



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería Marítima Ciencias Biológicas,**  
**Oceánicas y Recursos Naturales**

**“BIOCONCENTRACION DE MERCURIO EN AVES  
DE LA PENINSULA ANTÁRTICA 2012”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**BIÓLOGO**

Presentada por:

**Alvarado Cadena Omar Patricio**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2014**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme culminar una meta más en mi vida.

A mis Padres, por la paciencia, esfuerzo, amor y sobre todo por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida.

A mi tutora de tesis, Dra. Paola Calle Delgado, por sus enseñanzas y por ayudarme a cumplir unos de mis más añorados sueños desde mi infancia que fue el poder estar en la Antártida.

Al Instituto Antártico Ecuatoriano por patrocinar esta investigación y hacer más placentera la estadía en el continente Antártico.

A mis queridos amigos: Wilson Calle Urgiles, Henry Marín Solórzano por haber compartido gratos momentos dentro y fuera de las aulas llegando a ser como unos verdaderos hermanos para mi

## **DEDICATORIA**

A mi querida esposa Jessenia Karina Jaramillo Márquez por su apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de nuestro matrimonio y por sacrificar su sueño para poder culminar el mío.

A mí querido chomino Leonardo Alvarado Jaramillo quien es mi motor para poder seguir día tras día

A mi padres que con su ejemplo de constancia y superación son un modelo a seguir en mi vida y que todas sus enseñanzas las llevo bien gravadas en el corazón

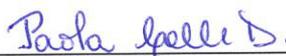
Y por último a mis queridos Abuelitos, Papi  
leo y Mami Queta que los adoro con toda el  
alma, fueron como unos padres para mí y  
deseo que sigan juntos por toda la eternidad  
†

***Omar Patricio Alvarado Cadena***

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



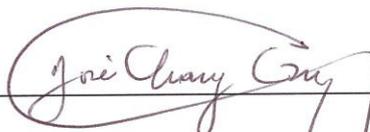
Msc. Marco Velarde T.  
DECANO DE LA FIMCBOR



Paola Calle D. PhD.  
DIRECTORA DE TESIS



Jerry Landívar L. Msc.  
EVALUADOR



José Chang G. PhD.  
EVALUADOR.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

  
Omar Patricio Alvarado Cadena

## RESUMEN

La Antártida, el continente de los hielos eternos, donde se encuentra la mayor reserva de agua dulce del planeta y juega un rol primordial en el clima a escala global. La Antártica es percibida por la mayoría de las personas como uno de los últimos lugares verdaderamente prístino del mundo, pero en realidad no es así, y al igual que otras zonas distantes del planeta no escapa del impacto antropogénico.

En el verano antártico del 2012, el instituto Antártico Ecuatoriano realizó la XVI expedición ecuatoriana a la Antártida y el trabajo de campo para esta tesis se lo realizó en la tercera etapa de dicha expedición entre el 22 de Febrero al 8 de Marzo del mismo año. La recolección de muestras se la realizó en tres sitios específicos; dos en la Punta Fort Williams – Isla Greenwich (Ensenada Guayaquil y Bahía Chile) y en el perfil costero de la Isla Barrientos.

En cada estación se midieron *in situ*, los parámetros de la calidad del agua tales como: temperatura (°C), salinidad (ups), potencial de

hidrógeno (escala de pH), oxígeno disuelto (mg/L), porcentaje de saturación (%) y conductividad eléctrica (mS/cm). Además, se recolectaron muestras de sedimentos para análisis de: materia orgánica, textura (porcentajes de arenas, limos y arcillas) y concentración de mercurio total (THg).

Para determinar la presencia de mercurio en la red trófica marina seleccionada de la Antártica se colectó y se analizó las plumas de diferentes especies de aves, las cuales, incluyeron dos especies de pingüinos: pingüino papúa (*Pygoscelis papua*) y pingüino barbijo (*P. antártica*) y de la Skua parda (*Catharacta lonnbergi*).

Para los tres sectores de muestreos la concentración de mercurio fue relativamente baja y las concentraciones oscilaron entre 0.015 mg/kg hasta 0.081 mg/kg, en todas las muestras la concentración no sobrepasan los 0,1 mg/kg que es el límite máximo permitido por el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) para suelo, además no se evidenció diferencias significativas entre las concentraciones de los tres sectores.

Los resultados de concentración de mercurio en las plumas de aves Antárticas evidenció diferencias significativas en la concentración de mercurio entre los pingüinos, donde el pingüino barbijo tenía una

bioconcentración significativamente menor que el pingüino papúa, debido principalmente a su dieta, pero no se detectó diferencias significativas entre las concentraciones de mercurio del pingüino papúa con la Skua. Sin embargo si se evidencio significativamente menores concentraciones de mercurio en el pingüino barbijos que en la Skua.

Las concentraciones de mercurio en las plumas reportadas en este estudio no sobrepasan a la concentración establecidas por varios autores como perjudiciales en plumas de aves que es 5 mg/Kg en peso seco, a excepción de un pluma de Skua que reportó el valor de 7,71 mg/kg.

Los factores de biomagnificación (BMF) del mercurio en las aves; indican que el mercurio se ha transferido desde la presa al depredador (es decir, a partir de los pingüinos a las Skuas) ya que para ambos casos el BMF fue mayor a 1 ( $BMF > 1$ ).

Las comparaciones entre sitios de las concentraciones de mercurio total en sedimento y los resultados de los BSAF y del BMF demuestran que la fuente de contaminación del mercurio no está relacionada a la presencia de bases científicas o navales en las Islas Sthetland del Sur sino al transporte global atmosférico de

rango largo y que el mercurio está siendo transferido a través de la cadena alimenticia.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
Introducción	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>5</b>
1.1 Aspectos Generales sobre la Antártida	5
1.2 Contaminación en la Antártida	15
1.3 Aves como bioindicadores ambientales	17
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>24</b>

<b>METODOLOGÍA</b>	<b>24</b>
2.1 Sitio de muestro	24
2.2 Recolección de Muestras	26
2.2.1 Muestras de Agua	26
2.2.2 Muestras de Sedimento	27
2.3 Análisis en laboratorio	27
2.3.1 Análisis en el Laboratorio de la Estación Pedro Vicente Maldonado.	28
2.3.1.1 Metodología para el análisis de las muestra de agua	28
2.3.1.1.1 Nitrógeno Amoniacal	28
2.3.1.1.2 Nitrato	29
2.3.1.1.3 Nitrito	29
2.3.1.1.4 Fosfato	30
2.3.1.2 Determinación del porcentaje de Materia Orgánica	30
2.3.2 Análisis en el laboratorio de Ecotoxicología de la FIMCBOR	31
2.3.2.1Análisis físico de la textura del sedimento	31
2.3.2.2 Análisis de mercurio	33
2.3.2.2 Mercurio en Sedimento	34

2.3.2.2 Mercurio en plumas de aves antárticas	36
2.4 Factores de Biomagnificación (BMF)	37
2.5 Factores de acumulación del sedimento a organismo (BSAF)	37
2.6 Análisis de datos	38
2.6.1 Análisis descriptivo	38
2.6.2 Análisis multivariado	38
<b>CAPÍTULO 3</b>	40
<b>RESULTADOS</b>	40
3.1 Parámetros físico-químicos del agua superficial en la Península Antártica.	40
3.1.1 Temperatura.	40
3.1.3. Conductividad Eléctrica	44
3.1.4. Oxígeno Disuelto	46
3.1.5. Saturación	48
3.1.6. pH.	50
3.1.7. Nitrito	52
3.1.8 Nitrato	54
3.1.9 Amoníaco.	56

3.1.10 Fosfato	58
3.2 Análisis en Sedimento.	60
3.2.1. Materia Orgánica	60
3.2.2. Caracterización de Sedimento.	62
3.2.3 Mercurio en Diferentes Matrices Ambientales	65
3.2.3.1 Mercurio en sedimento	65
3.2.3.2 Mercurio en Plumas de Aves.	67
3.3 Factores de Biomagnificación (BMF)	69
<b>DISCUSIÓN</b>	70
4.1 Parámetros Físicos-Químicos	70
4.1.1 Temperatura	70
4.1.2 Salinidad	71
4.1.3 Conductividad Eléctrica	72
4.1.4 Oxígeno Disuelto	73
4.1.5 pH	73
4.1.6 Nitrito	74
4.1.7 Nitrato	75

4.1.8	Amoniaco	76
4.1.9	Fosfato	76
4.2	Análisis de Mercurio	77
4.2.1	Mercurio en Sedimento	77
4.2.2	Mercurio en Aves Marinas	79
4.3	BMF	83
4.4	BASF	83
<b>ANEXOS</b>		<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>106</b>

# ABREVIATURAS

BASF	Factor de acumulación del sedimento al organismo
BMF	Factor de Bioacumulación
cm	Centímetros
g	Gramos
Km	Kilómetros
M.O.	Materia Orgánica
mg/l	Miligramos por litro
ml	Mililitros
mS/cm	Mili Siemens por centímetro
N – NH <sub>3</sub>	Nitrógeno Amoniacal
NO <sub>2</sub>	Nitrito
NO <sub>3</sub>	Nitrato
°C	Grados Celsius
pH	Potencial de Hidrógeno
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Fosfato
SRM	Estándar Reference Material
um	Micras
Ups	Unidades prácticas de salinidad

# ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b>	Animales en los alrededores de la Estación Maldonado	8
<b>Figura 2</b>	Skua.	9
<b>Figura 3</b>	Pingüinos objeto de estudio.	15
<b>Figura 4</b>	Sitios de Muestreo.	25
<b>Figura 5</b>	Analizador Directo de Mercurio.	34
<b>Figura 6</b>	Valores promedios de Temperatura por sectores	41
<b>Figura 7</b>	Valores promedios de Temperatura por Islas	42
<b>Figura 8</b>	Valores promedios de salinidad por sectores	43
<b>Figura 9</b>	Valores promedios de Salinidad por Islas	44
<b>Figura 10</b>	Valores promedios de conductividad eléctrica por sectores	45
<b>Figura 11</b>	Valores promedios de conductividad eléctrica por Islas	46
<b>Figura 12</b>	Valores promedios de oxígeno disuelto por sectores	47
<b>Figura 13</b>	Valores promedios de oxígeno disuelto por Islas	48
<b>Figura 14</b>	Valores promedios de la saturación de oxígeno por sectores	49
<b>Figura 15</b>	Valores promedios de saturación de oxígeno por Islas	50
<b>Figura 16</b>	Valores promedios de pH por sectores	51
<b>Figura 17</b>	Valores promedios de pH por islas	52
<b>Figura 18</b>	Valores promedios de Nitrito por sectores de muestreo	53
<b>Figura 19</b>	. Valores promedios de Nitrito por islas	54
<b>Figura 20</b>	Valores promedios de Nitrato por sectores de muestreo	55

<b>Figura 21</b>	Valores promedios de Nitrato por islas	56
<b>Figura 22</b>	Valores promedios de Amoniaco por sectores de muestreo	57
<b>Figura 23</b>	Valores promedios de Amoniaco por islas	58
<b>Figura 24</b>	Valores promedios de fosfato por sectores de muestreo.	59
<b>Figura 25</b>	Valores promedios de Fosfato por islas	60
<b>Figura 26</b>	Valores promedios del porcentaje de materia orgánica por sectores	61
<b>Figura 27</b>	Valores del porcentaje de materia orgánica por islas	62
<b>Figura 28</b>	Valores promedios del porcentaje arena por sectores	63
<b>Figura 29</b>	Valores promedios del porcentaje limo por sectores	64
<b>Figura 30</b>	Valores promedios del porcentaje arcilla por sectores	65
<b>Figura 31</b>	Valores promedios del contenido de Mercurio por sectores	66
<b>Figura 32</b>	Valores del contenido de mercurio por islas	67
<b>Figura 33</b>	Valores del contenido de mercurio en las distintas especies de aves	68

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
<b>Tabla I</b>	Parámetros Físico-Químicos medidos <i>in situ</i> en la Ensenada Guayaquil.	88
<b>Tabla II</b>	Análisis químicos de la Ensenada Guayaquil realizados en laboratorio Maldonado.	89
<b>Tabla III</b>	Parámetros Físico- Químicos medidos <i>in situ</i> en la Isla Barrientos.	90
<b>Tabla IV</b>	Análisis químicos de la Isla Barrientos realizados en laboratorio de la Estación.	91
<b>Tabla V</b>	Parámetros Físico- Químicos medidos <i>in situ</i> en la Bahía Chile.	92
<b>Tabla VI</b>	Análisis químicos de la Bahía Chile realizados en laboratorio de la Estación	93
<b>Tabla VII</b>	Caracterización de sedimento de la Bahía Chile.	94
<b>Tabla VIII</b>	Caracterización de sedimento de la Isla Barrientos.	95
<b>Tabla IX</b>	Caracterización de sedimento de la Ensenada Guayaquil.	96
<b>Tabla X</b>	Concentración de Mercurio en Sedimento. Peso Seco	97
<b>Tabla XI</b>	Concentración de mercurio en las plumas del pingüino papúa. Peso Seco.	98

<b>Tabla XII</b>	Concentración de mercurio en el pingüino barbijos. Peso Seco.	99
<b>Tabla XIII</b>	Concentración de mercurio en Skuas	100
<b>Tabla XIV</b>	Concentración de mercurio en plumas de aves	100
<b>Tabla XV</b>	Resultados del Standard Reference Material 1646a	101
<b>Tabla XVI</b>	Promedios de blancos obtenidos de las diferentes muestras	101
<b>Tabla XVII</b>	Concentraciones de mercurio reportadas para las aves de este estudio por otros autores	102

# INTRODUCCIÓN

La Antártida conocido como el continente blanco, es el cuarto continente más grande del mundo con cerca de 14 000 000 km<sup>2</sup> y es el continente más elevado de la Tierra, con una altitud promedio de 2000 msnm. Se ubica casi completamente al sur del círculo polar antártico y Alberga alrededor del 80 % del agua dulce del planeta en sus casquetes de hielo. Es también el continente con el promedio de humedad más bajo de la Tierra y con la temperatura promedio más baja -17 °C.

Diversos estudios eco-toxicológicos han demostrado que ciertos contaminantes como el mercurio pueden ser transportados a lo largo de considerables distancias debido al transporte atmosférico-ambiental de largo rango, con la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse en redes tróficas y causar daños reproductivos y efectos negativos en especies ocupando altos niveles tróficos, incluyendo mamíferos marinos y aves marinas. Las zonas frías tales como el Ártico y la Antártida son particularmente vulnerables a estos compuestos debido al fenómeno conocido como destilación global, el cual causa que estos

contaminantes se concentren en regiones frías o congeladas.

El presente proyecto de tesis titulado “Bioconcentración de Mercurio en aves de la Península Antártica año 2012” tiene como hipótesis alterna probar y demostrar la presencia de contaminación por mercurio en matrices ambientales tales como sedimento y plumas de aves marinas de la Península Antártica, para esto se recolectó y se analizó dichas muestras en el laboratorio de Ecotoxicología de la FIMCBOR.

Para la determinación de mercurio en las diferentes muestras se implementó en el laboratorio la metodología 7473 de análisis validada por la EPA con la ayuda de un analizador directo de mercurio DMA – 80.

En el presente estudio se plantea como objetivo general el de evaluar las condiciones ambientales y la concentración de mercurio en la red trófica de la península antártica para el año 2012.

Además de los objetivos específicos:

1. Determinar las condiciones físicas y químicas del agua superficial en los sitios de muestreo de la Punta Fort Williams – Isla Greenwich e isla Barrientos. (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto)

2. Análisis de parámetros de calidad del agua superficial en los sitios de muestreo de la Punta Fort Williams – Isla Greenwich e isla Barrientos (pH, Nitrito, Nitrato, Amoniac, Fosfatos)
3. Determinar las características físicas (composición de arenas, limos y arcilla) junto con el porcentaje de materia orgánica del sedimento de la Isla Greenwich e Isla Barrientos
4. Determinar la concentración de Mercurio en el sedimento recolectado
5. Determinar la concentración de mercurio en plumas de aves antárticas ejemplo: la Skua Parda (*Catharacta lonnbergii*) y en pingüinos como el papúa (*Pygoscelis papua*) y pingüino antártico o barbijos (*P. antarctica*)

Esta tesis forma parte de un proyecto de investigación macro denominado “Estudio De Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) Y Mercurio en la Red Trófica de la Antártida”, que lleva a cabo el laboratorio de Ecotoxicología de la FIMCBOR, la Universidad Simon Fraser (Simon Fraser University) de Canadá y el Instituto Antártico Ecuatoriano

Adicionalmente se debe mencionar que los resultados de bioacumulación de mercurio serán los primeros reportados para el Ecuador en plumas de aves de la Península Antártica.

# **CAPÍTULO 1**

## **Generalidades**

### **1.1 Aspectos Generales sobre la Antártida**

El continente Antártico se encuentra ubicado en el extremo sur del planeta, constituido mayormente por glaciares. Este continente no se encuentra habitado por el hombre y la presencia del mismo es permitida únicamente con fines de investigación o para acciones dedicadas a la paz (1).

Es el continente más frío del planeta, en donde se ha documentado la temperatura más baja jamás registrada,  $-89,2^{\circ}\text{C}$ , en la base rusa Vostok en 1983 (2) Sin embargo en las zonas costeras las temperaturas no son tan rigurosas con una media anual de entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$ , ascendiendo hasta los  $5^{\circ}\text{C}$  en verano. Los vientos en el exterior del

continente son más fuertes que en interior; los llamados vientos catabáticos (3) son los responsables de las peligrosas ventiscas antárticas las cuales son capaces de enterrar bajo varios metros de nieve a las instalaciones o bases científicas que estén ubicadas en la zona.

Debido a que es el lugar más frío de nuestro Planeta, la Antártida es una mega región fundamental en el sistema climático global, en el que actúa como el mayor disipador de calor del hemisferio sur (4).

La existencia de la Antártida es crucial para el movimiento de las corrientes de aire a nivel planetario y por supuesto para el establecimiento de zonas con diferentes gradientes de presión responsables del clima a nivel global (4). Similarmente como no se puede hablar de clima sin mencionar al océano, las características climáticas de este lugar son también responsables del mantenimiento del flujo de las corrientes oceánicas que se empiezan a generar en este continente a partir de las diferencia de temperaturas y salinidad del agua (1). Por estos aspectos es donde radica la vital importancia de preservación de la Antártida, sin embargo pese a estar geográficamente lejos los ecosistemas antárticos son especialmente sensibles frente a los cambios globales (5).

Aunque luzca como un desierto frío y sin presencia de vida, el continente

antártico y sobretodo sus mares están repletos de vida, por lo que los ecosistemas antárticos muestran una marcada diferencia entre la pobreza y simplicidad de los ecosistemas terrestres y la riqueza y abundante biomasa de los ecosistemas marinos (4). Debido a las bajas temperaturas, la escasa disponibilidad de agua líquida, y el aislamiento geográfico junto con los fuertes vientos son los principales factores que limitan el desarrollo de las comunidades bióticas en la superficie terrestre antártica (1).

Debido a la crudeza del clima antes mencionado hay pocas especies de vida vegetal y únicamente existen dos son fanerógamas (plantas superiores con flores) la *Deschampsia antarctica* (pasto antártico) y *Colobanthus quitensis*, de ahíla mayoría son líquenes, musgos y hongos que se extienden en las zonas costeras libres del hielo durante el verano (6).

En lo concerniente a la fauna, en la Antártida existe un alto grado de endemismo (7) dado principalmente a barreras naturales como lo es el Paso Drake, considerado como una zona de estructura termohalina muy variable, donde se incrementa la complejidad e intensidad de la corriente circumpolar Antártica (8) y se puede encontrar una gran variedad de masas de agua (9).

Casi todos los animales del continente antártico están relacionados en mayor o menor medida con el medio marino y de ellos la mayoría se alimenta directa o indirectamente del Krill (*Euphausia superba*), (10) dicho crustáceo es muy abundante en altas latitudes y constituyen la base clave de las redes marinas en la Antártica y la fuente de alimentación para casi todas las aves y mamíferos de esta región austral (11).

Además del Krill, existen una gran variedad de especies de invertebrados que habitan en el medio marino antártico, así como distintas especies de moluscos (gasterópodos) y equinodermos (como erizos y estrellas de mar) (12). Dentro de los vertebrados existen diversas especies de peces adaptadas a vivir en estas frías aguas.

Dentro del grupo de los mamíferos, están presente muchas especies de cetáceos como las ballenas con barbas o rorcuales (misticetos), tales como la ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*), la ballena azul (*Balaenoptera musculus*), la ballena enana (*Balaenoptera acutorostrata*), la ballena boba (*Balaenoptera borealis*), la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*), la ballena austral (*Eubalaena australis*), así como los cetáceos con dientes (odontocetos) tales como la orca (*Ornicus orca*), el cachalote (*Physeter macrocephalus*) entre otros cetáceos.

