

*Ecología trófica de aves del género *Catharacta* spp. y su posible interacción con residuos antropogénicos en zonas marino-costeras de la Península Fildes, Isla Rey Jorge (Antártida)*



*Tesina para optar por el grado de Licenciada en Ciencias Biológicas*

**Fiorella Bresesti**

**2020**

Orientador: Dr. Franco Teixeira de Mello

Co-orientador: Dr. Javier Lenzi

## Resumen

Las aves marinas ocupan la mayoría de los niveles tróficos de la cadena alimenticia y son formidables depredadores en su ambiente. Uno de los grupos de aves marinas ampliamente distribuido en la Antártida son los escúas (*Catharacta spp.*), encontrándose éstos entre los principales depredadores del ecosistema antártico. A través de su dieta oportunista y su condición depredadora, estas aves pueden considerarse especies indicadoras de un entorno biótico cambiante. La influencia humana en el continente antártico y la afectación global por residuos de origen antrópico no es ajena a esta región del planeta. Esta investigación pretende analizar la ecología trófica de estas aves a nivel espacial y temporal así como también responder si estas especies están siendo afectadas por residuos de origen antropogénico.

Se analizaron un total de 238 egagrópilas de la dieta de *Catharacta spp.*, de las cuales una submuestra de éstas fue posible discriminarlas por especie (*Catharacta lonnbergi* y *Catharacta maccormicki*). La obtención de las mismas corresponden a muestreos realizados en campañas antárticas de verano comprendidas entre los años 2017 y 2020 en Península Fildes, Isla Rey Jorge. A través del análisis de egagrópilas colectadas en cinco áreas diferentes de la península (Isla Ardley, Half Three Point, Bahía Maxwell, Punta Nebles y Drake) se identificaron un total de diez categorías de presas en la dieta siendo plumas, huesos y cuero los más frecuentes. A nivel espacial se observaron diferencias entre varios de los sitios de colecta, no siendo así a nivel temporal. Con respecto a los residuos, se observó una relación significativa con respecto a los nido, siendo no significativo la distancia de las bases con la cantidad de residuos.

El hábito alimenticio de las aves del género *Catharacta spp.* en Península Fildes se ajustan a una dieta generalista y oportunista. La incidencia de residuos, incluidos compuestos tóxicos como el plástico, en la dieta de ambas especies evidencia el alto impacto de la actividad antropogénica existente en la península y la necesidad de estudiar la incidencia de los residuos en la ecología alimentaria de estas aves en sitios remotos de gran sensibilidad ambiental como lo es la Antártida.

### Palabras Claves

*Catharacta spp.*, Antártida, Isla Rey Jorge, Península Fildes, análisis de dieta, residuos.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres. A mi padre por ser incondicional y estar siempre presente a su manera, a mi madre por acompañarme en mis procesos y respetando mis decisiones. Les agradezco a ambos por haberme dado las herramientas que me han permitido llegar hoy hasta acá y haber logrado otras tantas cosas, por su aceptación y libertad.

A mis amigas, Lu, Dai, Belu y Michi por haber sido mi sustento emocional durante este proceso de cierre de ciclo que por momentos me llevó a querer bajar los brazos, siempre estuvieron presentes con una palabra, un apoyo, una risa o un abrazo. Sin ellas cuatro este trayecto sin duda hubiera sido más cuesta arriba.

En el plano académico, agradecer haberme cruzado durante estos años con docentes que compartieron y transmitieron su pasión por la Biología y su profesión. Agradecer a mis tutores Javier y Franco. A Franco por enseñarme el trabajo de campo, compartir sus conocimientos, experiencias y darme apoyo, a Javier por estar siempre presente las veces que lo necesite, por transmitir su conocimiento y acompañarme en el proceso de aprendizaje. Agradezco a ambos por su paciencia, respeto y las palabras de aliento que me dieron cuando fueron necesarias.

Agradecer a la Dotación Antarkos XXXVI por habernos prestado apoyo en cada salida de trabajo de campo y recibirnos tan cálidamente en Base Artigas, al resto de los integrantes del equipo AntartPlast (Eve, Barbi, Migue, Gige y Franco) por haber sido parte de esta gran experiencia en el continente antártico. Gracias por compartir sus conocimientos e investigaciones, por los tan lindos y divertidos momentos compartidos, por la complicidad y la locura de maravillarnos juntos con el ambiente.

Finalmente agradecer a los miembros del tribunal Álvaro Soutullo y Sebastián Jiménez.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 ECOLOGÍA TRÓFICA DE AVES MARINAS .....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>2. METODOLOGÍA</b> .....	4
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	4
2.2 DISEÑO DE MUESTREO Y TOMA DE DATOS .....	5
2.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO .....	8
2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	9
2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA DIETA DE <i>CATHARACTA SPP</i> .....	9
<b>3. RESULTADOS</b> .....	11
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA DIETA DEL GÉNERO <i>CATHARACTA SPP</i> .....	12
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA DIETA DEL GÉNERO DE AVE <i>CATHARACTA SPP</i> . EN 2020 .....	17
3.3 EVALUACIÓN DE LAS BASES CIENTÍFICAS COMO POSIBLE FUENTE DE RESIDUOS ....	20
<b>4. DISCUSIÓN</b> .....	21
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	24
<b>6. CONSIDERACIONES FINALES</b> .....	24
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	25
<b>8. APÉNDICE</b> .....	32

## 1.INTRODUCCIÓN

### 1.1 ECOLOGÍA TRÓFICA DE AVES MARINAS

El análisis de la ecología trófica es uno de los aspectos más importantes en el estudio de la ecología básica de las especies (Sih & Christensen, 2001). La alimentación es uno de los componentes más importantes de la ecología animal debido a que conecta directamente a los individuos con su ambiente a través de la adquisición de los recursos energéticos (Begon et al., 2006). Por lo tanto, conocer los requerimientos alimenticios de las especies en un momento y lugar determinados es importante para entender cómo éstas se relacionan con las actividades humanas y así identificar potenciales conflictos ambientales o desarrollar medidas para mitigarlos.

En el caso de las aves marinas las mismas presentan una gran plasticidad en el uso de recursos tróficos, alimentándose tanto de organismos marinos como terrestres. En el caso de los Charadriiformes (gaviotas y escúas) que habitan regiones costeras, también incorporan a su dieta recursos de origen terrestre, incluyendo otras aves y pequeños mamíferos. Asimismo, incluyen el consumo de carroña, como mamíferos marinos y aves. Además las aves marinas suelen incluir recursos de origen humano como subsidios alimenticios (ej. fuentes de alimentos derivados de las actividades humanas que se ponen a disposición de los animales) pudiendo tener diversas implicancias socio ambientales (Leroux & Loreau, 2008; Polis et al., 1997). Existe evidencia de poblaciones de gaviotas que han presentado crecimientos poblacionales a causa del uso de subsidios alimenticios provenientes de la actividad humana, como ser el consumo de residuos orgánicos en basureros (Belant et al., 1993; Coulson & Coulson, 1998; Duhem et al., 2005; Pons, 1992; Pons & Migot, 1995; Weiser and Powell, 2010). El crecimiento poblacional de las especies que consumen subsidios alimenticios puede impactar negativamente sobre las poblaciones de sus presas o incrementar la competencia por recursos (Emslie et al., 1995; Martínez-Abraín et al., 2003; Voorbergen et al., 2012; Yorio et al., 1998).

Además de la ingestión de residuos como subsidios alimenticios, las aves también ingieren tanto macro plásticos (plásticos mayores a 5 mm) como microplásticos (plásticos menores a 5 mm, UNEP 2014) que podrían ser confundidos por estos individuos con alimento tanto en

el mar como en la costa (Provencher et al., 2014). En este sentido los residuos plásticos se han convertido en una de las problemáticas ambientales más relevantes de las últimas décadas. A partir de la década de 1950 la producción y comercialización de plástico se ha disparado de forma exponencial ya que es un material resistente, versátil, maleable, duradero y de muy bajo costo (Andrady & Neal, 2009). Los objetos plásticos son una amenaza para los ecosistemas costeros y marinos debido a que tienen la capacidad de ser transportados largas distancias por las corrientes marinas quedando atrapados en los giros oceánicos pudiendo alcanzar cualquier parte del planeta, incluso las regiones polares (Lebreton 2012). Debido a esto, son considerados contaminantes que se encuentran ampliamente distribuidos en los océanos donde pueden ocurrir flotando en la superficie del mar, depositados en el lecho marino o varados en playas (Cózar et al., 2014, Chiba et al., 2018, Obbard 2018).

Cuando los residuos plásticos interactúan con la fauna marina causan diferentes impactos a los organismos como ser enredos (Laist 1997), asfixia (Gregory 1991), laceraciones e incluso pueden provocar la muerte (Kühn et al., 2015). La ingestión de este material puede producir la obstrucción o perforación del aparato digestivo pudiendo reducir el apetito y la asimilación de nutrientes con la consecuente reducción de la eficacia biológica (Thiel et al., 2018). El posible efecto de la ingestión de plástico en las aves marinas ha sido motivo de preocupación ya que puede afectar su condición corporal, afectar su tasa reproductiva o incluso incrementar la mortalidad (Wilcox et al., 2015, Ryan et al., 1989). Las aves marinas al ser depredadores del nivel trófico superior en los ecosistemas marinos y presentar una gran amplitud de nicho trófico son un modelo ideal para monitorear la contaminación plástica (Ryan et al., 1989, Furness et al., 1997, Van Franeker 2004).

