

AVISTAMIENTO DE AVES MARINAS ANTÁRTICAS Y SU RELACIÓN CON EL KRILL (*Euphausia superba*). ANTAR XXVI

ANTARCTIC SEABIRD SIGHTINGS AND THEIR RELATIONSHIP WITH KRILL (*Euphausia superba*). ANTAR XXVI

María Andrea Meza¹

Manuel Ochoa¹

<https://doi.org/10.53554/boletin.v36i1.319>

RESUMEN

MEZA M A, OCHOA M. 2021. Avistamiento de aves marinas antárticas y su relación con el krill (*Euphausia superba*). ANTAR XXVI. Bol Inst Mar Perú. 36(1): 54-67.- Durante la campaña Antar XXVI (31 de diciembre 2018 - 15 de enero 2019) se estudió la relación entre distribución y abundancia de aves marinas y presencia de su presa principal el krill *Euphausia superba* (Dana, 1850). A bordo del BAP Carrasco se observaron las aves y en simultáneo se efectuó el rastreo acústico de krill. Se registraron 2827 aves marinas pertenecientes a 26 especies y 7 familias. El número promedio de aves marinas por milla náutica fue de 3,36. Se analizaron los componentes principales (PCA), se describió la relación entre presencia de aves marinas (endémicas y migratorias de la zona Antártica) y variables ambientales (temperatura superficial del mar, salinidad y concentración de oxígeno), así como abundancia de krill. Los resultados muestran que el mayor número de individuos se registró en los alrededores de isla Elefante. Sin embargo, el grupo de pingüinos (*Pygoscelis* sp.) tuvo mayor presencia en el estrecho de Bransfield. Las mayores abundancias fueron del petrel del Cabo *Daption capense* (Linnaeus, 1758) (28,62%), petrel plateado *Fulmarus glacialis* (Smith, 1840) (19,10%), pingüino barbijo *Pygoscelis antarcticus* (Forster, 1781) (16,70%), albatros ceja negra *Thalassarche melanophrys* (Temminck, 1828) (5,87%) y golondrina de la tempestad de Wilson *Oceanites oceanicus* (Kuhl, 1820) (3,87%), los cuales, en conjunto, representaron casi el 80% de las observaciones totales.

PALABRAS CLAVE: aves marinas, Antártida, distribución y abundancia, interacción predador – presa

ABSTRACT

MEZA M A, OCHOA M. 2021. Antarctic seabird sightings and their relationship with krill (*Euphausia superba*). ANTAR XXVI. Bol Inst Mar Peru. 36(1): 54-67.- Between December 31, 2018, and January 15, 2019, the Antar XXVI campaign studied the relationship between the distribution and abundance of seabirds and the presence of their main prey, the Antarctic krill *Euphausia superba* (Dana, 1850). We observed the birds aboard the R/V Carrasco and also conducted acoustic tracking of krill at the same time. A total of 2,827 seabirds belonging to 26 species and 7 families were recorded. The mean number of seabirds per nautical mile was 3.36. Principal component analysis (PCA) described the relationship between the presence of seabirds (endemic and migratory to the Antarctic area) and environmental variables (sea surface temperature, salinity, and oxygen concentration), as well as krill abundance. The results show that the highest number of individuals was recorded around Elephant Island. However, the penguin group (*Pygoscelis* sp.) had the greatest presence in Bransfield Strait. The highest abundances were of *Daption capense* (Linnaeus, 1758) (28,62%), *Fulmarus glacialis* (Smith, 1840) (19,10%), *Pygoscelis antarcticus* (Forster, 1781) (16,70%), *Thalassarche melanophrys* (Temminck, 1828) (5,87%), and *Oceanites oceanicus* (Kuhl, 1820) (3,87%), which together accounted for almost 80% of the observations.

