas por *N. coriiceps* en este estudio, son bastante elevadas en comparación con las obtenidas por otros autores tales como, Sures & Reimann (2003) (Cu: 2.04  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; Cd: 0.32  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), Beltcheva et al. (2011) (Cu: 0.68  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; Cd: 1.36  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; Zn: 87.0  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), y Márquez et al. (1998) (Cu: 2.46  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). En cambio, las concentraciones registradas de Fe y Pb son similares a las obtenidas por Márquez et al. (1998) (Fe: 212.84  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) y por Beltcheva et al. (2011) (Pb: 0.54  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). En *N. rossii* las concentraciones de Cu son mayores que las registradas por Bustamante et al. (2003) (4.80  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Por otro lado, las concentraciones de Cd y Zn son similares a las obtenidas por Bustamante et al. (2003) (Cd: 2.82  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; Zn: 99.0  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). En *H. antarcticus* las concentraciones de Pb (0.74  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) son mayores que las concentraciones registradas por Espejo et al. (2019) (0.15  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). En este caso, solo es posible realizar esta comparación ya que hasta el momento no existen estudios que analicen otras concentraciones de metales pesados en esta especie (Tabla 4). Al comparar las concentraciones de metales pesados registradas en este estudio y los antecedentes de otros autores, es posible inferir que habido un aumento de estas concentraciones en los peces de Bahía Fildes.

El aumento durante los últimos años de las concentraciones de metales pesados en estas especies de peces en Bahía Fildes podría deberse al aumento de la velocidad de desglaciación.

Durante septiembre 2016 el derretimiento del hielo marino fue especialmente rápido en comparación con las tasas medias mensuales históricas en la Península Antártica Occidental (Turner et al. 2017). Esto tiene como consecuencia que la falta de hielo marino en las aguas superficiales promueva un calentamiento más rápido de estas aguas, lo que a su vez, aumenta la estratificación y la estabilidad de la columna de agua (Höfer et al. 2019). Esta estabilidad podría estar generando una mayor retención de los metales en las masas de agua, y como consecuencia una mayor bioacumulación de metales pesados en los peces costeros.

En Bahía Sur no es posible comparar los valores porque no existen registros de concentraciones de metales pesados en estas especies de peces. Sin embargo, Espejo et al. (2014) registraron concentraciones de Pb, Cd, A, Cu y Zn en pingüinos (*Pygoscelis papua*) de Isla Doumer y determinaron que si bien en esta isla las concentraciones de metales no son las más elevadas, es posible inferir que hay indicios de contaminación. Por otro lado, Annett et al. (2015) analizaron las fuentes de Fe en Bahía Ray, al sur de la península Antártica, donde determinaron que las fuentes naturales provienen principalmente de derretimiento de glaciares, entradas de aguas subterráneas, resuspensión de sedimentos, actividades hidrotermales y de aguas profundas (Boyd et al. 2012). Así, un aumento de la velocidad de desglaciación trae consigo un aumento en las concentraciones de Fe disponible en el ambiente. En el caso de Bahía Sur, este sitio recibe pequeños aportes subglaciales y aportes de hielo que se desprenden de los fiordos (Krause et al. 2021). En cambio, Bahía Fildes recibe un mayor aporte de descarga desde isla Nelson, glaciar Collins y domo Bellingshausen en la parte nororiental de la bahía y Marion Cove en la parte oriental (Krause et al. 2021).

Las concentraciones elevadas de Cd en los individuos de *N. coriiceps* de Bahía Sur podrían estar relacionados con fuentes humanas, tales como la presencia de dispositivos electrónicos, baterías, pinturas, combustión de carbón o petróleo (Celis et al. 2015). También podría tener relación con la biodisponibilidad de este metal en la bahía. Su biodisponibilidad está relacionada directamente con zonas de surgencia y con alta producción primaria (Bargagli et al. 1996). Se ha registrado que el Cd tiene una alta afinidad con los fosfatos, presentando correlaciones positivas con las concentraciones de fosfatos presentes en el agua de mar (Ahn et al. 1996). Ambas bahías poseen alta productividad y producción primaria lo cual, favorece las altas concentraciones de Cd (Höfer et al. 2019). Por otro lado, una de las características de Bahía Sur que se relaciona con las altas concentraciones de Cd es la menor estratificación de la

columna de agua (Höfer et al. 2019; Palmer et al. 2022). A diferencia de Bahía Fildes que tiene una mayor estratificación en su columna de agua (Höfer et al. 2019)