Otros mamíferos presentes en el continente Antártico son los pinnípedos tales como las focas sin oreja (fócidos): la foca de Weddell (*Leptonychotes weddelli*) (figura.1a) la foca cangrejera (*Lobodon carcinophagus*) la foca leopardo (*Hydrurga leptonyx*), el elefante marino del sur (*Mirorunga leonina*) (figura 1b), y otáridos (focas con orejas) como el lobo marino antártico (*Arctocephalus gazella*) (figura 1c) (13).



**Figura 1.** Especies de pinnípedos encontrados en los alrededores de la Estación Pedro Vicente Maldonado, Península Antártica **A)** La foca de Weddell, **B)** Elefante marino macho, **C)** Lobos marinos.

La biota de la Antártida se completa con la presencia de las aves marinas como albatros, petreles gigantes (*Macronecte giganteus*), gaviotín antártico (*Sterna vittata*), cormorán antártico (*Phalacrocorax bransfieldensis*), las Skua parda o Skuas subántartica (*Catharacta lonnbergi*), la Skua antártica (*C. maccormicki*), y diversas especies de pingüinos, entre otras especies (Figura2) (14, 15).



**Figura 2.** Skua parda (*Catharacta lonnbergi*) en los alrededores de la Estación Pedro Vicente Maldonado.

Dentro del grupo de las aves presentes en el continente blanco son los pingüinos los más abundantes, de las 17 especies de pingüinos existentes en el planeta, 6 especies se encuentran en la Antártida: El pingüino rey (*Aptenodyte spatagonicus*), el pingüino emperador (*Aptenodytes forsteri*); el pingüino barbijos o antártico (*Pygoscelis antarctica*), el pingüino papúa (*P. papua*), el pingüino de adelia (*P. adeliae*) y pingüino macaroni (*Eudyptes chrysolophus*); aunque solo el pingüino emperador y el pingüino de Adelia presentan una

distribución netamente antártica.

Estas aves habitan exclusivamente en el hemisferio sur, se encuentran en la Antártida y en las islas sub – antárticas de los océanos Pacífico, Atlántico e Índico, así como en las costas de Australia, Sudáfrica, Sudamérica e inclusive en las Islas Galápagos, en donde se encuentra la única especie de pingüino endémico tropical, el pingüino de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*).

El pingüino papúa anida en el extremo sur de Sudamérica, en sectores como las Islas Malvinas, isla Sándwich, Islas Orcadas del sur, Isla Georgia del Sur, Islas Shetland del Sur y en otros puntos de la península Antártica pero hasta los 64° de latitud Sur (16). El rasgo característico del pingüino papúa es el parche blanco que presenta en la parte alta de la cabeza y su pico es de color rojo. Los pingüinos papúa adultos pueden alcanzar hasta los 80 cm.

El pingüino antártico o barbijo se distribuye principalmente en las Islas Orcadas islas Sándwich del Sur, islas Shetlands del Sur y en la Península Antártica (17). El Pingüino barbijos adulto puede alcanzar hasta los 75 cm; y su rasgo característico es la línea negra en la parte inferior de la cabeza.

Los pingüinos son las únicas aves no voladoras que están adaptadas al buceo y para la natación (18) se propulsan con sus alas, por tal razón su esqueleto es más fuerte más denso que las aves voladoras, dicho esqueleto les proporciona fuerza suficiente pero poca flotabilidad.

Para poder protegerse de las inclemencias del tiempo y sobre todo del frío extremo típico de la Antártica utilizan su plumaje, mediante la capa de cúmulos de grasa que tiene bajo la piel (19) y un sistema de circulación a contracorriente, el cual les ayuda a mantener su temperatura interna a 39°C (20).

Los pingüinos pueden bucear hasta los 170 metros y para poder hacerlo necesitan un sin número de adaptaciones fisiológicas por ejemplo: la presencia de una elevada concentración de hemoglobina en la sangre que funciona como reservorio de oxígeno; los tejidos musculares a su vez tienen altas concentraciones de mioglobina para almacenar oxígeno en los músculos, y reducción del metabolismo basal mediante el cual el cuerpo se empieza a enfriar a medida que se sumerge y comienza a suprimir la actividad metabólica de algunos órganos, por la presencia de la enzima deshidrogenasa láctica en los tejidos musculares para que dichos músculos trabajen

de forma anaeróbica (20).

Estas aves marinas poseen un pico puntiagudo con el cual pueden alimentarse tanto de crustáceos, cefalópodos y de peces, (21). Las proporciones de las diferentes presas en sus dietas pueden variar con el tiempo en función de su abundancia y/o disponibilidad (22).

La reproducción de esta familia de pingüinos tiene lugar durante los meses de octubre a febrero, aprovechando las zonas de costas libre de nieve (16).

Las colonias pueden estar formadas por varios miles de parejas y distintas especies de pingüinos pueden compartir dichas zonas (23,24) como ocurre en muchas islas de la Península Antártica pero siempre las especies delimitan sus zonas de anidamiento por separado (25).

El nido está formado por una depresión en el suelo que escarban con las patas y que rellenan de piedras pequeñas con lo que consiguen una plataforma que drena el agua al derretirse la nieve (26). Ponen los huevos a finales de Octubre, generalmente ponen dos huevos, ambos progenitores se turnan para incubarlos durante unos 40 días.

Cada pingüino defiende el territorio alrededor del nido, y una vez que

se produce la eclosión, los adultos buscan alimento para sus crías en el mar; regurgitando el alimento almacenado en su estómago. Los pollos permanecen en el nido durante unas 4 semanas (27) hasta que su plumaje mesóptilo crece por completo y les proporciona el aislamiento adecuado.

Los pingüinos jóvenes mudan su plumaje de adulto tras 50 – 60 días y una vez finalizada la época reproductiva, los adultos acumulan reservas de grasas para hacer frente a la muda anual, que ocurre de Febrero – Marzo (17,20).

Los pingüinos viven alrededor de 20 años, sin embargo y a pesar del cuidado de sus progenitores, la mortalidad de los polluelos es muy alta en tierra, debido al frío, aplastamiento, falta de alimento, o al ataque de depredadores.

Por el contrario, los pingüinos adultos no están normalmente amenazados por depredadores en tierra, pero su mortalidad aumenta en el mar donde son atacados por las focas leopardos (*H. leptonyx*); o por las orcas (*O. orca*) (17).

En este estudio se trabajó únicamente con los pingüinos papúa y el pingüino antártico (figura 3) y la Skua parda debido a que es un ave

depredadora e inclusive carroñera (14) que anida en los alrededores de la Estación Pedro Vicente Maldonado.



**Figura 3.** Pingüinos objetos de estudio observados en la Isla Barrientos, Península Antártica: izquierda se puede observar el pingüino papúa (*Pygoscelis papua*) y a la derecha el pingüino barbijos (*P. antarctica*).

## 1.2 Contaminación en la Antártida

La antártica es considerada por la mayoría de las personas como el último lugar verdaderamente prístino del mundo, completamente aislado e inhóspito para el ser humano, libre de contaminación, pero en realidad no es así, y al igual que otras zonas distantes del planeta no escapa del impacto antropogénico ya que se han reportado la presencia de contaminantes como lo son los pesticidas

organoclorados y el dicloro-difenil-tricloro-etano(DDT) desde los años 60 (28,29) a pesar de que en este lugar jamás se los han aplicado.

Los contaminantes pueden ser transportados por largas distancias desde su fuente de origen por el movimiento de masas de aire y/o corrientes oceánicas (30) hasta alcanzar remotos lugares como la Antártica, que estaría actuando como una región de sumidero de dichos contaminantes (31).

El mercurio es el único metal líquido a temperatura ambiente y posee una presión de vapor relativamente alta, por lo que pasa fácilmente a la atmósfera, todo el mercurio proveniente de fuentes antropogénicas y/o de fuentes naturales que está presente en la atmósfera lo hace en su forma gaseosa ( $\text{Hg}^0$ ) con un tiempo de vida largo (32). El vapor de mercurio puede ser transportado a gran distancia de su punto de introducción lo que da lugar a ciclos globales de transporte (31, 30).

El mercurio ya depositado en los ecosistemas acuáticos o terrestres puede vaporizarse de nuevo pasando otra vez a la atmósfera, con esto el mercurio reúne las características de un contaminante persistente. En sedimentos anaeróbicos y ácidos, el mercurio

inorgánico puede convertirse en mercurio orgánico o metil mercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}$ ) por la acción de bacterias sulfurosas. El mercurio orgánico es altamente bioacumulable en redes tróficas marinas en donde puede alcanzar niveles tóxicos.

En las regiones polares los contaminantes se condensan y se sedimentan y/o precipitan luego debido a las bajas temperaturas y a largas temporadas de oscuridad se reduce y/o bloquea la evaporación de los contaminantes además que se disminuye sus tasas de degradación; y quedan atrapados en el hielo (33). Con la llegada del verano este hielo se derrite y los contaminantes son nuevamente liberados al ambiente incorporándose a las cadenas tróficas acumulándose en los tejidos de los organismos y potencialmente biomagnificables (34).

### **1.3 Aves como bioindicadores ambientales**

Las aves marinas son organismos situados en la cumbre de las cadenas alimenticias oceánicas, y son capaces de acumular contaminantes a ciertos niveles que permiten su puesta evidenciar su presencia mucho antes que si la medición se realizara directamente en muestras abióticas o en organismos inferiores (35).

Las aves marinas son de gran relevancia para el monitoreo ambiental debido: su relativa facilidad de identificación, a su amplia distribución y a su rol como componente fundamental de los ecosistemas acuáticos (36).

Las aves marinas han sido utilizadas con mucho éxito en el monitoreo de la contaminación del mar con mayor énfasis en estudios de vertidos de hidrocarburos y de estudio de metales pesados, (35,37).

Los niveles de concentración de los metales pesados en las aves marinas va a depender de muchos factores muy variados entre sí como por ejemplo: composición de la dieta (38), nivel trófico, la intensidad y extensión de la exposición a metales en las zonas de alimentación o aprovisionamiento, así como de distintos factores biológicos y fisiológicos (39).

En general los metales muestran una gran variación intra e inter específica (40), Algunos metales tienden a bioacumularse a lo largo del tiempo y pueden relacionarse directamente con efectos negativos en las poblaciones al causar efectos tanto letales como subletales al incrementarse sus concentraciones corporales (41,42).

Las plumas de aves son empleadas como indicadores de

contaminación por metales pesados como: mercurio, plomo, cromo, cobre, cadmio (35,36,37,38,39) ya que las aves secuestran estos metales, en especial mercurio, en los enlaces disulfuros presentes en las proteínas estructurales de las plumas que se convierten fácilmente en grupos sulfhidrilo, por los cuales los metales tiene una elevada afinidad (36, 43) durante la fase de formación de las mismas cuando están conectadas con el torrente sanguíneo a través de pequeños vasos capilares (36, 44).

Después de que la pluma está totalmente formada, se da la atrofia de los vasos sanguíneos y comienza la muda (45). Las aves son capaces de eliminar parte de la carga de metales pesados a través de su plumaje durante el periodo de muda (36,46). Una vez completado la muda, aumenta los niveles de algunos metales pesados en los tejidos internos hasta la muda siguiente, repitiéndose de esta manera el proceso (47).

Algunos investigadores han utilizado las plumas de aves como una forma no destructiva y no invasiva de monitorear la contaminación de metales pesados en aves marinas (48). El empleo de las plumas como medio de investigación de metales pesados (Mercurio, Plomo, Cromo, Cadmio, Cobre entre otros) en aves marinas presenta muchas ventajas:

- a) La concentración de metales pesados en las plumas presentan una correlación con la concentración de estos metales en tejidos internos (36, 45, 49, 50).
- b) La concentración de metales pesados en plumas no está relacionada con la edad de las aves (51).
- c) Las plumas son muy fáciles de coleccionar y preservar ya que estas prácticamente no necesitan refrigeración (52, 53), las plumas se pueden obtener de animales vivos siendo métodos idóneos no destructivos o invasivos particularmente para especies en declive.
- d) La muda del plumaje de las aves permite observar con certeza tendencias temporales de exposición a los metales pesados (53).
- e) La concentración de mercurio en aves está relacionada a sus presas más que a la concentración del mercurio en el sedimento o en el agua (38).

Las aves marinas son el grupo más numerosos de los vertebrados existentes en la Antártida. Los pingüinos han sido descritos como indicadores biológicos (54) potenciales para el estudio de la contaminación (55) no solo por sus características comunes a otras aves marinas (35; 45) sino también por tener un nicho ecológico estable, presentar poblaciones de distribución antártica y dominar en

términos de biomasa la región (43,56).

Los pingüinos son organismos capaces de reflejar fenómenos de biomagnificación de contaminantes persistentes, aunque la red trófica antártica es relativamente sencilla y se base principalmente en el Krill (11,57) la probabilidad de biomagnificación aumenta en los ecosistemas costeros por el alargamiento de dicha red trófica (1). La biomagnificación y concentración de contaminantes como: Mercurio (Hg), cadmio (Cd) y contaminantes orgánicos en las cadenas tróficas marinas son procesos bien conocidos que adquieren especial relevancia en la Antártica, donde la mayor parte de la biomasa está concentrada en el ambiente marino (1, 4,58).

La información disponible de niveles de contaminantes en tejidos de aves antárticas es escasa y fragmentada debido principalmente al difícil acceso de un volumen de muestras representativa, fundamentalmente por el tratados Antárticos como el SCAR (Scientific Committee for Antarctic Research) ya que dicho tratado recomienda que no se recolecte individuos vivos, además estándares éticos recomiendan el uso de métodos o técnicas no invasivas para el muestreo como alternativa al sacrificio de ejemplares.

Por lo tanto para esta tesis se utilizó técnicas no invasivas que permiten

monitorear la concentración de mercurio sin perturbar, capturar y mucho menos sacrificar a las aves objetos de estudio.

La hipótesis alterna de esta tesis es que existe la presencia de contaminación por mercurio en matrices ambientales tales como sedimento y plumas de aves marinas de la Península Antártica.

El objetivo general fue el de evaluar las condiciones ambientales y las concentraciones de mercurio en la red trófica de la península antártica para el año 2012.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

1. Determinar las condiciones físicas y químicas del agua superficial en los sitios de muestreo de la Punta Fort Williams – Isla Greenwich e isla Barrientos. (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto).
2. Análisis de parámetros de calidad del agua superficial en los sitios de muestreo de la Punta Fort Williams – Isla Greenwich e isla Barrientos (pH, Nitrito, Nitrato, Amoniaco, Fosfatos).
3. Determinar las características físicas (composición de arenas, limos y arcilla) junto con el porcentaje de materia orgánica del sedimento de la Isla Greenwich e Isla Barrientos.

4. Determinar la concentración de Mercurio en el sedimento recolectado
5. Determinar la concentración de mercurio en plumas de aves antárticas ejemplo: la Skua Parda (*Catharacta Lonnbergi*) y en pingüinos como el papúa (*Pygoscelis papua*) y pingüino antártico o barbijos (*P. antartica*).

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍA**

#### **2.1 Sitio de muestro**

La estación científica Pedro Vicente Maldonado está ubicada en la Punta Fort William de la Isla Greenwich en el archipiélago de las Islas Shetland del Sur que está separado del continente Sudamericano por el paso Drake y de la península Antártica por el estrecho de Bransfield. Este archipiélago está conformado por once islas mayores ubicadas en la zona más meridional de la región de la Antártida Marítima (59).

En el presente estudio se recolectaron muestras en dos Islas del

Archipiélago Shetland del Sur y en dos sectores de la Punta Fort William – Isla Greenwich (Ensenada Guayaquil, y Bahía Chile) y en la Isla Barrientos (ver figura 4).



**Figura 4.** Figura que ilustra el contexto geográfico del área de estudio y los sitios de muestreos localizados en la Isla Greenwich y en la Isla Barrientos en la Península Antártica.

## 2.2 Recolección de Muestras

Las muestras fueron recolectadas siguiendo los senderos de accesos establecidos por el INAE para la Punta Fort Williams. En la Isla Barrientos las muestras fueron tomadas a lo largo de la línea costera y en los sitios de anidación de pingüinos.

### 2.2.1 Muestras de Agua

Las características del agua superficial fue determinada midiendo *in situ* en cada estación de muestreo los siguientes parámetros de calidad de agua: temperatura (°C), salinidad (ups), potencial de hidrógeno (escala de pH), oxígeno disuelto (mg/L), porcentaje de saturación (%) y conductividad eléctrica (mS/cm), utilizando un equipo Multiparametro HQ 40d marca HACH.

Adicionalmente para análisis de calidad de agua se recolectó muestras de agua para ser analizadas en la estación Maldonado en botellas oscuras de 250 ml de polipropileno de alta densidad previamente lavadas con ácido nítrico HNO<sub>3</sub> al 10 %. Las muestras de agua para análisis de metales pesados fueron colectados en tubos de polipropileno de centrifuga de 50 ml pre esterilizados las muestras fueron acidificadas para ser analizadas posteriormente en otros proyectos en los laboratorios de la FIMCBOR.

### **2.2.2 Muestras de Sedimento**

Las muestras de sedimento fueron colectadas empleando una paleta de plástico introducida 2 a 3 cm de profundidad colocadas en fundas ziplock previamente rotuladas hasta su posterior análisis. Se recolectaron dos replicas por cada estación de muestreo, una para la clasificación de la textura física del sedimento (porcentaje de arenas, limos y arcillas) y análisis de materia orgánica; y la otra replica para análisis de mercurio.

Todas las muestras de agua y sedimento fueron transportadas en hieleras al Laboratorio de la Estación Maldonado para su análisis y su posterior envió al laboratorio de Ecotoxicología de la FIMCBOR (ESPOL).

### **2.3 Análisis en laboratorio**

Las muestras colectadas fueron analizadas para nitrógeno amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato y materia orgánica en el laboratorio de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado; y los análisis de caracterización de sedimento y mercurio en las diferentes matrices ambientales en el laboratorio de Ecotoxicología de la ESPOL.

## **2.3.1 Análisis en el Laboratorio de la Estación Pedro Vicente Maldonado.**

### **2.3.1.1 Metodología para el análisis de las muestra de agua**

#### **2.3.1.1.1 Nitrógeno Amoniacal (N - NH<sub>3</sub>)**

El contenido de Nitrógeno amoniacal en las muestras de agua se analizo utilizando el método 8155 (Hach) con la ayuda del Espectrofotómetro Hach Dr 5000.

Este método consiste brevemente en llenados cubetas cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca de 10 ml con agua de la muestra y la otra con agua desionizada a ambas cubetas se les agrega un sobre del reactivo salicilato de amoniacal, luego de 3 minutos se añade un sobre del reactivo de cianurato de amoniacal se tapan se agitan y se espera 15 minutos de reacción la cual se advertirá con color verde si existe la presencia de nitrógeno amoniacal.

Para obtener el valor del contenido de N - NH<sub>3</sub> ambas cubetas son medidas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 655 nm.

### **2.3.1.1.2 Nitrato ( $\text{NO}_3$ )**

Para este análisis se utilizó el método Hach8039 y el cual consiste en llenar la cubeta de medición con 10 ml muestra a la cual se añade el contenido de un sobre de reactivo de nitrato Nitriver 5, Se agita vigorosamente por 1 minuto y se deja reposar por un periodo de 5 minutos, en presencia de Nitrato aparecerá un color ámbar, en este caso el blanco a emplear es la misma muestra sin reactivo.

La medición del blanco y la muestra en mg/L de  $\text{NO}_3 - \text{N}$  se realiza utilizando el espectrofotómetro a 500nm de longitud de onda.

### **2.3.1.1.3 Nitrito ( $\text{NO}_2$ )**

Para este análisis se utilizó el método Hach8507 y el cual consiste en llenar la cubeta de medición con 10 ml de muestra. Se añade el reactivo nitrito Nitriver 3 a la cubeta, se agitar la cubeta con rotación para mezclarla en presencia de nitrito aparecerá un color rosa, la reacción dura un lapso de 20 minutos, para el blanco se utiliza agua de la muestra.

Al finalizar la reacción la medición en mg/L de  $\text{NO}_2 - \text{N}$ , se la realiza utilizando el espectrofotómetro (Hach) a una longitud de onda de 507 nm.

#### **2.3.1.1.4 Fosfato( $\text{PO}_4^3$ )**

Para este análisis se utilizó el método HACH 8048 el cual consiste en llenar una cubeta de medición con 10 ml de muestra. Se añade el reactivo Phosver 3, se tapa l y se agita vigorosamente durante 30 segundos comenzando un periodo de reacción de 2 minutos. Para el blanco se utilizó agua de la muestra.

Al finalizar la reacción la medición en  $\text{mg/L PO}_4^3$  se la realizo utilizando el espectrofotómetro (Hach) a una longitud de onda de 880nm.

#### **2.3.1.2 Determinación del porcentaje de Materia Orgánica**

La materia orgánica del suelo constituye la parte orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, así como sustancias producidas por los organismos del suelo (60).

