



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE BIOLOGÍA ECOLOGÍA Y GESTIÓN

Patrones de concentración de metales pesados según el sexo en tres especies de aves marinas endémicas de Galápagos: Pingüino de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*), Cormorán no volador (*Phalacrocorax harrisi*) y Albatros de Galápagos (*Phoebastria irrorata*).

Trabajo de Graduación Previo a la Obtención del Título de:

BIÓLOGA CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN

Autora:

DIANA CAROLINA LOYOLA JARA

Director:

PhD. PEDRO ASTUDILLO WEBSTER

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mis queridos Padres:

Con mucho amor a,

Jhoni Loyola, Mónica Jara por el soporte en todo este largo tiempo de vida, porque ellos han pasado circunstancias difíciles y aun así me han apoyado en la culminación de mi carrera al igual que la de mis hermanos. Porque estoy segura que ellos dejaron muchas cosas sin terminar para vernos crecer.

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud a la **Fundación Charles Darwin**, me ha brindado una gran oportunidad desde el año 2009 cuando empecé como voluntaria y en el 2011 me otorgaron una beca de estudio del cual estoy muy agradecida con el apoyo en estos últimos cinco años.

Al área de Biología Marina (Biomar), donde empezó todo este viaje como voluntaria, dentro del cual se encontraban personas como: Natalia Tirado, Jerson Moreno, Stuart Banks, Cesar Peñaherrera, Jorge Baque, Jenifer Suárez, Janai Yépez, Rosita Calderón, Julio Delgado, Yanella Tutivén, Jennifer Palma donde surgió una linda amistad y ellos fueron ese motor de inspiración para que siguiera la carrera de Biología.

A Luis Molina, Marta Romoleroux, que formaron parte de la coordinación especial de voluntarios y becarios de la Fundación Charles Darwin en diferentes temporadas, por ayudarme en cada parte de los trámites de la Universidad durante estos últimos años.

A Gustavo Jiménez, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo en este proyecto de tesis, por dejarme asistir a las salidas de campo y aprender sobre la metodología que se realiza dentro de los monitoreos ecológicos de pingüinos de Galápagos, cormorán no volador y albatros de galápagos. Por esa paciencia y amistad que con el tiempo me han brindado, gracias por el apoyo, enseñanza y liderazgo. Todo lo aprendido se lo debo, al principio no tenía idea de cómo sería este camino y con el tiempo fui generando conocimientos en este campo “Aves Marinas”.

A cada área en la cual estuve involucrada como pasante en los últimos dos años, a Henry Herrera en el Área de Invertebrados Terrestres, Piedad Lincano en el área de Laboratorio de “*Phylornis downsi*” del cual me llene de aprendizaje y conocimiento, fue una experiencia enriquecedora porque cada área hace que la conservación sea una lucha.

Al Staff de la Fundación Charles Darwin, conocí a personas de otras áreas que me ayudaron mucho y formaron parte de mi trayecto como voluntaria y becaria en la Fundación Charles Darwin.

Parque Nacional Galápagos por los permisos de extracción de muestras biológicas y de salidas hacia el continente. A los guardaparques: Johannes Ramírez, Jean Pier Cadena, Marlon Ramón, Wilson Villafuerte, Manuel Masaquiza, Bolívar Guerrero, Wilman Valle, por ayudarme en las tres salidas de campo, en la captura de las tres especies de aves marinas.

A mi Director de Tesis Pedro Astudillo Webster, mi tribunal conformado por Sebastián Padrón y David Siddons por la gran paciencia, enseñanza y el apoyo ante su alumna.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	6
MATERIALES Y MÉTODOS	6
1.1 Área de estudio.....	6
1.2 Especies en estudio.....	8
1.3 Captura de individuos y colecta de plumas	12
1.4 Medidas morfológicas y determinación del sexo.....	13
1.5 Trabajo de Laboratorio.....	13
1.6 Análisis de datos.....	15
CAPITULO 2	16
RESULTADOS	16
DISCUSIONES	19
BIBLIOGRAFÍA.....	23

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Área de estudio y ubicación de siete sitios de monitoreo para tres especies de aves marinas (<i>S. mendiculus</i> (Pin), <i>P. harrisi</i> (Cor), <i>P. irrorata</i> (alb)), provincia de Galápagos, Ecuador. Cada sitio de monitoreo se dispuso estaciones para la colección de plumas para la determinación de la concentración de metales pesados (plomo, cadmio y mercurio).	7
Figura 2. Diferencias en la concentración de mercurio ($P < 0.05$) entre machos y hembras de tres especies de aves marinas (<i>S. mendiculus</i> , <i>P. harrisi</i> y <i>P. irrorata</i>), provincia de Galápagos, Ecuador. El análisis corresponde a modelo generalizado lineal mixto bajo un error de distribución de Poisson.	17
Figura 3 Diferencias en la concentración de cadmio ($P < 0.05$) entre machos y hembras de tres especies de aves marinas (<i>S. mendiculus</i> , <i>P. harrisi</i> y <i>P. irrorata</i>), provincia de Galápagos, Ecuador. El análisis corresponde a modelo generalizado lineal mixto bajo un error de distribución de Poisson.	17
Figura 4 Diferencias en la concentración de plomo ($P < 0.05$) entre machos y hembras de tres especies de aves marinas (<i>S. mendiculus</i> , <i>P. harrisi</i> y <i>P. irrorata</i>), provincia de Galápagos, Ecuador. El análisis corresponde a modelo generalizado lineal mixto bajo un error de distribución de Poisson.	18
Tabla 1 Medidas promedio morfológicas obtenidas de trabajos anteriores de las especies <i>Spheniscus mendiculus</i> , <i>Phalacrocorax harrisi</i> y <i>Phoebastria irrorata</i> , provincia de Galápagos, Ecuador.	13

ÍNDICE DE ANEXOS

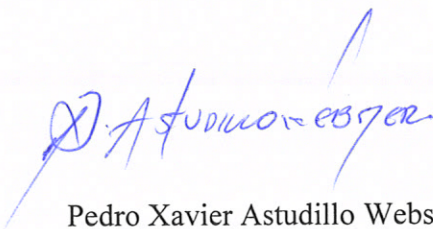
Anexo 1 Resultados de la concentración de metales pesados , mercurio, cadmio, plomo en tres especies de aves marinas (<i>Spheniscus mendiculus</i> , <i>Phalacrocorax harrisi</i> y <i>Phoebastria irrorata</i>), provincia de Galápagos, Ecuador. Los valores (0.08 mg/kg) se encuentran por debajo del límite de detección. Todos los valores fueron transformados (multiplicados por 1000) para ser ajustados bajo un error de distribución Poisson.....	33
Anexo 2 Fotografía de la toma de medidas morfológicas para la determinación del sexo en la especie <i>Phoebastria irrorata</i> , provincia de Galápagos, Ecuador.....	34
Anexo 3 Fotografía de colecta de plumas en las especie <i>Phoebastria irrorata</i> , provincia de Galápagos, Ecuador.	35
Anexo 4. Sistema de corrientes marinas de Galápagos. Según el Autor Jiménez-Uzcategui et al (2017), los metales pesados pueden provenir de las corrientes de la zona continental. La corriente de Cromwell es la que presenta mayor cantidad de nutrientes que provienen desde las zonas profundas, la corriente de Panamá trae aguas cálidas, se mezclan con las la corriente sur ecuatorial y de Humboldt llevando corrientes frías desde Chile y Perú generando una gran biodiversidad marinas dentro de las islas Galápagos.	36

PATRONES DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS SEGÚN EL SEXO EN TRES ESPECIES DE AVES MARINAS ENDÉMICAS DE GALÁPAGOS: PINGÜINO DE GALÁPAGOS (*SPHENISCUS MENDICULUS*), CORMORÁN NO VOLADOR (*PHALACROCORAX HARRISI*) Y ALBATROS DE GALÁPAGOS (*PHOEBASTRIA IRRORATA*).

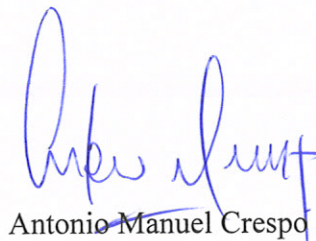
RESUMEN

Las aves marinas son buenos bioindicadores de contaminación por metales pesados, al ocupar amplios rangos de distribución, esto los hace sensibles a cambios que ocurren en el ambiente. En este trabajo, se analizó las concentraciones de plomo, cadmio y mercurio en las plumas de tres especies de aves marinas *Spheniscus mendiculus* (Spheniscidae), *Phalacrocorax harrisi* (Phalacrocoracidae) y *Phoebastria irrorata* (Diomedidae) en la provincia de Galápagos, Ecuador. Se determinó la variación en la concentración de los tres metales pesados, entre machos y hembras de las tres especies de aves marinas. Los resultados mostraron diferencias significativas importantes; las hembras de las tres especies de aves marinas, tienen mayor concentración de plomo y cadmio, mientras que los machos presentan mayor concentración de mercurio.