Las similitudes en las concentraciones de algunos metales en los individuos de las tres especies en ambas bahías podría estar relacionado con las fuentes naturales de estos metales en el ambiente. En el caso del Cu, es posible encontrarlo de forma natural en el sedimento, debido a la mineralización generalizada de calcopirita en las rocas volcánicas (Santos et al. 2005). Este metal, junto con el Fe son algunos de los elementos esenciales para el fitoplancton y tienen una relación directa con la producción primaria de los ecosistemas (Annett et al. 2017). Además, es posible que las fuentes de estos metales también sean humanas, como por ejemplo las concentraciones de Pb provenientes de actividades industriales, uso de gasolina y fertilizantes de fosfatos (Beltcheva et al. 2011; Padeiro et al. 2016). A su vez, las concentraciones de metales podrían tener fuentes humanas tales como, el Zn y el Cd que se relacionan con la presencia de baterías, pinturas, dispositivos electrónicos o industrias metalúrgicas (Tin et al. 2009). El Cu aumenta con los aportes de aguas residuales, derrames de petróleo, pesticidas y desechos sólidos (Tin et al. 2009)

### **Comparación de metales pesados entre hospedadores y sus parásitos**

Las elevadas concentraciones de metales pesados en parásitos registradas en este estudio son consistentes con la capacidad que tienen los parásitos de concentrar toxinas ambientales en sus tejidos. Durante las últimas décadas se ha estudiado la relación entre la contaminación y el parasitismo, esto principalmente porque son considerados indicadores extremadamente sensibles a la presencia y disponibilidad de metales pesados en el ambiente (Sures & Reimann 2003). Esta sensibilidad podría deberse al mecanismo de absorción y excreción de nutrientes del tejido en que habitan (Tabla 4).

Las concentraciones de Cu y Cd en los parásitos acantocéfalos de este estudio son mayores que las registradas por Sures & Reimann (2003) en los parásitos acantocéfalos de *N. coriiceps* en Bahía Fildes. Al igual que con sus peces hospedadores, el aumento de estas concentraciones podría estar relacionada con el incremento en el ambiente. Por otro lado, el Fe fue el único metal que presentó concentraciones más elevadas en los peces que en sus parásitos, consistente con lo descrito por Sures & Reimann (2003) (Fe hospedador:  $146.69 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ; Fe acantocéfalo:  $43.28 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Esto podría estar relacionado a que el Fe tiene un mayor porcentaje de bioacumulación

en el hígado, dado que ahí se encuentran las proteínas ferritinas que son compatibles con este elemento (Sures & Reimann 2003; Authman 2015). En adición, las concentraciones de Fe registradas en el hígado han sido superiores a las concentraciones en el intestino de los peces donde se alojan dichos parásitos (Sures & Reimann 2003).

### **Presencia de parásitos**

La abundancia de parásitos fue mayor en los peces de Bahía Fildes que en los de Bahía Sur. Si bien esto podría interpretarse como un indicador de mayores factores o impactos humanos, no es consistente con nuestros valores de metales pesados, ya que solo en algunos casos se presentaron mayores concentraciones de metales en Bahía Fildes que en Bahía Sur. Además, hasta el momento no se ha demostrado que la abundancia de los parásitos sea un indicador de impactos ambientales, ya que esto podría depender de la especie y de los impactos ambientales (Sures 2003, 2008; Timi & Poulin 2020) (Tabla 7). Sin embargo, es posible inferir que las abundancias de los parásitos podrían estar relacionadas con las similitudes de las concentraciones de metales pesados, dado que a mayor abundancia habría un mayor efecto amortiguador de las concentraciones de metales pesados.

### **Fuentes de variación del factor de condición**

En este estudio, el factor de condición de los individuos analizados indica que el crecimiento de los peces es alométrico. Cabe destacar que se encontraron diferencias en estos valores entre bahías y que las fuentes de variación del factor de condición son la longitud de los peces y la bahía. Esto podría deberse a que la longitud de los peces es una de las variables para determinar el factor de condición (Froese 2006). Así mismo, en Bahía Sur se registraron los mayores valores de factor de condición y las menores longitudes de los peces.

Generalmente, se utilizan peces como indicadores del estado de los ecosistemas, en los cuales se analiza el efecto que pueden tener las perturbaciones o los contaminantes (Sures 2008). Sin embargo, se desestima la presencia de parásitos en estos peces, lo cual es un error ya que, sólo la presencia de estos parásitos puede traer consecuencias positivas o negativas en el bienestar de los peces (Timi & Poulin 2020). Este es el caso del factor de condición que se ve afectado tanto por la presencia de los parásitos y por la presencia de metales pesados. Sin embargo, en estos resultados no se observa que la abundancia de los parásitos tenga relevancia

en la predicción del factor de condición. Así mismo, esta abundancia podría tener un efecto positivo en el bienestar de los peces, dada la capacidad de los parásitos de amortiguar las concentraciones de los metales pesados (Sures 2004, 2008).