Para obtener el contenido de materia orgánica se siguió el método de perdida por ignición utilizado por Nelson y Sommer (61) el cual consiste en pesar los crisoles previamente lavados y secados esto corresponde al peso 1 se le añade 10 gr de muestra y es llevado a la

estufa por 24 horas a 90°C. Una vez seca la muestra se pesa y este peso corresponde al peso 2.

Posteriormente la muestra se lleva a la mufla por 6 horas a 550°C. Se deja enfriar y se pesa, el resultado corresponde al peso 3

Los pesos obtenidos son utilizados en la siguiente fórmula para el correspondiente cálculo del Porcentaje de Materia Orgánica

#### **Fórmula.**

**Peso 1.** El peso del crisol solo

**Peso 2.** Crisol más la muestra seca pasadas las 24 horas en la mufla.

**Peso 3.** Dos horas después del segundo peso.

$$\% \text{ M. O.} = [(P2 - P3) / (P3 - P1)] * 100\%$$

El resultado obtenido es el porcentaje de Materia Orgánica y se la expresa como % de M.O

### **2.3.2 Análisis en el laboratorio de Ecotoxicología de la FIMCBOR**

#### **2.3.2.1 Análisis físico de la textura del sedimento**

Las muestras de sedimento fueron analizadas para la obtención del porcentaje de humedad y los porcentajes correspondientes a arenas (>63µm), limos y arcillas (<63µm) siguiendo el método

de la Pipeta modificado por Plumb 1981 (62), método simple y preciso, el cual consiste brevemente en pesar 20 gr de sedimento al cual se le añade 20 ml de un agente dispersante (Hexametafosfato de Sodio al 5%) y se deja actuar por 10 minutos.

La muestra se separa en sus componentes finos y gruesos por lavado. Para lo cual se coloca la muestra en un tamiz de 63 micras, y se lava con agua destilada el sobrenadante es colectado en una probeta de 1000 ml hasta separar totalmente las partículas finas (limos y arcillas) de los gruesos (arenas) retenidos en el tamiz, todo esto sin exceder los 1000 ml de agua.

El sobrenadante de la probeta se agita y a los 20 segundos se toma una primera alícuota de 20 ml de muestra a 10 cm de profundidad para la obtención del porcentaje de limos. Posteriormente según la temperatura de la muestra se obtiene el tiempo de espera para la remoción de otra alícuota de 20 ml a 20 cm de profundidad para la obtención del porcentaje de arcilla en la muestra.

Los sedimentos retenidos en el tamiz y las alícuotas son secados en la estufa a 90°C por 48 horas para la obtención de los pesos correspondientes y el subsiguiente calculo para la obtención de los porcentajes correspondientes a arenas limos y arcillas de cada una de las muestras de sedimento recolectadas.

### 2.3.2.2 Análisis de mercurio Total (THg)

Los análisis de mercurio fueron realizados con la ayuda del Analizador Directo de Mercurio DMA-80 (figura 5), este equipo analiza tanto muestras líquidas como sólidas sin necesidad de digestión y no produce residuos peligrosos. El DMA – 80 permite realizar análisis directos de niveles trazas de mercurio total en muchas matrices ambientales.



**Figura 5.** Analizador Directo de Mercurio (DMA – 80)

Muestras sólidas o líquidas son pesadas e introducidas al equipo. La muestra es inicialmente secada y sufre un proceso de descomposición térmica en un continuo flujo de oxígeno, y los productos de la combustión son llevados a un catalizador para la descomposición final donde se generan los vapores de mercurio, dichos vapores son atrapados en el amalgamador y luego se determina el contenido de mercurio usando una lámpara de espectrofotometría de absorción atómica a 254nm con un límite de detección de 0,005 ng de mercurio. Todos los valores de mercurio reportado en esta investigación están expresados como mercurio total, empleando de esta forma el método 7473 de la USEPA.

### **2.3.2.2 Mercurio en Sedimento**

Para el análisis de mercurio en sedimento se siguió el método utilizado por Calle (63). Este método se resume de la siguiente manera: de la muestra de sedimento descongelada se tomó una alícuota entre 30 a 50 gramos se colocó en vasos plásticos de 100 ml para dejarlos secar en la estufa a 70 °C por 48 horas.

Una vez seco el sedimento se pulverizó con la ayuda del mortero y del pestillo previamente lavados en baño ácido (ácido Clorhídrico al 15%), luego la muestra fue trasladada, a un recipiente plástico de 20 ml con tapa rosca previamente lavado en baño ácido, para su posterior análisis.

Una vez procesados las muestras de sedimento estas son homogenizadas y se mide el mercurio en alícuotas de 3 a 10 mg en 3 replicas por muestras. El método utilizado en el DMA 80 consistió en indicar la temperatura de inicio de operación (200°C), temperatura de combustión (650°C), temperatura del catalizador (615°C) y temperatura del amalgamador (900°C).

El control de calidad se realizó mediante el análisis de la concentración de mercurio del material estándar de referencia SRM (por sus siglas en inglés). El SRM utilizado fue 1646a Estuarine Sediment (NIST). Y además se emplearon los blancos de las muestras (ver tabla XV y XVI).

### **2.3.2.2 Mercurio en plumas de aves antárticas**

Previo a la medición del contenido de mercurio total en las plumas de aves estas fueron lavadas con la finalidad de eliminar la contaminación externa adherida a la pluma después de la muda siguiendo el método utilizado por Burguer y Gochfeld (64). Este método consiste brevemente en limpiar con agua y jabón las plumas, luego con la ayuda de una pizeta se las enjuaga con acetona y por último con abundante agua desionizada. Una vez lavada se secaron en la estufa a 60 °C durante 24 horas (65).

El contenido de mercurio total en las plumas de aves fue analizado en alícuotas de 5 – 12 mg. Este paso fue alcanzado empleando entre 2 a 3 plumas para los pingüinos y una sola pluma para las Skuas, utilizando el siguiente método en el DMA 80: temperatura de inicio de operación (200°C), temperatura de combustión (650°C), temperatura del catalizador (650°C) y temperatura del amalgamador (900°C).

El control de calidad se realizó mediante el análisis de la concentración de mercurio del material estándar de referencia SRM 1646a Estuarine Sediment (NIST). Además se emplearon los blancos de las muestras (ver Tabla XV y XVI).

#### **2.4 Factores de Biomagnificación (BMF)**

El Factor de Biomagnificación (BMF) está descrito como la relación o la tasa entre la concentración de mercurio (mg/kg) en un organismo (depredador) y la concentración de mercurio (mg/kg) en su dieta (presa). El BMF es una medida adimensional (66) y para el propósito de este estudio se lo obtiene dividiendo la concentración de mercurio total en las plumas de las Skuas para la concentración de mercurio total en las plumas de cada especie de pingüinos (papúa y barbijos).

#### **2.5 Factores de acumulación del sedimento al organismo (BSAF)**

El Factor de acumulación del sedimento al organismo (BSAF) está descrito como la relación o la tasa entre la concentración de mercurio (mg/kg) en un organismo y la concentración de mercurio (mg/kg) en el sedimento y es una medida adimensional (66). Se lo obtiene dividiendo la concentración de mercurio total en las plumas de las Skuas para la concentración de mercurio total detectado en sedimentos de la Isla

Greenwich y dividiendo la concentración de mercurio total en las plumas de los pingüinos (papúa y barbijos) para la concentración de mercurio total detectado en sedimentos de la Isla Barrientos.

## **2.6 Análisis de datos**

Los resultados obtenidos fueron analizados utilizando la estadística descriptiva y el análisis multivariado.

### **2.6.1 Análisis descriptivo**

De manera visual y simple, se obtuvieron promedios, desviaciones estándar, valores máximos y mínimos, tablas de datos, gráficos de barras.

### **2.6.2 Análisis multivariado**

La mayoría de los datos observados no tuvieron una distribución normal, por lo cual fueron analizados mediante pruebas no parámétricas. Sin embargo, cuando se observó distribución normal, pero con desigualdad entre variancias evaluadas con el test de Barlett (Barlett test,  $p < 0.05$ ) se utilizó un Welch Anova.

El programa Statistica v7 se utilizó para determinar diferencias significativas por sector y estaciones entre los grupos y entre especies de aves definidos a priori con un grado de confianza del 95% ( $\alpha=0.05$ ). Las pruebas no paramétricas empleadas fueron Mann Whitney U test y Kruskal Wallis T Test.

## **CAPÍTULO 3**

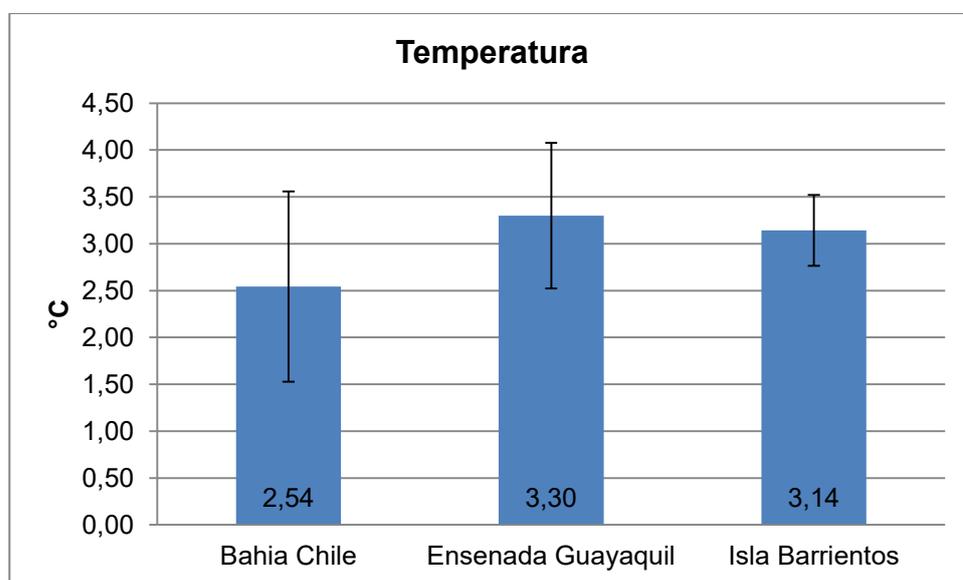
### **RESULTADOS**

#### **3.1 Parámetros físico-químicos del agua superficial en la Península Antártica.**

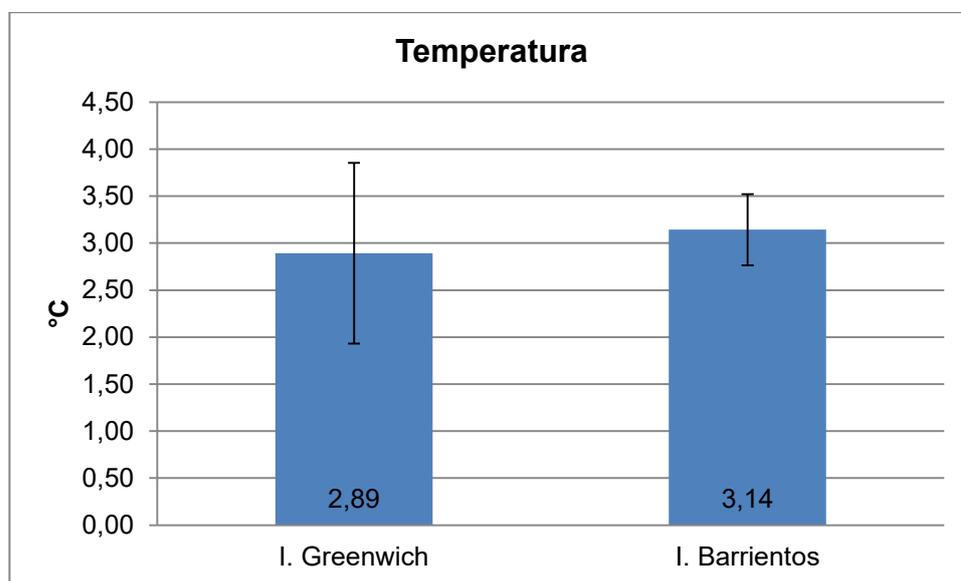
##### **3.1.1 Temperatura.**

Los valores promedio de temperatura encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil  $3,30^{\circ}\text{C} \pm 0,78$  (ver Tabla I); Bahía Chile  $2,54^{\circ}\text{C} \pm 1,02$  (ver Tabla V). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de temperatura fue:  $3,14^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  (ver Figura 6) (ver Tabla III).

Resultados globales de temperatura muestran que la Isla Greenwich presentó un promedio de  $2,89^{\circ}\text{C} \pm 0,96$ , y en la Isla Barrientos fue  $3,14^{\circ}\text{C} \pm 0,38$  (ver figura 7) no se evidenciaron diferencias significativa entre ambas islas.



**Figura 6.** Valores promedios de Temperatura por sectores, (Bahía Chile  $n=7$ , Ensenada Guayaquil  $n=6$  e Isla Barrientos  $n=7$ ) Las barras de error representan la desviación estándar.



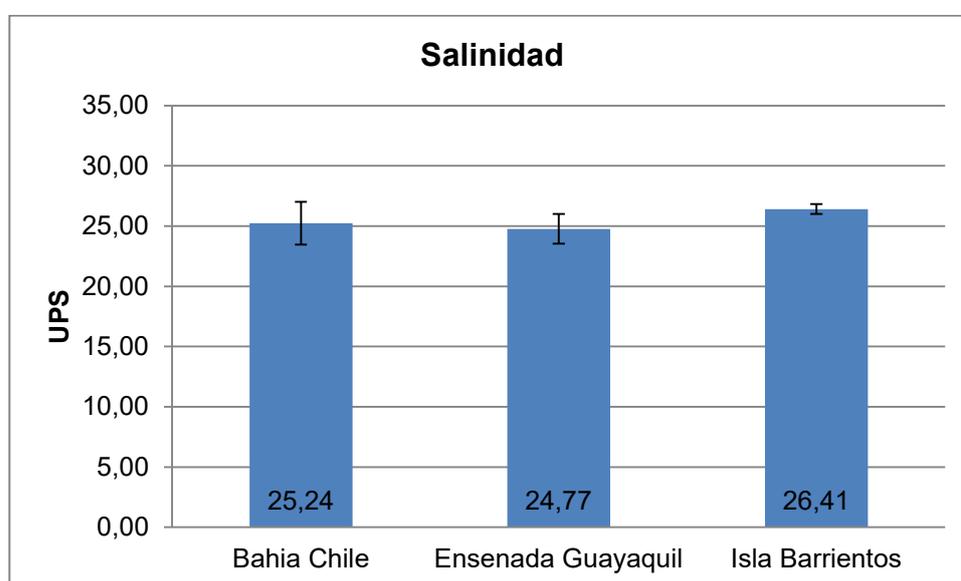
**Figura 7.** Valores promedio de Temperatura por Islas (Isla Greenwich n = 13 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica.

Las barras de error representan la desviación estándar.

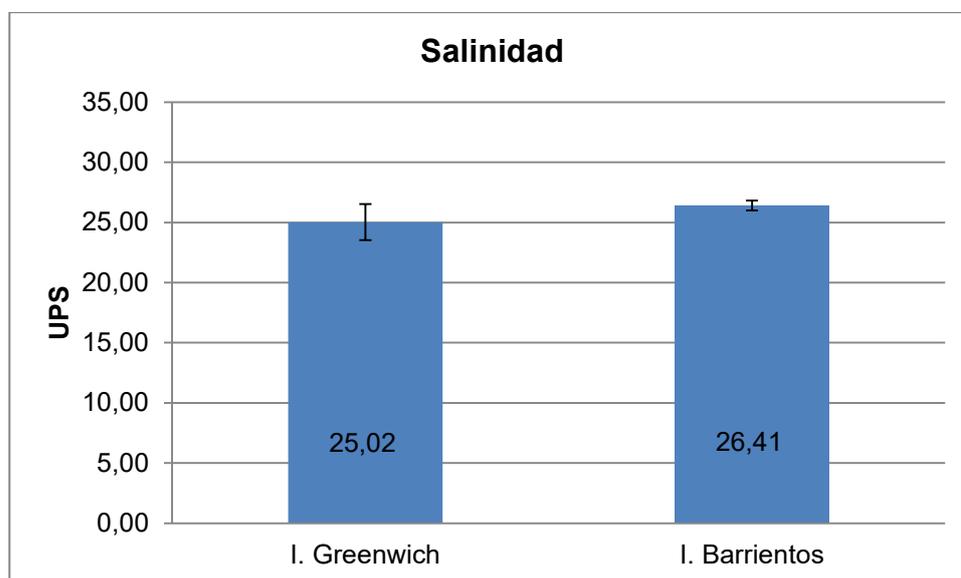
### 3.1.2. Salinidad

Los valores promedio de salinidad encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil  $24,77 \text{ ups} \pm 1,24$  (ver Tabla I); Bahía Chile  $25,24 \text{ ups} \pm 1,76$  (ver Tabla V). En las estaciones de la Isla Barrientos la salinidad promedio fue  $26,41 \text{ ups} \pm 0,42$  (Figura 8) (ver Tabla III).

Resultados globales de salinidad muestran a la Isla Greenwich con un promedio de  $25,02 \text{ ups} \pm 1,50$ ; mientras para la Isla Barrientos fue  $26,41 \text{ ups} \pm 0,42$  donde no se observa diferencia significativas (Ver Figura 9). Todos los valores reportados están por debajo de los 35 ups que es la salinidad promedio del mar.



**Figura 8.** Valores promedios de salinidad por sectores, (Bahía Chile  $n = 7$ , Ensenada Guayaquil  $n = 6$  e Isla Barrientos  $n = 7$ ) Las barras de error representan la desviación estándar.

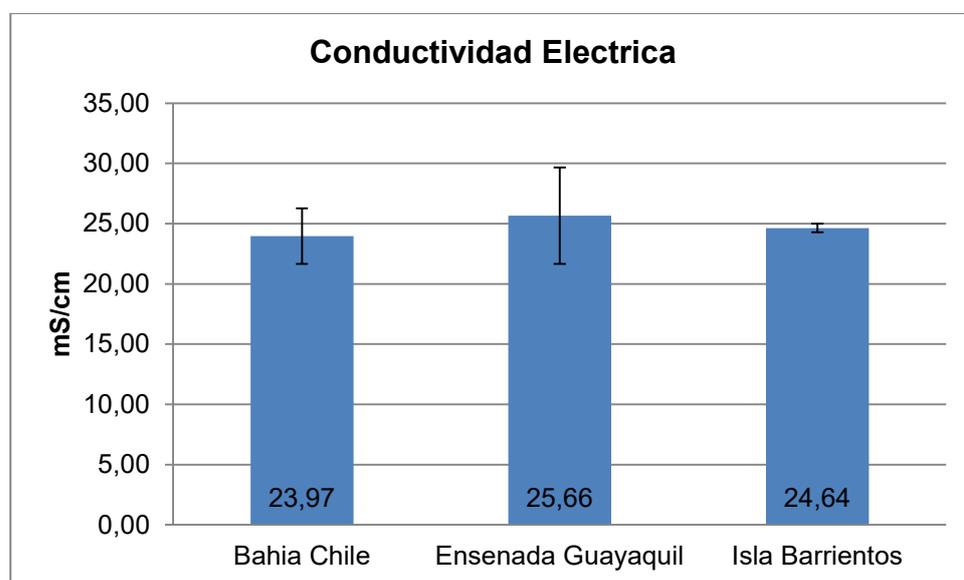


**Figura 9.** Valores promedios de Salinidad por Islas (Isla Greenwich n = 13 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

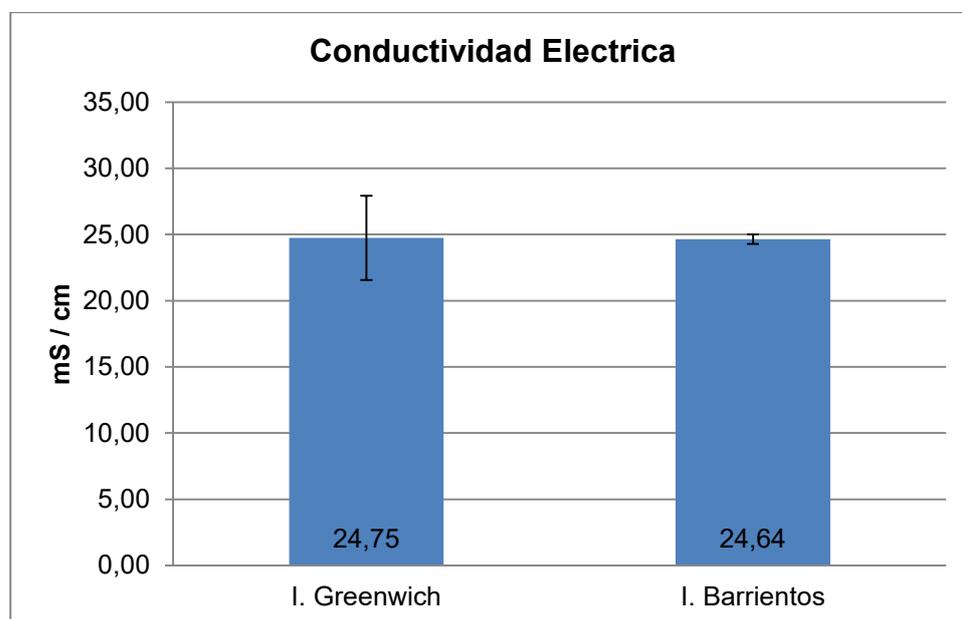
### 3.1.3. Conductividad Eléctrica.