KEYWORDS: seabirds, Antarctica, distribution and abundance, predator-prey interaction

1. INTRODUCCIÓN

La interacción predador – presa puede ser utilizada y respaldada en los ecosistemas marinos ya que es un indicador de abundancia de la presa y está relacionada a presencia y concentración de predadores, lo cual se ha podido observar en la relación que existe entre las aves marinas y sus presas (BIRT *et al.*, 1987). En el océano Austral, esta relación puede ser demostrada ya que se trata de un ecosistema ideal, debido a que el krill *Euphausia superba* (Dana, 1850) constituye el principal alimento de aves marinas y otros predadores que

1. INTRODUCTION

Predator-prey interaction can be used and supported in marine ecosystems since it is an indicator of prey abundance and is related to the presence and concentration of predators, which has been observed in the relationship between seabirds and their prey (BIRT *et al.*, 1987). In the Southern Ocean, this relationship can be demonstrated because it is an ideal ecosystem since the Antarctic krill *Euphausia superba* (Dana, 1850) is the main prey of seabirds and other predators inhabiting Antarctica. Krill is a very important

¹ IMARPE, DGRP – Oficina de Investigaciones de Depredadores Superiores, mmeza@imarpe.gob.pe, mochoa@imarpe.gob.pe

habitan en la Antártida. El krill es una especie muy importante dentro de la red trófica de ese océano, porque se alimenta de fitoplancton y zooplancton que al ser consumidos añade los nutrientes a los otros animales.

La abundancia de krill varía de un año al otro, lo cual podría ser ocasionado por el cambio climático, cómo es el caso de la disminución de la cantidad de hielo marino, lo que cambiaría las condiciones en las que se desarrollaría el krill. Desde 1980, ante la preocupación de la expansión de la pesquería de krill y para garantizar la sostenibilidad de su pesquería, se tomaron medidas precautorias ya que se trata de una especie clave para el ecosistema marino austral (COMMISSION FOR THE CONSERVATION OF ANTARCTIC MARINE LIVING RESOURCES, 2018).

Las aves marinas son consideradas buenas indicadoras del estado y salud de los ecosistemas marinos. Estas especies viven en la interfase entre mar y tierra, por lo tanto, son buenas indicadoras del cambio climático y disponibilidad de alimento (SANTORA *et al.*, 2016). Es reconocido que la disponibilidad de alimento en el medio ambiente marino es el principal factor que influye en la distribución y éxito reproductivo de estas aves (JAHNCKE *et al.*, 1999), por tal motivo, se puede considerar que la presencia de aves marinas en el mar está relacionada principalmente a la obtención de alimento, pudiendo ser buenos indicadores de la productividad del medio marino. Las observaciones realizadas a bordo de embarcaciones de investigación son de suma importancia para el conocimiento acerca de las zonas de forrajeo y distribución que presentan las aves marinas en este ecosistema. Además, permiten conocer la relación y distribución de estas aves con los aspectos físicos y biológicos del ambiente (FURNESS & MONAGHAN, 1987).

El presente trabajo contiene los resultados del análisis de los avistamientos de aves marinas que se realizaron a bordo del BAP Carrasco durante el desarrollo de la vigésima sexta Expedición Científica Peruana a la Antártida, ANTAR XXVI, con el objetivo de evaluar la abundancia relativa y distribución de las poblaciones de aves marinas antárticas en el estrecho de Bransfield y en los alrededores de la isla Elefante, relacionándolas con la distribución y abundancia de su presa principal, el krill. Además, conocer la relación que existe entre tres variables ambientales, la abundancia de krill y la presencia de algunas especies de aves marinas endémicas de la zona antártica y migratorias.

species in the food web of this ocean because it feeds on phytoplankton and zooplankton which, when consumed, add nutrients to the other animals.

Krill abundance varies from year to year, which could be caused by climate change, such as a decrease in the amount of sea ice, which would change the conditions under which krill would develop. Since 1980, due to concerns about the expansion of the krill fishery and to guarantee its sustainability, precautionary measures have been taken since it is a key species for the southern marine ecosystem (COMMISSION FOR THE CONSERVATION OF ANTARCTIC MARINE LIVING RESOURCES, 2018).

Seabirds are considered good indicators of the status and health of marine ecosystems. These species live at the interface between sea and land, therefore, they are good indicators of climate change and food availability (SANTORA *et al.*, 2016). It is recognized that the availability of food in the marine environment is the main factor that influences the distribution and reproductive success of these birds (JAHNCKE *et al.*, 1999). Therefore, we can consider that the presence of seabirds at sea is mainly related to obtaining food, and they can be good indicators of the productivity of the marine environment. The observations made aboard research vessels are of great importance for the knowledge about the foraging areas and distribution of seabirds in this ecosystem. In addition, they allow us to know the relationship and distribution of seabirds with the physical and biological aspects of the environment (FURNESS & MONAGHAN, 1987).