El efecto de los metales pesados en el factor de condición podría estar relacionado con los impactos biológicos negativos que producen en los peces, como es el caso del Fe y del Zn que afecta el crecimiento de los peces, lo cual está directamente relacionado con el factor de condición. También, el Cd podría afectar en el aumento de peso de los peces, esto podría tener relación con el factor de condición, dado que el peso es una de las variables que considera este factor (Authman 2015) (Tabla 9 y 10).

## CONCLUSIONES

- 1- Las concentraciones de los metales pesados fueron similares entre Bahía Fildes y Bahía Sur. Sólo se observaron mayores concentraciones de Fe y Pb en Bahía Fildes que en Bahía Sur
- 2- En Bahía Fildes la mayoría de las concentraciones de metales pesados fueron mayores en *N. rossii* y *N. coriiceps* que en *H. antarcticus*. Esto podría deberse a las diferencias en los hábitos alimentarios, hábitat o a la edad de los peces analizados.
- 3- En este estudio se registran por primera vez concentraciones de metales pesados en *N. coriiceps*, *N. rossii* y *H. antarcticus* en Bahía Sur.
- 4- Dados los resultados obtenidos en esta investigación es posible decir que han aumentado las concentraciones registradas de metales pesados en *N. coriiceps* y *N. rossii*.
- 5- La variación del factor de condición depende de la longitud total de los peces, el sitio de muestreo y la especie. Esto coincide con los mayores valores de longitud total de los peces y los elevados valores de factor de condición en Bahía Fildes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abakumov, E., Lupachev, A., Andreev, M. (2017). Trace element content in soils of the King George and Elephant islands, maritime Antarctica. *Chemistry and Ecology* 33(9): 856-868. DOI: [10/ggsw2f](https://doi.org/10/ggsw2f).
- Ahn, I.-Y., Lee, S.H., Kim, K.T., Shim, J.H., Kim, D.-Y. (1996). Baseline heavy metal concentrations in the Antarctic clam, *Laternula elliptica* in Maxwell Bay, King George Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin* 32(8-9): 592-598. DOI: [10/ck5chs](https://doi.org/10/ck5chs).
- Amaro, E., Padeiro, A., Mão de Ferro, A., Mota, A.M., Leppe, M., Verkulich, S., Hughes, K.A., Peter, H.-U., Canário, J. (2015). Assessing trace element contamination in Fildes Peninsula (King George Island) and Ardley Island, Antarctic. *Marine Pollution Bulletin* 97(1-2): 523-527. DOI: [10/f7qjkk](https://doi.org/10/f7qjkk).
- Annett, A.L., Skiba, M., Henley, S.F., Venables, H.J., Meredith, M.P., Statham, P.J., Ganeshram, R.S. (2015). Comparative roles of upwelling and glacial iron sources in Ryder Bay, coastal western Antarctic Peninsula. *Marine Chemistry* 176: 21-33. DOI: [10.1016/j.marchem.2015.06.017](https://doi.org/10.1016/j.marchem.2015.06.017).
- Annett, A.L., Fitzsimmons, J.N., Séguret, M.J.M., Lagerström, M., Meredith, M.P., Schofield, O., Sherrell, R.M. (2017). Controls on dissolved and particulate iron distributions in surface waters of the Western Antarctic Peninsula shelf. *Marine Chemistry* 196: 81-97. DOI: [10/gcmwwz](https://doi.org/10/gcmwwz).
- Aronson, R.B., Thatje, S., McClintock, J.B., Hughes, K.A. (2011). Anthropogenic impacts on marine ecosystems in Antarctica: Impacts on Antarctic marine ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223(1): 82-107. DOI: [10/cp3hmf](https://doi.org/10/cp3hmf).
- Authman, M.M. (2015). Use of fish as bio-indicator of the effects of heavy metals pollution. *Journal of Aquaculture Research & Development* 06(04): 1-13. DOI: [10/ggm3sn](https://doi.org/10/ggm3sn).
- Azmat, R., Fayyaz, S., Kazi, N., Mahmood, S.J., Uddin, F. (2008). Natural bioremediation of heavy metals through nematode parasite of fish. *Biotechnology* 7(1): 139-143. DOI: [10.3923/biotech.2008.139.143](https://doi.org/10.3923/biotech.2008.139.143).