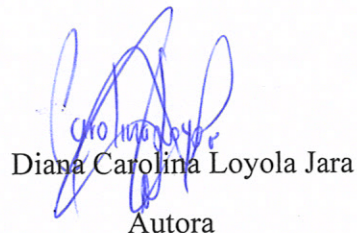
Palabras clave: contaminación, bioindicadores, mercurio, plomo y cadmio



Pedro Xavier Astudillo Webster
Director del Trabajo de Titulación



Antonio Manuel Crespo Ampudia
Coordinador de la Escuela

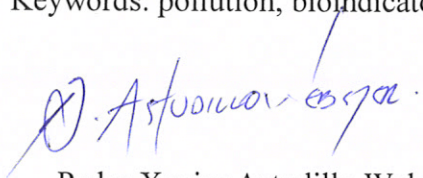


Diana Carolina Loyola Jara
Autora

ABSTRACT

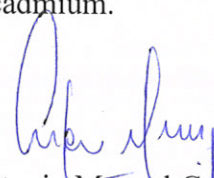
Seabirds are good bioindicators of heavy metal pollution. As seabirds are widely distributed across the islands, they are sensitive to the changes that occur in the environment. The concentrations of lead, cadmium and mercury in the feathers of seabird species *Spheniscus mendiculus* (Spheniscidae), *Phalacrocorax harrisi* (Phalacrocoracidae) and *Phoebastria irrorata* (Diomedidae) from the province of Galapagos were analyzed in this work. The variation in the concentration of the three heavy metals in males and females of the three species of seabirds was determined. The results showed significant differences. The females of the three species had a higher concentration of lead and cadmium, while the males had a higher concentration of mercury.

Keywords: pollution, bioindicators, mercury, lead and cadmium.



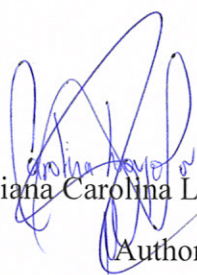
Pedro Xavier Astudillo Webster

Thesis Director



Antonio Manuel Crespo Ampudia

Faculty Coordinator

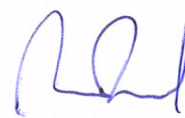


Diana Carolina Loyola Jara

Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paul Arpi

Loyola Jara Diana Carolina

Trabajo de Titulación

Pedro Astudillo Webster, PhD.

Octubre, 2018

PATRONES DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS SEGÚN EL SEXO EN TRES ESPECIES DE AVES MARINAS ENDÉMICAS DE GALÁPAGOS: PINGÜINO DE GALÁPAGOS (*SPHENISCUS MENDICULUS*), CORMORÁN NO VOLADOR (*PHALACROCORAX HARRISI*) Y ALBATROS DE GALÁPAGOS (*PHOEBASTRIA IRRORATA*).

INTRODUCCIÓN

La sobrepoblación, el agotamiento de los recursos naturales y las perturbaciones ambientales han degradado los hábitats naturales, generando cambios de manera irreversible (Grenier, 2007). En especial, la contaminación por metales pesados afecta principalmente a la cadena trófica, en donde los consumidores secundarios y consumidores terciarios son los más vulnerables, debido a mayores tasas de bioacumulación (i.e., concentración de un metal pesado en un nivel trófico) y biomagnificación (i.e., incremento en la concentración de un metal pesado a través de dos o más niveles tróficos) (Savinov et al., 2003; Calle et al., 2015). Las aves en particular son uno de los grupos más sensibles a la contaminación por metales pesados, esto hace que puedan ser utilizados como bioindicadores de la calidad del ambiente donde ellos habitan (Burger y Gochfeld, 2000; Ochoa, 2014; Pérez et al., 2005), ya que estas aves ocupan rangos amplios en las cadenas tróficas, presentan periodos de vida largos, son sensibles a

cambios en el ambiente, son abundantes, fáciles de observar y tienen amplias distribuciones geográficas (Burger y Gochfeld, 2000; Ochoa, 2014). En estas los metales pesados pueden afectar los sistemas metabólicos, ya que estas presentan un metabolismo más acelerado que muchos otros vertebrados superiores (Senar y Guallar, 2004).

Las aves marinas son un grupo vulnerable a la contaminación por metales pesados (Diamond y Devlin, 2003). Se ha reportado la presencia de metales pesados en huevos, hígado, plumas, sangre y otros órganos y tejidos (Diamond y Devlin, 2003; Barbosa et al., 2013; Tavares et al., 2013). Las aves marinas pasan buena parte del tiempo en el océano; aunque, ocupan hábitats costeros en tierra al momento de la reproducción y anidación (Diamond y Devlin, 2003), en estas etapas, las aves marinas dejan varias plumas, las cuales pueden servir para monitorear la presencia de metales pesados (Burger y Gochfeld, 1993; Hughes et al., 1997). Las plumas son buenos indicadores de la contaminación por metales, siendo fáciles de coleccionar de forma no invasiva, sin tener que sacrificar al ave, además se pueden almacenar de forma indefinida (Goede y De Bruin, 1986; Burger, 1993).

El plomo, cadmio y mercurio son metales no esenciales tóxicos y su presencia en los tejidos bióticos es una evidencia de contaminación (Burger 1993; Elliot & Scheuhammer 1997; Kim et al. 1998). También, dentro de los roles de reproducción en aves marinas, los individuos reproductores generan mayor inversión energética en el cuidado parental (Nelson, 1978), esto implica que tienden a alimentarse de mayor biomasa de presas antes y después de la época reproductiva (Zavalaga et al., 2012); así, las presas están expuestas a procesos de bioacumulación y biomagnificación de metales pesados, pueden existir diferencias en las concentraciones de dichos contaminantes entre machos y hembras (Hindell et al., 1999).

Las aves marinas, a diferencia de la mayoría de aves terrestres (eg., Passeriformes), no poseen un dimorfismo sexual bien marcado (Morinha et al., 2012). Es por eso que una alternativa para determinar el sexo es por medio de medidas morfológicas (Gandini et al., 1992; Favero, 2001; Zavalaga y Paredes, 1997). Por ejemplo, la diferenciación entre hembras y machos de pingüinos, cormoranes y albatros, con madurez sexual, se realiza mediante peso del cuerpo, largo total, profundidad del pico, largo del pico, en donde los machos presentan mayores medidas (Scolaro et al 1983; Liordos y Goutner, 2008; Metcheva et al., 2006; Boersma, 1977; Valle, 1994; Harris, 1973; Valle, 2013). En la actualidad existen varios trabajos sobre la bioacumulación y biomagnificación de metales pesados en pingüinos, cormoranes y albatros (eg., Burger y Gochfeld, 1996; Thompson et al., 1998; Hindell et al., 1999; Saninov et al 2003; Vega, 2008).

En Galápagos se han realizado trabajos en la detención de POPs y metales pesados en leones marinos (Alava, 2011), en coral (Delaney et al., 1993), la especie de atún aleta amarilla (Muñoz, 2016), estos trabajos han encontrado concentraciones en niveles altos dentro de la Reserva Marina de Galápagos y reciente trabajo de detención de metales en plumas en pingüinos, cormorán y albatros de Jiménez-Uzcategui et al., (2017) menciona que es necesario realizar más trabajos que generen mayor información que ayude a comparar los datos en futuros proyectos, ya que no están seguros totalmente de donde proviene la concentración de estos metales. Siendo así, los derrames de petróleo han sido una de las causas de contaminación ya sea intencional o accidental, generando impactos negativos en la vida marina (Lessmann, 2004; Alava, 2011), además el crecimiento de la población y el ingreso de turistas crea un mayor aumento en abastecimiento en las islas, generando mayor tráfico en la vía marítima con buques de carga, aumentando así el riesgo de contaminación y la llegada de especies invasoras (Watkins y Cruz 2007; Alava, 2011). En este contexto, es prioritario investigar los patrones de concentración de metales pesados en aves marinas, especialmente en Galápagos que es considerado un archipiélago de alto endemismo (Stattersfield et al., 1998) y presenta poblaciones residentes de aves marinas que son importantes desde un punto de vista de conservación.

Pero a pesar de la condición de área protegida (DPNG, 2014) las islas Galápagos no están exentas de factores de estrés ambiental exógenos (Vargas, 2011), en concreto, las corrientes marinas, las cuales pueden llevar metales pesados (Jiménez-Uzcategui et al., 2017) (eg., plomo, cadmio, mercurio) desde zonas continentales; varias especies de peces pueden estar sometidos a procesos de bioacumulación de metales pesados (Linn et al., 1990; Muñoz Abril 2016) y estos pueden ser presas potenciales de las aves marinas en las islas Galápagos. Particularmente, *S. mendiculus*, *P. harrisi* y *P. irrorata* se alimentan frecuentemente en las aguas cercanas a las islas de Isabela, Fernandina y Española como así también en aguas profundas alejadas a las islas y con influencia continental (Jiménez-Uzcategui, 2016). Las tres especies de aves además, presentan colonias reproductoras, es por estas características que estudios asociados a la concentración de metales pesados en plumas de estas especies pueden ayudar a identificar la influencia de estos contaminantes en especies sensibles dentro de áreas marinas importantes para la conservación. En esta investigación se busca entender la variación en la concentración de metales pesados (i.e., plomo, cadmio y mercurio) entre machos y hembras de una muestra representativa de la comunidad de especies endémicas *Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi*, *Phoebastria irrorata* usando muestras de plumas.