Si bien la contaminación por residuos plásticos es una amenaza global, se sabe muy poco sobre la distribución y fuentes en las regiones polares incluida la Antártida. Península Fildes es un claro ejemplo de cómo la actividad antropogénica ejerce presión sobre el ambiente. Durante los meses de verano dicha península conjuga diferentes tipos de actividades que se solapan en tiempo y espacio como ser actividad científica, operaciones logísticas, turismo, pesquerías y actividades de conservación de la naturaleza y protección a los sitios de valor geológico e histórico (Braun et al., 2017). Esto se debe a que Fildes es una de las áreas más grandes libres de hielo en todo el continente antártico durante el verano austral. Es de destacar también que cuenta con seis bases permanentes durante todo el año que albergan investigadores y turistas durante los meses de verano (Braun et al., 2017).

Como consecuencia de la intensa actividad humana se han registrado desechos de diversos tipos a lo largo de toda la región, sumado a los residuos que son arrastrados por las corrientes marinas y llegan a las costas (Braun et al, 2012). Por ejemplo, durante los años 2008 y 2009, la deposición de residuos se realizó a cielo abierto en ciertas bases en la Península Fildes lo cual provocó que los desechos más livianos se extendieran por toda la zona sur de la península a causa del viento al no contar con ninguna medida que evitara su distribución por deriva (Braun et al., 2012). Además, los desechos provenientes de actividades marítimas son frecuentemente registrados en la zona norte de la isla, las cuales reciben las corrientes provenientes del pasaje Drake, una zona altamente transitada por embarcaciones pesqueras y de carga. Por tanto, es esperable que diversas zonas de la isla Rey Jorge puedan ser afectadas de forma diferente por las diversas fuentes de residuos que ocurren en esta región. De la misma forma, es esperable que las tasas de contaminación por residuos puedan variar en el tiempo, dado que las actividades humanas que las generan también varían temporalmente (ej. la actividad de las bases científicas). Estos desechos, al quedar disponibles en los ecosistemas, pueden potencialmente ser ingeridos por la biota antártica al ser confundidos con presas o estar mezclados en su ambiente natural de forrajeo.

Uno de los grupos de aves marinas ampliamente distribuido en la Antártida son los escúas (*Catharacta spp.*). Este grupo es considerado como uno de los mejores representantes de especies oportunistas y generalistas entre las aves marinas antárticas (Santos et al., 2012). Habitan en áreas templadas y polares de ambos hemisferios y durante la época reproductiva se distribuyen en el continente antártico extendiéndose en la área norte de la península antártica, islas antárticas y subantárticas en los meses comprendidos entre octubre y abril (Koop et al., 2011, Santos et al., 2012). Uno de los sitios de reproducción es la Isla Rey Jorge, en particular la península Fildes. Durante el período reproductivo su alimentación es oportunista y generalista, principalmente carroñera y predatora (Reinhardt et al., 2000). Además, habitan en áreas donde hoy es frecuente la actividad humana como ser próximo a las bases científicas y vías de desplazamiento vehicular. Por lo tanto, estudiar la incidencia de los residuos en la ecología alimentaria de estas aves y entender la importancia de esta problemática en sitios remotos de gran sensibilidad ambiental como lo es la Antártida, resulta de vital importancia.

## 1.2 OBJETIVO GENERAL

Analizar la variación espacial y temporal de la ecología alimentaria y la incidencia de residuos antropogénicos en la dieta de los escúas (*Catharacta lonnbergi* y *Catharacta maccormicki*) en Península Fildes, isla Rey Jorge, Antártida.

### 1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la dieta de *Catharacta spp.* y su variabilidad espacial y temporal en Península Fildes, isla Rey Jorge, Antártida.
2. Analizar la dieta de *Catharacta spp.* en época reproductiva a nivel de especie en Península Fildes, isla Rey Jorge, Antártida.
3. Realizar una primera evaluación de la incidencia de las bases científicas como potenciales fuentes de residuos antropogénicos en la dieta de *C. lonnbergi* y *C. maccormicki* en período reproductivo 2020.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se llevó a cabo en Península Fildes (62°12'00"S 58°58'00"O), la cual se encuentra en el extremo sudoeste de la isla Rey Jorge en el archipiélago de Shetland del Sur en la Antártida. Dicha península tiene una extensión aproximada de 80 km<sup>2</sup> y se caracteriza por ser el área costera más extensa libre de hielo en la isla durante el verano austral.

La biodiversidad en la región antártica se caracteriza por ser relativamente baja a nivel de organismos terrestres ya que estos se encuentran restringidos a las zonas permanentes libres de hielo, no siendo así el caso para organismos marinos (Wauchope et al., 2019). Dichas aéreas son hábitat de la mayor parte de la biodiversidad del continente, representando los hotspots de la diversidad antártica. Estas también ofician como sitios de alimentación y reproducción de especies con gran distribución geográfica como ser mamíferos marinos y aves marinas (Lee et al., 2017).

En particular, la península Fildes es un área de relevancia para la reproducción de aves marinas. La mayor densidad de aves marinas se encuentra en isla Ardley, una de las principales razones por su designación como Zona Antártica Especialmente Protegida (ZAEP No. 150) en la cual se encuentra aproximadamente el 90% de los pingüinos que habitan en península Fildes siendo pingüino papúa (*Pygoscelis papua*), pingüino de Adelia (*Pygoscelis adeliae*) las especies más abundantes (Sun et al., 2014). Escúas (*Catharacta antarctica lonnbergi*, *Catharacta maccormicki*), gaviotín antártico (*Sterna vittata*), petreles de las tormentas (*Oceanites oceanicus*, *Fregetta tropica*) y petrel gigante (*Macronectes giganteus*) se reproducen en áreas con alta actividad humana como ser próximo a las inmediaciones de las bases científicas y a la caminería (Braun et al., 2014). Así mismo, otras aves como ser albatros errantes (*Diomedea exulans*) utilizan estos sitios como área de alimentación (Jimenez et al., 2015a).

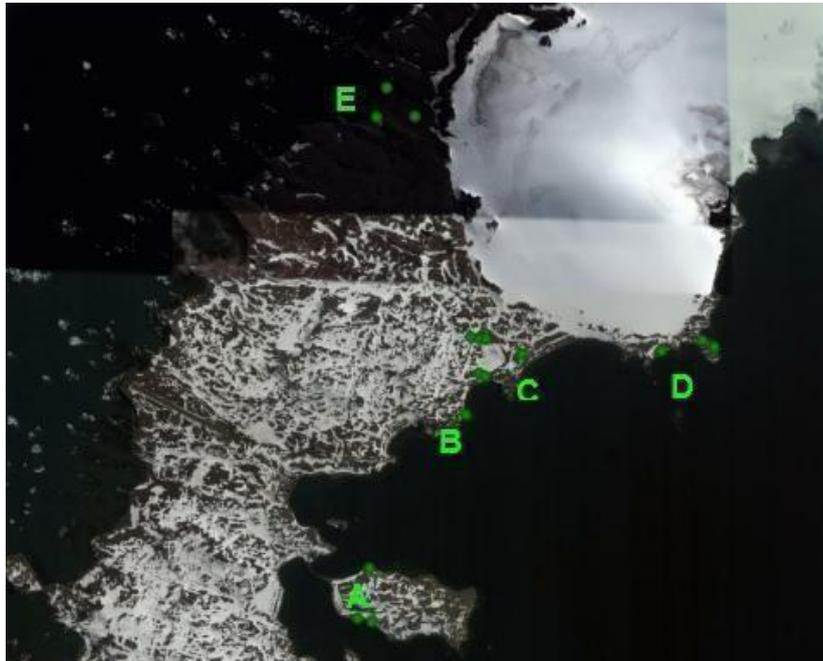
## 2.2 DISEÑO DE MUESTREO Y TOMA DE DATOS

El presente trabajo se desarrolló en el marco del proyecto “Residuos plásticos y microplásticos en zonas marino-costeras de la Península Fildes, Isla Rey Jorge (Antártida)” el cual se desarrolla desde el año 2016 llevando efectuadas hasta el momento seis campañas de muestreo (Tabla 1). Cada año se realizan dos campañas, una a principios del verano (febrero) y otra al final (abril). Durante dichas campañas de verano se recorren diversas playas donde se recolectan egagrópilas de *Catharacta spp.* para realizar estudios de dieta. Hasta el momento el proyecto cuenta con 238 egagrópilas colectadas, de las cuales 121 fueron proporcionadas por el grupo de investigación alemán liderado por la Dra. Christina Braun de la Universidad Friedrich Schiller de Jena correspondiendo al verano 2020.

Este estudio está basado en el análisis de egagrópilas. Algunas aves marinas, entre ellas los escúas, regurgitan egagrópilas que son estructuras que contienen las partes duras no digeridas de las presas que consumieron (Barrett et al., 2007). La recolección de egagrópilas es una forma no invasiva de evaluar dietas y permite identificar una amplia gama de presas de diversos grupos taxonómicos (Karnovsky et al., 2012). Por otro lado, el uso de egagrópilas puede dar un posible sesgo debido a que existe la posibilidad de que la cantidad de las presas que son totalmente digeridas se subestime y se sobreestime aquellas presas que tienen partes duras o poco digeribles, como ser plumas, otolitos, huesos de

peces, restos de exoesqueletos, invertebrados entre otros (Karnovsky et al., 2012). A pesar de estas limitaciones, se decidió utilizar este método debido a que es ampliamente utilizado en el estudio de la dieta de estas aves ya que en general permite rastrear las presas más representativas (ej., peces, aves, invertebrados, entre otros) (Reinhardt et al., 2000).

La colecta de muestras se realizó en cinco áreas las cuales fueron previamente establecidas (Fig. 1). Durante la colecta, a cada egagrópila le fue asignado un código alfanumérico y cada punto de colecta fue georeferenciado (Fig. 1). Cada egagrópila colectada fue almacenada de forma individual, acondicionada y conservada en frío a una temperatura de  $-20^{\circ}\text{C}$  para su posterior procesamiento en los laboratorios del CURE de Maldonado (UDELAR).