- Bargagli, R. (2008). Environmental contamination in Antarctic ecosystems. *Science of The Total Environment* 400(1-3): 212-226. DOI: [10/cvtprd](https://doi.org/10/cvtprd).
- Bargagli, R., Nelli, L., Ancora, S., Focardi, S. (1996). Elevated cadmium accumulation in marine organisms from Terra Nova Bay (Antarctica). *Polar Biology* 16(7): 513-520. DOI: [10/czpf8s](https://doi.org/10/czpf8s).
- Barrera-Oro, E., Marschoff, E., Ainley, D. (2017). Changing status of three notothenioid fish at the South Shetland Islands (1983–2016) after impacts of the 1970–80s commercial fishery. *Polar Biology* 40(10): 2047-2054. DOI: [10/gb2jtx](https://doi.org/10/gb2jtx).
- Barrera-Oro, E., Moreira, E., Seefeldt, M.A., Francione, M.V., Quartino, M.L. (2019). The importance of macroalgae and associated amphipods in the selective benthic feeding of sister rockcod species *Notothenia rossii* and *N. coriiceps* (Nototheniidae) in West Antarctica. *Polar Biology* 42(2): 317-334. DOI: [10/gh2khh](https://doi.org/10/gh2khh).
- Beltcheva, M., Metcheva, R., Peneva, V., Marinova, M., Yankov, Y., Chikova, V. (2011). Heavy metals in antarctic notothenioid fish from South bay, Livingston island, South Shetlands (Antarctica). *Biological Trace Element Research* 141(1-3): 150-158. DOI: [10/bccwjh](https://doi.org/10/bccwjh).
- Bengtson Nash, S.M., Rintoul, S.R., Kawaguchi, S., Staniland, I., van den Hoff, J., Tierney, M., Bossi, R. (2010). Perfluorinated compounds in the Antarctic region: Ocean circulation provides prolonged protection from distant sources. *Environmental Pollution* 158(9): 2985-2991. DOI: [10.1016/j.envpol.2010.05.024](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.05.024).
- Boyd, P.W., Arrigo, K.R., Strzepek, R., van Dijken, G.L. (2012). Mapping phytoplankton iron utilization: Insights into Southern Ocean supply mechanisms. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 117(C6):. DOI: [10.1029/2011JC007726](https://doi.org/10.1029/2011JC007726).
- Braun, C., Mustafa, O., Nordt, A., Pfeiffer, S., Peter, H.-U. (2012). Environmental monitoring and management proposals for the Fildes Region, King George Island, Antarctica. *Polar Research* 31(1): 18206. DOI: [10/f9977h](https://doi.org/10/f9977h).
- Bustamante, P., Bocher, P., Chérel, Y., Miramand, P., Caurant, F. (2003). Distribution of trace elements in the tissues of benthic and pelagic fish from the Kerguelen Islands. *Science of The Total Environment* 313(1-3): 25-39. DOI: [10/cd5sxd](https://doi.org/10/cd5sxd).
- Calì, F., Riginella, E., La Mesa, M., Mazzoldi, C. (2017). Life history traits of *Notothenia rossii* and *N. coriiceps* along the southern Scotia Arc. *Polar Biology* 40(7): 1409-1423. DOI: [10/gbq99g](https://doi.org/10/gbq99g).