Objetivo General

- Determinar la variación en la concentración de tres metales pesados (plomo, cadmio y mercurio) entre machos y hembras de tres especies de aves marinas endémicas: Pingüino de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*), Cormorán no Volador (*Phalacrocorax harrisi*) y Albatros de Galápagos (*Phoebastria irrorata*), presentes en las Islas Isabela, Fernandina y Española respectivamente.

Objetivos específicos

- Conocer el sexo y analizar las muestras de plumas de tres especies de aves marinas: Pingüino de Galápagos (*S. mendiculus*), Cormorán no Volador (*P. harrisi*) y Albatros de Galápagos (*P. irrorata*) entre hembras y machos.
- Determinar la concentración de metales pesados de pingüino de Galápagos (*S. mendiculus*), cormorán no Volador (*P. harrisi*) y albatros de Galápagos (*P. irrorata*) en hembras y machos de esta comunidad de estas especies.

Hipótesis

Ho. No existe diferencia de concentración de metales pesados (plomo, cadmio y mercurio) entre hembras y machos de la comunidad de aves marinas.

H1. Existe diferencia en la concentración de metales pesados (plomo, cadmio y mercurio) entre hembras y machos de la comunidad de aves marinas.

CAPITULO 1

MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en tres islas de la provincia de Galápagos: Isabela (0° 57.594'S, 90° 57.575'O), Fernandina (0° 16.528'S, 91° 26.643'O) y Española (1° 22.155'S, 89° 44.731'O) (Figura1). El área de estudio presenta dos estaciones climáticas bien marcadas; la estación lluviosa desde enero hasta abril y la estación seca desde mayo hasta diciembre con un rango de precipitación anual entre 800 mm y 1100 mm (Huttel, 1986; Lucero, 2002; Banks, 2002). La temperatura presenta un rango anual de 22°C y 26°C. En las tres islas seleccionadas se escogieron siete sitios de anidación (Figura1) que corresponde a los registros más numerosos de las poblaciones de *Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi* y *Phoebastria irrorata* (Jiménez-Uzcategui y Wiedenfeld, 2002).

Para *S. mendiculus* los muestreos se hicieron en la localidad de Caleta Iguana (0°58.6'S, 91°26.7'W), Puerto Pajas (0°45.3'S, 91°22.5'W) e Islotes Marielas (0°35.8'S, 91°5.4'W) ubicados en la isla Isabela. Para *P. harrisi* en la localidad de Playa Escondida (0°15.7'S, 91°28.1'W) ubicada en la isla Fernandina y, Punta Albermale (0°9.2'N, 91°22.0'W) al norte de isla Isabela. Para *P. irrorata* en la localidad de Punta Suárez, pero distribuidas en dos zonas: alta (1°22.3'S, 89°44.4'W) y baja (1°22.5'S, 89°44.1'W) de la isla Española.

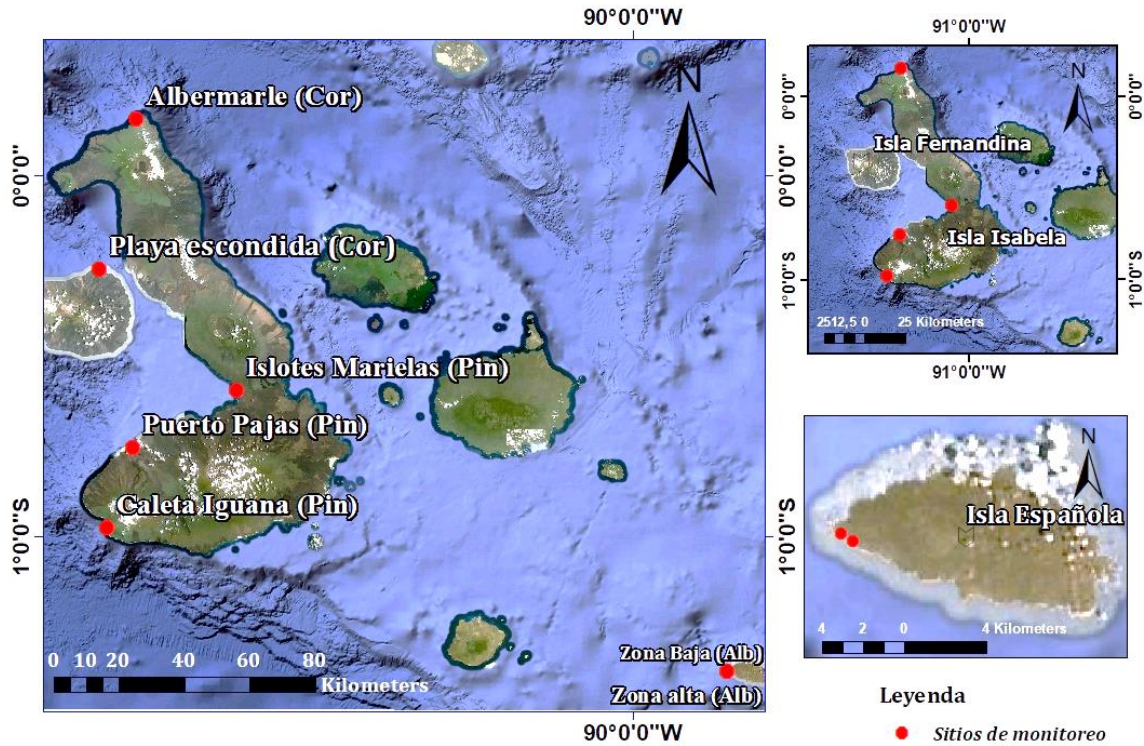


Figura 1. Área de estudio y ubicación de siete sitios de monitoreo para tres especies de aves marinas (*S. mendiculus* (Pin), *P. harrisi* (Cor), *P. irrorata* (alb)), provincia de Galápagos, Ecuador. Cada sitio de monitoreo se dispuso estaciones para la colección de plumas para la determinación de la concentración de metales pesados (plomo, cadmio y mercurio).

1.2 Especies en estudio

Pingüino de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*)



Esta ave marina es endémica de las Galápagos, siendo uno de los más pequeños en el mundo, y pueden ser encontrados en Isabela, Fernandina, Bartolomé, Floreana y posiblemente en Santiago, pero la mayor población se encuentra en la zona oeste de la isla Isabela y noreste de la isla Fernandina, donde se encuentran zonas de

anidación (Harris, 1973; Boersma et al., 2013) Esta especie según la IUCN se encuentra clasificada como “En Peligro” por lo que es importante protegerlos. Pero la mayor población de pingüinos se puede encontrar en la zona oeste de la isla Isabela y noreste de la isla Fernandina (Boersma et al 2015). El pingüino de Galápagos es una de las especies que se encuentra en constante amenaza, porque presenta una población pequeña, siendo uno de los mayores problemas de la disminución de número de individuos cuando el “fenómeno de El Niño”, causante de las altas temperaturas en el mar, disminuye los recursos alimenticios para esta especie (Vargas et al., 2006). Cuando esta especie no encuentra el alimento cerca de su zona de anidación se los puede observar en diferentes islas forrajeando (Vargas, 2011). La corriente submarina de Cromwell fluye y choca en la plataforma submarina de Galápagos, generando nutrientes importantes en la alimentación de los pingüinos, por esto el 95 % de la población de los pingüinos de Galápagos se encuentra alrededor de Fernandina y la costa oeste de Isabela (Vargas, 2011).

Tienen un rango de reproducción y tamaño de población pequeña que varían entre seis hasta 30 individuos (Jiménez-Uzcátegui, 2012). No tienen una temporada exacta de reproducción, porque se han adaptado solo a periodos donde existe altos recursos de alimento, no migran fuera del archipiélago y generalmente se alimentan cerca de la costa (Bingham, 2000).

Las afectaciones por El Niño han sido la causa de decrecimiento poblacional. Vargas, (2011) comenta que la población de pingüinos en los años 70s contados por D. Boersma fueron más de 3400 individuos, y ahora existen entre 1500 pingüinos que han sido afectados por El Niño. Estos animales son fuertemente afectados por cambios oceanográficos como la temperatura del mar y el fenómeno El Niño, la contaminación del agua, la pesca no controlada y depredadores (Granizo, 2002).

El pingüino de Galápagos es generalista y oportunista, capturan crustáceos y peces como anchovetas, sardinas, lisas entre otras presas. Cuando las presas son escasas capturan peces de la familia Pomacentridae y Blennidae (Vargas et al., 2006; Boersma et al., 2013).

Cormorán no volador (*Phalacrocorax harrisi*)



Es endémico de Galápagos, se los puede encontrar en Isabela y Fernandina, generalmente se localizan en áreas planas de lava, en pequeñas colonias, son sedentarios, se alimentan de anguilas, pulpos y peces (UICN, 2017). Esta especie se encuentra en estado “vulnerable” según la IUCN debido al fenómeno de El Niño, interacciones humanas

como choques con botes cerca de las zonas de alimentación, enredamiento con las mallas de pesca, el peligro de diseminación de enfermedades, sin dejar atrás la presencia de depredadores (perros *Canis familiaris*, gatos *Felis catus*) (Valle, 2002; Vargas, 2006; Valle, 2011).