**Figura. 1** Ejemplo de sitios georeferenciados donde fueron colectadas egagrópilas en una campaña de muestreo. Debido a la escala cada punto verde representa varios puntos de colecta. A: Isla Ardley, B: Half Three Point C: Bahía Maxwell, D: Punta Nebles, E: Drake

Para caracterizar la dieta y evaluar la incidencia de residuos (objetivos específicos 1 y 2), trabajamos con muestras obtenidas entre los años 2017 y 2020. Dada la naturaleza de nuestro método de trabajo no fue posible identificar las diferentes especies de escúas así como tampoco el estado reproductivo de los individuos (reproductivo - no reproductivo).

Para evaluar la incidencia de las bases científicas como potenciales fuentes de residuos, se trabajó con el set de egagrópilas facilitadas por la Dra. Braun las cuales fueron colectadas el año 2020. Estas egagrópilas fueron tomadas de nidos de individuos reproductores. La distinción entre especies fue posible en un 62.8% (n= 76) de las egagrópilas, por lo que en este caso trabajamos de forma discriminada entre especies (*C. maccormicki*, *C. lonnbergi*) (Tabla 2).

Para distinguir las egagrópilas de escúas de otras aves nos basamos principalmente en el tamaño y la forma. Las pequeñas y redondeadas se descartaron ya que podrían pertenecer a gaviotín antártico (*Sterna vitata*) y gaviotas cocinera (*Larus dominicanus*).

**Tabla 1.** Fechas de colecta y sitios de muestreo de egagrópilas colectadas en la Península Fildes, Isla Rey Jorge, utilizadas para realizar análisis. Total de egagrópilas 117, de las cuales 28, 22, 37, 30 corresponden a las campañas de los años 2017, 2018, 2019 y 2020 respectivamente.

<i>Mes/Año</i>	<i>Sitio</i>	<i>Nº de Egagropilas</i>
<i>enero 2017</i>	Próximo Base China	28
<i>enero 2018</i>	Drake	4
	Half Three Point	11
	Base Antártica Artigas	1
<i>abril 2018</i>	Half Three Point	6
<i>enero 2019</i>	Punta Nebles	6
	Drake	2
	Base Antártica Artigas	1
<i>febrero 2019</i>	Half Three Point	12
	Drake	7
<i>abril 2019</i>	Cañada AINA	9
<i>enero 2019</i>	Lago Uruguay	6
<i>febrero 2019</i>	Drake	6
	Ardley	6
	Base Antártica Artigas	6
	Half Three Point	6

**Tabla 2.** Fecha de colecta, nido y cantidad de egagrópilas colectadas en cada uno de ellos en Península Fildes. Total de egagrópilas 121.

<i>Mes/Año</i>	<i>Nido</i>	<i>Nº de egagrópilas</i>
<i>febrero 2020</i>		
	1	13
	2	4
	3	9
	4	1
	5	2
	6	1
	7	1
	8	1
	9	4
	10	1
	11	2
	12	3
	13	6
	14	10
	15	5
	16	9
	17	8
	18	13
	19	16
	20	12

## 2.3 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE MUESTRAS EN LABORATORIO

En el laboratorio cada egagrópila fue medida (largo y ancho), pesada y fotografiada antes de ser disgregada. Los ítems alimenticios fueron descritos y clasificados. Para ello se determinó en primera instancia el origen de cada presa, natural o artificial, y posteriormente se dividieron en categorías más específicas. Para el análisis se utilizó una lupa binocular de 40x.

## 2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

### 2.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA DIETA DE *CATHARACTA SPP.*

Para analizar cómo se compone la dieta de *Catharacta spp.* se utilizaron índices comúnmente empleados en estudios de dieta (Silva-Costa & Bugoni, 2013) como ser frecuencia de ocurrencia (FO) y frecuencia relativa de ocurrencia (%FO), siendo la FO el “número de pellets” que contiene un ítem de presa determinado y %FO la “proporción de pellets” que contienen un ítem de presa.

Para visualizar y analizar la composición general de la dieta, se realizó un Análisis de Correspondencia (AC) (Clarke 1993). Este análisis permite reducir la dimensionalidad de los datos encontrando aquellas variables hipotéticas que dan cuenta de la mayor parte de la varianza en matrices de datos de conteos (Clarke 1993). Para esto se construyó una tabla de contingencia con las egagrópilas como filas y las abundancias de las categorías de alimento como columnas.

Para analizar la variación espacial y temporal en la dieta y la ingestión de plásticos se realizó un Análisis de Similitud (ANOSIM). Este test estadístico se basa en la comparación de las distancias estadísticas entre y dentro de grupos (Clarke, 1993), lo cual permitió comparar dietas entre años y entre sectores de la península. Para ello se incorporó a la tabla de contingencia utilizada para el AC el sitio, fecha y año de muestreo. El test estadístico se define como:

$$R = (rb - rwn) / (n - 1) / 4$$

donde  $rb$  es el rango promedio de todas las distancias entre los grupos,  $rw$  es la media del rango de todas las distancias dentro de los grupos,  $n$  es el número total de repeticiones sumadas para dos muestras. El estadístico  $R$  toma valores entre -1 y 1, cuando  $R$  tiende a cero representa la existencia de no diferencias entre un conjunto de muestras, es decir la hipótesis nula (Clarke, 1993). Para este caso se utilizó la distancia Jaccard para la construcción de las matrices de similitud.

En base a las comparaciones significativas obtenidas del análisis ANOSIM, se empleó el análisis SIMPER (porcentajes de similitud) para determinar a posteriori qué categorías están presentes en la dieta de *Catharacta spp.* contribuyen en mayor medida a las diferencias observadas entre sitios. Este análisis permite calcular la contribución relativa de cada taxón analizado a la similitud taxonómica promedio observada entre dos o más grupos taxonómicos mediante la adición de una permutación aleatoria (Gibert 2018). Los datos utilizados fueron de presencia-ausencia y el índice de distancia fue Bray-Curtis, dado que el índice de Jaccard no se encuentra disponible en los softwares utilizados. La medida de Bray-Curtis es algebraicamente equivalente al coeficiente de Czekanowski utilizado por Field y McFarlane (1968) y Day et al. (1971). Puede ser usado en todo tipo de datos, en datos de presencia-ausencia se reduce al coeficiente de Datos (Sneath y Sokal, 1973).

Para analizar la similitud de la composición de la dieta entre años se utilizó el análisis Cluster. Éste permite el análisis de datos exploratorio en el que las observaciones se dividen en diferentes grupos que comparten características comunes. El propósito del análisis es la construcción de grupos (o clases) de modo que los objetos que quedan agrupados dentro de un mismo grupo sean similares o relacionados entre sí y diferentes (o no relacionados) con los objetos de los otros grupos (Clarke, 1993). Cuanto mayor sea la homogeneidad dentro de un grupo y mayor la diferencia entre los grupos, más distinto es el agrupamiento (Clarke, 1993). La distancia utilizada fue el índice de Jaccard el cual aplica a datos de presencia-ausencia.

Para evaluar si las bases científicas podrían considerarse una posible fuente de plástico en la dieta de los escúas, se ajustó un modelo GAM con distribución Poisson con la cantidad de residuos como la variable dependiente. Las variables independientes correspondieron a la especie como factor fijo y además se estimó una curva suavizada (“smoother”) para la distancia a la base más cercana para cada nivel del factor especie; los nidos fueron incorporados en el modelo como factor aleatorio. Este modelo no registró diferencias entre las especies (P-valor > 0.05) por lo cual el término “especie” fue excluido del modelo. El siguiente modelo evaluó sólo una curva suavizada para la distancia como factor fijo y el nido como factor aleatorio.

Se evaluaron 3 modelos con diferentes ajustes para la cantidad de residuos como variable dependiente (Ver Apéndice). Se ajustaron con dos bases de datos diferentes, una con el set un set de datos completo y otro excluyendo aquellos nidos que se encontraban alejados a más de 5Km, ya que podrían considerarse valores extremos producto de errores de muestreo.

Los análisis fueron llevados a cabo empleando el software de análisis estadístico PAST 4.03 (PAleontological STatistics) (Hammer et al., 2011) y el software R 3.0.2 (R, Development Core Team, 2020). Para ajustar los modelos aditivos generalizados mixtos se utilizó el paquete R mgcv (Wood S. 2017) y la función gam.

### 3. RESULTADOS

Se colectaron y procesaron un total de 238 egagrópilas, 117 sin discriminar las especies de *Catharacta spp.*, de las cuales 28, 22, 37, 30 corresponden a las campañas de los años 2017, 2018, 2019 y 2020 respectivamente. Por otra parte, 121 egagrópilas correspondientes a la campaña de verano 2020, las cuales corresponden a 20 nidos de las especies *Catharacta lonnbergi* y *Catharacta maccormicki*. Las egagrópilas en su gran mayoría presentaron características similares en cuanto a forma, difiriendo en algunos casos en su tamaño (Fig. 2). Existieron escasas excepciones en las cuales las egagrópilas tenían un aspecto bien diferente debido a su composición. Las egagrópilas analizadas pertenecientes a los años comprendidos entre 2017 y 2020, presentaron un peso promedio de  $10.18 \pm 8.48$  g (media  $\pm$  SD) con un largo de promedio de  $53.54 \pm 14.36$  mm y ancho de  $36.65 \pm 8.18$  mm. Las egagrópilas proporcionadas por la Dra. Braun correspondientes al año 2020 al estar discriminadas en especies permitió estudiarlas de forma discriminada. Para *Catharacta lonnbergi* el peso promedio obtenido fue de  $9.77 \pm 5.59$  g, mientras que para *Catharacta maccormicki* el mismo fue de  $4.10 \pm 1.61$  g. El largo de egagrópila de *C. lonnbergi* fue de  $52.87 \pm 19.66$  mm y ancho  $31.62 \pm 8.98$  mm, mientras que para *C. maccormicki* fueron de  $45.21 \pm 10.60$  mm y  $27.94 \pm 3.38$  mm respectivamente.