- Cárdenas, C.A., González-Aravena, M., Santibañez, P.A. (2018). The importance of local settings: within-year variability in seawater temperature at South Bay, Western Antarctic Peninsula. PeerJ 6: e4289. DOI: [10/ggq6nf](https://doi.org/10/ggq6nf).
- Carrasco, A., Préndez, M. (1991). Element distribution of some soils of continental Chile and the Antarctic peninsula. Projection to atmospheric pollution. Water, Air, and Soil Pollution 57-58(1): 713-722. DOI: [10/cszt7h](https://doi.org/10/cszt7h).
- Casaux, R. (1998). The contrasting diet of *Harpagifer antarcticus* (Notothenioidei, Harpagiferidae) at two localities of the South Shetland Islands, Antarctica. Polar Biology 19(4): 283-285. DOI: [10/ckf8w4](https://doi.org/10/ckf8w4).
- Casaux, R., Barrera-Oro, E. (2013). Dietary overlap in inshore notothenioid fish from the Danco Coast, western Antarctic Peninsula. Polar Research 32(1): 21319. DOI: [10/f9snb2](https://doi.org/10/f9snb2).
- Casaux, R., Barrera-Oro, E., Baroni, A., Ramón, A. (2003). Ecology of inshore notothenioid fish from the Danco Coast, Antarctic Peninsula. Polar Biology 26(3): 157-165. DOI: [10/fp3s34](https://doi.org/10/fp3s34).
- Casaux, R.J., Mazzotta, A.S., Barrera-Oro, E.R. (1990). Seasonal aspects of the biology and diet of nearshore nototheniid fish at Potter Cove, South Shetland Islands, Antarctica. Polar Biology 11(1):. DOI: [10/dmfs4h](https://doi.org/10/dmfs4h).
- Celis, J.E., Barra, R., Espejo, W., González-Acuña, D., Jara, S. (2015). Trace Element Concentrations in Biotic Matrices of Gentoo Penguins (*Pygoscelis Papua*) and Coastal Soils from Different Locations of the Antarctic Peninsula. Water, Air, & Soil Pollution 226(1): 2266. DOI: [10/ggp37s](https://doi.org/10/ggp37s).
- Chu, W.-L., Dang, N.-L., Kok, Y.-Y., Ivan Yap, K.-S., Phang, S.-M., Convey, P. (2019). Heavy metal pollution in Antarctica and its potential impacts on algae. Polar Science 20: 75-83. DOI: [10/gf35ks](https://doi.org/10/gf35ks).
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortíz, N., Piedra, P., Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). Gayana (Concepción) 76: 86-100. DOI: [10.4067/S0717-65382012000100009](https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100009).
- Cipro, C.V.Z., Montone, R.C., Bustamante, P. (2017). Mercury in the ecosystem of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica: Occurrence and trophic distribution. Marine Pollution Bulletin 114(1): 564-570. DOI: [10/f9pxbt](https://doi.org/10/f9pxbt).

- Council of Managers of National Antarctic Programs (2017). Antarctic station catalogue.
- Croteau, M.-N., Luoma, S.N., Stewart, A.R. (2005). Trophic transfer of metals along freshwater food webs: Evidence of cadmium biomagnification in nature. *Limnology and Oceanography* 50(5): 1511-1519. DOI: [10/fjshjr](https://doi.org/10/fjshjr).
- Daniels, R. (1983). Demographic characteristics of an Antarctic plunderfish, *Harpagifer bispinis antarcticus*. *Marine Ecology Progress Series* 13: 181-187. DOI: [10/dzpjmf](https://doi.org/10/dzpjmf).
- de Moreno, J.E.A., Gerpe, M.S., Moreno, V.J., Vodopivec, C. (1997). Heavy metals in Antarctic organisms. *Polar Biology* 17(2): 131-140. DOI: [10/cc8p7v](https://doi.org/10/cc8p7v).
- de Voogt, P., Ed. (2017). *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* Vol. 239. Springer International Publishing, Cham. DOI: [10.1007/978-3-319-33972-6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-33972-6).
- DeWitt, H.H., Heemstra, P.C., Gon, O. Eds. (1990). *Fishes of the southern ocean*. J.L.B. Smith Institute of Ichthyology, Grahamstown. DOI: 10.5962/bhl.title.141868.
- Eastman, J., Barrera-Oro, E., Moreira, E. (2011). Adaptive radiation at a low taxonomic level: - divergence in buoyancy of the ecologically similar Antarctic fish *Notothenia coriiceps* and *N. rossii*. *Marine Ecology Progress Series* 438: 195-206. DOI: [10/csbtps](https://doi.org/10/csbtps).
- Espejo, W., Celis, J.E., González-Acuña, D., Jara, S., Barra, R. (2014). Concentration of trace metals in excrements of two species of penguins from different locations of the Antarctic Peninsula. *Polar Biology* 37(5): 675-683. DOI: [10/gf35kr](https://doi.org/10/gf35kr).
- Espejo, W., Padilha, J. de A., Gonçalves, R.A., Dorneles, P.R., Barra, R., Oliveira, D., Malm, O., Chiang, G., Celis, J.E. (2019). Accumulation and potential sources of lead in marine organisms from coastal ecosystems of the Chilean Patagonia and Antarctic Peninsula area. *Marine Pollution Bulletin* 140: 60-64. DOI: [10/gg2c36](https://doi.org/10/gg2c36).
- Espejo, W., Padilha, J. de A., Kidd, K.A., Dorneles, P., Malm, O., Chiang, G., Celis, J.E. (2020). Concentration and Trophic Transfer of Copper, Selenium, and Zinc in Marine Species of the Chilean Patagonia and the Antarctic Peninsula Area. *Biological Trace Element Research* 197(1): 285-293. DOI: [10/ggt54t](https://doi.org/10/ggt54t).
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22(4): 241-253. DOI: [10/db6sns](https://doi.org/10/db6sns).