Es la única especie de cormoranes que exhibe una poliandria secuencial facultativa, la cual es un sistema en el que las hembras se aparean en serie con diferentes machos, los papeles sexuales son parcialmente revertidos en el cortejo: las hembras lideran y son más activas que los machos en el cortejo y compiten agresivamente por el acceso a los machos (Kennedy et al., 2009; Valle, 2011).

Cuando sus pichones son volantes y están cerca de los dos meses y medio, la hembra los abandona al igual que al macho, dejando que cuide los pichones (Valle, 2011). Dentro de la poliandria secuencial Valle, (2011) comenta que la hembra parece planificar el abandono a su pareja, al mismo tiempo en el que asegura la supervivencia de los volantes, suelen quedarse más tiempo las hembras cuando el tamaño de la nidada es mayor a uno y cuando el juvenil tiene un crecimiento lento.

Albatros de Galápagos (*Phoebastria irrorata*)



Es una especie endémica del Ecuador. El 99.9% de esta ave anida en la Isla Española, a lo largo de la costa sur de la isla, donde se encuentran varias colonias, siendo las principales Punta Suárez, Punta Cevallos y Central (Anderson et al. 2003; Jiménez-Uzcátegui, 2015). Esta especie está catalogada en “Peligro Crítico” (IUCN, 2017). Esta especie se alimenta de calamares y peces (Harris, 1973). Los albatros a finales de marzo, los machos empiezan a llegar, seguido de las hembras que llegan después de unos días. Existen parejas permanentes en la cual, cuando llegan a la costa de la isla, se aparean poniendo un solo huevo (Huyvaert, 2011).

Los albatros de Galápagos anidan únicamente en las costas de la isla española y unos pocos ejemplares en la isla de La Plata, se caracterizan por recorrer distancias más amplias (3000 Km o más), siendo vistos en las costas del Ecuador, Perú y al norte de Chile (Awkerman et al., 2007). Teniendo mayor distancia que recorrer, están en peligro por medio de la pesca accidental e intencional que usualmente suelen quedar atrapados en redes de barcos pesqueros registradas en las costas de Perú (Jiménez-Uzcátegui et al., 2006).

Esta especie tiene amenazas como el cucuve de española que se alimenta de los huevos, redes de arrastre en la cual se enredan los albatros, la contaminación de aceites de bote de pesca, la ingesta de plástico accidental (Granizo, 2002), el fenómeno de El Niño es otra de las amenazas donde la población de estas aves puede disminuir por falta de alimento (Retchen, 1986). Dentro del sexaje se realiza según el tamaño del pico, pero es más factible realizar un análisis genético para determinar el sexo (Jiménez-Uzcátegui, 2008).

1.3 Captura de individuos y colecta de plumas

Spheniscus mendiculus

El trabajo de campo se realizó los días 12 a 17 de julio y del 30 de agosto a 4 de septiembre del 2017, en la Isla de Isabela, en las zonas de Caleta Iguana, Puerto Pajas e Islotes Marielas (Figura 1). En cada zona se capturaron al menos 30 individuos, de los cuales se extrajeron cuatro plumas rectrices por individuo.

Phalacrocorax harrisi

El trabajo de campo fue realizado entre el 5 y 6 de septiembre del 2017, en la Isla Fernandina en la zona de Playa escondida y al norte de la Isla Isabela en la zona Albermale (Figura1). Las capturas fueron de 37 individuos para las dos zonas, y se extrajeron cuatro plumas secundarias por individuo.

Phoebastria irrorata

El trabajo de campo se realizó en los días 16 al 19 de junio del 2017, en la isla Española en la zona costanera de Punta Suárez (Figura1). En la zona se dispusieron dos localidades (Baja y Alta) (Figura1). En cada zona se procedió a la captura de 30 individuos y extracción de cuatro plumas secundarias por individuo.

Para evitar capturas consecutivas de un mismo individuo se procedió al marcado individual vía pintura no tóxica de color rojo en la parte superior del pico. Todos los monitoreos, las capturas de aves y la colecta de plumas fueron en función de observaciones previas lideradas por guardaparques y, siguieron los protocolos determinados por el personal técnico del Parque Nacional Galápagos. Algunos individuos de las tres especies fueron sexos indeterminados, ya que no tenían las medidas exactas para diferenciarlos y fueron descartados para analizarlos en el laboratorio. Todas las muestras de plumas fueron colocadas en sobres con su respectiva información geográfica e identificación de individuo y especie. Posteriormente, fueron preservadas a 0°C y llevadas hacia el Cuenca, en el laboratorio de Ciencia y Tecnología para ser analizadas. Este trabajo se realizó a

nivel de comunidad entre machos y hembras de tres especies de aves marinas (*S. mendiculus*, *P. harrisi* y *P. irrorata*).

1.4 Medidas morfológicas y determinación del sexo.

Para las tres especies (*Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi* y *Phoebastria irrorata*) se tomaron medidas morfológicas (Tabla1) para la determinación del sexo, siguiendo el protocolo sugerido por (Boersma, 1977; Valle, 1994; Harris, 1973; Valle, 2013).

Tabla 1 Medidas promedio morfológicas obtenidas de trabajos anteriores de las especies *Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi* y *Phoebastria irrorata*, provincia de Galápagos, Ecuador.

Dimensiones	<i>Spheniscus mendiculus</i>		<i>Phalacrocorax harrisi</i>		<i>Phoebastria irrorata</i>	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras	Machos	Hembras
Longitud del pico (mm)	58.4	54.0	80.9	72.6	153.4	141.8
Ancho del pico (mm)	19.8	16.7	16.1	13.2	-	-
Profundidad del pico	-	-	23.3	19.2	-	-
Longitud del ala (mm)	118.7	113.2	83.1	77.0	-	-
Longitud del tarso (mm)	-	-	82.2	75.2	-	-
Peso	2181.6 g	1870.2 g	3762 g	2754 g	3,75 kg	3.04 kg
Envergadura del ala (m)	-	-	-	-	2.23	2.17

Fuente: Boersma, 1977; Valle, 1994; Harris, 1973; Valle, 2013

1.5 Trabajo de Laboratorio

1.5.1 Determinación de las concentraciones de metales pesados.

Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de quimiometría en la Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay. Se procedió a la clasificación de hembras y machos de acuerdo al sitio de muestreo de cada especie siguiendo un protocolo de medidas morfométricas (tabla 1). Para el peso, se unieron las todas las hembras y machos por sitio para obtener los tres metales, el peso mínimo fue de 1 gramo, en el campo se recogieron cuatro plumas por individuo, y debido al tamaño de la muestra (pluma), no se pudo

realizar por individuos ya que las plumas no llegaban al peso indicado. Los análisis y preparaciones de las muestras en la determinación de los metales fueron realizados por el personal del laboratorio.

1.5.1.1 Preparación y determinación de la muestra en plomo, cadmio y mercurio.

Por cada muestra de plumas pesadas (gramos), se generó un proceso de mineralización; se añadió 10 ml de ácido nítrico, luego a la muestra se la puso a digerir en microondas a una temperatura de 160 ° C durante 5 min. Luego de la digestión, se aforó el contenido a 100 ml para tomar una alícuota de 50 ml de la solución. Finalmente, para la primera alícuota de 50 ml se usó para determinar la concentración de mercurio, mientras que los 50 ml restantes se usaron para medir el plomo y cadmio conjuntamente. Finalmente, se procedió a la calcinación a una temperatura de 500 °C por 5 horas (García, 2010).

Una vez mineralizadas las muestras se realizaron dos procedimientos independientes. El primero, para la determinación del mercurio se realizó vía absorción atómica, usando como agente reductor a sodio-boro-hidruro, mientras como agente oxidante a ácido clorhídrico (se usó una solución 5 moles); las reacciones fueron conducidas vía bomba peristáltica y para la determinación en el espectrofotómetro se utilizó una celda de mercurio para vapor frío. El segundo, para la determinación del plomo y de cadmio, se realizó mediante voltametría anódica de redisolución vía palorógrafo; para el efecto se utilizó un electrodo de gota colgante de mercurio con lecturas en un rango de 300-800 mA (Dorsal y Villanueva, 2008).

1.6 Análisis de datos

Después de analizar las muestras, se obtuvieron los datos de las concentraciones entre hembras y machos por sitios (anexo 1) de cada especie: *Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi* y *Phoebastria irrorata*, luego estos datos fueron transformados (vía multiplicación por 1000) para ser ajustados bajo un error de distribución Poisson. Este ajuste fue necesario ya que las concentraciones de los metales pesados estaban cercanas al cero afectando de tal forma el límite de detección máximo (cadmio ≥ 1 mg/Kg; plomo ≥ 5 mg/Kg; mercurio ≥ 1 mg/Kg) según el libro VI Anexo 1 de las normas de calidad ambiental y descargas de afluentes. En general errores de distribución Poisson son análisis más conservadores evitando incurrir en hipótesis falso-positivas (Zar, 1984). Posteriormente, para evaluar las diferencias en la concentración de metales pesados a través del factor sexo (macho, hembra) se usaron modelos lineales generalizados mixtos (GLMMs). GLMMs usaron la concentración (mg/Kg) de cada metal pesado como variables de respuesta, el factor sexo como efectos fijos (variable explicativa) y el factor localidad como variable aleatoria. Todos los análisis fueron desarrollados en R 3.4.3 (R Development Core Team, 2017), con un $\alpha = 0.05$. Los GLMM fueron ejecutados con el paquete ‘lme4’, “effects”, “multcomp”, “lmerTest” y “nlme” (Bates et al., 2018).