**Figura 2.** Imagen de diferentes tipos de egagrópilas de *Catharacta spp.* en Isla Rey Jorge.



### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA DIETA DEL GÉNERO *CATHARACTA SPP.*

El análisis de la dieta de *Catharacta spp.* mostró una dieta variada. En este estudio en particular se identificaron diez categorías subdivididas en ítems alimenticios (Tabla 3).

**Tabla 3.**

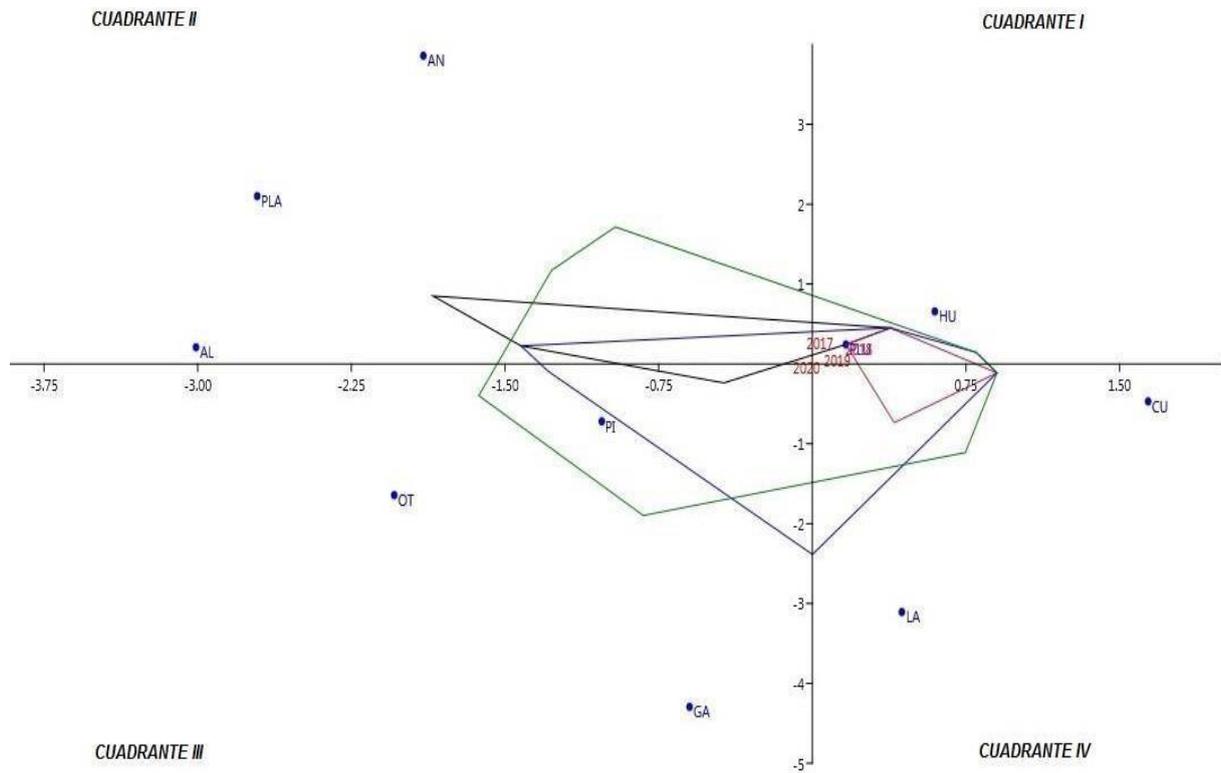
<b><i>Categorías</i></b>	<b><i>Ítems alimenticios</i></b>
Plumas	
Cuero	Restos de cuero adherido a plumas
Piedras	
Huesos	Vertebras de pez, espinas de pez, vertebras de ave, otros
Lapas	
Gasterópodos	Restos de gasterópodos e individuos como tal
Algas	
Anfípodos	
Plástico	Espuma-plast, fragmentos plásticos
Otros	Celulosa, goma, fragmentos de conchas, pelos y vidrio

Durante los cuatro años analizados (2017, 2018, 2019 y 2020), la categoría con mayor frecuencia relativa de ocurrencia (%FO) en la dieta fueron las plumas, las cuales aparecieron en las 117 egagrópilas analizadas (100%). Las siguientes categorías con mayor %FO fueron huesos (19.6%) y cuero (12.8%), mientras que dentro de las categorías con menor frecuencia se encuentran plásticos (3.4%), gasterópodos (2.6%) y anfípodos (0.9%) (Tabla 4).

**Tabla 4.** Se presentan las dos categorías según origen de las presas y las diez categorías de ítems alimenticios registradas junto con los valores correspondientes de los índices calculados; FO (frecuencia de ocurrencia) y %FO (porcentaje de frecuencia de ocurrencia).

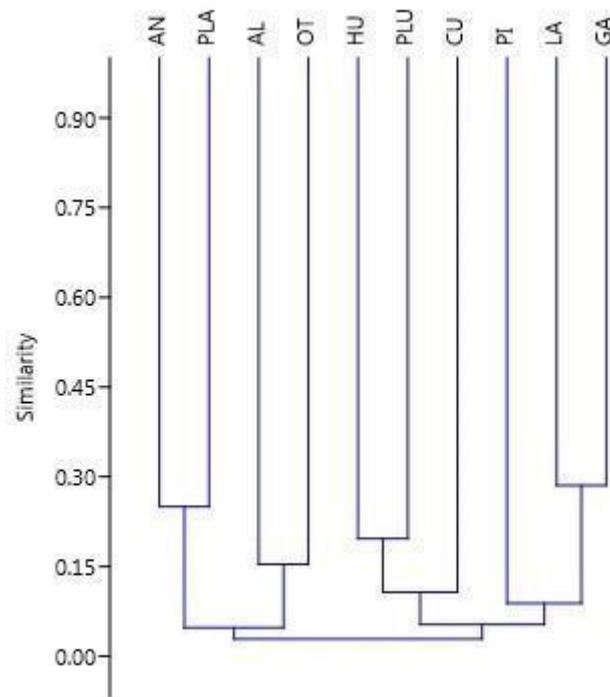
<b>Origen</b>	<b>Categorías</b>	<b>FO</b>	<b>%FO</b>
<b>Natural</b>			
	Plumas	117	100
	Cuero	15	12.8
	Piedras	8	6.8
	Huesos	23	19.6
	Lapas	6	5.1
	Gasterópodos	3	2.6
	Algas	7	5.9
	Anfípodos	1	0.9
<b>Artificial</b>			
	Plástico	4	3.4
	Otros	7	5.9

En el análisis de correspondencia la varianza explicada por el primer eje fue de 17.2% y separó los ítems provenientes de aves y otras presas (plumas, huesos y cuero) de algas, anfípodos, gasterópodos, lapas, piedras y plástico (Fig. 3). El segundo eje explicó el 15.1% de la varianza, sin embargo no muestra un patrón claro de separación de los ítems alimenticios. El análisis de los polígonos convexos mostró que el nicho trófico de *Chataracta spp.* fue más amplio en 2020, no siendo así para los años 2017 y 2018 donde se observan polígonos más restringidos (Fig. 3).



**Figura 3.** Análisis de Correspondencia para los años 2017, 2018, 2019 y 2020. Los colores representan los años (2017: negro, 2018: rojo, 2019: azul y 2020: verde), las letras los ítems alimenticios (GA: gasterópodos, LA: lapas, PI: piedras, HU: huesos, PLU: plumas, CU: cuero, AL: algas, OT: otros, PLA: plástico, AN: anfípodos) y los polígonos corresponden a la variabilidad en la dieta en cada año.

El análisis de Similitud (ANOSIM), no mostró diferencias significativas entre años con un índice de similaridad cercano a cero ( $R = 0.005$ , P-valor = 0.329). El análisis de clúster agrupó los ítems alimenticios en tres grupos. Por un lado, gasterópodos, lapas y piedras, por otro cuero, plumas y huesos, y finalmente otros, algas, plástico y anfípodos (Fig. 4). Con respecto a los diferentes sitios de muestreo sí se registraron diferencias entre ellos ( $R = 0.1067$ , P-valor = 0.0002). Este análisis indicó que existen diferencias entre varios de los sitios de colecta, registrándose las mayores diferencias en la Base China, Half Three Point, BCAA y Drake en relación a otros sitios (Tabla 5).



**Figura 4.** Resultado de análisis Cluster para los años 2017, 2018, 2019 y 2020. Las letras representan los ítems alimenticios AN: anfípodos, PLA: plástico, AL: algas, OT: otros, HU: huesos, PLU: plumas, CU: cuero, PI: piedras, LA: lapas, GA: gasterópodos

**Tabla 5.** Análisis ANOSIM, valores P y R respectivamente.

VALORES P	<i>Base China</i>	<i>Drake</i>	<i>Half Three Point</i>	<i>BCAA</i>	<i>Punta Nebles</i>	<i>Lago Uruguay</i>	<i>Ardley</i>
<i>Base China</i>		0,0227	0,5554	0,0363	0,0103	0,0069	0,0051
<i>Drake</i>	0,0227		0,2863	0,7414	0,1654	0,1838	0,0701
<i>Half Three Point</i>	0,5554	0,2863		0,425	0,019	0,0417	0,0109
<i>BCAA</i>	0,0363	0,7414	0,425		0,0169	0,2728	0,0421
<i>Punta Nebles</i>	0,0103	0,1654	0,019	0,0169		0,098	0,8701
<i>Lago Uruguay</i>	0,0069	0,1838	0,0417	0,2728	0,098		0,1499
<i>Ardley</i>	0,0051	0,0701	0,0109	0,0421	0,8701	0,1499	