- Glickman, L.T., Fairbrother, A., Guarino, A.M., Bergman, H.L., Buck, W.B. (1991). Animals as sentinels of environmental health hazards. National Research Council, Washington, DC (United States). Committee on Animals as Monitors of Environmental Hazards. URL: <https://www.osti.gov/biblio/5320600>.
- Goutte, A., Chereil, Y., Churlaud, C., Ponthus, J.-P., Massé, G., Bustamante, P. (2015). Trace elements in Antarctic fish species and the influence of foraging habitats and dietary habits on mercury levels. *Science of The Total Environment* 538: 743-749. DOI: [10/f7wcd2](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.022).
- 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. DOI: [10/ggbrcd](https://doi.org/10.1111/jbi.12811).
- Höfer, J., Giesecke, R., Hopwood, M.J., Carrera, V., Alarcón, E., González, H.E. (2019). The role of water column stability and wind mixing in the production/export dynamics of two bays in the Western Antarctic Peninsula. *Progress in Oceanography* 174: 105-116. DOI: [10/gjt429](https://doi.org/10.1016/j.pocro.2019.05.002).
- IAATO (2020). History of IAATO - IAATO. 2020. URL: <https://iaato.org/history-of-iaato>.  
Accedido: 6 mayo 2020.
- Kennicutt, M.C., McDonald, T.J., Denoux, G.J., McDonald, S.J. (1992). Hydrocarbon contamination on the Antarctic peninsula. *Marine Pollution Bulletin* 24(10): 8.
- Kennicutt, M.C., McDonald, S.J., Sericano, J.L., Boothe, Paul., Oliver, John., Safe, Stephen., Presley, B.J., Liu, Hong., Wolfe, Douglas., Wade, T.L., Crockett, Alan., Bockus, Dan. (1995). Human contamination of the marine environment-Arthur Harbor and McMurdo Sound, Antarctica. *Environmental Science & Technology* 29(5): 1279-1287. DOI: [10/d7p2g4](https://doi.org/10.1021/es00057a014).
- Khan, A.L., Klein, A.G., Katich, J.M., Xian, P. (2019). Local Emissions and Regional Wildfires Influence Refractory Black Carbon Observations Near Palmer Station, Antarctica. *Frontiers in Earth Science* 7:. DOI: [10/gkkjpp](https://doi.org/10.3389/feart.2019.00071).
- Khim, B.-K., Yoon, H.I. (2003). Postglacial marine environmental changes in Maxwell Bay, King George Island, West Antarctica. *Polar Research* 22(2): 341-353.
- Klimpel, S., Kuhn, T., Mehlhorn, H., Eds. (2017). Biodiversity and Evolution of Parasitic Life in the Southern Ocean Vol. 9. Springer International Publishing, Cham. DOI: [10.1007/978-3-319-46343-8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46343-8).