CAPITULO 2

RESULTADOS

En total se colectaron 149 individuos entre las tres especies *Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi* y *Phoebastria irrorata*. En caleta iguana se encontraron 19 machos y 5 hembras; Puerto pajas 15 machos y 15 hembras; Marielas 15 machos y 2 hembras para *S. mendiculus*. En playa escondida se encontraron 14 hembras y 7 machos; albemarle 8 machos y 6 hembras esto para la especie de *P. harrisi*. Por ultimo 13 hembras y 9 machos en zona baja y 12 machos y 9 hembras para *P. irrorata*. Las medidas para obtener el sexo, fueron agregadas a una base de datos por individuo, donde los machos presentan mayor tamaño que las hembras en las tres especies (ver tabla 1). Estos datos fueron analizados como comunidad. En mercurio el análisis presentó altas concentraciones para las tres especies, para plomo y cadmio en albatros la concentración estaba por debajo del límite permisible (ver en anexo 1 las concentraciones).

La concentración de mercurio difiere significativamente, los machos tienen mayores concentraciones que las hembras (valor $T=2.077$; $P< 0.05$; Figura 2). La concentración de Cadmio también difiere significativamente, las hembras presentaron mayores concentraciones (valor $T= 9,216$; $P< 0.05$; Figura 3). Por último, el plomo también difiere significativamente, las hembras presentaron mayores concentraciones (valor $T= 9,194$; $P< 0.05$; Figura 4).

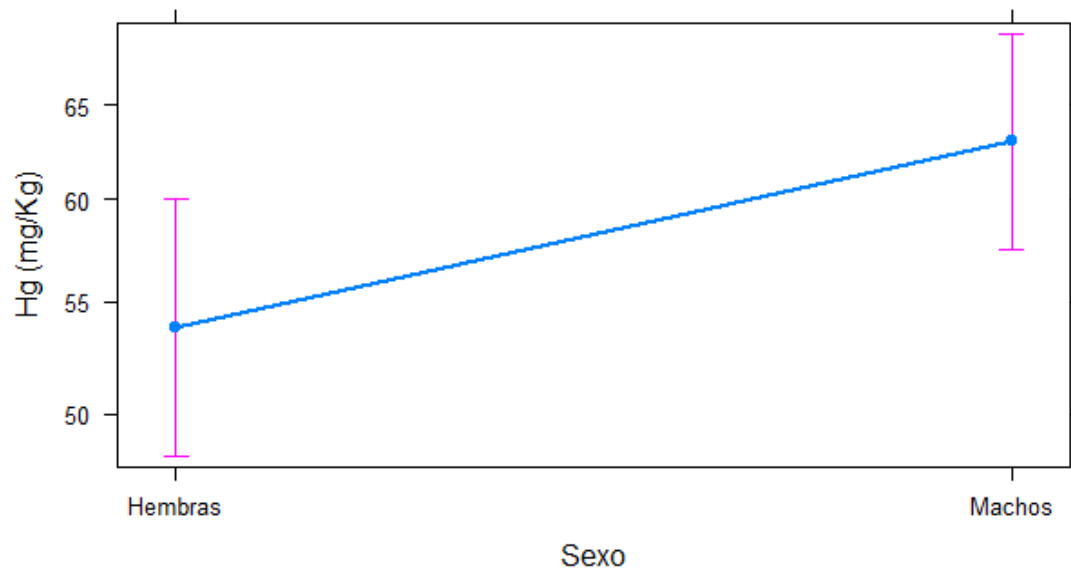


Figura 2. Diferencias en la concentración de mercurio ($P < 0.05$) entre machos y hembras de tres especies de aves marinas (*S. mendiculus*, *P. harrisi* y *P. irrorata*), provincia de Galápagos, Ecuador. El análisis corresponde a modelo generalizado lineal mixto bajo un error de distribución de Poisson.



Figura 3 Diferencias en la concentración de cadmio ($P < 0.05$) entre machos y hembras de tres especies de aves marinas (*S. mendiculus*, *P. harrisi* y *P. irrorata*), provincia de Galápagos, Ecuador. El análisis corresponde a modelo generalizado lineal mixto bajo un error de distribución de Poisson.



Figura 4 Diferencias en la concentración de plomo ($P < 0.05$) entre machos y hembras de tres especies de aves marinas (*S. mendiculus*, *P. harrisi* y *P. irrorata*), provincia de Galápagos, Ecuador. El análisis corresponde a modelo generalizado lineal mixto bajo un error de distribución de Poisson.

CAPITULO 3

DISCUSIONES

Se analizaron las concentraciones de los metales plomo cadmio y mercurio en las tres especies de aves marinas *Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi*, *Phoebastria irrorata*, mostrando una diferencia de concentración de metales entre machos y hembras de esta comunidad de especies. El mercurio está más concentrado en machos, mientras que el plomo y cadmio presenta mayor concentración en hembras. Esta es la primera aproximación de las concentraciones de metales pesados en machos y hembras, de una muestra representativa de la comunidad de aves marinas de las islas Galápagos.

Con respecto al mercurio que presenta mayor concentración en machos de esta comunidad, puede deberse a que las hembras transfieren mercurio durante la puesta de huevos, siendo una manera de poder eliminar una pequeña parte de este metal (Heiz, 1976; Braune y Gasking 1987; Lewis et al., 1993); generando diferencia en la concentración de metal entre ambos sexos, también hay que considerar que la muda en estas aves se genera cada año y quizás se esté reflejando la baja concentración al momento en el que se desprenden las plumas (Lewis y Furness, 1993). Además, depende de la cantidad encontrada de metil mercurio en las presas de estas aves y de la cantidad que hayan almacenado tanto en tejidos y órganos así como en las plumas (Furness et al., 1986; Lewis y Furness, 1993). En general, el mercurio es más volátil (Perugini et al., 2009; Jinadasa et al., 2014) y genera mayores bioacumulaciones en organismos filtradores y consumidores primarios (Watras y Bloom, 1992). La concentración de este metal hacia los machos puede estar asociado al tipo de dieta de estas aves (Kim et al. 1998; Pérez-López et al. 2006), como peces que presentan niveles más altos de mercurio (Kim et al. 1998; Savinov et al., 2003) y según Kojadinovic et al. (2007), menciona que las concentraciones más altas de mercurio en aves marinas se da por el consumo de cefalópodos, en la ecología alimentaria de estas tres especies de aves marinas que están en estudio, su dieta se basa en

peces (sardinas, anchoas, anchovetas), crustáceos y cefalópodos (Vargas et al., 2006; Boersma et al., 2013).

En el plomo y cadmio, al contrario que el mercurio, las hembras presentan mayores concentraciones de estos metales. Estos efectos no necesariamente pueden estar restringidos por procesos naturales asociados al origen volcánico del suelo, puede deberse a fuentes de otras áreas, traídas por corrientes marinas o deposiciones atmosféricas (Duce et al., 1991; Delaney et al., 1993; Sun y Xie, 200, Jiménez-Uzcátegui., et al 2017). Las hembras al tener mayor gasto energético al momento de buscar alimentos se alimentan preferentemente de un mayor número de presas (Zavalaga et al., 2012), que podría resultar en una mayor concentración de contaminantes como el plomo y el cadmio, además, se han encontrados niveles altos de acumulación de cadmio en especies de aves marinas que asocian a su dieta a peces, crustáceos (Stolrelli y Marcotrigiano, 2004) y cefalópodos (Bustamente et al. 1998; Dorneles et al. 2007).

Carlos Valle (2011) en una entrevista menciona de su trabajo de tesis de post grado donde, los cormoranes no voladores machos por ser más grandes que las hembras capturan presas de mayor tamaño, siendo más eficientes en la provisión de alimentos a los polluelos, dentro del cual la hembra no sería capaz de poder mantener al polluelo con vida, por lo cual es rentable para la hembra (que presenta poliandria secuencial) abandonar el nido y dejar al macho que crie al polluelo; por consiguiente los machos pueden presentar menor cantidad de plomo y cadmio porque transfieren la mayoría de sus recursos alimenticios hacia sus crías generando así, que concentraciones metales se queden en las crías, y las hembras como no tienen responsabilidad de brindar cuidado parental, el alimento que capturan sería para sí solas, pudiendo ser esta la causa de presentar mayor acumulación a diferencia de los machos, que obligatoriamente tienen que alimentar a sus polluelos.

Dentro del trabajo de Jiménez-Uzcátegui y colaboradores (2017), encontró mayor concentración de plomo en pingüinos y cormoranes a diferencia de los albatros donde las concentraciones estaban por debajo de su límite permisible, y por último cadmio en las tres especies la cantidad de este metal estaba muy por debajo de los límites permisibles, comparando con este trabajo de tesis, se encontró que en pingüinos y cormoranes las concentraciones estaban por encima del límite permisible, estas aves se alimentan cerca de la zona costera (Borboroglu y Boersma, 2013) y para albatros cadmio y plomo estaban por debajo del límite (ver anexo 1), alimentándose en aguas totalmente abiertas, donde su viajes pueden ser de hasta 3000 km, y cuando se encuentran en épocas de anidación presentan un recorrido menor (Awkerman et al., 2007). En este contexto, tanto el plomo como el cadmio son contaminantes lipofílicos, es decir que ingresan fácilmente por la doble capa de lípidos de las células (Carballo et al., 2004); siendo elementos que están tanto en organismos filtradores y consumidores primarios como así también en consumidores terciarios y predadores mayores (Veltman y Huijbregts, 2008). Así, los derrames reportados para el área de estudio pueden explicar concentraciones tanto al inicio como al final de la cadena trófica.