Los valores promedio de conductividad eléctrica encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 25,66 mS/cm  $\pm$  4,00 (ver Tabla I); Bahía Chile 23,97mS/cm  $\pm$  2,31 (ver Tabla V). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de conductividad eléctrica fue: 24,64 mS/cm  $\pm$  0,36 (ver Figura 10) (ver Tabla III).

Los resultados globales de conductividad eléctrica demuestran en la Isla Greenwich un promedio de  $24,75\text{mS/cm} \pm 3,18$ , y la Isla Barrientos de  $24,64\text{ mS/cm} \pm 0,36$  (ver figura 11), donde no se evidenciaron diferencias significativas entre las islas.



**Figura 10.** Valores promedios de conductividad eléctrica por sectores, (Bahía Chile  $n=7$ , Ensenada Guayaquil  $n=6$  e Isla Barrientos  $n=7$ ) Las barras de error representan la desviación estándar.

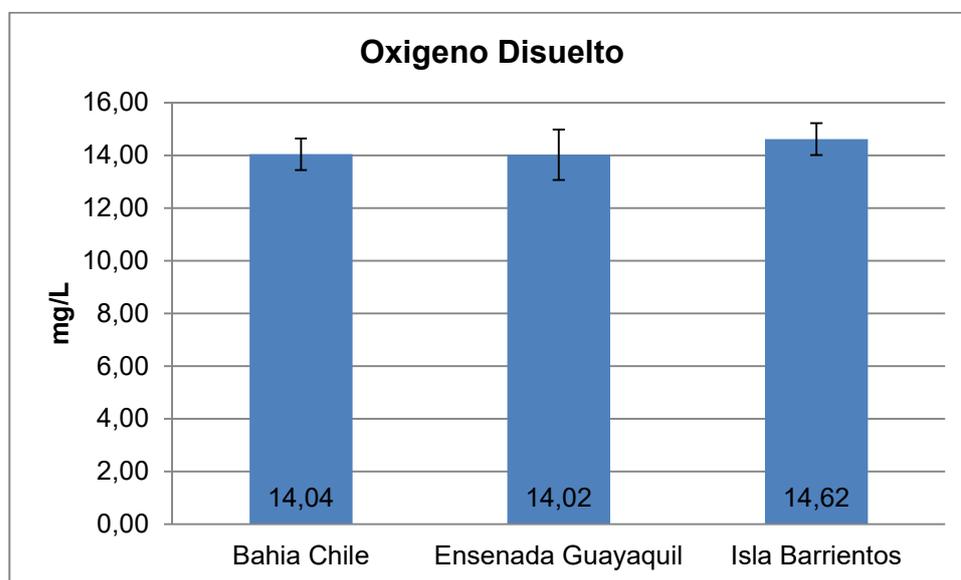


**Figura 11.** Valores promedios de conductividad eléctrica por Islas (Isla Greenwich n = 13 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

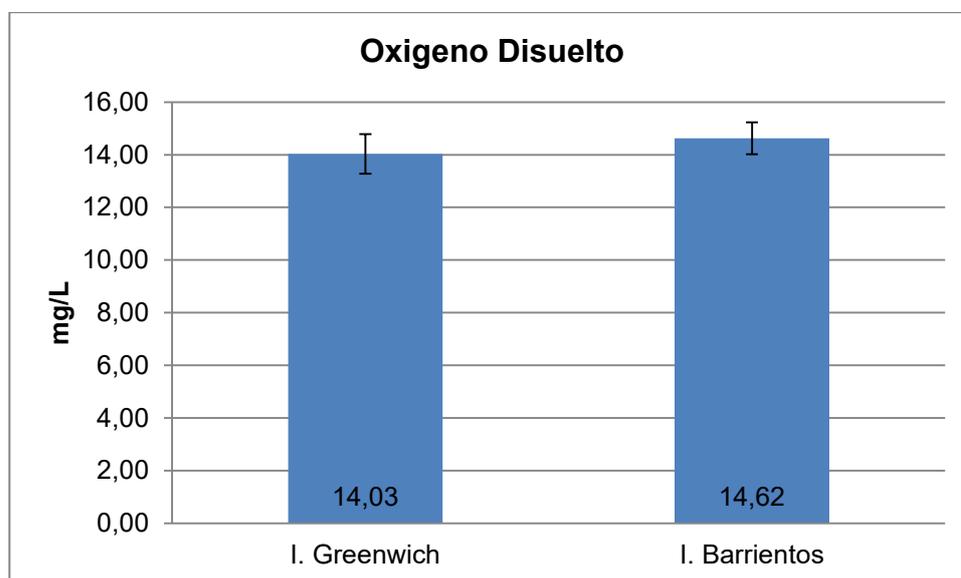
#### 3.1.4. Oxígeno Disuelto

Los valores promedio de oxígeno disuelto encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 14,02 mg/L  $\pm$  0,96 (ver Tabla I); Bahía Chile 14,04mg/L  $\pm$ 0,60 (ver Tabla V). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de oxígeno fue: 14,62mg/L  $\pm$  0,61 (ver Figura 12) (Ver Tabla III).

Los resultados globales de oxígeno disuelto muestran que durante los muestreos realizados en la tercera etapa de la XVI expedición a la Antártida la Isla Greenwich presentó un promedio de  $14,03\text{mg/L} \pm 0,75$ , y La Isla Barrientos fue  $14,62\text{mg/L} \pm 0,61$  (ver figura 13), no se evidenciaron diferencias significativas entre islas.



**Figura 12.** Valores promedios de oxígeno disuelto por sectores, (Bahía Chile  $n = 7$ , Ensenada Guayaquil  $n = 6$  e Isla Barrientos  $n = 7$ ). Las barras de error representan la desviación estándar.



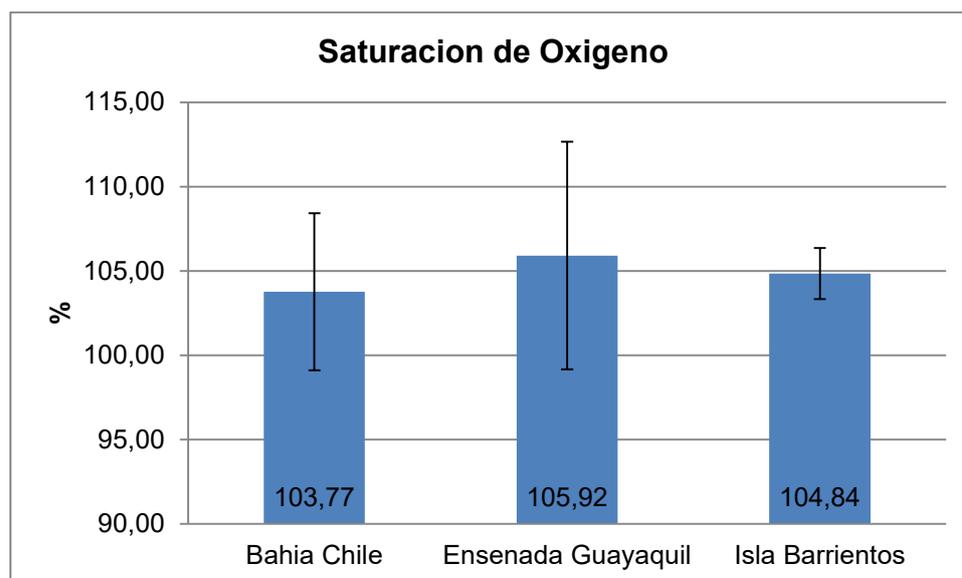
**Figura 13.** Valores promedios de oxígeno disuelto por Islas (Isla Greenwich n = 13 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

### 3.1.5. Saturación

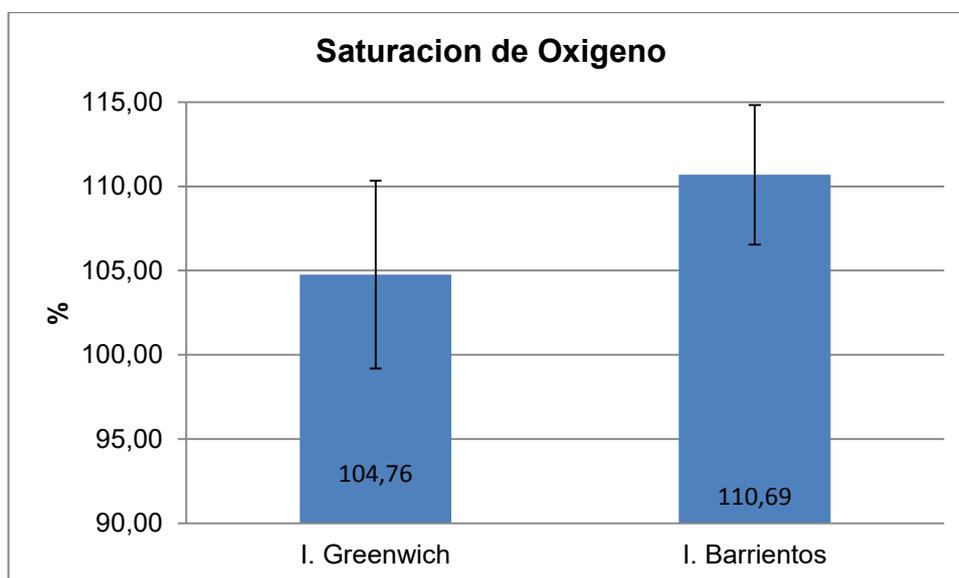
Los valores promedio de la saturación de oxígeno encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 105,92 %  $\pm$  6,74 (ver tabla I); Bahía Chile 103,77%  $\pm$  4,66 (ver Tabla V). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de temperatura fueron: 110,69%  $\pm$  4,14 (ver Figura 14) (ver Tabla III).

Los resultados globales de saturación de oxígeno disuelto muestran en la Isla Greenwich un promedio de 104,76%  $\pm$  5,71, y La Isla

Barrientos fue  $110,69\% \pm 4,14$  (ver figura 15). En todos los casos la muestra de agua se encontró sobresaturada de oxígeno.



**Figura 14.** Valores promedios de la saturación de oxígeno por sectores, (Bahía Chile  $n = 7$ , Ensenada Guayaquil  $n = 6$  e Isla Barrientos  $n = 7$ ). Las barras de error representan la desviación estándar.

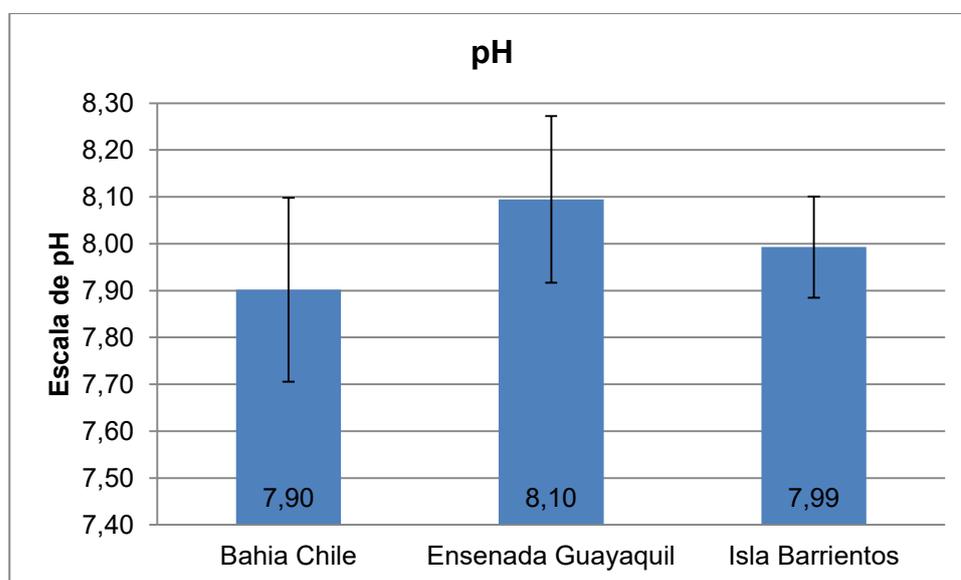


**Figura 15.** Valores promedios de saturación de oxígeno por Islas (Isla Greenwich n = 13 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

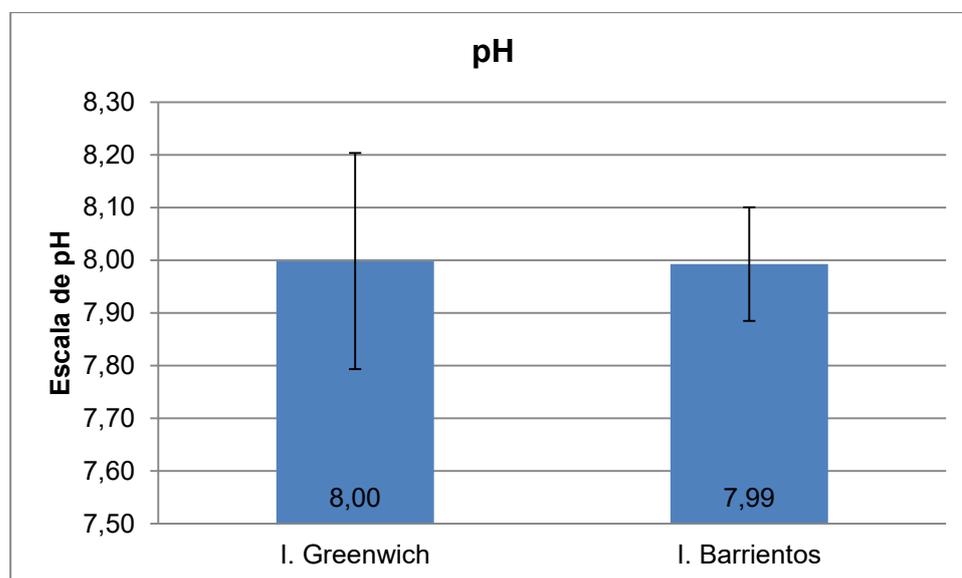
### 3.1.6. pH.

Los valores promedio de pH encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil  $8,10 \pm 0,18$  (ver tabla I); Bahía Chile  $7,90 \pm 0,20$  (ver tabla VI). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de pH fue:  $7,99 \pm 0,11$  (ver Figura 16) (ver tabla III).

Los resultados globales de pH muestran en la Isla Greenwich un promedio de  $8,00 \pm 0,21$ , y la Isla Barrientos de  $7,99 \pm 0,11$  (ver Figura 17), donde no se evidenciaron diferencias significativas entre las islas.



**Figura 16.** Valores promedios de pH por sectores, (Bahía Chile n =6, Ensenada Guayaquil n= 6 e Isla Barrientos n = 7). Las barras de error representan la desviación estándar.

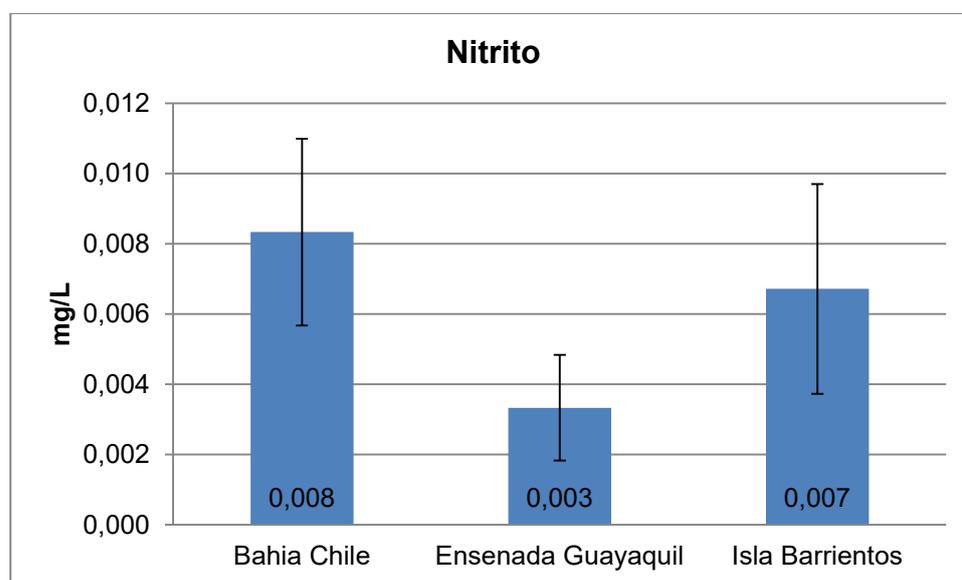


**Figura 17.** Valores promedios de pH por islas (Isla Greenwich n = 12 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

### 3.1.7. Nitrito

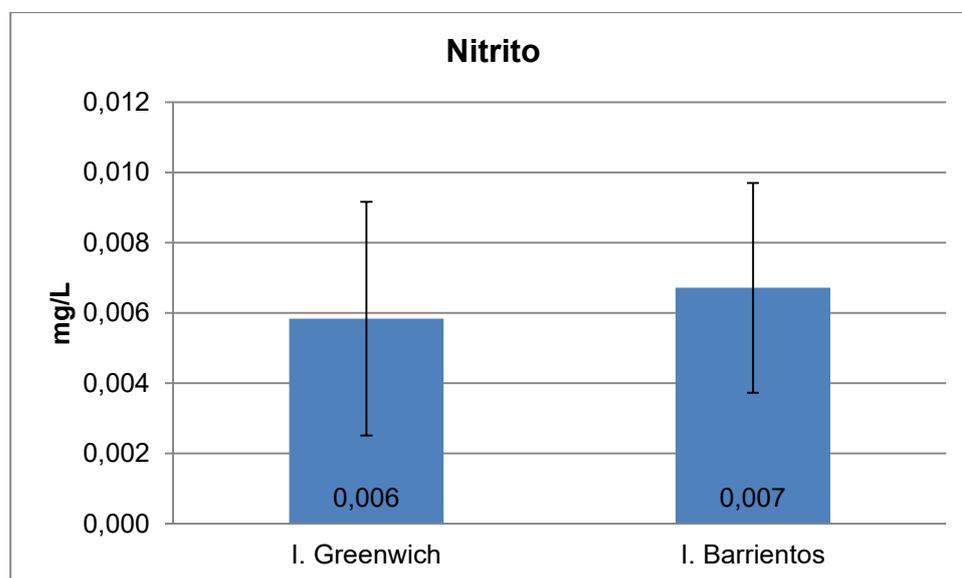
Los valores promedio de nitritos encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil  $0,003 \text{ mg/L} \pm 0,002$  (ver Tabla II); Bahía Chile  $0,008 \text{ mg/L} \pm 0,003$  (ver Tabla VI) En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de nitrito fue:  $0,007 \text{ mg/L} \pm 0,003$  (ver Figura 18) (ver Tabla IV).

Los análisis globales de nitrito muestran en la Isla Greenwich un promedio de 0,006mg/L  $\pm$  0,003, y la Isla Barrientos de 0,007mg/L  $\pm$  0,003 (ver figura 19) donde no se evidenciaron diferencias significativas entre islas.



**Figura 18.** Valores promedios de Nitrito por sectores de muestreo, (Bahía Chile n = 6, Ensenada Guayaquil n= 6 e Isla Barrientos n= 7).

Las barras de error representan la desviación estándar.