This paper contains the results of the analysis of seabird sightings made aboard the R/V Carrasco during the twenty-sixth Peruvian Scientific Expedition to Antarctica, ANTAR XXVI, intending to evaluate the relative abundance and distribution of Antarctic seabird populations in the Bransfield Strait and around Elephant Island, relating them to the distribution and abundance of their main prey, Antarctic krill. Moreover, it provides information on the relationship between three environmental variables, the abundance of krill, and the presence of some species of endemic and migratory seabirds of the Antarctic zone.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el estrecho de Bransfield y en los alrededores de la isla Elefante entre el 31 de diciembre 2018 y 15 de enero 2019 a bordo del BAP Carrasco, durante el desarrollo del crucero multidisciplinario de investigaciones sobre krill dentro del marco de la vigésima sexta Expedición Científica Peruana a la Antártida, ANTAR XXVI (Fig. 1).

Se establecieron tres subáreas de evaluación (ESPINO *et al.*, 2016):

- a. Estrecho de Bransfield, comprendió las islas Shetland del sur y la península Antártica,
- b. Joinville, al noreste del estrecho de Bransfield y sur de la isla Elefante,
- c. Alrededores de la isla Elefante.

Obtención de datos

El inicio de la observación de aves marinas se realizó en las inmediaciones de la isla Smith (63°3'49,7"S, 62°10'10,30"O), y finalizó hacia el norte de la isla Rey Jorge en la posición 60°50'30,2"S, 58°14'21,2"O (Fig. 1).

2. MATERIAL AND METHODS

Study area

The study was carried out in the Bransfield Strait and around Elephant Island between December 31, 2018, and January 15, 2019, aboard the R/V Carrasco, during the development of the multidisciplinary krill research cruise, within the framework of the twenty-sixth Peruvian Scientific Expedition to Antarctica, ANTAR XXVI (Fig. 1).

We established three sub-areas of evaluation (ESPINO *et al.*, 2016):

- a. Bransfield Strait, comprised the South Shetland Islands and the Antarctic Peninsula,
- b. Joinville, northeast of Bransfield Strait and south of Elephant Island,
- c. Elephant Island surroundings.

Data collection

The seabird observation began in the vicinity of Smith Island (63°3'49.7 "S, 62°10'10.30 "W), and ended to the north of King George Island at position 60°50'30.2 "S, 58°14'21.2 "W (Fig. 1).