Finalmente, las erupciones volcánicas frecuentes en el área de estudio no deberían ser descartadas como explicación plausible, tampoco no hay que descartar a las corrientes marinas ya que estas especies se alimentan mayormente dentro de donde existe mayores recursos alimenticios (Hutton, 1987; Jiménez-Uzcátegui et al, 2017). Al reportarse contaminaciones muy puntuales, el origen antropogénico debería ser un factor importante a considerar (Jiménez-Uzcátegui et al., 2017) y los continuos derrames de combustibles, el número de embarcaciones que es usado para turismo y pesca es probable que exista un foco de contaminación, hay que considerar el crecimiento de la población de la cual los desechos que generan llegan al mar, considerando así, metales como el plomo formen parte de este ambiente de contaminación (Vinueza y Flores, 2002).

Las Islas Galápagos han estado en constantes erupciones volcánicas en los últimos años, el material de lava y los gases liberados en la atmósfera puede influenciar directamente tanto en los ecosistemas marinos como terrestres, con evidente influencia negativa a través de las cadenas tróficas (Establier, 1977). Aunque, al reportarse contaminaciones muy puntuales, el origen antropogénico debería ser un factor importante a considerar (Jiménez-Uzcátegui et al 2017). Finalmente, corrientes marinas podrían eventualmente traer contaminantes persistentes desde el continente (eg., plomo, cadmio) (Jiménez-Uzcátegui et al., 2017). En este sentido, el presente estudio no solo denota las diferencias en metales pesados entre machos y hembras de la comunidad de aves marinas, también evidencia la necesidad de identificar las fuentes de contaminación y las rutas de bioacumulación de metales pesados. En general los recursos alimenticios de estas especies sería la base la acumulación, estas especies son generalistas, en épocas del niño se alimentan de lo que encuentren ya que sus presas se vuelven escasas y tienen que recorrer distancias más largas. En las últimas décadas, *Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi*, *Phoebastria irrorata*, presentan varias amenazas; desde el cambio climático, enfermedades patógenas y especies introducidas (Jiménez-Uzcátegui, 2016). Este trabajo aporta con nueva información, los metales pesados deben ser seriamente considerados por los manejadores del área protegida ya que los residuos antropogénicos pueden ser una de las causas de contaminación (Jiménez-Uzcátegui et al., 2017).

BIBLIOGRAFÍA

- Awkerman, J. A., Westbrock, M. A., Huyvaert, K. P., & Anderson, D. J. (2007). Female-biased sex ratio arises after parental care in the sexually dimorphic waved albatross (*Phoebastria irrorata*). *The Auk*, 124(4), 1336-1346.
- Anderson D.J., Huyvaert K. P., Wood D.R., Gillikin C.L., Frost B.J., Henrik M. (2003). At-sea distribution of wave albatrosses and the Galapagos Marine Reserve. *Biological Conservation*, 110(3), 367-373
- Anderson D. J., Huyvaert K. P., Wood Dana R., Gillikin C. L., Hill L. D., Juloa F., Porter E. T., Frost B. J., Wood D. R., Loughheed C., and Vargas H. (2002). "Population size and trends of the waved Albatross *Phoebastria irrorata*. *Marine Ornithology*, 30,63-69.
- Alava Saltos, J. J. (2011). *Bioaccumulation of pollutants in Galapagos sea lions and marine mammals from British Columbia, Canada* (Doctoral dissertation, Environment: School of Resource and Environmental Management).
- Banks, S. (2002). Ambiente Físico. In: Danulat E, Edgar GJ (eds) Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. Fundación Charles Darwin and Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.
- Barbosa, A., De Mas, E., Benzal, J., Diaz, J. I., Motas, M., Jerez, S., & Garcia-Peña, F. J. (2013). Pollution and physiological variability in gentoo penguins at two rookeries with different levels of human visitation. *Antarctic Science*, 25(2), 329-338.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., and Walker, S. (2018). lme4: linear mixed-effects models using 'Eigen' and S4 classes. R package version 1.1-15, <URL: <https://CRAN.R-project.org/package=lme4>>.
- Bingham, M. (2000). Penguins of the Falkland Islands and South America. Environmental Research Unit Publications. Galapagos Penguin (*Spheniscus mendiculus*), pp 45-48.
- Birdlife International. (2017). *Spheniscus mendiculus*, *Phoebastria irrorata* & *Phalacrocorax harrisi* The IUCN Red List of Threatened Species 2016:

<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22698320A93678476.en>. Consulta: 22 Marzo 2017.

Boersma, D. (1977). An Ecological and Behavioral Study of the Galápagos Penguin (pp.47-49). The Living Bird.

Boersma, P.D., Steinfurth, A., Merlen, G., Jiménez-Uzcátegui, G., Vargas, F.H. & Parker, P.G. (2013). Galápagos Penguin (*Spheniscus mendiculus*). In: Garcia Borboroglu, P. & P.D. Boersma (Eds.). Penguins: Natural History and Conservation. University of Washington Press, Seattle, USA. pp. 285-302.

Braune, B. M., & Gaskin, D. E. (1987). Mercury levels in Bonaparte's gulls (*Larus philadelphia*) during autumn molt in the Quoddy region, New Brunswick, Canada. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 16(5), 539-549.

Burger, J. (1981). Sexual differences in parental activities of breeding Black Skimmers. *Tite American Naturalisí*, 117: 975-984.

Burger, J. (1993). Metals in avian feathers: bioindicators of environmental pollution. *Rev environ toxicol*, 5, 203-311.

Burger, J. Metals in Avian Feathers: Bioindicators of Environmental Pollution. *Revista Environmental Toxicology*. v. 5, p. 203-311, 1993.

Burger, J., & Gochfeld, M. (1996). Heavy metal and selenium levels in birds at Agassiz National Wildlife Refuge, Minnesota: Food chain differences. *Environmental monitoring and assessment*, 43(3), 267-282.

Bustamante, P., Caurant, F., Fowler, S.W. Miramand, P. (1998). Cephalopodos as a vector for the transfer of cadmium to top marine predators in the north-east Atlantic Ocean. *The Science of the Total Enviroment*. v. 220, p.71-80.

Bustamante, P., Bocher, P., Cherel, Y., Miramand, P., & Caurant, F. (2003). Distribution of trace elements in the tissues of benthic and pelagic fish from the Kerguelen Islands. *Science of the total environment*, 313(1-3), 25-39.

Calle, P., Alvarado, O., Monserrate, L., Cevallos, J. M., Calle, N., & Alava, J. J. (2015). Mercury accumulation in sediments and seabird feathers from the Antarctic Peninsula. *Marine pollution bulletin*, 91(2), 410-417

Carballo Santaolalla, M., Aguayo Balsas, S., Esperón Fajardo, F., Fernández Rodríguez, A., Reoyo, T., de Torres, P., & Muñoz Reoyo, M. J. (2004). Exposición de cetáceos a contaminantes ambientales con actividad hormonal en el Atlántico. *Ecosistemas*, Vol. 13, n. 3 (sept.-dic. 2004); pp. 39-44.

Delaney, M. L., Linn, L. J., & Druffel, E. R. M. (1993). Seasonal cycles of mangemenese and cadmium in coral from the Galapagos Islands.”

Diamond, A. W., & Devlin, C. M. (2003). Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal Island. *Environmental monitoring and assessment*, 88(1-3), 153-181.

Dirección del Parque Nacional Galápagos. Plan de Manejo de las Áreas protegidas de Galápagos para el Buen Vivir. (2014). Puerto Ayora, Galápagos, Ecuador

Dorneles, P.R.; Laislon-Brito, J., Aguiar dos Santos, R., Silva da Costa, P.A., Malm, O., Freitas, A., Machado, J.P. (2007). Cephalopodos and cetaceans as indicators of offshore bioavailability of cadmium of Central South Brazil Bight. *Environmental Pollution*. v.148, p. 352-359.

Dorsal, M. A., & Villanueva, M. (2008). *Introducción a la Metrología Quiímica*. Obtenido de Curvas de Calibración en los Métodos Analíticos: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION_23498.pdf

Elliot, J. E. & Scheuhammer, A. M. Heavy Metal and Metallothionein Concentrations in Seabirds from the Pacific Coast of Canada. *Marine Pollution Bulletin*. v. 34, p.794-801, 1997.

Establier, R. (1977). Estudio de la contaminación marina por metales pesados y sus efectos biológicos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España

Estrada Guerrero D. M., Soler Tovar D. (2014). Las aves como bioindicadores de contaminación por metales pesados en humedales. Birds as bioindicators of heavy metal contamination in wetlands. *Ornitología Colombiana*, (14).

Favero, M. (2001). Características morfológicas y dimorfismo sexual en la paloma antártica (*Chionis alba*). *Ornitol Neotrop*, 2, 173-179.