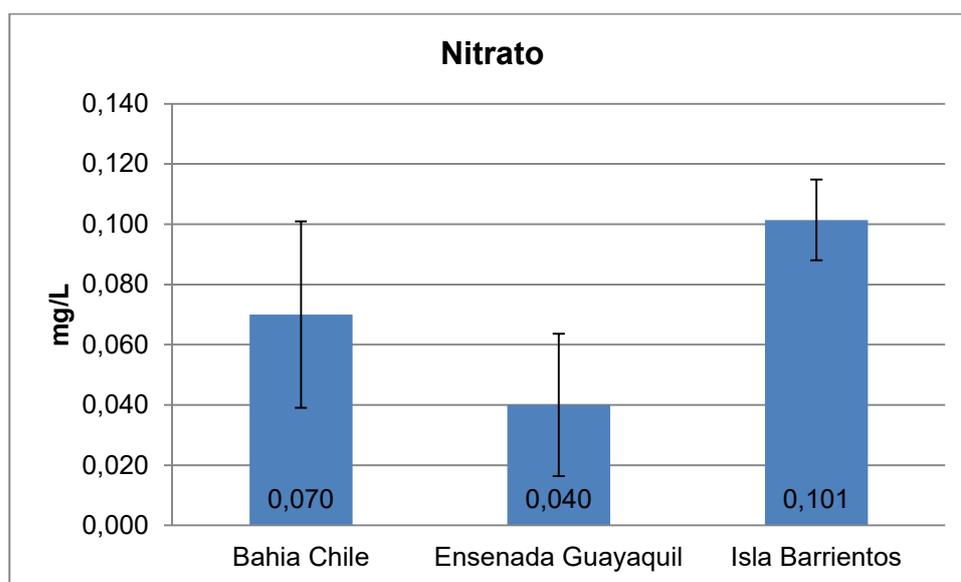


**Figura 19.** Valores promedio de Nitrito por islas (Isla Greenwich n = 12 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

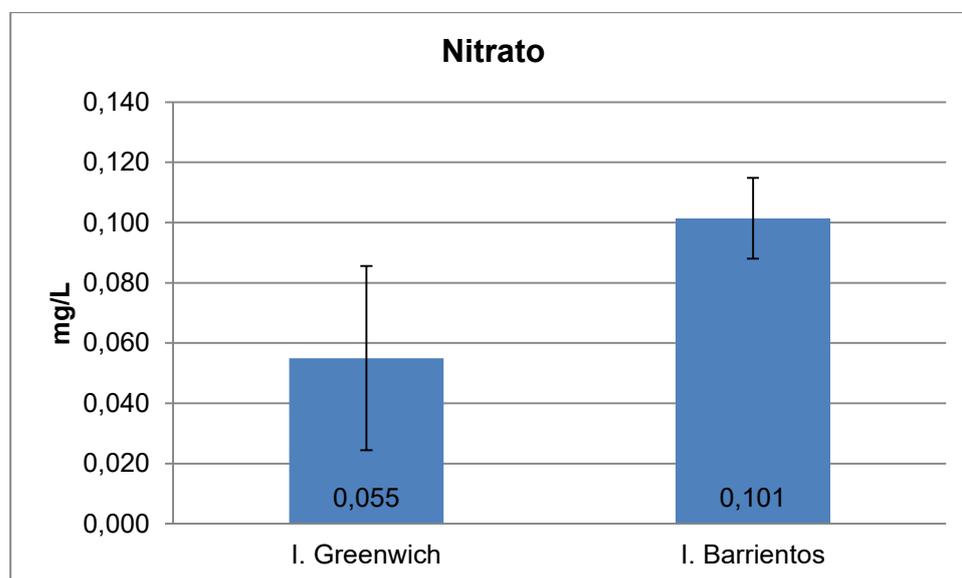
### 3.1.8 Nitrito

Los valores promedio de nitrato encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 0,040 mg/L  $\pm$  0,024 (ver Tabla II); Bahía Chile 0,070mg/L  $\pm$ 0,031 (ver tabla VI). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de nitrato fue: 0,101mg/L  $\pm$  0,013 (ver Figura 20) (ver tabla IV).

Los análisis globales de nitrato muestran en la Isla Greenwich un promedio de 0,055mg/L  $\pm$  0,031, y en la Isla Barrientos de 0,101mg/L  $\pm$  0,013 (ver figura 21).



**Figura 20.** Valores promedios de Nitrato por sectores de muestreo, (Bahía Chile n =6, Ensenada Guayaquil n= 6 e Isla Barrientos n= 7) Las barras de error representan la desviación estándar.

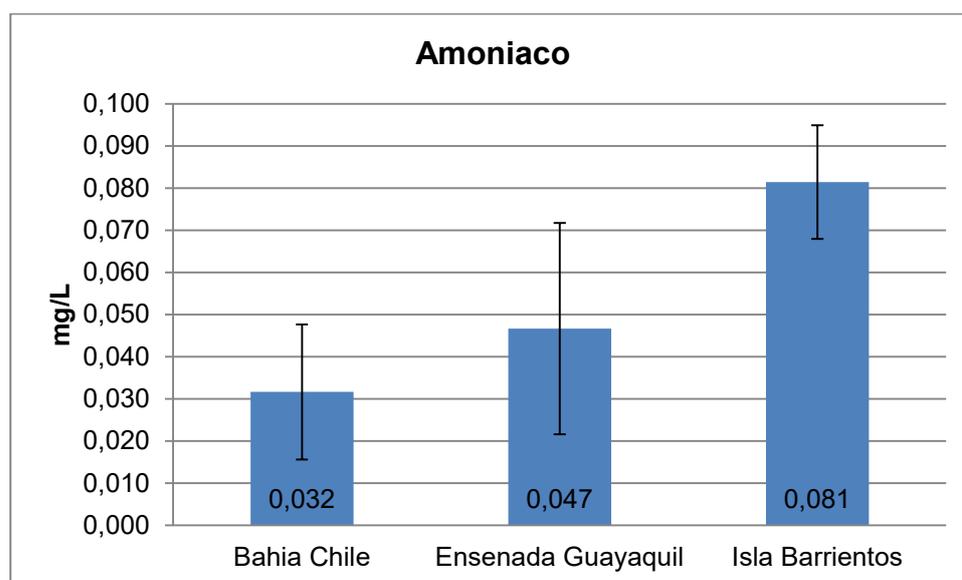


**Figura 21.** Valores promedios de Nitrato por islas (Isla Greenwich n = 12 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

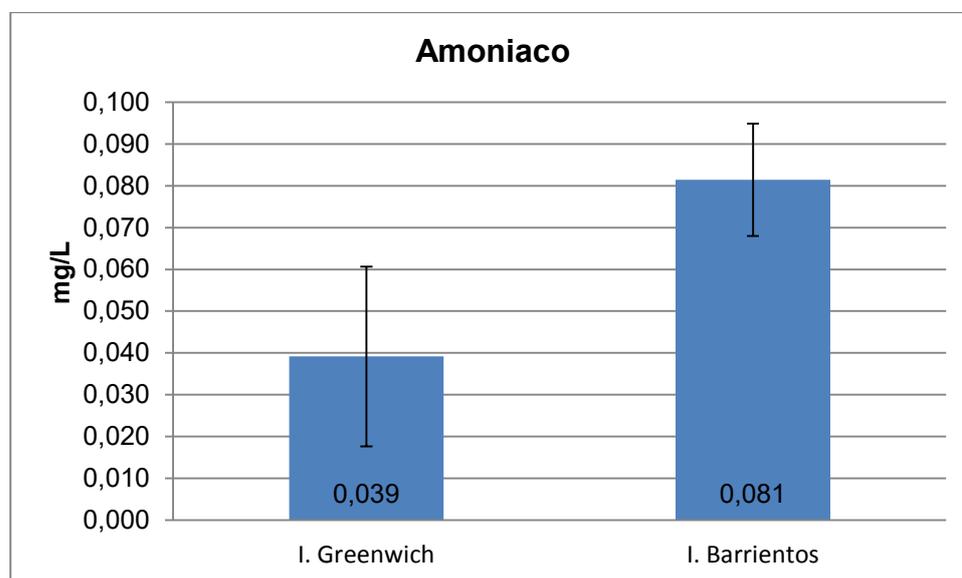
### 3.1.9 Amoniaco.

Los valores promedio de amoníaco encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 0,047 mg/L  $\pm$  0,025 (ver tabla II); Bahía Chile 0,032mg/L  $\pm$ 0,016 (ver tabla VI). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de amoníaco fue: 0,081 mg/L  $\pm$  0,013 (ver Figura 22)(ver tabla IV).

Los análisis globales de amoniaco muestran en la Isla Greenwich un promedio de 0,039mg/L  $\pm$  0,022, y en la Isla Barrientos de 0,081 mg/L  $\pm$  0,013 (ver Figura 23).



**Figura 22.** Valores promedios de Amoniaco por sectores de muestreo, (Bahía Chile n =6, Ensenada Guayaquil n= 6 e Isla Barrientos n= 7). Las barras de error representan la desviación estándar.

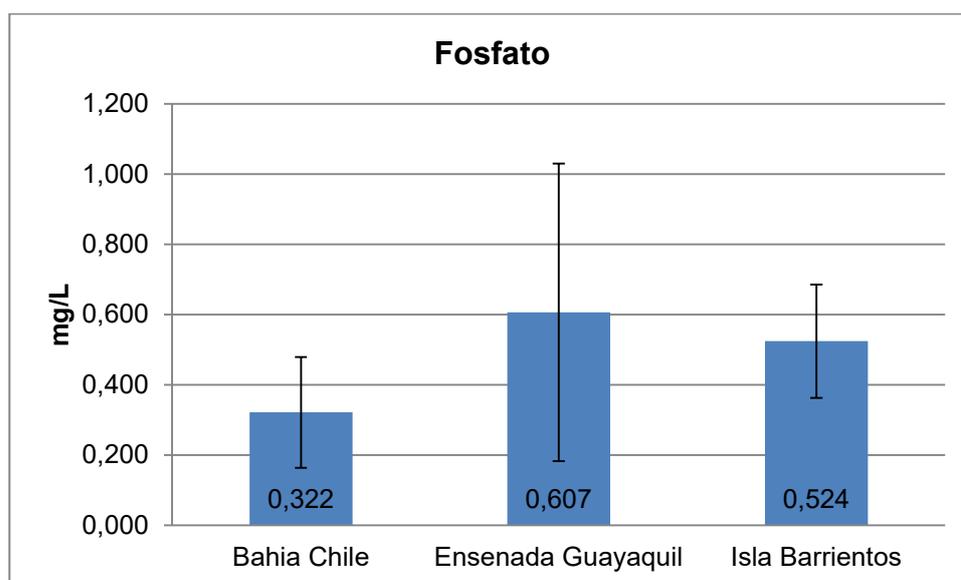


**Figura 23.** Valores promedio de Amoniaco por islas (Isla Greenwich n = 12 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

### 3.1.10 Fosfato

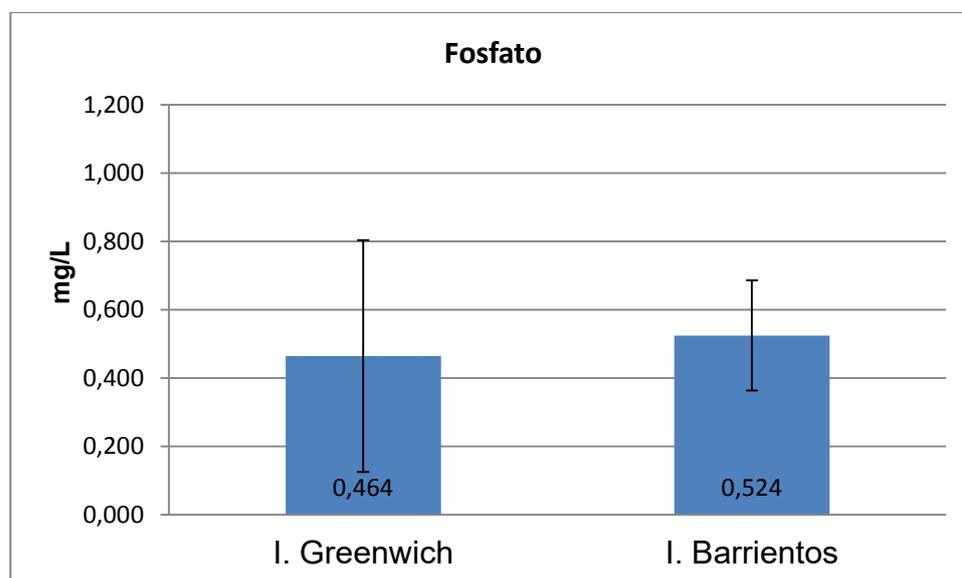
Los valores promedio de fosfato encontrados en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 0,047 mg/L  $\pm$  0,025 (ver tabla II); Bahía Chile 0,032mg/L  $\pm$ 0,016 (ver tabla VI). En las estaciones de la Isla Barrientos el promedio de amoniaco fue: 0,081 mg/L  $\pm$  0,013 (ver Figura 24) (ver tabla IV).

Los análisis globales de amoniaco muestra en la Isla Greenwich un promedio de  $0,039\text{mg/L} \pm 0,022$ , y en la Isla Barrientos de  $0,081\text{mg/L} \pm 0,013$  (ver Figura 25).



**Figura 24.** Valores promedios de fosfato por sectores de muestreo, (Bahía Chile n =6, Ensenada Guayaquil n= 7 e Isla Barrientos n= 7).

Las barras de error representan la desviación estándar.



**Figura 25.** Valores promedios de Fosfato por islas (Isla Greenwich n = 12 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

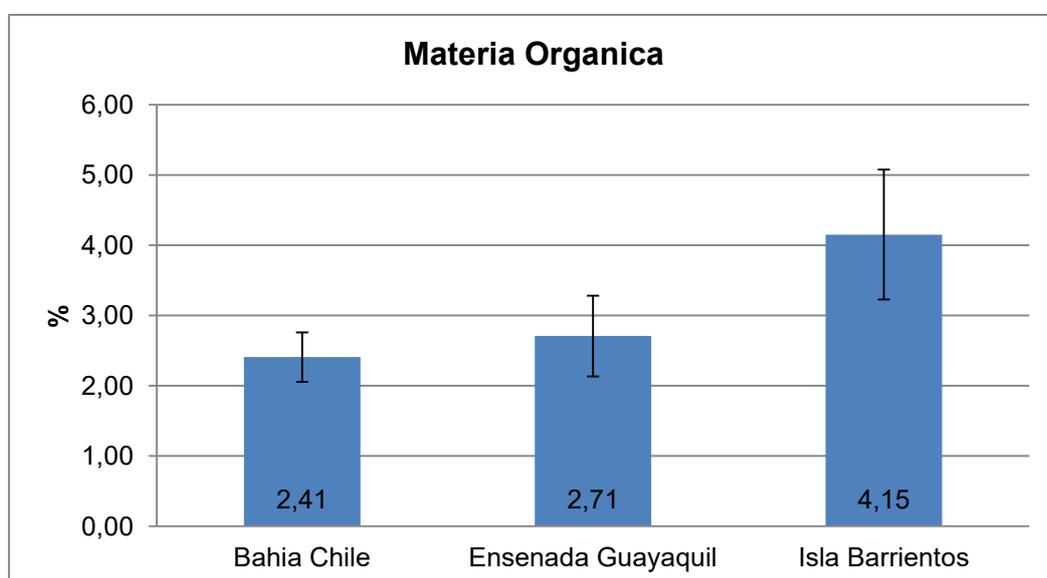
### 3.2 Análisis en Sedimento.

#### 3.2.1. Materia Orgánica

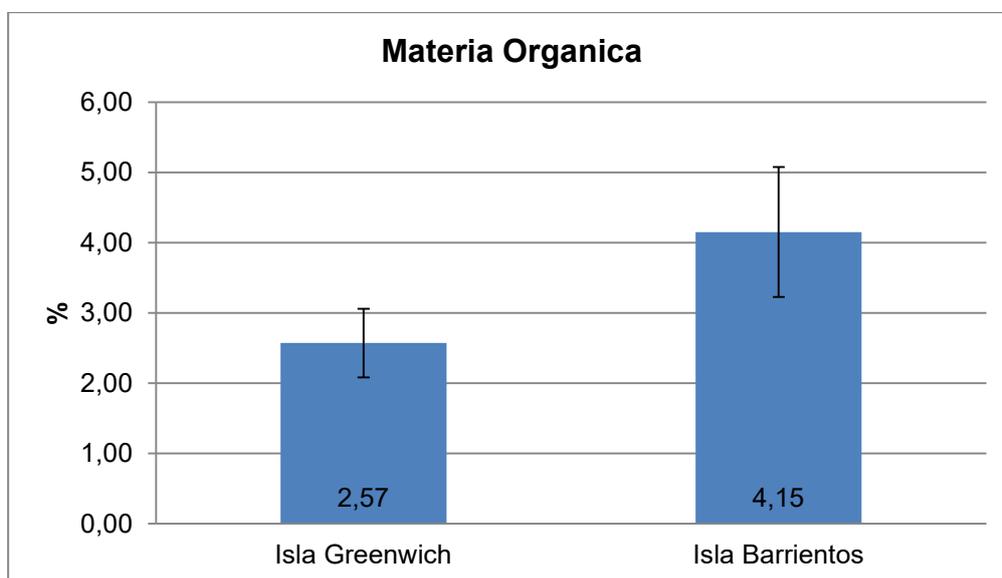
Los valores promedio del porcentaje de materia orgánica encontrado en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 2,71%  $\pm$  0,57 (ver tabla IX); Bahía Chile 2,41%  $\pm$  0,35 (ver tabla VII). En las estaciones de la Isla

Barrientos el porcentaje de materia orgánica fue de:  $4,15\% \pm 0,93$  (ver Figura 26) (ver Tabla VIII).

Los análisis globales de materia orgánica muestran en la Isla Greenwich presentó un promedio de  $2,57\% \pm 0,49$ , y en la Isla Barrientos fue  $4,15\% \pm 0,93$  (ver figura 27).



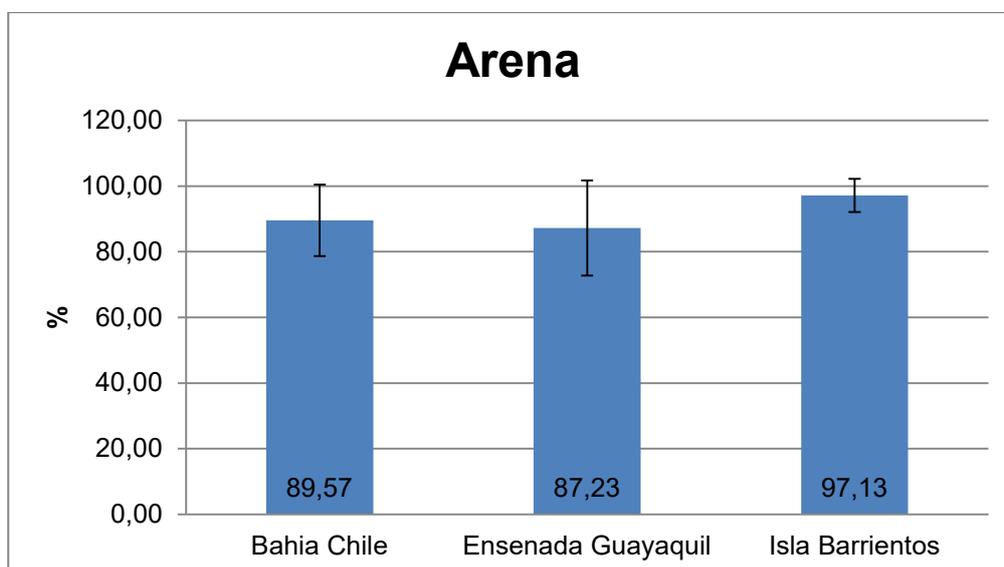
**Figura 26.** Valores promedios del porcentaje de materia orgánica por sectores, (Bahía Chile  $n = 5$ , Ensenada Guayaquil  $n= 6$  e Isla Barrientos  $n= 7$ ). Las barras de error representan la desviación estándar.



**Figura 27.** Valores del porcentaje de materia orgánica por islas (Isla Greenwich n = 11; Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

### 3.2.2. Caracterización de Sedimento.

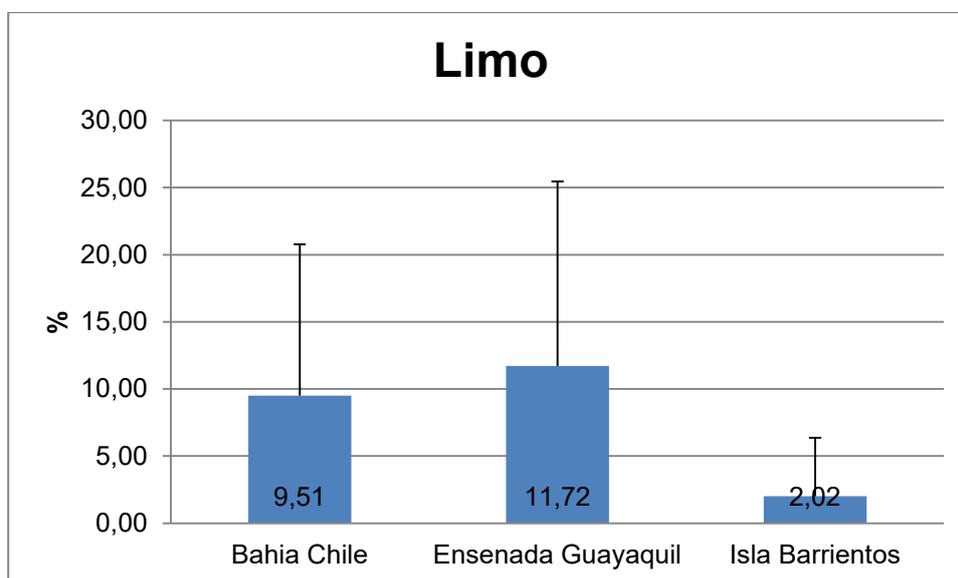
Los valores promedio del porcentaje de arena encontrado en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 87,23%  $\pm$  14,48 (ver tabla IX); Bahía Chile 89,57%  $\pm$  10,88 (ver Tabla VII). En las estaciones de la Isla Barrientos el porcentaje de arena fue de: 97,13%  $\pm$  5,07 (ver Figura 28) (ver Tabla VIII).