VALORES R	<i>Base China</i>	<i>Drake</i>	<i>Half Three Point</i>	<i>BCAA</i>	<i>Punta Nebles</i>	<i>Lago Uruguay</i>	<i>Ardley</i>
<i>Base China</i>		0,0368	-0,007632	0,2005	0,4024	0,4341	0,4789
<i>Drake</i>	0,0368		0,008185	-0,0664	0,1304	0,1137	0,2111
<i>Half Three Point</i>	-0,007632	0,008185		0,009813	0,3082	0,2441	0,367
<i>BCAA</i>	0,2005	-0,0664	0,009813		0,2844	0,04167	0,2697
<i>Punta Nebles</i>	0,4024	0,1304	0,3082	0,2844		0,112	-0,1009
<i>Lago Uruguay</i>	0,4341	0,1137	0,2441	0,04167	0,112		0,09815
<i>Ardley</i>	0,4789	0,2111	0,367	0,2697	-0,1009	0,09815	

El análisis SIMPER mostró que las categorías que contribuyen en mayor medida a la diferenciación entre sitios fueron huesos (28.48%) y cuero (21.96%), mientras que las plumas estuvieron presentes en todos los sitios contribuyendo de igual manera (Tabla 6). Los ítems más importantes en Drake y Half Three Point fueron huesos y cuero. En la Base Científica Antártica Artigas si bien también se registraron huesos y cuero como los ítems más importantes, ninguno de los otros ítems aportó a las diferencias con otros sitios (Tabla 6). Por otro lado, en Drake, Nebles y Ardley sólo los gasterópodos aportaron a las diferencias con el resto de los sitios. En el Lago Uruguay exceptuando el cuero, el resto de los ítems contribuyen de igual manera con la excepción de ser el único sitio donde se registraron anfípodos (Tabla6).

**Tabla 6.** Análisis SIMPER en donde se muestran las categorías presentes en la dieta de *Catharacta* spp. y sus contribuciones relativas entre sitios.

Categoría	Av. dissim	%Contrib.	%Acumulativo	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
				Base China	Drake	Half Three Point	Base Artigas	Nebles	L. Uruguay	Nebles
Hueso	8,396	28.48	28.48	0.107	0.25	0.286	0.25	0	0.167	0
Cuero	6,475	21.96	50.43	0	0.143	0.114	0.375	0	0.5	0.167
Otros	3,295	11.17	61.61	0	0.107	0.0286	0	0.167	0	0.5
Algas	3,059	10.37	71.98	0.0714	0.0714	0	0	0.333	0	0.167
Piedras	3,027	10.27	82.25	0.0357	0.0714	0.0857	0	0.167	0	0.167
Lapa	2,178	7.409	89.66	0	0.107	0.0286	0	0.167	0.167	0
Plástico	1,513	5.131	94.79	0.0357	0	0.0286	0	0	0.167	0.167
Gasterópodos	1,161	3.938	98.73	0	0.0357	0	0	0.167	0	0.167
Anfipodos	3,756	1,274	100	0	0	0	0	0	0.167	0
Plumas	0	0	100	1	1	1	1	1	1	1

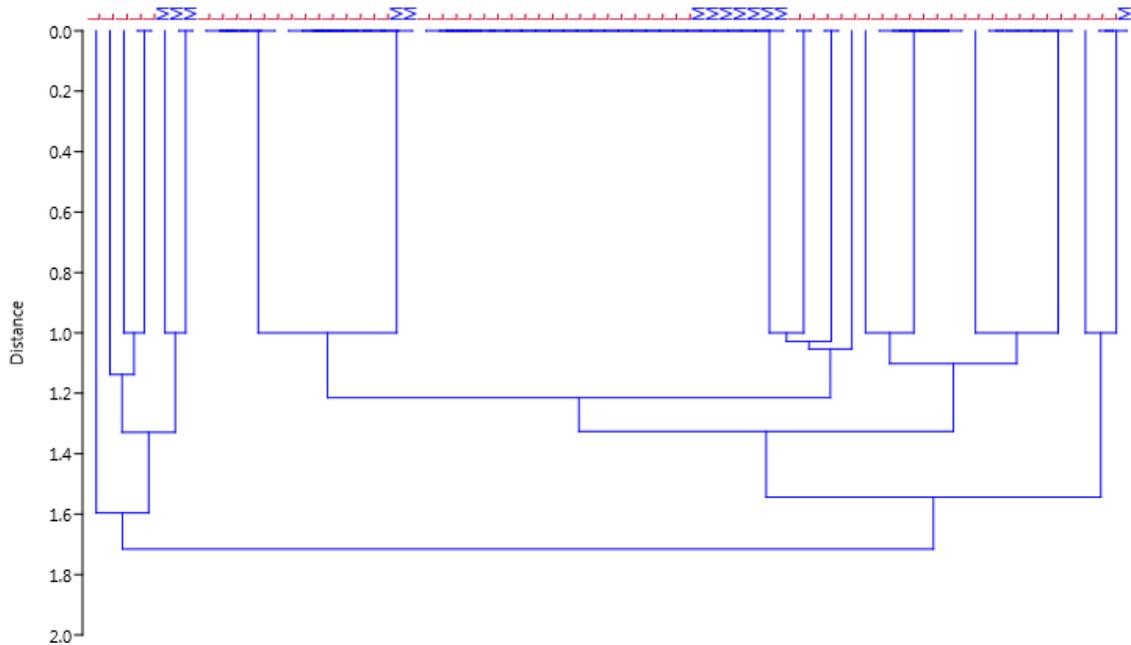
### 3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA DIETA DEL GÉNERO DE AVE *CATHARACTA* SPP. EN 2020

Las egagrópilas correspondientes al año 2020, mostraron una dieta variada. En este caso se identificaron ocho categorías las cuales fueron subdivididas en ítems alimenticios (Tabla 7). Para *Chataracta* spp. (todas las muestras incluidas las no identificadas a nivel específico) la categoría con mayor frecuencia relativa de ocurrencia (%FO) en la dieta fueron las plumas (100%). Las siguientes categorías con mayor %FO fueron huesos (33.1%), cuero (27.3%) y otros(9.9%), mientras que dentro de las categorías con menor frecuencia se encuentran plástico (4.1%) algas (2.5%) y anfípodos (0.8%) (Tabla 6). Para *C. lonnbergi* la categoría con mayor %FO en la dieta también fueron las plumas (100%). Las siguientes categorías con mayor %FO fueron huesos (41.3%), cuero (28.6%), otros (7.9%) y otros residuos (7.9%), mientras que dentro de las categorías con menor frecuencia se encuentran algas (4,8%), plásticos (4.7%) y anfípodos (0.8%) (Tabla 7). Para *C. maccormicki* plumas fue la categoría más frecuente (100%) seguida de cuero (23.1%); mientras que dentro de las categorías con menor frecuencia se encuentran piedras (15.3%), plásticos (15.3%), otros residuos (15.3%) y otros (7,7%) (Tabla7).

**Tabla 7.** Se presentan las categorías e ítems alimenticios discriminados por especie, categorías según origen de las presas junto con los valores correspondientes de los índices calculados; FO (frecuencia de ocurrencia) y %FO (porcentaje de frecuencia de ocurrencia).

<i>Especie</i>	<i>Origen Item</i>	<i>Categorías</i>	<i>FO</i>	<i>%FO</i>	<i>Ítems Alimenticios</i>
<i>Catharacta spp.</i> <i>n= 121</i>	<i>Natural</i>	Plumas	121	100	
		Cuero	33	27.3	Resto de cuero adherido a plumas
		Piedras	15	12.4	
		Huesos	40	33.1	Vertebras de pez, espinas de pez, huesos de ave, otros
		Algas	3	2.5	
	<i>Artificial</i>	Anfipodos	1	0.8	
		Otros	12	9.9	Pelos, semillas, escamas
		Plásticos	5	4.1	Fragmentos plásticos, anilla de marcaje
		Otros			Vidrio, fragmentos de pintura, fragmentos de celulosa, nylon
		Residuos	7	5.7	
<i>C. lonnbergi</i> <i>n= 63</i>	<i>Natural</i>	Plumas	63	100	
		Cuero	18	28.6	Resto de cuero adherido a plumas
		Piedras	12	19	
		Huesos	26	41.3	Vertebras de pez, espinas de pez, huesos de ave, otros
		Algas	3	4.8	
	<i>Artificial</i>	Anfipodos	1	0.8	
		Otros	5	7.9	Pelos, semillas
		Plásticos	3	4.7	Fragmentos plásticos, anilla de marcaje
		Otros			Vidrio, fragmentos de pintura, fragmentos de celulosa, nylon
		Residuos	5	7.9	
<i>C. maccormicki</i> <i>n= 13</i>	<i>Natural</i>	Plumas	13	100	
		Cuero	3	23.1	Resto de cuero adherido a plumas
		Piedras	2	15.3	
		Otros	1	7.7	Semillas
	<i>Artificial</i>	Plástico	2	15.3	Fragmentos plásticos
		Otros			
		Residuos	2	15.3	Vidrio

El análisis de Similitud (ANOSIM), no mostró diferencias significativas entre especies con un índice de similitud cercano a cero indicando que la dieta sería similar entre las especies ( $R = -0.003$ , P-valor = 0.67). El análisis Cluster fue no concluyente a la hora de separar las dos especies de escúa (Fig.5).



**Figura 5.** Resultado de análisis Cluster año 2020. Los colores y letras representan las dos especies de escúas. L (rojo) corresponde a *Catharacta lonnbergi* y M (azul) corresponde a *Catharacta maccormicki*. El eje de las y está representado por el índice de distancia Jaccard.

### 3.3 EVALUACIÓN DE LAS BASES CIENTÍFICAS COMO POSIBLE FUENTE DE RESIDUOS

Los modelos aditivos que mejor ajustaron los datos fueron aquellos en los cuales se utilizó el set de datos con distancias menores a 5Km (Tablas A1 y A2). La diferencia en los valores de AIC entre estos modelos fue menor a 2 unidades por lo que ningún modelo fue seleccionado (Tabla A1).