Fitter J., Fitter D. & Hosking D. (2015). Wild life of the Galapagos Segunda edición.

Furness, R. W., Muirhead, S. J., & Woodburn, M. (1986). Using bird feathers to measure mercury in the environment: relationships between mercury content and moult. *Marine Pollution Bulletin*, 17(1), 27-30.

García, G. (2010). Determinación de mercurio por generación de vapor frío y determinación vía absorción y fluorescencia atómica. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar
Gallarta, F., Sanz, J., & Galbán, J. (1992). Generación de Hidruros, Espectrometría de absorción atómica molecular UV- VIS en fase de gas. Determinación de Arsénico, Antimonio y Selenio. Logroño.

Gandini, P. A., Frere, E., Holik, T. M. (1992). Implicancias de las diferencias en el tamaño corporal entre colonias para el uso de medidas morfométricas como método de sexado en *Spheniscus magellanicus*. *El Hornero* 13 (03): 211-213

Goede, A. A., & De Bruin, M. (1986). The use of bird feathers for indicating heavy metal pollution. *Environmental monitoring and assessment*, 7(3), 249-256

Furness, R. W., Muirhead, S. J. & Woodburn, M. (1986). Using birds feathers to measure mercury in the enviroment: relation ships between mercury and moult. *Mar. Pollut- Bull.*, 17(1), 27 -30.

Granizo, T. (2002). Albatros (*Phoebastria irrorata*) & Pingüino de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*). Pp 100-103 en T. Granizo (Ed), Libro rojo de las aves del Ecuador. SIMBIOE/Conservación Internacional/Ecociencia/Ministerio del Ambiente/IUCN. Serie de Libros Rojos del Ecuador, tomo 2. Quito, Ecuador.

- Harris, M. P. (1973). The biology of the waved albatross *Diomedea irrorata* of Hood Island, Galapagos. *Ibis*, 115(4), 483-510.
- Harris, M. P. (1973). The biology of the waved albatross *Diomedea irrorata* of Hood Island, Galapagos. *Ibis*, 115(4), 483-510
- Heinz, G. H. (1976). Methylmercury: Second-year feeding effects on mallard reproduction and duckling behavior. *The Journal of Wildlife Management*, 82-90
- Heylins Pippa., Bensted-Smith Robert & Altamirano Manfred. (2002). Zonificación e Historia de la Reserva Marina de Galápagos. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad (Danulat E & GJ Edgar, eds.). pp 10. Fundación Charles Darwin. Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.
- Hindell, M. A., Brothers, N., & Gales, R. (1999). Mercury and cadmium concentrations in the tissues of three species of southern albatrosses. *Polar Biology*, 22(2), 102-108.
- Huyvaert K P. (2011). Albatros de Galápagos (*Phoebastria irrorata*). Pp 146-153 en De Roy T (Ed) Galápagos cincuenta años de ciencia y conservación. Parque Nacional Galápagos.
- Hughes, K. D., Ewins, P. J., & Clark, K. E. (1997). A comparison of mercury levels in feathers and eggs of osprey (*Pandion haliaetus*) in the North American Great Lakes. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 33(4), 441-452.
- Huttel, C. (1986). Zonificación bioclimatológica y formaciones vegetales en las Islas Galápagos. *Cultura: Revista del Banco Central del Ecuador*, 8(24a), 221-233.
- Hutton, M. (1987). 'Cadmium', pp. 35-42 in: T. C. Hutchinson and K. M. Meema (eds.), Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment (SCOPE Monograph 31), Wiley, Chichester, UK.
- Izquierdo Sanchis, M. (2010). Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso. Universitat de València.

Jinadasa, B., S. Ahmad, E. Edirisinghe, and I. Wicramasinghe. 2014. Mercury Content in Yellowfin Tuna (*Thunnus albacares*) and Swordfish (*Xiphias gladius*) and Estimation of Mercury Intake. *Journal of Food Security* 2:23-26.

Jiménez-Uzcátegui, G., Wiedenfeld, D. (2002). Aves Marinas. Danulat, E., Edgar, G. (Eds), *Linea Base de la Biodiversidad- Reserva Marina de Galápagos, Parque Nacional Galápagos*. Fundación Charles Darwin. Galápagos. Puerto Ayora. Santa Cruz.

Jiménez-Uzcátegui, G. (2008). Monitoreo de Albatros *Phoebastria irrorata* en la Isla Española, Galápagos. Estación Científica Charles Darwin y Parque Nacional Galápagos.

Jiménez-Uzcátegui, G. (2012). Monitoreo de Pingüino de Galápagos y Cormorant no volador. Estación Científica Charles Darwin y Parque Nacional Galápagos. pp3

Jiménez-Uzcátegui, G. (2015). Monitoreo del pingüino de Galápagos y cormorán no volador 2015. Estación Científica Charles Darwin y Parque Nacional Galápagos.

Jiménez-Uzcátegui, G. (2016). Estudio de las poblaciones de aves marinas: pingüino de galápagos, cormorán no volador y albatros de galápagos 2016. Estación Científica Charles Darwin y Parque Nacional Galápagos.

Jiménez-Uzcátegui, G., Vinueza, R. L., Urbina, A. S., Egas, D. A., García, C., Cotín, J. A. V. I. E. R., & Sevilla, C. (2017). Lead and cadmium levels in Galapagos Penguin *Spheniscus mendiculus*, Flightless Cormorant *Phalacrocorax harrisi*, and Waved Albatross *Phoebastria irrorata*. *Marine Ornithology*, 45, 159-163.

Kennedy, M., Valle, C. A., & Spencer, H. G. (2009). The phylogenetic position of the Galápagos Cormorant. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 53(1), 94-98.

Kim, E.Y., Ichihashi, H., Saeki, K., Atrashkevich, G., Tanabe, SH.,; Tatsukawa, R. (1996). Metal Accumulation in Tissues of Seabirds from Chaun, Northeast Siberia, Russia. *Environmental Pollution*. v. 92, p. 247-252.

Kojadinovic, J., M. Potier, M. Le Corre, R. Cosson, and P. Bustamante. (2006). Mercury content in commercial pelagic fish and its risk assessment in the Western Indian Ocean. *Science of the Total Environment* 366:688-700.

- Kojadinovic, J., Le Corre, M., Cosson, R.P., Bustamante, P. (2007). Trace Elements in Three Marine Birds Breeding on Reunion Island (Western Indian Ocean): Part 1- Factors Influencing Their Bioaccumulation. *Archives of Environmental Contamination Toxicology*, v 52, p.418-430.
- Lewis, S. A., & Furness, R. W. (1993). The role of eggs in mercury excretion by quail *Coturnix coturnix* and the implications for monitoring mercury pollution by analysis of feathers. *Ecotoxicology*, 2(1), 55-64.
- Lewis, S. A., Becker, P. H., & Furness, R. W. (1993). Mercury levels in eggs, tissues, and feathers of herring gulls *Larus argentatus* from the German Wadden Sea Coast. *Environmental Pollution*, 80(3), 293-299.
- Linn, L. J., Delaney, M. L., & Druffel, E. R. M. (1990). Trace metals in contemporary and seventeenth-century Galapagos coral: Records of seasonal and annual variations.
- Liordos, V., & Goutner, V. (2008). Sex determination of Great Cormorants (*Phalacrocorax carbo sinensis*) using morphometric measurements. *Waterbirds*, 31(2), 203-210.
- Lucero, M. (2002). Características Oceanográficas de la Región Insular (Ecuador). *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 11(1), 7-16.
- Metcheva, R., Yurukova, L., Teodorova, S., & Nikolova, E. (2006). The penguin feathers as bioindicator of Antarctica environmental state. *Science of the Total Environment*, 362(1-3), 259-265.
- Moreno Sánchez, R., & Devars, S. (1999). Abundancia de los metales pesados en la biosfera. *Contaminación Ambiental por Metales Pesados*. AGT Editor. México, 1-10.
- Morinha, F., Cabral, J.A & Batos, E. (2012). Molecular sexing of birds: A comparative review of polymerase chain reaction (PCR)- based methods. *Theriogenology*, 78:703-714
- Muñoz Abril, L. J. (2016). *Ecología trófica, diversidad genética y contaminación por mercurio del atún aleta amarilla (Thunnus albacares) en la Reserva Marina de Galápagos y el continente ecuatoriano* (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2016).