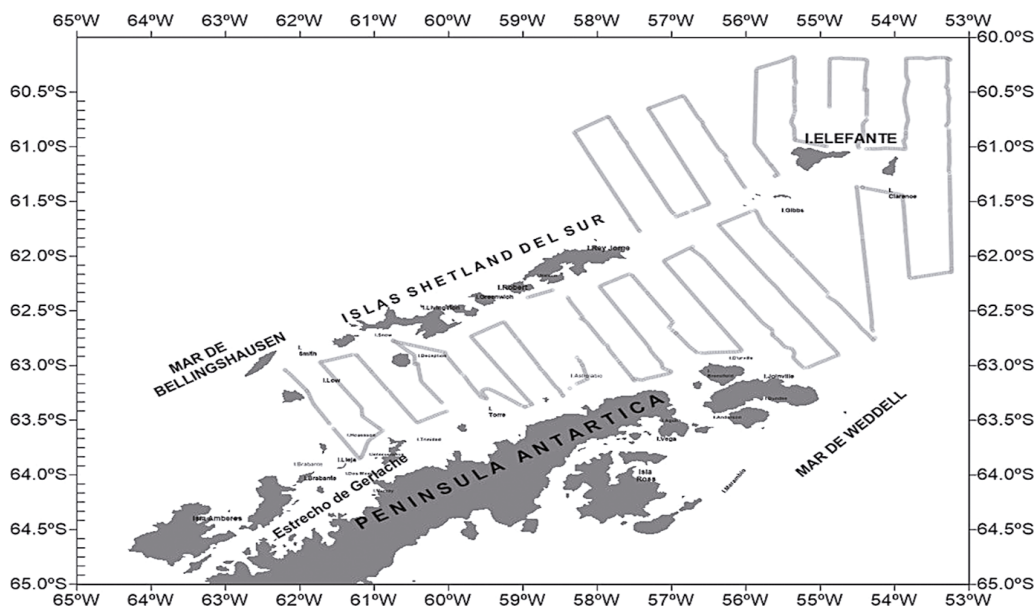


Figura 1.- Trayecto del BAP Carrasco, 31 de diciembre 2018 a 15 de enero 2019. ANTAR XXVI. Se muestran las millas recorridas durante la expedición

Figure 1. Trajectory of the BAP Carrasco, December 31, 2018 to January 15, 2019. ANTAR XXVI. Miles covered during the expedition are shown

Se contaron las aves marinas de forma continua durante las horas de luz, siguiendo los transectos descritos para el crucero (Fig. 1). Las observaciones se realizaron entre 06:00 y 20:30 horas, utilizando binoculares 10x50, guías de campo para la identificación de aves marinas (HARRISON, 1991), reloj, contómetro y libreta de campo de hojas impermeabilizadas. La velocidad del crucero fue de 10 nudos, salvo cuando las condiciones del mar no lo permitieron. Se contaron aves marinas en estribor y en babor dentro del puente de comando, en un ángulo de 90° medido a partir de la proa de la embarcación y hasta 300 m de distancia.

Las unidades de conteo fueron segmentos de una milla, cada milla de distancia recorrida por el buque fue considerada como la unidad básica de muestreo (UBM), durante las cuales se realizaron observaciones al mismo tiempo que la evaluación acústica del krill. No se realizaron observaciones durante los lances de comprobación de abundancia y composición de krill, ni durante la toma de datos oceanográficos (TASKER *et al.*, 1984).

Para la observación de aves marinas se consideró dos categorías de comportamiento: de forrajeo, obtención de alimento (el ave realiza vuelos rápidos sobre un área determinada del agua), comportamiento de vuelo y de descanso (el ave se encuentra posado sobre el agua o bloque de hielo) (TASKER *et al.*, 1984).

La información sobre abundancia y distribución de krill fue proporcionada por el programa de evaluación hidroacústica. La abundancia de krill fue acústicamente estimada con un ecosonda de multifrecuencia. Se utilizó el Coeficiente de Retrodispersión por Área Náutica (NASC, por sus siglas en inglés) que es un índice de abundancia de krill y zooplancton (SANTORA *et al.*, 2009). Además, se solicitó al área de Oceanografía Física del IMARPE la información de temperatura superficial del mar, salinidad y oxígeno en el mar.

Análisis de datos

Se trabajó solo con las especies *Daption capense*, *Oceanites oceanicus*, *Fulmarus glacialisoides*, *Thalassarche melanophris* y el grupo de los pingüinos (*Pygoscelis papua*, *P. adeliae*, *P. antarcticus*), ya que para fines del trabajo se eligió a las especies de aves marinas que tienen en su dieta como presa principal al krill (JAHNCKE *et al.*, 1999).

Para cada una de las especies se realizaron mapas de distribución y se procedió a determinar si existe asociación entre presencia de aves marinas y presencia de krill. Para realizar este análisis

We counted seabirds continuously during daylight hours, following the transects described for the cruise (Fig. 1). Observations were made between 06:00 and 20:30 hours, using 10x50 binoculars, field guides for seabird identification (HARRISON, 1991), watch, tally counter, and field notebook with waterproof sheets. The cruise speed was 10 knots, except when sea conditions did not allow it. Seabirds were counted on starboard and port side inside the command bridge, at a 90° angle measured from the bow of the vessel and up to 300 m away.

The counting units were one-mile segments, each mile of distance traveled by vessel was considered as the basic sampling unit (BSU), during which observations were made at the same time as the acoustic assessment of Antarctic krill. No observations were made during the sets to check krill abundance and composition nor during the collection of oceanographic data (TASKER *et al.*, 1984).