La distancia y la especie fueron no significativas en todos los modelos, sin embargo el factor nido fue significativo (Ver Apéndice).

## 4.DISCUSIÓN

Como ya ha sido demostrado en otros estudios que han analizado la ecología trófica del género *Catharacta spp.*, nuestros resultados sugieren que los hábitos alimenticios de estas especies en Península Fildes, Isla Rey Jorge se ajustan a una dieta generalista y oportunista (Reinhardt et al., 2000). Las presas con mayor frecuencia de ocurrencia registradas fueron plumas, huesos y cuero lo que sugiere una estrategia de forrajeo carroñera al ser posiblemente el alimento que se encuentra de forma más abundante y disponible en la isla. Probablemente la presencia de colonias de pingüinos en el área sea uno de los principales hábitats de alimentación, principalmente para *C. lonnbergi* ya que anida en la zona oriental de Isla Ardley la cual es el hábitat reproductivo de tres especies del género *Pygoscelis* (Prowaznik 2019). Por otro lado, las presas relacionadas a una dieta marino-costera, así como presas de origen antrópico, también fueron registradas aunque en menor proporción. La dieta de los escúas varió espacialmente, existiendo diferencias más marcadas en algunas bases y sitios de muestreo como ser en Base China, Half Three Point y Drake donde se registraron mayor cantidad de residuos. A nivel temporal, para el período de los 4 años estudiados no se registró variación en la dieta de *Catharacta spp.* *C. lonnbergi* tuvo una dieta más diversa, con un mayor número de presas que *C. maccormicki*. Ambas se alimentaron de residuos en particular de residuos plásticos, no encontrándose una relación entre la distancia a la base más cercana ni diferencias entre ambas especies en relación con la cantidad de residuos en las egagrópilas.

Posiblemente, la variación en la distribución espacial de los residuos sobre la península podría dar cuenta de las diferencias registradas en la dieta. El hecho de que en la Base Artigas se hayan registrado sólo huesos y cuero, podría indicar una menor disponibilidad de otros ítems, por ejemplo los residuos plásticos como ocurre en Half Three Point y la Base China. La abundancia de este residuo en los dos sitios antes mencionados podría deberse a que durante los años 2008 y 2009, la disposición final de residuos se realizó a cielo abierto próximo a la base científica china (Braun et al., 2014). Esto provocó que los desechos más livianos se extendieran por toda la zona sur de la península a causa del viento al no contar con ninguna medida que evitara su dispersión por deriva (Braun et al., 2012). Al día de hoy muchos de esos materiales abandonados persisten en la zona, siendo una posible fuente generadora de residuos disponibles para ser ingeridos por estas aves. Esto sería congruente con las evidencias obtenidas de las muestras colectadas en esa zona.

La dieta de *C. lonnbergi* y *C. maccormicki* en la Península Fildes fue similar probablemente debido a su parecido espectro alimentario y hábitos alimenticios generalistas (Prowaznik 2019). Probablemente, la principal fuente de alimento para ambas especies a lo largo de las costas del continente antártico sean las colonias de pingüinos Emperador (*Aptenodytes forsteri*) y Adelaida (*Pygoscelis adeliae*), y otras aves marinas, siendo menos frecuentes las presas marinas como peces y krill (Prowaznik 2019). Sin embargo, otros estudios han sugerido la existencia de competencia interespecífica entre ambas especies (Ritz et al. 2006, Graña Grilli et al. 2012). Debido a su superioridad física, *C. lonnbergi* sería capaz de desplazar a *C. maccormicki* de las colonias de pingüinos obligando a esta a especializarse principalmente en presas marinas (Graña Grilli et al. 2012). Sin embargo, la composición general de la dieta en nuestra investigación no sugiere la existencia de competencia interespecífica. Por otra parte, la ausencia de ítems marinos como parte de la dieta de *C. maccormicki* podría deberse a la baja cantidad de egagrópilas colectadas de esta especie en relación a *C. lonnbergi*, lo cual probablemente no sea suficiente para observar la riqueza total de especies.

La dieta de los escúas evidenció la ingesta de residuos antropogénicos, incluidos los plásticos. Se sabe, según estudios previos (Anfuso et al., 2020) que existe una amplia dispersión de éstos residuos en el área y que no necesariamente están asociados a las bases científicas ya que se los encuentra esparcidos en toda la península. Con nuestra base de datos y resultados actuales no se podría adjudicar una relación de consumo de plástico con los nidos. Las bases podrían pensarse que si bien no son un punto físico de contaminación podrían estar actuando como un área de dispersión de residuos.

Este fenómeno de ingesta de residuos se ha visto en otras especies de aves marinas del hemisferio sur como ser Petrel de las Tormentas de Wilson (*Oceanites oceanicus*), Petrel Damero (*Daption capense*) y Petrel Plateado (*Fulmarus glacialoides*) (Van Franeker et al., 1988). Lo mismo está ocurriendo también en el Polo Norte en especies como Petrel Boreal (*Fulmarus glacialis*) y Gaviota Tridáctila (*Rissa tridactyla*).

En el área costera de península Fildes se ha visto que la contaminación proviene de diversas fuentes, una de ellas es probablemente la contaminación global de los océanos (Law 2017). En el Océano Ártico se han registrado cantidades significativas de microplásticos en capas de hielo marino (Obbard et al. 2014; Peeken et al. 2018), muestras

de nieve (Bergmann et al., 2019), en el fondo del mar (Bergmann y Klages, 2012) y en aguas superficiales y subterráneas (Lusher et al., 2015; Còzar et al., 2017). Sin embargo, la región antártica se ha considerado físicamente aislada por los fuertes sistemas frontales circumpolares que caracterizan al Océano Austral y, por lo tanto, se creía libre de contaminación por residuos sólidos. Diferentes estudios sin embargo, hace algunas décadas comenzaron a registrar desechos plásticos que han estado llegando a las islas subantárticas (Gregory et al., 1984; Ryan, 1987; Slip & Burton, 1991; Walker et al., 1997; Convey et al., 2002; Eriksson et al., 2013). Ha sido evidenciado que las olas superficiales impulsadas por las tormentas y giros oceánicos facilitan el cruce de los frentes polares. Esto facilitaría la dispersión norte-sur de materiales que se encuentran a la deriva, siendo estos más frecuentes de lo que se pensaba anteriormente (Fraser et al., 2016, 2018).

Un estudio reciente sugiere que la alta densidad de estaciones de investigación en un área relativamente pequeña como ser isla Rey Jorge, sumado al aeropuerto de la península, la actividad turística y la inadecuada gestión de residuos de algunas bases científicas, podría dar cuenta de la presencia de desechos como parte de la dieta de los escúas (Prowaznik 2019). Otra posible fuente sería la generada por la actividad humana presente en el continente antártico, que si bien no está altamente poblado, su contribución a la generación de residuos sería de gran relevancia como ha sido evidenciado en otros estudios (Waller et al. 2017, Braun et al. 2017). En esta investigación, si bien ambas especies de escúas se alimentaron de residuos, los resultados sugieren que las bases científicas no serían la fuente fundamental del origen de los mismos.

## 5. CONCLUSIONES

- El análisis de egagrópilas de *Catharacta* spp. en Península Fildes sugiere una alimentación de hábitos generalistas y carroñeros donde las categorías más consumidas son peces, huesos y cuero.
- La dieta de los escúas varía espacialmente en Península Fildes, existiendo diferencias más marcadas en algunas bases y sitios de muestreo, no registrándose así variación a nivel temporal.
- La dieta de los escúas en Península Fildes fue influenciada por el consumo de residuos de origen antrópico, en especial por plásticos, al registrarse su consumo en *C. Lonnbergi* y *C. maccormicki*.
- Si bien no se encontró una relación entre la distancia a la base más cercana con la presencia de residuos en egagrópilas, otras fuentes tales como la llegada de residuos provenientes del océano y remanentes de vertederos a cielo abierto en la isla podrían contribuir a la presencia de residuos en la dieta de estas especies. Independientemente de las fuentes de residuos, esta investigación denota la necesidad de mejorar la gestión de los residuos en la Península Fildes.

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

En un próximo análisis más profundo sería de interés poder identificar los ítems alimenticios encontrados hasta su menor grupo taxonómico posible. Por otro lado, si bien la presencia de residuos en Península Fildes podría deberse a sus variadas fuentes de ingreso, sería de interés evaluar en profundidad el uso que hacen los escúas en los sitios de disposición de residuos en las bases científicas y poder de esta forma plantear acciones de manejo donde se busque minimizar la exposición de estos desechos y su interacción con la fauna local. Los resultados de este trabajo también plantean la necesidad de generar un mayor esfuerzo de muestreo con el fin de obtener mayor cantidad de datos para evaluar con más sustento estadístico la relación entre la presencia de residuos y proximidad a las bases así como otras fuentes como por ejemplo el turismo, la actividad marítima, la actividad científica entre otros.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26:32-46.
- Andrady A. L. & Neal M. A. 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Phil. Trans. R. Soc. B* 364,1977–1984.
- Anfuso, G.; Bolívar-Anillo, H.J.; Asensio-Montesinos, F.; Manzolli, R.P.; Portz, L.; Daza, D.A.V. Beach litter distribution in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Mar. Pollut. Bull.* 2020, 160, 111657
- Barrett R.T., Camphuysen K.C.J., Anker-Nilssen T., Chardine J.W., Furness R.W., Garthe S., Hüppop O., Leopold Mardik F., Montevecchi W.A. & Veit R.R. 2007. Diet studies of seabirds: a review and recommendations.
- Begon M., Harper J.L. & Townsend C.R. 2006. *Ecology from individuals to ecosystems* fourth.
- Belant J.L. 1993. Nest-site selection and reproductive biology of roof- and island-nesting herring gulls. *Trans. N. Am. Wildl. Nat. Resour. Conf.* 58, 78-86.
- Bergmann, M., Klages, M., 2012. Increase of litter at the Arctic deep-sea observatory HAUSGARTEN. *Mar. Pollut. Bull.* 64, 2734–2741.
- Bergmann M., Mützel S., Primpke S., Tekman M.B., Trachsel J. & Gerdt G. 2019. White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Sci. Adv.* 5 (8), eaax1157.
- Bone D. G. 1992. Aspects of the biology of the Antarctic Amphipod *Bovallia gigantea* Pfeffer at Signy Island, SouthOrkney Islands. *British Antarctic Survey Bulletin*, 27: 105• 122
- Braun C., Mustafa O., Nordt A., Pfeiffer S. & Peter H. U. 2012. Environmental monitoring and management proposals for the Fildes Region, King George Island, Antarctica. *Polar Res.* 31:18206.
- Braun C., Hertel F., Mustafa O., Nordt A., Pfeiffer S. & Peter, H. 2014. Environmental Assessment and Management Challenges of the Fildes Peninsula Region.
- Braun C., Esefeld J., Peter HU. 2017. Monitoring the consequences of local climate change on the natural resources of the ice-free regions of Maxwell Bay (King George Island, Antarctic). *Umweltbundesamt. Texte* 26/2017. Dessau-Roßlau, Germany
- Cheung P.K. & Folk L. 2017. Characterisation of plastic microbeads in facial scrubs and their estimated emissions in Mainland China. *Water Res.* 122, 53-61.