- Nelson, B. (1978). *The Sulidae: gannets and boobies* (No. 154). Oxford University Press.
- Ochoa, E. P. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *Revista CES Salud Pública*, 5(1), 59.
- Perugini, M., P. Visciano, M. Manera, A. Zaccaroni, V. Oliveri, and M. Amorena. (2009). Levels of Total Mercury in Marine Organisms from Adriatic Sea, Italy. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology* 83:244-248.
- R Development Core Team. (2017). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. www.R-project.org. Vienna.
- Rechten, C. (1986). Factors determining the laying date of the waved albatross (*Diomedea irrorata*). *Ibis* 128: 492-501.
- Savinov, V. M., Gabrielsen, G. W., & Savinova, T. N. (2003). Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, inter-specific and geographical differences. *Science of the Total Environment*, 306(1-3), 133-158.
- Scolaro, J. A., Hall, M. A., & Ximénez, I. M. (1983). The Magellanic Penguin (*Spheniscus magellanicus*): sexing adults by discriminant analysis of morphometric characters. *The Auk*, 221-224.
- Senar, J. C., & Guallar, S. (2004). Mucho más que plumas. Barcelona: Institut de Cultura de Barcelona.
- Stattersfield AJ, Crosby MJ, Long AJ, Wege DC. (1998). Endemic bird areas of the world: priorities for biodiversity conservation. BirdLife Conservation Series No. 7. Cambridge (UK): BirdLife International.
- Storelli, M. M., & Marcotrigiano*, G. O. (2004). Content of mercury and cadmium in fish (*Thunnus alalunga*) and cephalopods (*Eledone moschata*) from the south-eastern Mediterranean Sea. *Food additives and contaminants*, 21(11), 1051-1056.
- Tavares, S., Xavier, J. C., Phillips, R. A., Pereira, M. E., & Pardal, M. A. (2013). Influence of age, sex and breeding status on mercury accumulation patterns in the wandering albatross *Diomedea exulans*. *Environmental pollution*, 181, 315-320.

Thompson, D. R., Bearhop, S., Speakman, J. R., & Furness, R. W. (1998). Feathers as a means of monitoring mercury in seabirds: insights from stable isotope analysis. *Environmental Pollution*, 101(2), 193-200.

Vargas, F. H., Harrison, S., Rea, S., & Macdonald, D. W. (2006). Biological effects of El Niño on the Galápagos penguin. *Biological Conservation*, 127(1), 107-114.

Valle, C.A. (1994). The Ecology and Evolution of Sequential Polyandry in Galápagos Cormorants (*Compsohalieus* [NANNOPTERUM] HARRISI). Princeton University. Pp. (23).

Valle, C. no volador (2002). Cormorán (*Phalacrocorax harrisi*). Pp 104-105 en T. Granizo (Ed), Libro rojo de las aves del Ecuador. SIMBIOE/Conservación Internacional/Ecociencia/Ministerio del Ambiente/IUCN. Serie de Libros Rojos del Ecuador, tomo 2. Quito, Ecuador.

Valle C. (2011). Cormorán (*Phalacrocorax harrisi*). Pp 162-169 en De Roy T (Ed) Galápagos cincuenta años de ciencia y conservación. Parque Nacional Galápagos.

Valle, C. A. (2013). Ecological selection and the evolution of body size and sexual size dimorphism in the Galapagos flightless cormorant. In *Evolution from the Galapagos* (pp. 143-158). Springer, New York, NY.

Vargas H. (2011) Pingüinos de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*). Pp 154-161 en De Roy T (Ed) Galápagos cincuenta años de ciencia y conservación. Parque Nacional Galápagos.

Vargas, H., Loughheed, C., & Snell, H. (2005). Population size and trends of the Galápagos Penguin *Spheniscus mendiculus*. *Ibis*, 147(2), 367-374.

Vega Ruiz, C. M. (2008). El Pingüino de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) como Indicador de Calidad en Salud Ambiental: un estudio comparativo ecotoxicológico y de historia natural (Doctoral dissertation). Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Rio de Janeiro.

Veltman, K. y Huijbregts, M.A. (2008). Cadmium bioaccumulation factors for terrestrial species: application of the mechanistic bioaccumulation model OMEGA to explain field data. *Sci. Total Environ.* 406 (3): 413-8

Vinueza, L., & Flores, M. (2002). Comunidades Intermareales Rocosas. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad (Danulat E & GJ Edgar, eds.). pp 111-112. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos, Santa Cruz, Galápagos, Ecuador.

Watkins, G., Cruz, F. 2007. Galapagos at Risk: A Socioeconomic Analysis of the Situation in the Archipelago. Puerto Ayora, Province of Galapagos, Ecuador, Charles Darwin Foundation.

Watras, C., and N. Bloom. (1992). Mercury and methylmercury in individual zooplankton Implications for bioaccumulation. *Limnology Oceanography* 37:1313-1318.

Wren, C. D., Harris, S., & Harttrup, N. (1995). Ecotoxicology of mercury and cadmium. *Handbook of ecotoxicology*, 392-423.

Zavalaga, C. B., & Paredes, R. (1997). Sex Determination of Adult Humboldt Penguins Using Morphometric Characters (Determinación del sexo en Adultos de *Spheniscus humboldti* Utilizando Características Morfométricas). *Journal of Field Ornithology*, 102-112.

Zavalaga, C. B., Emslie, S. D., Estela, F. A., Müller, M. S., DELL'OMO, G. I. A. C. O. M. O., & Anderson, D. J. (2012). Overnight foraging trips by chick-rearing Nazca Boobies *Sula granti* and the risk of attack by predatory fish. *Ibis*, 154(1), 61-73.

Zar, J. (1984). 'Biostatistical analysis.' 2nd edn. (Prentice Hall: Englewood Cliffs.)

ANEXOS

Anexo 1 Resultados de la concentración de metales pesados , mercurio, cadmio, plomo en tres especies de aves marinas (*Spheniscus mendiculus*, *Phalacrocorax harrisi* y *Phoebastria irrorata*), provincia de Galápagos, Ecuador. Los valores (0.08 mg/kg) se encuentran por debajo del límite de detección. Todos los valores fueron transformados (multiplicados por 1000) para ser ajustados bajo un error de distribución Poisson.

Especie	Punto	Sexo	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Pin	PP	Machos	5,15	29,77	0.08
Pin	Mar	Machos	1,36	0.08	0.08
Pin	CI	Machos	2,22	6,29	3,8
Pin	PP	Hembras	1,89	48,29	20,12
Cor	Ples	Machos	11,36	5,55	0.08
Cor	Albr	Machos	5,82	0.08	2,13
Cor	Ples	Hembras	5,81	1,42	1,07
Cor	Albr	Hembras	5,4	2,99	0.08
Alb	Zb	Hembras	4,51	0.08	0.08
Alb	Za	Hembras	3,23	0.08	0.08
Alb	Zb	Machos	2,91	0.08	0.08
Alb	Za	Machos	4,11	0.08	0.08

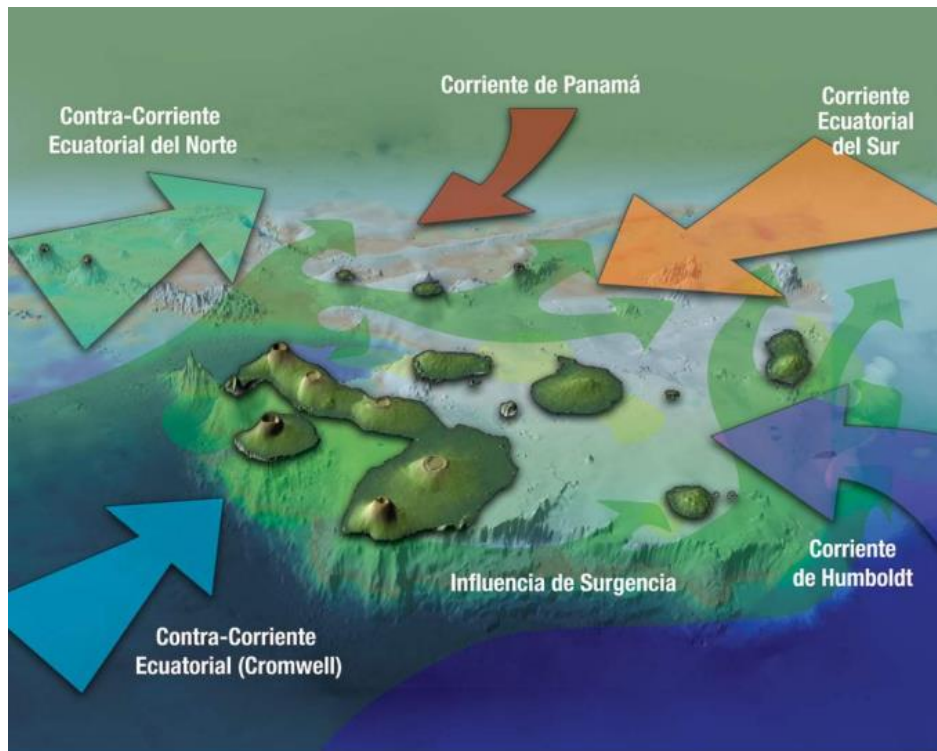
Anexo 2 Fotografía de la toma de medidas morfológicas para la determinación del sexo en la especie *Phoebastria irrorata*, provincia de Galápagos, Ecuador.



Anexo 3 Fotografía de colecta de plumas en las especie *Phoebastria irrorata*, provincia de Galápagos, Ecuador.



Anexo 4. Sistema de corrientes marinas de Galápagos. Según el Autor Jiménez-Uzcategui et al (2017), los metales pesados pueden provenir de las corrientes de la zona continental. La corriente de Cromwell es la que presenta mayor cantidad de nutrientes que provienen desde las zonas profundas, la corriente de Panamá trae aguas cálidas, se mezclan con las la corriente sur ecuatorial y de Humboldt llevando corrientes frías desde Chile y Perú generando una gran biodiversidad marinas dentro de las islas Galápagos.



Fuente: Atlas de Galápagos, 2018