**Figura 28.** Valores promedios del porcentaje arena por sectores, (Bahía Chile n =5, Ensenada Guayaquil n= 6 e Isla Barrientos n= 7).

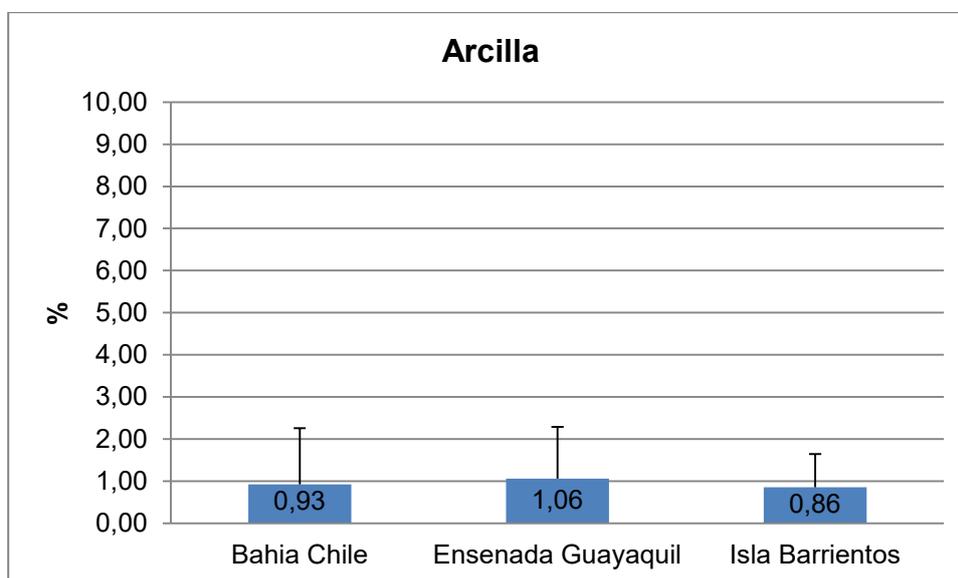
Las barras de error representan la desviación estándar.

Los valores promedio del porcentaje de limo encontrado en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 11,72 %  $\pm$  13,74 (ver tabla IX); Bahía Chile 9,51 %  $\pm$  11,27 (ver Tabla VII). En las estaciones de la Isla Barrientos el porcentaje de limo fue de: 2,02%  $\pm$  4,35 (ver Figura 29) (ver Tabla VIII).



**Figura29.** Valores promedios del porcentaje limo por sectores, (Bahía Chile n = 5, Ensenada Guayaquil n = 6 e Isla Barrientos n= 7) Las barras de error representan la desviación estándar.

Los valores promedio del porcentaje de arcilla encontrado en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 1,06 %  $\pm$  1,23 (ver Tabla IX); Bahía Chile 0,93 %  $\pm$  1,33 (ver Tabla VII). En las estaciones de la Isla Barrientos el porcentaje de arcilla fue de: 0,86%  $\pm$  0,79 (ver Figura 30) (ver Tabla VIII).



**Figura 30.** Valores promedios del porcentaje arcilla por sectores., (Bahía Chile n =5, Ensenada Guayaquil n= 6 e Isla Barrientos n= 7) Las barras de error representan la desviación estándar.

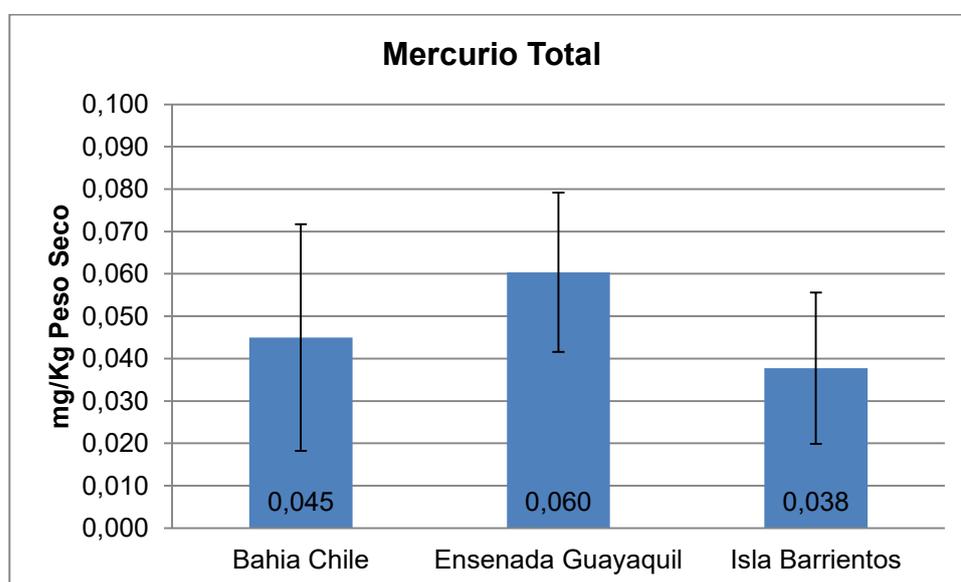
### 3.2.3 Mercurio en Diferentes Matrices Ambientales

#### 3.2.3.1 Mercurio en sedimento

Los valores promedio de la concentración de mercurio total encontrado en las estaciones de la Isla Greenwich fueron: Ensenada Guayaquil 0,060 mg/kg  $\pm$  0,019; Bahía Chile 0,045 mg/kg  $\pm$  0,027. En las estaciones de la Isla Barrientos fue de: 0,038mg/kg

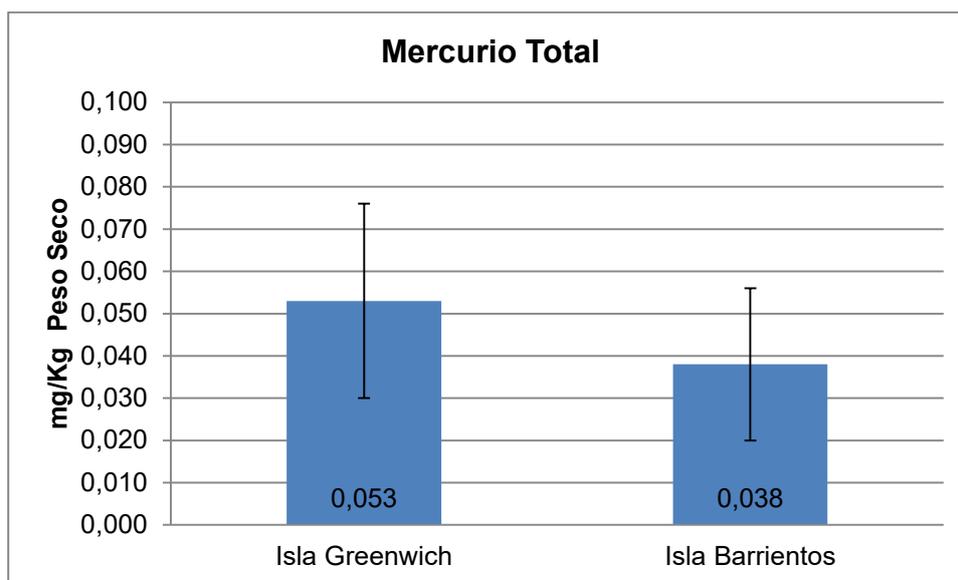
$\pm 0,018$  (ver Figura 31). No se evidenciaron diferencias significativas entre los sectores de muestreo.

Los análisis globales de la concentración total de mercurio muestran en la Isla Greenwich un promedio de  $0,053\text{mg/kg} \pm 0,023$ , y en la Isla Barrientos fue  $0,038\text{mg/kg} \pm 0,018$  no se observó diferencias significativas (ver figura 32). En ninguno de los casos los valores pasan el  $0,1\text{mg/kg}$  que es el límite máximo permisible para mercurio en suelo según el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) de la normativa ecuatoriana.



**Figura 31.** Valores promedios del contenido de Mercurio por sectores, (Bahía Chile n =5, Ensenada Guayaquil n= 6 e Isla

Barrientos n= 7). Las barras de error representan la desviación estándar.

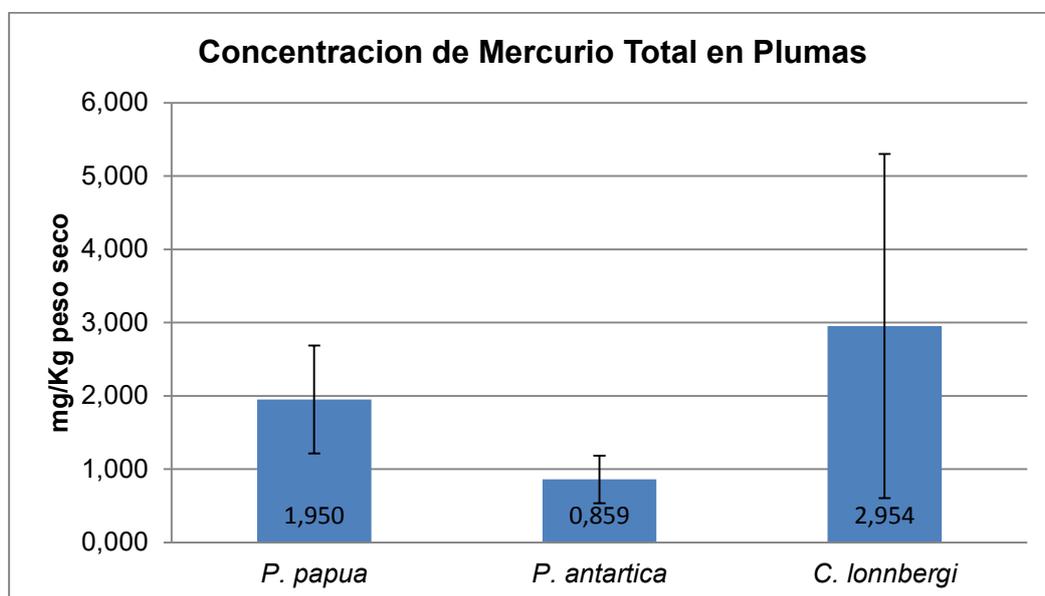


**Figura 32.** Valores del contenido de mercurio por islas (Isla Greenwich n = 11 Isla Barrientos = 7) en la Península Antártica. Las barras de error representan la desviación estándar.

### 3.2.3.2 Mercurio en Plumas de Aves.

Los valores promedio de la concentración de mercurio total encontrado en las plumas del pingüino papúa (*P. papua*) fue de 1,950mg/kg  $\pm$  0,735; en las plumas de pingüino barbijos (*P. antarctica*) fue de 0,859 mg/Kg  $\pm$  0,324 mientras para las plumas

de Skua (*C. lonnbergi*) fue de 2,954 mg/kg  $\pm$  2,349 (ver Figura 33). Se observaron diferencias significativas en la concentración de mercurio entre las aves marinas (Welch ANOVA  $p < 0.05$  (heteroscedasticidad, Barlett test  $p < 0.0001$ )). Donde no se evidenció diferencias significativas entre los pingüinos papua y las Skuas. La concentración de mercurio en las plumas del pingüino barbijo o antártico fue significativamente menor en relación a la concentraciones de mercurio total detectadas en las plumas del pingüino papúa y de la Skua (pruebas no paramétricas,  $Z = 3.802$ ,  $p = 0.0001$ ).



**Figura 33.** Valores del contenido de mercurio en las distintas especies de aves (*P. papua*,  $n = 30$ ; *P. antártica*,  $n = 22$ ; *C.*

*lonnbergi*, n =7) Las barras de error representan la desviación estándar.

### **3.3 Factores de Biomagnificación (BMF)**

Los valores calculados de los BMF entre la Skua (*C. lonnbergi*) que es el depredador versus los pingüinos: papúa (*P. papua*) y barbijos (*P. antártica*) que son sus presas fueron: para el pingüino papúa de 1,5 y para el pingüino barbijo 3,4.

Para ambos casos el BMF es mayor a uno (BMF >1) con lo que indica claramente biomagnificación de mercurio en la red trófica marina.

### **3.3 Factores de acumulación del sedimento al organismo (BSAF)**

El cálculo de los BSAF entre la Skua (*Catharacta lonnbergi*) versus el sedimento de la isla Greenwich es: 55,7 y el cálculo de los BSAF entre los pingüinos papúa y barbijos versus la concentración en el sedimento de la isla Barrientos son: 51,3 y 22,6 respectivamente.

## **CAPÍTULO 4**

### **DISCUSIÓN**

#### **4.1 Parámetros Físicos-Químicos**

##### **4.1.1 Temperatura**

Los valores de temperatura encontrados durante el verano austral del 2012 son valores típicos de aguas frías, es decir valores bajos de temperatura.

Para este estudio se reportó valores de temperatura entre (1,60 – 4,10) °C para la Bahía Chile, entre (2,50 – 4,50) °C para la Ensenada Guayaquil y entre (2,40 – 3,50) °C para la isla Barrientos.

Los valores reportados por otros autores para la Bahía Chile fueron Valencia: 1,30 °C; 2,40 °C (67); y Cornejo 2,15°C (68) para los años 1998, 1995 y 1990 respectivamente.

Los valores reportados por otros autores para la Ensenada Guayaquil fueron Torres: 1,89 °C (69); Chaux 1,20 °C (70); Valencia 1,61°C; 2,80°C (71) para los años 2004, 2001, 1998 y 1996 respectivamente. No hay datos reportados por otros autores para la Isla Barrientos.

#### **4.1.2 Salinidad**

Todos los valores de salinidad reportados para el agua superficial durante el verano austral del 2012 son menores que la salinidad media del mar (35 ups), esto se debe principalmente al deshielo propio de la época del verano.

Para este estudio se reportó valores de salinidad entre (21,37 – 26,50) ups para la Bahía Chile, entre (22,40 – 26,00) ups para la Ensenada Guayaquil y entre (25,90 – 26,90) ups para la isla Barrientos.

Los valores promedio reportados por otros autores para la Bahía Chile fueron Valencia: 33,31 ups; 26,00 ups (67); y Cornejo 34,90 ups (68) para los años 1998, 1995 y 1990 respectivamente.

Los valores reportados por otros autores para la Ensenada Guayaquil fueron: Torre 34,34 ups (64); Chaux 31,31 ups (70); Valencia 33,90 ups; 31,30 ups (71) para los años 2004, 2001, 1998 y 1996 respectivamente. No hay datos reportados por otros autores para la Isla Barrientos.

#### **4.1.3 Conductividad Eléctrica**

Todos los valores de conductividad eléctrica encontrados en el agua superficial durante los muestreos realizados en el verano austral del 2012 son menores a 56 mS/cm que es la conductividad eléctrica media del mar y esto es un reflejo a la baja salinidad encontrada en todos los puntos de muestreo.

Para este estudio se reportó valores de conductividad eléctrica entre (20,87- 28,60) mS/cm para la Bahía Chile, entre (21,53 – 30,80) mS/cm para la Ensenada Guayaquil y entre (24,20 – 25,30) mS/cm para la isla Barrientos. No hay datos reportados de este parámetro por otros autores en la península Antártica.

#### 4.1.4 Oxígeno Disuelto

Los valores de oxígeno disuelto reportados para el agua de mar superficial durante el verano austral del 2012 tanto para la Bahía Chile, la Ensenada Guayaquil y como para la Isla Barrientos fueron mayores a 12 mg/L con más del 100% de saturación que son valores altos en comparación con aguas tropicales pero normales por tratarse de aguas muy frías.

Valores altos de oxígeno disuelto también han sido reportados por otros autores para la Bahía Chile: Valencia 11,78 mg/L; 10,95 mg/L (71); para los años 1998 y 1995 respectivamente.

Valores altos de oxígeno disueltos también han sido reportados por otros autores para la Ensenada Guayaquil: Chaux 11,52 mg / L (70); Valencia 10,62 mg/L (e) y 10,94 mg/L (d) para los años 2001, 1998 y 1996 respectivamente. No hay datos reportados por otros autores para la Isla Barrientos.

#### 4.1.5 pH

Todos los valores de pH encontrados en el agua superficial durante los muestreos realizados en el verano austral del 2012 están entre los 7,73 a 8,25 en la escala de pH. Estos valores no están alejados

del valor medio de pH del agua superficial de mar que está entre 8,0 – 8,3 en la escala de pH.

Para este estudio se reporto valores de pH entre (7,73- 8,18) escala de pH para la Bahía Chile, entre (7,86 – 8,25) escala de pH para la Ensenada Guayaquil y entre (7,86 – 8,14) escala de pH para la isla Barrientos. No hay datos reportados de este parámetro por otros autores en la península Antártica.

#### **4.1.6 Nitrito**

Los valores de nitrito encontrados en el agua de mar superficial durante los muestreos realizados en el verano austral del 2012 son bajos y no representan ninguna afectación a la fauna del lugar.

Para este estudio se reporto valores de nitrito entre (0,005 – 0,012) mg/L para la Bahía Chile, entre (0,002 – 0,006) mg/L para la Ensenada Guayaquil y entre (0,003 – 0,011) mg/L para la isla Barrientos.

Los valores promedios reportados por otros autores para la Bahía Chile fueron Valencia: 0,015 mg / L; 0,017 mg / L (67); para los años 1998 y 1995 respectivamente.

Los valores promedios reportados por otros autores para la Ensenada Guayaquil fueron: Torres 0,001 mg / L (69); Valencia 0,007 mg/L (e) y 0,021 mg/L (71) para los años 2004, 1998 y 1996 respectivamente. No hay datos reportados por otros autores para la Isla Barrientos.

#### **4.1.7 Nitrato**

Los valores de nitrato encontrados en el agua de mar superficial durante los muestreos realizados en el verano austral 2012 son bajos y no representan ninguna afectación a la fauna del lugar.

Para este estudio se reportó valores de nitrato entre (0,02 – 0,11) mg/L para la Bahía Chile, entre (0,01 – 0,07) mg/L para la Ensenada Guayaquil y entre (0,08 – 0,12) mg/L para la isla Barrientos.

Los valores promedios reportados por otros autores para la Bahía Chile fueron: Valencia 1,426 mg / L; 1,763 mg / L (67); para los años 1998 y 1995 respectivamente.

Los valores promedios reportados por otros autores para la Ensenada Guayaquil fueron: Torres 0,027 mg / L (69); Valencia 1,128 mg/L y 1,667 mg/L (71) para los años 2004, 1998 y 1996

respectivamente. No hay datos reportados por otros autores para la Isla Barrientos.

#### **4.1.8 Amoniac**

Los valores de amoniac encontrados en el agua de mar superficial durante los muestreos realizados en el verano austral del 2012 son bajo y menores a 0,40 mg/L es decir que no existe perturbación por amoniac en ningún punto del muestreo y que no hay afectación para la flora y fauna según el TULSMA.

Para este estudio se reporto valores de nitrato entre (0,02 – 0,06) mg/L para la Bahía Chile, entre (0,02 – 0,08) mg/L para la Ensenada Guayaquil y entre (0,06 – 0,10) mg/L para la isla Barrientos. No hay datos reportados de este parámetro por otros autores en la península Antártica.

#### **4.1.9 Fosfato**

En todas las muestras de agua de mar superficial analizadas durante los muestreos realizados en el verano austral del 2012 se reportó la presencia de fosfato y esto se debe principalmente a la existencia de una gran cantidad de macroalgas en los alrededores de las islas.

Para este estudio se reportó valores de fosfato entre (0,14 – 0,59) mg/L para la Bahía Chile, entre (0,20 – 1,33) mg/L para la Ensenada Guayaquil y entre (0,28 – 0,69) mg/L para la isla Barrientos.

Los valores promedios reportados por otros autores para la Bahía Chile fueron: Valencia 0,216 mg / L; 0,318 mg / L (67); para los años 1998 y 1995 respectivamente.

Los valores promedios reportados por otros autores para la Ensenada Guayaquil fueron: Torres 0,020 mg / L (69); Valencia 0,132 mg/L y 0,324 mg/L (71) para los años 2004, 1998 y 1996 respectivamente. No hay datos reportados por otros autores para la Isla Barrientos.

## **4.2 Análisis de Mercurio.**

### **4.2.1 Mercurio en Sedimento**

El mercurio es un contaminante que puede venir de fuentes antropogénicas como de fuentes naturales y en su estado gaseoso puede permanecer mucho tiempo en la atmosfera y puede depositarse tanto en ecosistemas terrestres como en ecosistemas acuáticos. Una vez presente en estos ecosistemas este metal puede

volver a pasar a la atmosfera asumiendo características de un contaminante global similares a las de un contaminante orgánico persistente (COPs) que puede ser transportado tanto atmosféricamente como por las corrientes oceánicas alrededor del mundo, ya que los océanos juegan un papel importante en el ciclo global del mercurio (72, 73) incluyendo zonas desoladas y regiones remotas como las regiones polares y sub polares (74).

El uso de suelo es diferente para cada sitio de muestreo, mientras la Isla Barrientos, es un lugar de anidación de pingüinos y punto de descanso de algunos mamíferos marinos no existe ningún asentamiento humano en toda la isla, solo es visitada por los turistas en la época del verano.