Chiba S., Saito H., Fletcher R., Yogi T., Kayo M., Miyagi S., Ogido M. & Fujikura K. 2018. Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy* 2018, 96,204–212.

Clarke K. R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.

Convey P., Barnes D. & Morton A. 2002. Debris accumulation on oceanic island shores of the Scotia Arc, Antarctica. *Polar Biol.* 25,612–617.

Coulson R. & Coulson G. 1998. Population change among Pacific, Kelp and Silver Gulls using natural and artificial feeding sites in south-eastern Tasmania. *Wildlife Research* 25, 183–198.

Cózar A., Echevarría F., González-Gordillo J., Irigoien X., Úbeda B., Hernández-León S., Palma A., Navarro S., García-de-Lomas J., Ruiz A., Fernández-de-Puelles M, & Duarte M. 2014. Plastic Debris in the open ocean.

Cózar A., Martí E., Duarte C.M., García-de-Lomas J., Van Sebille E., Ballatore T.J., Eguíluz V.M., González-Gordillo J.I., Pedrott, M.L., Echevarría F. & Troublè R. 2017. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the thermohaline circulation. *Sci. Adv.* 3 (4), e1600582

Day J. H., Field J. G. & Montgomery M. P. 1971. The use of numerical methods to determine the distribution of the benthic fauna across the continental shelf of North Carolina. *J. Anim. Ecol.* 40: 93-126

Duhem C., Vidal E., Roch, P. & Legrand J. 2005. How is the diet of Yellow-legged Gull chicks influenced by parents' accessibility to landfills? *Waterbirds*, 28,46–52.

Duncan EM., Broderick AC., Fuller W., Galloway T., Godfrey M., Hamann M., Limpus C., Lindeque P., Mayes A. & Godley B. 2018. Microplastic ingestion ubiquitous in marine turtles.

Eriksson C., Burton H., Fitch S., Schulz M. & Van Den Hoff J. 2013. Daily accumulation rates of marine debris on sub-Antarctic island beaches. *Mar. Pollut. Bull.* 66, 199–208.

Emslie S. D., Karnovsky N. & Trivelpiece W. 1995. Avian predation at penguin colonies on King George Island, Antarctica. *Wilson Bulletin* 107: 317-327.

Ferreyra H., Klóser G., Mercun A., Curtosi & Laturus F. 1993. Phytoplankton development during spring in Potter Cove (King George Island, South Shetland Islands, Antarctica). ASLO/SWS Annual Meeting.

Field, J. G. & McFarlane G. 1968. Numerical methods in marine ecology. I. A quantitative similarity analysis of rocky shore samples in False Bay, South Africa. *Zool, afr.* 3: 119-138

- Fraser C.I., Kay G.M., du Plessis M. & Ryan P.G. 2016. Breaking down the barrier: dispersal across the Antarctic polar front. *Ecography* 39, 001–003.
- Fraser C.I., Morrison A.K., van Sebille E., Macaya E.C., Hogg A.M., Ryan P.G., Padovan A., Jack C., Valdivia N. & Waters J.M. 2018. Antarctica's ecological isolation will be broken by storm-driven dispersal and warming. *Nat. Clim. Change* 8 (8), 704.
- Furness R.W. & Camphuysen C.J. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science* 54, 726-737.
- Gibert C. & Escargel G. 2018. PER-SIMPER—A new tool for inferring community assembly processes from taxon occurrences. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 28, 374–385 (2019)
- Graña Grilli M. & Montalti D. 2012. Interacciones tróficas entre escúas pardas y polares del sur en Isla Decepción, Antártida. *Polar Biology* 35: 299-304.
- Gregory M.R., Kirk R.M. & Mabin M.C.G. 1984. Pelagic tar, oil, plastics and other litter in surface waters of the New Zealand sector of the Southern Ocean, and on Ross dependency shores. *Antarctic Rec. New Zealand* 6, 12–28.
- Gregory M. R. 1991. The hazards of persistent marine pollution: drift plastics and conservation islands.
- Hammer Ø., Harper D. A. T. & Ryan P. D. 2001. PAST-Palaeontological statistics.
- Ivar do Sul JA., Barnes DK., Costa MF., Convey P., Costa ES. & Campos LS. 2011. Plásticos en el medio ambiente antártico: ¿estamos mirando solo la punta del iceberg? *Oecologia Australis* 15,150-170
- Jiménez S., Domingo A., Abreu M., Brazeiro, Defeo O., Wood A.G., Froy H., Xavier J.C. & Phillips R.A., 2015a. Sex-related variation in the vulnerability of wandering albatrosses to pelagic longline fleets. *Anim. Conserv.* 19:281–295
- Karnovsky N.J., Hobson K.A. & Iverson S.J. 2012. From lavage to lipids: estimating diets of seabirds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 451, 263–284.
- Kopp M., Peter H.-U., Mustafa O., Lisovski S., Ritz M.S., Phillips R.A. & Hahn S. 2011. South polar skuas from a single breeding population overwinter in different oceans though show similar migration patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 435, 263–267.
- Kühn S., Bravo Rebolledo E.L. & Van Franeker J.A. 2015. Deleterious effects of litter on marine life. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer International Publishing, Cham. pp75-116.

- Martinez-Abraín D., Oro D., Forero M. & Conesa D. 2003. Modeling temporal and spatial colony-site dynamics in a long-lived seabird. *Population Ecology* volume 45, pages 133–139.
- Mato Y., Isobe T., Takada H., Kahnehiro H., Ohtake C. & Kaminuma O. 2001. Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental science & technology*, 35(2), 318-324.
- Momo F. & Ferreyra G. 1993. Ciclo de vida de *Pontogeneia antarctica* (Crustacea, Amphipoda). *Segundas Jornadas de Comunicaciones sobre Investigaciones Antárticas*. 85•86.
- Nerini M. K. & Oliver J. S. 1983. Gray whales and the structure of the Bering Sea benthos. *Oecologia*, 59: 224-225.
- Laist DW. 1997. Impacts of Marine Debris: Entanglement of Marine Life in Marine Debris Including a Comprehensive List of Species with Entanglement and Ingestion Records. In *Marine debris* (pp. 99-139). Springer, New York, NY.
- Law KL. 2017. Plásticos en el medio marino. *Revisión anual de ciencias marinas* 9: 205-229.
- Lebreton LCM., Greer SD. & Borrero JC. 2012. Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Mar Pollut Bull* 64(3):653–661.
- Lee J. R., Raymond B., Bracegirdle T. J., Chadès I., Fuller R. A., Shaw J. D. & Terauds A. 2017. Climate change drives expansion of Antarctic ice-free habitat, *Nature*, 547, 49–54.
- Leroux S.J. & Loreau M. 2008. Subsidy hypothesis and strength of trophic cascades across ecosystems. *Ecol. Lett.* 11, 1147–1156
- Lusher A.L., Tirelli V., O'Connor I. & Officer R. 2015. Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Sci. Rep.* 5, 14947
- Obbard R.W., Sadri S., Wong Y.Q., Khitun A.A., Baker I. & Thompson R.C. 2014. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future* 2,315–320.
- Obbard R. 2018. Microplastics in Polar Regions: The role of long range transport. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 24-29.
- Oehlmann, J., Schulte-Oehlmann, U., Kloas, W., Jagnytsch, O., Lutz, I., Kusk, K. O., ... & Tyler, C. R. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2047-2062.
- Peeken I., Primpke S., Beyer B., Gütermann J., Katlein C., Krumpfen T., Bergmann M., Hehemann L. & Gerdtz G. 2018. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nat. Commun.* 9, 1505.