- Krause, J., Hopwood, M.J., Höfer, J., Krisch, S., Achterberg, E.P., Alarcón, E., Carroll, D., González, H.E., Juul-Pedersen, T., Liu, T., Lodeiro, P., Meire, L., Rosing, M.T. (2021). Trace Element (Fe, Co, Ni and Cu) Dynamics Across the Salinity Gradient in Arctic and Antarctic Glacier Fjords. *Frontiers in Earth Science* 0: DOI: [10.3389/feart.2021.725279](https://doi.org/10.3389/feart.2021.725279).
- Langston, W.J., Chesman, B.S., Burt, G.R., Pope, N.D., McEvoy, J. (2002). Metallothionein in liver of eels *Anguilla anguilla* from the Thames Estuary: an indicator of environmental quality? *Marine Environmental Research* 53(3): 263-293. DOI: [10/ckgxzy](https://doi.org/10/ckgxzy).
- Lu, Z., Cai, M., Wang, J., Yang, H., He, J. (2012). Baseline values for metals in soils on Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica: the extent of anthropogenic pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(11): 7013-7021. DOI: [10/dtnkp5](https://doi.org/10/dtnkp5).
- Márquez, M., Vodopivec, C., Casaux, R., Curtosi, A. (1998). Metal (Fe, Zn, Mn and Cu) levels in the Antarctic fish *Notothenia coriiceps*. *Polar Biology* 20(6): 404-408. DOI: [10/cf958c](https://doi.org/10/cf958c).
- Nachev, M., Sures, B. (2016). Environmental parasitology: Parasites as accumulation bioindicators in the marine environment. *Journal of Sea Research* 113: 45-50. DOI: [10/f8vq3j](https://doi.org/10/f8vq3j).
- Negri, A., Burns, K., Boyle, S., Brinkman, D., Webster, N. (2006). Contamination in sediments, bivalves and sponges of McMurdo Sound, Antarctica. *Environmental Pollution* 143(3): 456-467. DOI: [10/fh4pbh](https://doi.org/10/fh4pbh).
- Padeiro, A., Amaro, E., dos Santos, M.M.C., Araújo, M.F., Gomes, S.S., Leppe, M., Verkulich, S., Hughes, K.A., Peter, H.-U., Canário, J. (2016). Trace element contamination and availability in the Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica. *Environmental Science: Processes & Impacts* 18(6): 648-657. DOI: [10/gf35k3](https://doi.org/10/gf35k3).
- Palmer, A.S., Snape, I., Townsend, A.T., Stark, J.S., Samson, C., Riddle, M.J. (2010). Sediment profile characterisation at contaminated and reference locations in the Windmill Islands, East Antarctica. *Marine Pollution Bulletin* 60(9): 1541-1549. DOI: [10/bt6pfj](https://doi.org/10/bt6pfj).
- Palmer, T.A., Klein, A.G., Sweet, S.T., Montagna, P.A., Hyde, L.J., Wade, T.L., Beseres Pollack, J. (2022). Anthropogenic effects on the marine environment adjacent to Palmer Station, Antarctica. *Antarctic Science* 34(1): 79-96. DOI: 10.1017/S0954102021000535.
- Raga, G., Pichler, H.A., Zaleski, T., Silva, F.B.V. da, Machado, C., Rodrigues, E., Kawall, H.G., Rios, F.S., Donatti, L. (2015). Ecological and physiological aspects of the antarctic fishes

- Notothenia rossii* and *Notothenia coriiceps* in Admiralty Bay, Antarctic Peninsula. *Environmental Biology of Fishes* 98(3): 775-788. DOI: [10/ggp9f4](https://doi.org/10/ggp9f4).
- Reed, S., Clark, M., Thompson, R., Hughes, K.A. (2018). Microplastics in marine sediments near Rothera Research Station, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin* 133: 460-463. DOI: [10/gd5vmg](https://doi.org/10/gd5vmg).
- Ribeiro, C.A.O., Vollaire, Y., Sanchez-Chardi, A., Roche, H. (2005). Bioaccumulation and the effects of organochlorine pesticides, PAH and heavy metals in the Eel (*Anguilla anguilla*) at the Camargue Nature Reserve, France. *Aquatic Toxicology* 74(1): 53-69. DOI: [10/fdsdrf](https://doi.org/10/fdsdrf).
- Risebrough, R.W., Walker, W., Schmidt, T.T., De Lappe, B.W., Connors, C.W. (1976). Transfer of chlorinated biphenyls to Antarctica. *Nature* 264(5588): 738-739. DOI: [10/b8v2mg](https://doi.org/10/b8v2mg).
- Santos, I.R., Silva-Filho, E.V., Schaefer, C.E.G.R., Albuquerque-Filho, M.R., Campos, L.S. (2005). Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Marine Pollution Bulletin* 50(2): 185-194. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2004.10.009](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.009).
- Signa, G., Calizza, E., Costantini, M.L., Tramati, C., Sporta Caputi, S., Mazzola, A., Rossi, L., Vizzini, S. (2019). Horizontal and vertical food web structure drives trace element trophic transfer in Terra Nova Bay, Antarctica. *Environmental Pollution* 246: 772-781. DOI: [10/gg2c38](https://doi.org/10/gg2c38).
- Sontag, P.T., Steinberg, D.K., Reinfelder, J.R. (2019). Patterns of total mercury and methylmercury bioaccumulation in Antarctic krill (*Euphausia superba*) along the West Antarctic Peninsula. *Science of The Total Environment* 688: 174-183. DOI: [10/gkkjnt](https://doi.org/10/gkkjnt).
- Sparaventi, E., Rodríguez-Romero, A., Barbosa, A., Ramajo, L., Tovar-Sánchez (2021). Trace elements in Antarctic penguins and the potential role of guano as source of recycled metals in the Southern Ocean. *Chemosphere* 285: 131423. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2021.131423](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131423).
- Sures, B. (2003). Accumulation of heavy metals by intestinal helminths in fish: an overview and perspective. *Parasitology* 126(7): S53-S60. DOI: [10/cmv6mm](https://doi.org/10/cmv6mm).
- Sures, B. (2004). Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in Parasitology* 20(4): 170-177. DOI: [10/bzdtfk](https://doi.org/10/bzdtfk).