En la punta Fort William de la Isla Greenwich se encuentra la estación no permanente ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, la misma que solo está en operación durante el verano y es utilizada para realizar diversas investigaciones científicas.

A pesar de ser considerada la Antártica como un lugar prístino y libre de la intervención humana no está exento del impacto de la contaminación global. En el presente estudio se detectó concentraciones de mercurio en el sedimento en todos los puntos de

muestreo donde las concentraciones oscilaron con rangos entre 0,015 – 0,078 mg/kg peso seco en Bahía Chile; 0,031 – 0,082 mg/Kg peso seco en Ensenada Guayaquil; 0,021 – 0,073 mg/Kg peso seco para la Isla Barrientos.

Adicionalmente no se encontró diferencias significativas entre las dos islas. Estos resultados indican que no existe una fuente de contaminación local por mercurio debido a la presencia de las estaciones científicas en estas islas sino mas bien la presencia de mercurio en todas las muestras de sedimento se debe a una contaminación de tipo global por la capacidad del mercurio de viajar largas distancias a través de la atmosfera (74,75). Por lo tanto es probable el mercurio emitido en otras regiones del planeta estaría siendo depositado en esta remota región.

#### **4.2.2 Mercurio en Aves Marinas**

Para este estudio se reportó valores de mercurio en las plumas de aves antárticas para el pingüino papúa de 1,95 mg/kg  $\pm$  0,73; para el pingüino barbijos de 0,85 mg/kg  $\pm$  0,32 y para la Skua de 2,95 mg/kg  $\pm$  2,35. Se observaron diferencias significativas entre las aves marinas (WelchANOVA  $p < 0.05$  (heterosedasticidad, Barlett test  $p < 0.0001$ ) (ver Tabla XIV).

Algunos autores han reportado que más del 95 % (76,77) del mercurio que está en las plumas de aves es orgánico; es decir metil mercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}$ ) que tiene una característica de ser liposoluble y ligarse a las proteínas por eso se asocia con gran facilidad a los enlaces disulfuros de la queratina de las plumas (47). Sin embargo otros autores consideran que prácticamente el 100 % del mercurio en plumas es orgánico (37,78).

La mayoría de los valores de mercurio de las plumas de aves marinas antárticas encontrados en este estudio son relativamente bajos comparados con la concentración establecidas por varios autores como concentraciones perjudiciales o que generan efectos adversos en plumas de aves (79, 80) que es 5 mg/kg de mercurio total en peso seco, a excepción de un pluma de Skua que se reportó el valor de 7,71 mg/kg, este valor se puede deber a que la Skua es una especie de ave carroñera que se encuentra en el tope de la red trófica marina.

Las concentraciones de mercurio total en las Skuas reportados en este estudio son menores que las reportadas ( $6,34 \pm 2,60$  mg / kg de peso seco) en la especie gran Skua (*Catharacta skua*) de la bahía Terra Nova, de la Antártida continental por Stewart et al (81). Los valores de esta tesis son similares a las concentraciones reportadas ( $2,91 \pm 1,93$

mg / kg de peso seco) para la Skua antártica (*Catharacta maccormicki*) de las Islas Shetland del sur (58) (Ver tabla XIV).

Como resultado de este estudio se reporta mayores concentraciones de mercurio total en las plumas de pingüino papúa (pruebas no paramétricas,  $Z = 3.802$ ,  $p = 0.0001$ ) que en las del pingüino barbijos. Valores similares  $2,45 \pm 0,67$  mg/Kg peso seco en plumas fueron reportados para el pingüino papúa por Carravieri et al (55) y  $0,48 \pm 0,20$  mg/kg peso seco en hígado fueron reportados para el pingüino barbijos por Norheim et al (82 83) (ver tabla XVII).

La diferencia en las concentraciones de mercurio entre las especies de pingüinos se debe principalmente a su dieta. Ambos pingüinos pigoscelidos se alimentan casi exclusivamente de eufasidos antárticos, (ie *Euphausia superba*); pero el porcentaje del mismo varía en cada una de las especies por ejemplo: La dieta del pingüino barbijo o antártico consiste en un 100 % de eufasidos debido a que ellos consumen 99,8% de *Euphausia superba* y 0,2% de *Euphausia. Crystallorophias* (84,85).

En cambio la dieta del pingüino papúa está compuesta de lo siguiente: deeufasidos, que representa cerca del 84% de su dieta específicamente el kril *E. superba* (84). En peces que representa el

14% de su dieta principalmente peces costeros juveniles de las familias Notothenidae y Myctophidae. (86) tales como el *Pleurogramma antarcticum* o conocido también como el diablillo antártico (84) que es un pez pelágico que en su estadio juvenil es considerado mesopelágico; y de otros crustáceos que representa cerca del 1% de su dieta y ocasionalmente calamares menos del 1% (22).

Esto podría explicar la mayor concentración de mercurio en el pingüino papúa que en el pingüino barbijos. Así mismo, Monteiro (87) reporto mayor concentración de mercurio en especies en la que su dieta contiene individuos mesopelágicos. Además Heinze (88) y Wolfe et al (89) en sus estudios concluyeron que el consumo de pescado es una importante vía de exposición al metilmercurio para la vida silvestre en al tope de las cadenas alimenticias marinas.

Adicionalmente, Metcheva et al (43) en sus estudios reporto mayores concentraciones de diferentes elementos (Potasio, Calcio, Fosforo, Azufre, Zinc, Cobre, Manganeso, Selenio, Níquel, Aluminio, Cadmio, Plomo, Arsénico) en las plumas del pingüino papúa que las concentraciones en las plumas del barbijos (Isla Livingston – Shetland del Sur), atribuidos principalmente a su dieta y hábitos alimenticios.

### 4.3 BMF

Los factores de biomagnificación reportados en este estudio tanto para el pingüino papúa vs Skua (BMF = 1,5); y para barbijos vs Skua (BMF= 3,4) son mayores a 1 lo cual indica que existe transferencia del mercurio de la presa al depredador. EL Skua es un ave carroñera situada al tope de la cadena alimenticia por lo que potencialmente puede biomagnificar contaminantes.

### 4.4 BASF

El cálculo del BASF (por sus siglas en Ingles) indica que la Bioacumulación de mercurio en las plumas del pingüino papúa es 51,3 veces mayor a la concentración del sedimento en la Isla Barrientos. Así mismo la Bioacumulación de mercurio en las plumas del pingüino antártica es 22,6 veces mayor a la concentración del sedimento de la misma isla.

Para el caso de las Skua su bioacumulación de mercurio es 55,7 veces mayor que la concentración del sedimento en la Isla Greenwich por lo tanto esto demuestra que las plumas aves marinas pueden acumular los contaminantes y mostrarlos en mayor magnitud que en

matrices ambientales. Y Pueden reflejar eventos de bioacumulación y/o biomagnificación de contaminantes persistentes. (45,46).

Los factores de biomagnificación que se obtuvieron en la presente tesis indican que el mercurio se ha transferido desde la presa al depredador (es decir, a partir del pingüino papúa y/o del pingüino barbijo a las Skuas) ya que para ambos casos el BMF es mayor a 1.

## **CONCLUSIONES**

1. Las características que poseen las aguas superficiales de la Punta Fort William – Isla Greenwich y de la Isla Barrientos son típicas de aguas polares, es decir aguas frías, ricas en oxígeno con sobresaturación del mismo.
2. Los valores bajos de salinidad y conductividad eléctrica con respecto a la valores promedios del mar en todos los puntos se debe principalmente al deshielo del Glaciar Quito y de las islas aledañas de la zona por la estación del año.

3. Se encontraron niveles bajos de amoníaco, nitrito, nitratos, se presentaron concentraciones altas de fosfato debido a la gran presencia de macroalgas alrededor de la línea costeras en ambas islas.
  
4. Debido a que se detectó mercurio en todas las muestras de sedimento podemos decir que existe la presencia de mercurio en zonas tan remotas e inhabitadas como lo es la Península Antártica aunque todos los valores nunca sobrepasaron la norma ambiental ecuatoriana (TULSMA) para suelos.
  
5. No existe una fuente puntual o local de contaminación en la península Antártica para mercurio; se determinó que la presencia de este metal es resultado principalmente del mercurio depositado que llega a esta zona por transporte de masa de aire o por las corrientes oceánicas y no por la presencia de estaciones científicas y de bases militares en el archipiélago Stheland del Sur.

6. Las plumas demostraron ser una excelente matriz ambiental para poder determinar la bioacumulación de mercurio en aves marinas antárticas, demostrando con son un método eficaz y no invasivo para las aves, ya que en ningún momento se sacrificaron individuos y nunca hubo contacto directo con ellos.
  
7. Determinar la bioacumulación de mercurio en las plumas de las aves además ofrece otra ventaja adicional que nos permite determinar la acumulación de mercurio total e indirectamente mercurio orgánico en las aves en escala temporal, es decir para el caso de las Skua fue anual y para los pingüinos fue solamente de la época del verano debido a que se recolectaron las plumas de los pingüinos que nacieron en la última puesta.
  
8. Se evidenció diferencias significativas entre las dos especies de pingüinos, fue menor la bioacumulación de mercurio en la plumas del pingüino antártico que en las del pingüino papúa, eso podría ser resultado de que ambos tiene diferentes presas objetivos en su dieta y a su nivel trófico.

9. No se evidencio diferencias significativas en la bioacumulación de mercurio en las plumas del pingüino papúa con las de la Skua pero si la hubo entre el pingüino barbijos y la Skua con concentraciones menores de mercurio en el pingüino barbijos.

10. Los factores de biomagnificación (BMF) fueron para ambos casos mayor a 1 con lo que está demostrado que existe biomagnificación de mercurio en esta red trófica de la península Antártica, es decir que el contaminante se transfiere entre los niveles tróficos y que este metal pesado está siendo transferido de la presa al depredador.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se debe realizar muestreos permanentes con la ayuda de equipos especializados como CTD, botellas van Dorn, entre otros instrumentos para registrar cambios temporales en temperaturas y salinidad en toda la columna de agua que permitan evidenciar si estos cambios pueden deberse a cambios climáticos.
2. Continuar con los muestreos temporales en la Península Antártica para determinar cambios en los niveles de mercurio total. Así mismo el

monitoreo debe incluir otros metales pesados como plomo, cadmio, cromo y contaminantes orgánicos persistentes.

3. Se debe explorar la concentración de mercurio en toda la red trófica marina para poder determinar la procedencia del mercurio a los pingüinos.
4. Se debe ampliar los sitios de muestreos a otros sitios incluyendo otras islas de la Península Antártica como la Isla Rey Jorge, isla Robert, isla Dee, Isla Torre, la Isla Livingston, isla Decepción, Isla media Luna e Isla Snow.
5. Se debe explorar la concentración en otras matrices ambientales como musgos, líquenes, macroalgas y en otras plumas de aves marinas como albatros petreles, cormorán y gaviotines que han sido reportados en las islas de la península Antártica.

## ANEXOS

Parámetros Físico- Químicos medidos *in situ* en la Ensenada Guayaquil – Isla Greenwich

**Tabla I.**

Estaciones	Coordenadas		Temperatura °C	Salinidad (UPS)	Conductividad (ms/cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Porcentaje de Saturación (%)	pH
	Sur	Oeste						
1	358396	3072881	4,50	25,40	30,60	13,08	100,70	8,25
2	358453	3072915	3,90	22,40	21,53	12,98	98,40	8,22
3	358481	3072948	3,00	25,00	30,80	13,53	100,60	8,24
4	358431	3072876	3,30	24,80	23,30	14,35	109,80	7,86
5	358490	3072929	2,60	25,00	23,80	15,08	113,00	8,11
6	358549	3072987	2,50	26,00	23,90	15,11	113,00	7,89
<b>Promedio</b>			3,30	24,77	25,66	14,02	105,92	8,10
<b>DE</b>			0,78	1,24	4,00	0,96	6,74	0,18

**Tabla II.** Análisis químicos de la Ensenada Guayaquil realizados en laboratorio Maldonado

Estaciones	Coordenadas		Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Fosfato mg/L	Amoniacó mg/L
	Sur	Oeste				
1	358396	3072881	0,006	0,03	0,29	0,08
2	358453	3072915	0,002	0,01	1,33	0,05
3	358481	3072948	0,003	0,02	0,20	0,04
4	358431	3072876	0,002	0,05	0,64	0,02
5	358490	3072929	0,003	0,07	0,36	0,07
6	358549	3072987	0,004	0,06	0,82	0,02
<b>Promedio</b>			0,003	0,04	0,61	0,05
<b>DE</b>			0,002	0,02	0,42	0,03

DE= desviación estándar

**Tabla III.** Parámetros Físico- Químicos medidos *in situ* en la Isla Barrientos

Estaciones	COORDENADAS		Temperatura °C	Salinidad (UPS)	Conductividad (ms/cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Porcentaje de Saturación (%)	pH
	SUR	OSTE						
1	358366	3077453	3,50	26,90	25,30	14,45	110,40	8,12
2	358312	3077452	3,00	26,90	24,90	14,31	107,90	8,14
3	358197	3077443	2,40	26,70	24,40	15,08	112,10	7,96
4	358429	3077594	3,50	26,00	24,50	13,46	102,90	7,88
5	358360	3077588	3,10	26,30	24,50	15,04	113,80	7,98
6	358310	3077672	3,30	25,90	24,20	14,83	112,70	7,86
7	358468	3077445	3,20	26,20	24,70	15,17	115,00	8,01
<b>Promedio</b>			3,14	26,41	24,64	14,62	110,69	7,99
<b>DE</b>			0,38	0,42	0,36	0,61	4,14	0,11

DE= Desviación estándar

**Tabla IV.** Análisis químicos de la Isla Barrientos realizados en laboratorio de la Estación

Estaciones	COORDENADAS		Nitrito mg/L	Nitrate mg/L	Fosfato mg/L	Amoniaco mg/L
	SUR	OSTE				
1	358366	3077453	0,011	0,12	0,28	0,08
2	358312	3077452	0,006	0,10	0,36	0,09
3	358197	3077443	0,003	0,11	0,53	0,08
4	358429	3077594	0,004	0,09	0,48	0,06
5	358360	3077588	0,005	0,08	0,65	0,07
6	358310	3077672	0,009	0,10	0,69	0,09
7	358468	3077445	0,009	0,11	0,68	0,10
<b>Promedio</b>			0,007	0,10	0,52	0,08
<b>DE</b>			0,003	0,01	0,16	0,01

DE= desviación Estándar.

**Tabla V.** Parámetros Físico- Químicos medidos *in situ* en la Bahía Chile

Estaciones	Coordenadas		Temperatura °C	Salinidad (UPS)	Conductividad (ms/cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Porcentaje de Saturación (%)
	Sur	Oeste					
1	359379	3072778	4,10	21,37	20,87	13,28	100,10
2	359347	3072962	2,00	25,20	28,60	14,15	104,20
3	359396	3072711	1,80	25,80	23,10	13,96	102,30
4	359434	3072587	1,70	26,50	23,70	14,10	103,00
5	359385	3072473	1,60	26,40	23,60	14,12	102,70
6	359353	3073073	3,60	25,80	24,10	15,17	113,80
7	359364	3073138	3,00	25,60	23,80	13,51	100,30
<b>Promedio</b>			2,54	25,24	23,97	14,04	103,77
<b>DE</b>			1,02	1,76	2,31	0,60	4,66

DE = Desviación Estándar.

Tabla VI. Análisis químicos de la Bahía Chile realizados en laboratorio de la Estación

Estaciones	Coordenadas		Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Fosfato mg/L	Amoniaco mg/L	pH
	Sur	Oeste					
1	359379	3072778	0,011	0,06	0,59	0,02	8,18
2	359347	3072962	0,012	0,02	0,23	0,04	8,08
3	359396	3072711	0,008	0,08	0,32	0,02	7,73
4	359434	3072587	0,007	0,09	0,25	0,03	7,74
5	359385	3072473	0,005	0,06	0,14	0,02	7,74
6	359353	3073073	0,007	0,11	0,40	0,06	7,94
<b>Promedio</b>			0,008	0,070	0,322	0,032	7,90
<b>DE</b>			0,003	0,031	0,158	0,016	0,20

DE= Desviación Estándar.

**Tabla VII.** Caracterización de sedimento de la Bahía Chile

Estaciones	Coordenadas		Arena %	Limo %	Arcilla %	Materia Orgánica %
	Sur	Oeste				
1	359379	3072778	96,60	3,12	0,28	2,47
2	359347	3072962	99,46	0,20	0,34	2,05
3	359396	3072711	82,73	17,17	0,10	2,97
4	359434	3072587	95,22	1,49	3,29	2,35
5	359385	3072473	73,83	25,55	0,62	2,21
<b>Promedio</b>			89,57	9,51	0,93	2,41
<b>DE</b>			10,88	11,27	1,33	0,35

DE = Desviación Estándar.

**Tabla VIII.** Caracterización de sedimento de la Isla Barrientos

Estaciones	Coordenadas		Arena %	Limo %	Arcilla %	Materia Orgánica %
	Sur	Oeste				
1	358366	3077453	98,75	0,69	0,56	4,96
2	358312	3077452	99,00	0,06	0,94	5,03
3	358197	3077443	85,67	11,87	2,46	4,96
4	358429	3077594	98,33	0,79	0,88	4,07
5	358360	3077588	99,66	0,29	0,05	2,49
6	358310	3077672	98,97	0,13	0,90	3,85
7	358468	3077445	99,50	0,29	0,21	3,71
<b>Promedio</b>			97,13	2,02	0,86	4,15
<b>DE</b>			5,07	4,35	0,79	0,93

DE= Desviación Estándar.

**Tabla IX.** Caracterización de sedimento de la Ensenada Guayaquil

Estaciones	Coordenadas		Arena %	Limo %	Arcilla %	Materia Orgánica %
	Sur	Oeste				
1	358396	3072881	98,80	0,13	1,07	3,65
2	358453	3072915	99,46	0,29	0,25	2,42
3	358481	3072948	99,49	0,26	0,25	2,25
4	358431	3072876	85,98	13,16	0,86	3,11
5	358490	3072929	71,54	28,02	0,44	2,65
6	358549	3072987	68,08	28,45	3,48	2,17
<b>Promedio</b>			87,23	11,72	1,06	2,71
<b>DE</b>			14,48	13,74	1,23	0,57

DE= Desviación Estándar

Tabla X. Concentración de Mercurio en Sedimento. Peso Seco

Lugar	Estación	Coordenadas		Hg mg/Kg	Promedio Mg/Kg	Desviación Estándar
		Sur	Oeste			
Bahía Chile	1	359379	3072778	0,078	0,045	0,0267
	2	359347	3072962	0,035		
	3	359396	3072711	0,067		
	4	359434	3072587	0,015		
	5	359385	3072473	0,029		
Ensenada Guayaquil	1	358396	3072881	0,066	0,060	0,0188
	2	358453	3072915	0,044		
	3	358481	3072948	0,071		
	4	358431	3072876	0,082		
	5	358490	3072929	0,031		
	6	358549	3072987	0,067		
Isla Barrientos	1	358366	3077453	0,073	0,038	0,0178
	2	358312	3077452	0,026		
	3	358197	3077443	0,041		
	4	358429	3077594	0,046		
	5	358360	3077588	0,027		
	6	358310	3077672	0,021		
	7	358468	3077445	0,031		

**Tabla XI.** Concentración de mercurio en las plumas del pingüino papúa. Peso Seco

<b>Replica</b>	<b>Numero de plumas analizadas</b>	<b>Hg mg/Kg</b>
1	2	2,400
2	3	1,331
3	2	1,148
4	2	1,821
5	2	0,926
6	2	0,891
7	2	0,687
8	2	0,772
9	2	3,258
10	2	1,298
11	2	2,589
12	2	1,245
13	3	1,980
14	2	1,358
15	2	1,369
16	2	2,369
17	3	2,367
18	2	2,368
19	2	2,789
20	2	2,576
21	2	3,157
22	3	1,385
23	2	2,467
24	2	1,367
25	3	2,459
26	2	2,463
27	3	2,339
28	2	2,286
29	2	2,278
30	3	2,753
<b>Promedio</b>		1,950
<b>DE</b>		0,735

n = 67 plumas  
analizadas

**Tabla XII.** Concentración de mercurio en el pingüino barbijos. Peso Seco

<b>Replicas</b>	<b>Numero de plumas analizadas</b>	<b>Hg mg/Kg</b>
1	3	0,359
2	2	1,225
3	2	1,258
4	3	1,362
5	2	0,069
6	3	0,827
7	3	0,897
8	2	0,772
9	3	0,685
10	2	1,298
11	3	0,523
12	2	0,685
13	3	1,118
14	3	0,790
15	3	0,797
16	2	0,709
17	3	0,782
18	2	1,258
19	2	0,752
20	3	1,203
21	2	0,741
22	2	0,798
<b>Promedio</b>		0,859
<b>DE</b>		0,324

n = 55 plumas  
analizadas

**Tabla XIII.** Concentración de mercurio en Skuas

<b>Replica</b>	<b>Numero de plumas analizadas</b>	<b>Hg mg/Kg</b>
1	1	3,781
2	1	7,713
3	1	1,295
4	1	1,624
5	1	1,679
6	1	1,119
7	1	3,467
<b>Promedio</b>		2,954
<b>DE</b>		2,349

n =7 plumas  
analizadas

**Tabla XIV.** Concentración de mercurio en plumas de aves

<b>Especie</b>	<b>n</b>	<b>Hg mg/Kg</b>	<b>DE</b>
<i>Pygoscelis papua</i>	67	1,950	0,730
<i>Pygoscelis antarctica</i>	55	0,859	0,324
<i>Catharacta lonnbergi</i>	7	2,954	2,349