For the observation of seabirds, we considered two categories of behavior: foraging, obtaining food (the bird performs fast flights over a certain area of water), flight, and resting behavior (the bird is perched on the water or ice block) (TASKER *et al.*, 1984).

Information on krill abundance and distribution was provided by the hydroacoustic assessment program. Krill abundance was acoustically estimated with a multi-frequency echo sounder. We used the Nautical Area Backscatter Coefficient (NASC) which is an index of krill and zooplankton abundance (SANTORA *et al.*, 2009). In addition, information on sea surface temperature, salinity, and oxygen in the sea was requested from the IMARPE's Physical Oceanography area.

Data analysis

We worked only with the species *Daption capense*, *Oceanites oceanicus*, *Fulmarus glacialisoides*, *Thalassarche melanophris*, and the penguin group (*Pygoscelis papua*, *P. adeliae*, *P. antarcticus*) since only seabird species that have krill as their main prey were chosen for the work (JAHNCKE *et al.*, 1999).

For each of the species, distribution maps were made and we proceeded to determine whether there is an association between the presence of seabirds and the presence of krill. For this

descriptivo se utilizó la abundancia de aves en relación con número de UBM en las que se realizó el muestreo y se completó con información de latitud y longitud en la que se realizaron los avistamientos de aves marinas.

La información sobre abundancia y distribución de krill fue tomada simultáneamente utilizando una ecosonda multifrecuencia de emisión sonora y un GPS. La información de la abundancia de krill (valores acústicos NASC) y la posición geográfica (longitud y latitud) de los puntos en los que se realizó el registro de krill durante la navegación, fue proporcionada por el área de evaluación hidroacústica.

Con el objetivo de identificar las zonas donde hay mayor abundancia relativa de aves según las dos variables ambientales utilizadas: salinidad (ups) y temperatura superficial del mar (TSM), así como la mayor abundancia de krill, se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM por sus siglas en inglés) el cual fue realizado para cada una de las especies de aves elegidas y las tres zonas de evaluación. Para ello se utilizaron los puntos donde se realizó el avistamiento de aves marinas, de ahí se construyó una matriz donde se relacionaba la abundancia relativa de aves marinas con las variables ambientales, y abundancia de krill (Programa R).

Finalmente, se utilizó el modelo estadístico de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) como parte de un análisis de Correspondencia Múltiple. El objetivo fue analizar patrones de distribución de las aves marinas endémicas y migratorias en las zonas de Bransfield, Joinville y Elefante, explicando la variable respuesta para cada componente (APABLAZA, 2020) asociado a los valores de abundancia de krill y las variables oceanográficas como temperatura superficial del mar (TSM), concentración de oxígeno y salinidad frente a las zonas de avistamiento para determinar si existe asociación entre la presencia de estas especies y su distribución-abundancia de krill, mediante el NASC. Para estos análisis se utilizó el paquete del programa R (DRAY *et al.*, 2020).

Adicionalmente, es importante mencionar que para este análisis se trabajó con las siguientes especies: el albatros ceja negra *Thalassarche melanophrys*, petrel del cabo *Daption capense*, petrel plateado *Fulmarus glacialis*; del grupo de los pingüinos se trabajó específicamente con el pingüino barbijo *Pygoscelis antarcticus* y dos especies que no se han considerado en los análisis anteriores: el petrel gigante *Macronectes giganteus* (Richmond, 1905) y el petrel barba blanca *Procellaria aequinoctialis* (Linnaeus, 1758).

descriptive analysis, we used the abundance of birds about the number of BSUs in which the sampling was carried out and completed with information on the latitude and longitude in which the seabird sightings were made.

Information on krill abundance and distribution was collected simultaneously using a multi-frequency sounding echo sounder and a GPS. The hydroacoustic assessment area provided information on krill abundance (NASC acoustic values) and the geographic position (longitude and latitude) of the points where krill were recorded during the navigation.

To identify the areas with the highest relative abundance of birds according to the two environmental variables used: salinity (PSU) and sea surface temperature (SST), as well as the highest abundance of krill, a generalized linear model (GLM) was used for each of the chosen bird species and the three evaluation areas. To this end, we used the points where the seabird sightings were made, from which a matrix was constructed relating the relative abundance of seabirds with the environmental variables and krill abundance (R software).