- Sures, B. (2008). Host–parasite interactions in polluted environments. *Journal of Fish Biology* 73(9): 2133-2142. DOI: [10/cqt9bd](https://doi.org/10/cqt9bd).
- Sures, B., Reimann, N. (2003). Analysis of trace metals in the Antarctic host-parasite system *Notothenia coriiceps* and *Aspersentis megarhynchus* (Acanthocephala) caught at King George Island, South Shetland Islands. *Polar Biology* 26(10): 680-686. DOI: [10/dww58k](https://doi.org/10/dww58k).
- Sures, B., Siddall, R. (2003). *Pomphorhynchus laevis* (Palaeacanthocephala) in the intestine of chub (*Leuciscus cephalus*) as an indicator of metal pollution. *International Journal for Parasitology* 33(1): 65-70. DOI: [10/dbtspr](https://doi.org/10/dbtspr).
- Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., Wei, M. (2012). Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 81: 55-64. DOI: [10/f32qj9](https://doi.org/10/f32qj9).
- Timi, J.T., Poulin, R. (2020). Why ignoring parasites in fish ecology is a mistake. *International Journal for Parasitology* 50(10-11): 755-761. DOI: [10/ghmbqf](https://doi.org/10/ghmbqf).
- Tin, T., Fleming, Z.L., Hughes, K.A., Ainley, D.G., Convey, P., Moreno, C.A., Pfeiffer, S., Scott, J., Snape, I. (2009). Impacts of local human activities on the Antarctic environment. *Antarctic Science* 21(1): 3-33. DOI: [10/dpr5dj](https://doi.org/10/dpr5dj).
- Trevizani, T.H., Figueira, R.C.L., Ribeiro, A.P., Theophilo, C.Y.S., Majer, A.P., Petti, M.A.V., Corbisier, T.N., Montone, R.C. (2016). Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms and sediments from Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin* 106(1-2): 366-371. DOI: [10/f8p4f2](https://doi.org/10/f8p4f2).
- Turner, J., Phillips, T., Marshall, G.J., Hosking, J.S., Pope, J.O., Bracegirdle, T.J., Deb, P. (2017). Unprecedented springtime retreat of Antarctic sea ice in 2016. *Geophysical Research Letters* 44(13): 6868-6875. DOI: [10.1002/2017GL073656](https://doi.org/10.1002/2017GL073656).
- Valdivia, N., Díaz, M.J., Holtheuer, J., Garrido, I., Huovinen, P., Gómez, I. (2014). Up, Down, and All Around: Scale-Dependent Spatial Variation in Rocky-Shore Communities of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctica. *PLOS ONE* 9(6): e100714. DOI: [10/f6d8cj](https://doi.org/10/f6d8cj).
- Vergara, E.G., Hernández, V., Munkittrick, K.R., Barra, R., Galban-Malagon, C., Chiang, G. (2019). Presence of organochlorine pollutants in fat and scats of pinnipeds from the Antarctic Peninsula

and South Shetland Islands, and their relationship to trophic position. *Science of The Total Environment* 685: 1276-1283. DOI: [10/gf9h3g](#).

Waller, C.L., Griffiths, H.J., Waluda, C.M., Thorpe, S.E., Loaiza, I., Moreno, B., Pacherras, C.O., Hughes, K.A. (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: An emerging area of research. *Science of The Total Environment* 598: 220-227. DOI: [10/gf4xnx](#).

Webb, A.L., Hughes, K.A., Grand, M.M., Lohan, M.C., Peck, L.S. (2020). Sources of elevated heavy metal concentrations in sediments and benthic marine invertebrates of the western Antarctic Peninsula. *Science of The Total Environment* 698: 134268. DOI: [10/gf9csw](#).

Zeitoun, M.M., Mehana, E.-S.E. (2014). Impact of Water Pollution with Heavy Metals on Fish Health: Overview and Updates 14. *Global Veterinaria* 12 (2): 219-231. DOI: 10.5829/idosi.gv.2014.12.02.82219.

Zhou, M., Niiler, P.P., Hu, J.-H. (2002). Surface currents in the Bransfield and Gerlache Straits, Antarctica. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 49(2): 267-280. DOI: [10/cqmfxd](#).