- Pons J-M. & Migot, P. 1995. Life-history strategy of the herring gull: changes in survival and fecundity in a population subjected to various feeding conditions. *Journal of Animal Ecology*, 64: 592–599.
- Polis G.A., Anderson W.B. & Holt, R.D. 1997. Toward an integration of landscape and food web ecology: the dynamics of spatially subsidized food webs. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28, 289–316.
- Provencher J.F., Bond A.L. & Mallory M.L. 2014. Marine birds and plastic debris in Canada: a national synthesis, and a way forward. *Environmental Reviews*, 23(1),1-13.
- Provencher JF., Vermaire J., Avery-Gomm S et al., 2018. Garbage in guano? Microplastic debris found in faecal precursors of seabirds known to ingest plastics. *Sci Total Environ* 644:1477–1484.
- Prowaznik, D. 2019. Ecología alimentaria de las escúas antárticas. Un estudio de las influencias naturales y antropogénicas en la dieta de *C. maccormicki* y *C. a. lonnbergi* en la península de Fildes, Isla Rey Jorge. Tesis de Maestría, Universidad Friedrich Schiller de Jena. Pàg. 61.
- Reinhardt K., Hahn S., Peter H. & Wemhoff H. 2000. Review of the diets of Southern Hemisphere skuas. *Marine Ornithology* 28: 7–19.
- Ritz MS., Hahn S., Janicke T. & Peter HU. 2006a. Hibridación entre escúas antárticas (*Catharacta maccormicki*) y escúas pardas (*C. antarctica lonnbergi*) en la región de la Península Antártica. *Polar Biology* 29: 153-159.
- Rochman et al., 2013 Policy: classify plastic waste as hazardous. *Nature* 494 (7436), 169.
- Ryan P.G. 1987a. The origin and fate of artefacts stranded on islands in the African sector of the Southern Ocean. *Environ. Conserv.* 14, 341–346.
- Ryan PG. & Fraser MW. 1989. The Use of Great Skua Pellets as Indicators of Plastic pollution in Seabirds. *Emu*, 88(1), 16-19.
- Santos MM., Juarez MA., Rombola EF., Garcia ML., Coria NR et al. 2012. Overrepresentation of bird prey in pellets of South Polar Skuas. *J of Ornithol* 153: 979-983.
- Sih A. & Christensen B. 2001. Optimal Diet Theory: when does it work, and when and why does it fail? *Animal Behaviour* 61:379–390.
- Silva-Costa A. & Bugoni L. 2013. Feeding ecology of Kelp Gulls (*Larus dominicanus*) in marine and limnetic environments. *Aquatic Ecology*,47, 1-14.
- Slip D.J. & Burton H.R. 1991. Accumulation of fishing debris, plastic litter, and other artefacts, on Heard and Macquarie Islands in the Southern Ocean. *Environ. Conserv.* 18, 249–254.

Sneath P. H. A., Sokal R. R. 1973. Numerical taxonomy. *Nature*, 193(4818), 855-860.

Stevens J. E. 1995. The Antarctic pack-ice ecosystem. *BioScience*, 45(3): 128-132.

Sun L., Zhu R., Yin X., Liu X., Xie Z. & Wang Y. 2014. A geochemical method for the reconstruction of the occupation history of a penguin colony in the maritime Antarctic. *Polar Biol.* 27, 670-678.

Sundt et al., 2014. Sources of microplastics pollution to the marine environment. Mapex for the Norwegian Environment Agency.

Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., ... & Ochi,

D. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2027-2045.

Thevenon F., Caroll C. & Sousa J. 2014. Plastic Debris in the Oceans. (IUCN). The characterization of Marine Plastics and their Environmental Impacts, Situation Analysis Report. Gland, Switzerland: IUCN. 52 pp.

Thiel M., Luna-Jorquera G., Álvarez-Varas R., Gallardo C., Hinojosa I.A., Luna N., Miranda-Urbina D., Morales N., Ory N., Pacheco A.S., Portflitt-Toro M. & Zavalaga C. 2018. Impacts of marine plastic pollution from continental coasts to subtropical gyres – Fish, seabirds, and other vertebrates in the SE Pacific. *Front. Mar. Sci.* 5,238.

Van Franeker, J. A., & Bell, P. J. 1988. Plastic ingestion by petrels breeding in Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 19(12), 672–674.

Van Franeker J.A., Maijboom A. & Jong M.L. 2004. Marine litter monitoring by Northern Fulmars in the Netherlands 1982-2003.

Volpedo A.V. & Echeverría D.D. 2000. Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino. Peces de importancia comercial. Ed. Dunken, Buenos Aires.

Voorbergen A., De Boer W.F., Underhill L.G., 2012. Natural and human-induced predation on Cape Cormorants at Dyer Island. *Bird Conserv. It.* 22,82–93.

Waller CL., Griffiths HJ., Waluda CM., Thorpe SE., Alamo IL., Moreno B., Pacherres CO. & Hughes KA. 2017. Microplásticos en el sistema marino antártico: un área emergente de investigación. *Science of The Total Environment* 598: 220-227.

Waller CL. & Hughes KA. 2018. Plásticos en el Océano Austral. *Ciencia antártica* 30 (5): 269.

Walker T.R., Reid K., Arnould J.P. & Croxall J.P. 1997. Marine debris surveys at Bird Island, South Georgia 1990–1995. *Mar. Pollut. Bull.* 34, 61–65.

Wauchope H. S., Shaw J. D. & Terauds A. 2019. A snapshot of biodiversity protection in Antarctica. *Nat. Commun.* 10, 946.

Weiser E. L. & Powell A. N. 2010. Does garbage in the diet improve reproductive output of glaucous gulls? – *Condor* 112: 530–538.

Wilcox C., Van Seville E. & Denise-Hardesty B. 2015. Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive and increasing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(38),11899-11904.

Wood S (2017). *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, 2 edition. Chapman and Hall/CRC.

Yorio P., Frere E., Gandini P., Harris G. 1998. Atlas de la distribución reproductiva de aves marinas en el litoral Patagónico Argentino. Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica. Buenos Aires: Fundación Patagonia Natural y Wildlife Conservation Society. Instituto Salesiano de Artes Gráficas. 221 p.

## 8. APÉNDICE

### Modelos considerando todos los datos:

Tabla A1: Ajuste de los modelos aditivos generalizados analizados. s(): factores no lineales, by=Especie: ajuste de parámetros no lineales para cada nivel del factor Especie, bs="re": parámetro aleatorio, bs="fs": factor fijo con ajuste no lineal sin considerar los niveles del factor ajustado, Eof: número estimado de puntos de inflexión.

---

**Modelo 1:** Cantidad de residuos = Especie + s(Distancia, by = Especie) + s(Nido, bs = "re")

---

<b>Coefficientes paramétricos</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error estándar</b>	<b>P-valor</b>
C. longbergii	-2.16	1.38	0.11
C. maccormicki	-0.83	3.79	0.83
Términos no lineales	Eof	df	P-valor
s(Distancia):longbergii	2.93	3.01	0.22
s(Distancia):maccormicki	1.00	1.00	0.29
S(Nido)	4.85	11.00	<0.001

---

**R<sup>2</sup> ajustado:** 0.78, **Devianza explicada:** 73.7%, AIC: 126.8

---

**Modelo 2:** Cantidad de residuos = s(Especie, bs="fs") + s(Distancia) + s(Nido, bs="re")

---

<b>Coefficientes paramétricos</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error estándar</b>	<b>P-valor</b>
Intercepto	-2.38	1.28	0.06
Términos no lineales	Eof	df	P-valor
s(Especie)	0.00005	1.00	0.97
s(Distancia)	3.58	3.88	0.12

S(Nido)	5.25	13.00	<0.001
<b>R<sup>2</sup>ajustado: 0.78, Devianza explicada: 73.4%, AIC: 125.2</b>			
<b>Modelo 3:</b> Cantidad de residuos = s(Distancia) + s(Nido, bs = "re")			
<b>Coefficientes paramétricos</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error estándar</b>	<b>P-valor</b>
Intercepto	-2.38	1.85	0.06
<b>Términos no lineales</b>	<b>Eof</b>	<b>df</b>	<b>P-valor</b>
s(Distancia)	3.58	3.88	0.12
S(Nido)	5.25	13.00	<0.001
<b>R<sup>2</sup> ajustado: 0.78, Devianza explicada: 73.4%, AIC: 125.2</b>			

### Modelos solo para distancias menores a 5000 metros:

Tabla A2: Ajuste de los modelos aditivos generalizados analizados. s(): factores no lineales, by=Especie: ajuste de parámetros no lineales para cada nivel del factor Especie, bs="re": parámetro aleatorio, bs="fs": factor fijo con ajuste no lineal sin considerar los niveles del factor ajustado, Eof: número estimado de puntos de inflexión.

**Modelo 1:** Cantidad de residuos = Especie + s(Distancia, by = Especie) + s(Nido, bs = "re")

<b>Coefficientes paramétricos</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error estándar</b>	<b>P-valor</b>
C. longbergii	-3.05	3.39	0.37
C. maccormicki	1.89	3.94	0.63
<b>Términos no lineales</b>	<b>Eof</b>	<b>df</b>	<b>P-valor</b>
s(Distancia):longbergii	2.37	2.45	0.19

s(Distancia):maccormicki	1.00	1.00	0.27
S(Nido)	4.25	10.00	<0.001

---

**R<sup>2</sup> ajustado: 0.78, Devianza explicada: 75.8%, AIC: 109.4**

---

**Modelo 2:** Cantidad de residuos = s(Especie, bs="fs") + s(Distancia) + s(Nido, bs="re")

<b>Coefficientes paramétricos</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error estándar</b>	<b>P-valor</b>
Intercepto	-4.81	8.32	0.57
<b>Términos no lineales</b>	<b>Eof</b>	<b>df</b>	<b>P-valor</b>
s(Especie)	0.00004	1.00	0.83
s(Distancia)	3.12	3.48	0.10
S(Nido)	4.13	12.00	<0.001

---

**R<sup>2</sup> ajustado: 0.79, Devianza explicada: 75.4%, AIC: 107.7**

---

**Modelo 3:** Cantidad de residuos = s(Distancia) + s(Nido, bs="re")

<b>Coefficientes paramétricos</b>	<b>Estimado</b>	<b>Error estándar</b>	<b>P-valor</b>
Intercepto	-4.81	8.32	0.56
<b>Términos no lineales</b>	<b>Eof</b>	<b>df</b>	<b>P-valor</b>
s(Distancia)	3.12	3.49	0.10
S(Nido)	4.13	12.00	<0.001

---

**R<sup>2</sup> ajustado: 0.79, Devianza explicada: 75.4%, AIC: 107.7**

---