Finally, the Principal Component Analysis (PCA) statistical model was used as part of a Multiple Correspondence Analysis. This was done to analyze distribution patterns of endemic and migratory seabirds in the Bransfield, Joinville, and Elephant areas, thus explaining the response variable for each component (APABLAZA, 2020) associated with krill abundance values and oceanographic variables such as sea surface temperature (SST), oxygen concentration, and salinity off the sighting areas to determine if there is an association between the presence of these species and their distribution, krill abundance, using the NASC. For these analyses, we used the R software (DRAY *et al.*, 2020).

It is noteworthy that for this analysis, we worked with the following species: *Thalassarche melanophrys*, *Daption capense*, *Fulmarus glacialis*. From the penguin group, we worked specifically with the *Pygoscelis antarcticus* and two species that have not been considered in previous analyses: *Macronectes giganteus* (Richmond, 1905) and *Procellaria aequinoctialis* (Linnaeus, 1758).

3. RESULTADOS

Durante el crucero se recorrió 1.941 millas, realizándose observaciones de aves marinas en 841 millas. Las 1.110 millas restantes corresponden a horas de penumbra y a millas en las que no se pudo realizar el avistamiento por cambios en la velocidad del buque y malas condiciones ambientales que imposibilitaron la visibilidad.

En el periodo y área de evaluación, se registraron 2.827 aves marinas, divididas en 7 familias y 26 especies (Tabla 1). La familia más representativa fue Procellariidae (albatros, petreles y priones) con 59,71% del total, seguido por la familia Spheniscidae (20,37%) e Hydrobatidae (8,74%).

La especie más abundante fue el petrel del cabo *Daption capense* con el 28,62% (809 individuos), seguido por el petrel plateado *Fulmarus glacialoides* (19,10%; 540 individuos) y el pingüino de barbijo *Pygoscelis antarcticus* (16,70%; 472 individuos).

En el caso de las especies elegidas para el presente estudio: *Daption capense*, *Oceanites oceanicus*, *Fulmarus glacialoides*, *Thalassarche melanophris* y el grupo de los pingüinos (*Pygoscelis papua*, *P. adeliae*, *P. antarcticus*), fueron las especies más abundantes, representando 73,86% del total de aves marinas registradas (Tabla 1).

El número promedio de aves por milla fue de 3,75 ind./mn. La mayor concentración de aves marinas se registró a los alrededores de isla Elefante, principalmente entre las islas Elefante y Rey Jorge (Fig. 2).

3. RESULTS

During the cruise, a total of 1,941 miles were covered, and seabird observations were made in 841 miles. The remaining 1,110 miles correspond to twilight hours and miles in which sightings could not be made due to changes in the vessel's speed and poor environmental conditions that impeded visibility.

In sum, we recorded 2,827 seabirds, divided into 7 families and 26 species (Table 1). The most representative family was Procellariidae (albatrosses, petrels, and prions) with 59.71% of the total, followed by the family Spheniscidae (20.37%), and Hydrobatidae (8.74%).

The most abundant species was *Daption capense* with 28.62% (809 individuals), followed by *Fulmarus glacialoides* (19.10%; 540 individuals), and *Pygoscelis antarcticus* (16.70%; 472 individuals).

Regarding the species chosen for this study: *Daption capense*, *Oceanites oceanicus*, *Fulmarus glacialoides*, *Thalassarche melanophris*, and the penguin group (*Pygoscelis papua*, *P. adeliae*, *P. antarcticus*), were the most abundant species, accounting for 73.86% of the total number of seabirds recorded (Table 1).

The mean number of birds per mile was 3.75 ind./nm. The highest concentration of seabirds was recorded around Elephant Island, mainly between Elephant and King George Islands (Fig. 2).