DE = Desviación Estándar

Tabla XV. Resultados del Standard Reference Material 1646a

Tipo de Muestra		Concentración Medida mg/Kg	Concentración Teórica mg/Kg	% Recuperación	Promedio del % Recuperación
Sedimento	I. Barrientos	0,0399	0,04	99,75	97,42
	E. Guayaquil	0,0391	0,04	97,75	
	B. Chile	0,0379	0,04	94,75	
Pingüinos	Papua	0,0371	0,04	92,75	94,00
	Barbijos	0,0381	0,04	95,25	
Skuas		0,0361	0,04	90,25	94,33
		0,0388	0,04	97,00	
		0,0383	0,04	95,75	

Tabla XVI. Promedios de blancos obtenidos de las diferentes muestras

Tipo de muestra		Blancos mg/Kg
Sedimento	I. Barrientos	0,0019
	E. Guayaquil	0,0017
	B.Chile	0,0009
Pingüinos	Papúa	0,0011
	Barbijos	0,0013
Skua		0,0011
		0,0013
		0,0020

Tabla XVII. Concentraciones de mercurio reportadas para las aves de este estudio por otros autores

<b>Especie</b>	<b>Tejido</b>	<b>Promedio <math>\pm</math> DE mg/Kg Mercurio Total</b>	<b>Referencia</b>
<i>Pygoscelis antarctica</i>	Hígado	0,48 $\pm$ 0,20	Norheim et al 1982 (81)
<i>Pygoscelis adeliae</i>	Plumas	0,82 $\pm$ 0,13	Bargagli et al 1998 (58)
<i>Pygoscelis adeliae</i>	Plumas	0,17 $\pm$ 0,04	Honda et al 1986 (90)
<i>Pygoscelis adeliae</i>	Hígado	0,2	Honda et al 1986 (90)
<i>Pygoscelis papua</i>	Plumas	2,45 $\pm$ 0,67	Carravieri et al 2013 (53)
<i>Catharacta maccormicki</i>	Hígado	2,7 $\pm$ 2,1	Norheim et al 1982 (81)
<i>Catharacta lonnbergi</i>	Hígado	7,5 $\pm$ 4,4	Norheim et al 1982 (81)
<i>Catharacta maccormicki</i>	Plumas	2,91 $\pm$ 1,93	Bargagli et al 1998 (1998)
<i>Catharacta Skua</i>	Plumas	6,34 $\pm$ 2,6	Bargagli et al 1998
<i>Catharacta Skua</i>	Plumas	6,19 $\pm$ 4,15	Bearhop et al 2000 (91)
<i>Catharacta Skua</i>	Plumas	4,72 $\pm$ 3,13	Bearhop et al 1997 (91)

DE = Desviación Estándar

## BIBLIOGRAFIA

- [1].Bargagli R. 2008. Environmental Contamination in Antarctic ecosystems. *Science of the Total Environment* 400: 212 – 226.
- [2].NOAA, 2011 Global Measured Extremes of Temperature and Precipitation. National Oceanic and Atmospheric Administration, USA. Disponible en [www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/global\\_extremes.html](http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/global_extremes.html)
- [3].Paris T, Cassano J. 2003. The role of katabatic winds on the Antarctic surface wind regime. *Monthly Weather Review* 131: 317 – 333.
- [4].Bargagli R. 2005. Antarctic Ecosystems: Environmental Contamination, Climate Change, and Human Impact. Springer – Verlag. Berlin.

- [5]. Croxall J, Trathan P, Murphy E. 2002. Environmental Change and Antarctic seabird population. *Science* 297: 1510 – 1514.
- [6]. Alberdi M, Bravo L A, Gutierrez A, Gidekel M, Corcuera L J. 2002. Ecophysiology of Antarctic vascular plants. *Physiologia Plantarum* 115: 479 – 486
- [7]. Dewitt H. 1971. Coastal and deep – water benthic fishes of the Antarctic, *Antarctic Map Folio Series* 15: 1- 10.
- [8]. Allauca S, Valencia M. 1989. Características físicas – químicas de las aguas del Paso Drake, durante el verano de 1988. *Acta Antártica Ecuatoriana* 1: 19-25.
- [9]. Joyce T. 1978. The anatomy of the Antarctic Polar front in the Drake Passage. *Geophys Oceanographic* 83: 6093 – 6113.
- [10]. Corsolini S. 2011. Contamination profile and temporal trend of POPs in Antarctic Biota, in: Loganathan. B.G. Global Contamination Trends of Persistent Organic Chemicals. CRP Press, Boca Raton: 571 – 591.
- [11]. Arcos F. 2010. *Planctonología en el Ecuador*. 86 – 89.
- [12]. Cruz M. 1990. Estudio del bento marino Antártico en bahía Chile o Discovery, Isla Greenwich (Islas Shetland del Sur), Antártida. *Acta Antártica Ecuatoriana* 2: 33-45

- [13]. Tirira D. 2011. Primer Censo de Pinnípedos en los alrededores de la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Islas Shetland del Sur, Antártida. *Acta Antártica Ecuatoriana* 6: 11-16
- [14]. Socola J. 2002. Avifauna presente en las aéreas aledañas a la estación Pedro Vicente Maldonado, Isla Greenwich. *Acta Antartica Ecuatoriana* 1: 63-69
- [15]. Haase B. 1993. Inventario Ornitológico de Punta Fort William, Isla Greenwich (Islas Shetland del Sur), Durante Enero y Febrero 1991 y 1992. *Acta Antartica Ecuatoriana* 3: 49 – 54.
- [16]. Whoehler EJ. 1993. The distribution and abundance of Antarctic and Subantarctic penguins. Cambridge: Scientific Committee on Antarctic Research.
- [17]. Williams TD. 1995. The Penguins: Spheniscidae, birds families of the World series. Oxford University Press, Oxford 3-9
- [18]. Boersma PD, Frere E, Rebstock GA, Moore SE. 2008. Following the fish: Penguins and productivity in the South Atlantic. Ecological Monographs.
- [19]. Bonser R, Dawson C. 2000. The mechanical properties of down feathers from gentoo penguins. *Journal of Zoology* 251: 545 – 547.
- [20]. IPCWG. 2011 International Penguins Conservation Work Group.

- [21]. Putz K, Ingham RJ, Smith JG, Croxall JP. 2001. Population trends, breeding success and diet composition of Gentoo *Pygoscelis papua*, magellanic *Spheniscus magellanicus* and rockhopper *Eudyptes chrysocome* penguins in the Falkland Islands. *Polar Biology* 24: 793 – 807.
- [22]. Lescroel A, Ridoux V, Bost CA. 2004. Spatial and temporal variation in the diet of the gentoo penguin (*Pygoscelis papua*) at Kerguelen Islands. *Polar Biology* 27: 206 – 216.
- [23]. Dubois F, Cezilly F, Pagel M. 1998. Mate fidelity and coloniality in waterbirds: a comparative analysis. *Oecologia* 116: 433 – 440.
- [24]. Quintana RD, Cirelli V. 2000. Breeding dynamics of a gentoo penguin *Pygoscelis papua* population at Cierva Point, Antarctic Peninsula. *Marine Ornithology* 28: 29-35.
- [25]. Williams TD, Rodwell S. 1992. Annual Variation in return rate, mate and nest-site fidelity in breeding gentoo and macaroni penguins. *The Condor* 92: 636 – 645.
- [26]. Barbosa A, Moreno J, Potti J, Merino S. 1997. Breeding group size, nest position and breeding success in the chinstrap penguin. *Polar Biology* 18: 410 – 414.

- [27]. Bustamante J, Cuervo JJ, Moreno J. 1992. The function of feeding chases in the chinstrap penguin, *Pygoscelis antarctica*. *Animal Behavior* 44: 753 – 759.
- [28]. Sladen WJ, Menzie CM, Reichel WL. 1963. DDT residues in Adelie penguins and a crabeater seal from Antarctica. *Nature* 210 : 670 – 673
- [29]. Court GS, Davis LS, Focardi S, Bargagli R, Fossi C, Leonzio C. 1997. Chlorinated hydrocarbons in the tissues of south polar skuas (*Catharacta maccormicki*) and Adelie penguins (*Pygoscelis adeliae*) from Ross Sea, Antarctica. *Environmental Pollution* 97: 295 – 301.
- [30]. Walker CH, Hopkin SP, Sibly RM, Peakall DB. 2001. Principle of Ecotoxicology. Second Edition.
- [31]. Lambert G, Ardouin G, Sanak J. 1990. Atmospheric transport of trace elements toward Antarctica. *Tellus B* 42: 76 – 82.
- [32]. Corsolini S, Covaci A, Ademollo N, Focardi S, Schepens P. 2006. Occurrence of organochlorine pesticides (OCPs) and their enantiometric signature, and concentration of polybrominateddiphenyl ethers (PBDEs) in the Adelie penguin food web, Antarctica. *Environmental Pollution* 140: 371 – 382.
- [33]. Carsoloni S, Focardi S. 2000. Bioconcentration of polychlorinated biphenyls in the pelagic food chain of the Ross Sea,

- en Faranda F, Guglielmo L, Ianora A Ross Sea Ecology : 575 – 584.
- [34]. Shroeder WH, Anlauf KG, Barrie LA, LU JY, Steffen A, Schneeberger DR. 1998. Arctic springtime depletion of mercury. *Nature*. 394: 331 – 332.
- [35]. Wash P.1990. The use of seabirds as monitors of heavy metals in the marine environment. *Press Boca Raton*: 183 – 204.
- [36]. Burger J. 1993. Metals in avian feather: bioindicators of environmental pollution. *Environmental Toxicology* 5: 203 – 211.
- [37]. Furness RW, Camphuysen KCJ. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *Journal of Marine Science ICES*54:726 – 737.
- [38]. Norheim G.1987. Levels and interactions of heavy metals in seabirds from Svalbard and the Arctic. *Environmental Pollution* 47: 83 – 94.
- [39]. Elliot J, Leighton F, Pearce P.1992. Heavy metals and metallothionein concentrations in Atlantic Canadian seabirds, *Arch Environmental Contamination Toxicology*22: 63 – 73.
- [40]. Kim E, Goto R, Tanabe S, Tanaka H.1998. Distribution of 14 elements in tissues and organs of oceanic seabirds. *Arch Environmental Contamination Toxicology* 35: 345 – 368.

- [41]. Thompson D, Furness R, Barrett R. 1992. Mercury concentrations in seabirds from colonies in the Northeast Atlantic, *Arch Environmental Contamination Toxicology* 23: 383 – 389.
- [42]. Gochfeld M .1997. Spatial patterns in a bioindicator, heavy metals and Selenium concentrations in eggs of Herring gulls (*Larus argentatus*) in the New York Bight. *Arch Environmental Contamination Toxicology* 33: 63 – 70.
- [43]. Metcheva R, Yurukova L, Teodorova S, Nikolova E. 2006. The penguin feathers as bioindicator of Antarctica environmental state. *Science of total environmental* 362: 259- 265.
- [44]. Appelquist H, Asbirk S, Drab/ek I. 1984. Mercury monitoring: mercury stability in bird feathers. *Marine Pollution Bulletin* 15 :22 – 24.
- [45]. Roomen M, Van Koffijber K, Noordhuis R, Soldaat L. 2006. Long term waterbirds monitoring in the Netherlands: A tool for policy and management en Boer, Gc Galbraith. *Waterbirds around the World. The Stationery Office, Edinburgh*: 463 – 470.
- [46]. Burger J, Gochfeld M, 2004. Marine birds as sentinels of environmental pollution. *Ecohealth* 1: 263 – 274.

- [47]. Denneman W, Douben P.1993. Trace metals in primary feathers of the barn owl (*Tytoalbaguttattus*) in the Netherlands. *Environmental Pollution* 82: 301 – 310.
- [48]. Furness R, Hutton M, 1979. Pollutant levels in the great skua *Catharacta skua*. *Environmental Pollution* 19 pp 261 – 268.
- [49]. Hughes K, Ewins P, Clark K. 1997. A comparison of mercury levels in feathers and eggs of osprey (*Pandionhaliaetus*) in the NortAmerica Great Lakes. *Environmental Contamination and Toxicology* 33: 441 – 452.
- [50]. Furness R, Muirhead S, Woodburn M.1986. Using bird's feathers to measure mercury in the environment: relationships between mercury content and moult. *Marine Pollution Bulletin* 17: 27 – 30.
- [51]. Furness R, Lewis S, Mills J. 1990. Mercury levels in the plumage of red – billed gulls, *Larusnovaehollandiaescopulinus*of know sex and age. *Environmental Pollution* 63: 33-39.
- [52]. Burger J, 1996. Heavy metal and Selenium levels in feather of Franklin's Gulls in Interior North America. *Auk* 113: 399 – 407.
- [53]. Braune B, Gaskin D. 1987. A mercury budget for the Bonaparte's Gull during autumn molt. *Ornis scandinavica*18: 244 – 250.

- [54]. Becker PH, Furness RW, Henning D.1993. The value of chick feather to assess spatial and interspecific variation in the mercury contamination of seabirds. *Environmental Monitoring Asses* 28: 255 – 262.
- [55]. Carravieri A, Bustamante P, Churlaud C, Cherel Y. 2013. Penguins as bioindicators of mercury contamination in the Southern Ocean: Birds from the Kerguelen Islands as a case study *Science of the Total Environment* 455: 141- 148.
- [56]. Boersma P.2008. Penguins as Marine Sentinels *BioScience* 58: 597- 607
- [57]. Sanchez-Hernandez JC. 2000. Trace element contamination in Antarctic ecosystem. *Environmental Contamination and Toxicology* 166: 82-127.
- [58]. Bargagli R, Monaci F, Sanchez-Hernandez J. C., Cateni D. 1998. Biomagnification of mercury in an Antarctic marine coastal food web. *Marine Ecology Progress Series* 169: 65 – 76.
- [59]. Blumel WD, Eitel B. 1989. Geoecological aspects of maritime climatic and continental periglacial regions in Antarctica (Shetland, Antarctic peninsula and Victoria Land). *Geooko dynamics* 10: 201 – 214.

- [60]. Huerta H. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín y su relación con el crecimiento bacteriano.
- [61]. Nelson DW, Sommer LE. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of soil Analysis Part 2*. Editorial Agronomy 9: 961 – 1010.
- [62]. Plumb Jr. R.H. 1981. Procedures for handling and chemical analysis of sediment and water samples. Technical Report EPA/CE-81-1. Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency/Corps of Engineers Technical Committee on Criteria for Dredged and Filled Material. Published by Environmental Laboratory, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, M.S.
- [63]. Calle KP. 2006. Tolerance of Tidal Creek Macrobenthic Organisms to Multiple Stressors: Implication on Distributional Patterns. University of South Carolina.
- [64]. Burger J, Gochfeld M. 2000. Metal Levels in feather of 12 species of seabirds from midway atoll in the North Pacific Ocean. *Science Total Environmental* 257: 37 – 52.
- [65]. Perez L, Hernandez M, Oropesa J, Lopez B. 2005. Contenido de metales pesados en hígado y plumas de aves marinas

afectadas por el accidente del Prestige en la costa de Galicia.

*Revista de Toxicología* 22:191 – 199.

- [66]. DeForest DK, Brix K, Adams W. 2007. Assessing metal bioaccumulation in aquatic environments: The inverse relationship between bioaccumulation factors, trophic transfer factor and exposure concentration. *Aquatic toxicology* 84: 236 – 246.
- [67]. Valencia M. 1998. Estudio de las características físicas y químicas de las aguas de Bahía Chile para el verano Austral Periodo 1995 – 1998. *Acta Antártica Ecuatoriana* 4: 151 – 162.
- [68]. Cornejo P 1990. Características Físicas de la columna de agua en Bahía Chile, Isla Greenwich (Shetland del Sur). *Acta Antartica Ecuatoriana* 2: 35 – 48.
- [69]. Torres G, Palacios C, Calderon T, Recalde S. 2006. Distribución del Fitoplancton y Zooplancton y sus condiciones oceanográficas durante el Verano Austral 2004 (Isla Greenwich – Antártica)
- [70]. Chaux 2001. Determinación de la presencia de hidrocarburos disueltos y dispersos y de materia orgánica en la Ensenada Guayaquil y punta Orion, Isla Greenwich (Enero – Febrero del 2001). *Acta Antartica Ecuatoriana* 5: 49 – 57.

- [71]. Valencia M. 1998. Estudio de Impacto Ambiental en Punta Fort William Verano Austral: 1995 – 1996, 1997 – 1998. *Acta Antartica Ecuatoriana* 4: 123 – 131.
- [72]. Nriagu JO, Pacyna JM. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333: 134-139.
- [73]. Fitzgerald WF. 1986. Cycling of mercury between the atmosphere and oceans. Reidel Publishing Company: 363 – 408.
- [74]. Fitzgerald WF, Engstrom DR, Mason RP, Nater EA. 1998. The case for atmospheric mercury contamination in remotes areas. *Environmental Science Technology* 32: 1-7.
- [75]. Mason RP, Sheu G. 2002. Role of the ocean in the global mercury cycle. *Global Biogeochem Cycles* 16: 1-14
- [76]. Bond AL, Diamond AW. 2009. Total and Methyl Mercury Concentrations in Seabirds Feathers and Eggs. *Arch Environmental Contamination Toxicology* 56: 286 – 291.
- [77]. Thompson DR, Furness RW. 1989a. The chemical form of mercury stored in South Atlantic seabirds. *Environment Pollution* 60: 305- 318.

- [78]. Thompson DR, Furness RW. 1989b. Comparison of the levels of total and organic mercury in seabirds feathers. *Marine Pollution Bulletin* 20: 557 – 579.
- [79]. Burger J, Gochfeld M 1997. Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environment Research* 75: 160-172.
- [80]. Eisler R.2006. Mercury: Hazard to living organism. CRC Press, Taylor y Francis Group. USA.
- [81]. Stewart FM, Phillips RA, Cartry P, Furness RW. 1997. Influence of species, age and diet on mercury concentrations in Shetland seabirds. *Marine Ecology Progress Serie* 151: 237 – 244.
- [82]. Norheim G, Somme L, Holt G. 1982. Mercury and Persistent Chlorinated Hydrocarbons in Antarctic Birds From Bouvetoya and Dronning Maud Land. *Environmental Pollution* 28: 233-240.
- [83]. NorheimG. 1987. Levels and Interactions of Heavy Metals in Sea Birds from Svalbard and the Antarctic. *Environmental Pollution* 4: 83-94.
- [84]. Volkman NJ, Presler P, Trivelpiece W. 1980. Diets of pygoscelid penguins at King George Island, Antarctica. *Condor* 82: 373 – 378.
- [85]. Rombola E, Marschoff E, Coria N. 2004. Comparación de la dieta y éxito reproductivo del pingüino barbijo (*Pygoscelis antartica*)

durante dos temporadas reproductivas consecutivas en la isla Laurie, Orcadas del Sur. Acta del V Simposio Argentino y I Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas, Buenos Aires.

- [86]. Beron MP, Coria NR, Favero M. 2002. Monitoreo de la dieta post – reproductiva del pingüino papua (*Pygoscelis papua*) en Isla Laurie (Orcadas del Sur, Antártida) Periodo 1997 – 1999. *Ornitologia Neotropical* 13: 413 – 422.
- [87]. Monteiro LR, Costa V, Furness RW, Santos RS. 1996. Mercury concentrations in prey fish indicate enhanced bioaccumulation in mesopelagic environments. *Marine Ecology Progress Series* 141: 21-25.
- [88]. Heinz GH. 1996. Mercury poisoning in wildlife. In: Fairbrother A, Locke LN, Hoff GL, editors, *Noninfectious diseases of Wildlife*, 2nd ed. Ames (IA): Iowa State University Press, 118-127.
- [89]. Wolfe MF, Schwarzbach S, Sulaiman RA. 1998. Effects of mercury on wildlife: a comprehensive review. *Environmental Toxicology Chemistry* 17: 146 – 160.
- [90]. Honda K, Yamamoto Y, Hidaka H, Tatsukawa R. 1986. Heavy metals accumulation in Adelie penguins, *Pygoscelis adeliae* and their variations with the reproductives process. *Natural Institute Resource* 40: 443 – 453.

- [91]. Bearhop S, Phillips RA, Thompson DR, Waldron S, Furness RW. 2000. Variability in mercury concentrations of great Skuas. *Catharacta skua*: the influence of colony diet and trophic status inferred from stable isotope signatures.