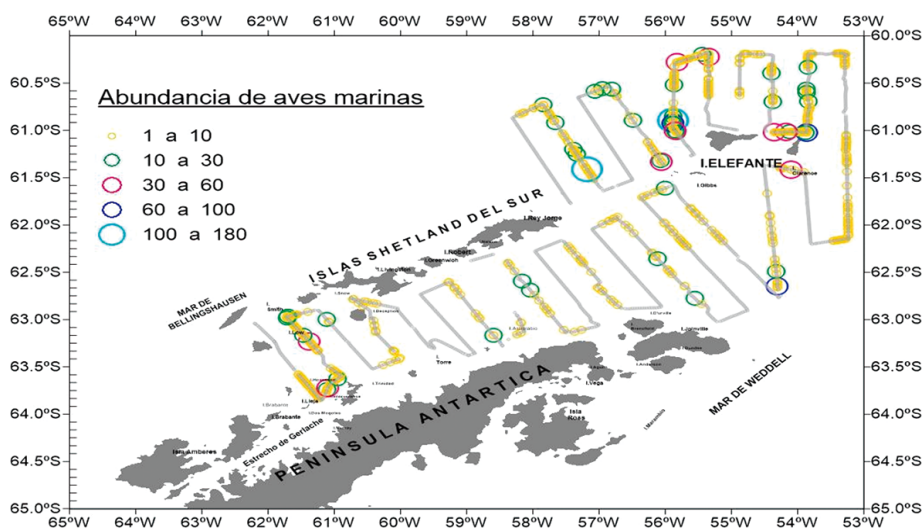


Figura 2.- Distribución de aves marinas. Se muestran las millas donde se realizaron las observaciones de aves indicando según color, el número total de aves registradas en cada milla. ANTAR XXVI

Figure 2. Distribution of seabirds. The miles where bird observations were made are shown, indicating by color, the total number of birds recorded in each mile. ANTAR XXVI

Tabla 1.- Especies y número total de aves marinas. Campaña ANTAR XXVI.
31 de diciembre 2018 a 15 de enero 2019

Table 1. Species and the total number of seabirds. ANTAR XXVI Campaign.
December 31, 2018, to January 15, 2019

Familia/Especie Family/Species	Número de individuos Number of individuals	Porcentaje / Per- centage (%)
F. Chionidae	2	0,07
<i>Chionis alba</i>	2	0,07
F. Diomedidae	221	7,82
<i>Diomedea epomophora</i>	2	0,07
<i>Diomedea exulans</i>	10	0,35
Diomedidae	5	0,18
<i>Phoebastria palpebrata</i>	30	1,06
<i>Thalassarche chrysostoma</i>	3	0,11
<i>Thalassarche epomophara</i>	1	0,04
<i>Thalassarche melanophris</i>	166	5,87
<i>Thalassarche sp.</i>	4	0,14
F. Hydrobatidae	247	8,74
<i>Fregetta sp.</i>	16	0,57
<i>Fregetta tropica</i>	92	3,25
Hydrobatidae	38	1,34
<i>Oceanites oceanicus</i>	101	3,57
F. Laridae	10	0,35
<i>Sterna paradisica</i>	1	0,04
<i>Sterna sp.</i>	2	0,07
<i>Sterna vittata</i>	7	0,25
F. Procellariidae	1688	59,71
<i>Daption capense</i>	809	28,62
<i>Fulmarus glacialisoides</i>	540	19,10
<i>Halobaena careulea</i>	3	0,11
<i>Macronectes giganteus</i>	46	1,63
<i>Macronectes halli</i>	2	0,07
<i>Macronectes sp.</i>	5	0,18
<i>Oceanites oceanicus</i>	1	0,04
<i>Pachyptila desolta</i>	41	1,45
<i>Pachyptila sp.</i>	24	0,85
<i>Procellaria aequinoctialis</i>	151	5,34
<i>Procellaria sp.</i>	39	1,38
<i>Pterodroma macroptera</i>	14	0,50
<i>Pterodroma sp.</i>	1	0,04
<i>Puffinus griseus</i>	12	0,42
F. Spheniscidae	576	20,37
<i>Pygoscelis adelidae</i>	15	0,53
<i>Pygoscelis antarcticus</i>	472	16,70
<i>Pygoscelis papua</i>	75	2,65
<i>Pygoscelis sp.</i>	14	0,50
F. Stercorariidae	83	2,94
<i>Stercorarius antarctica</i>	16	0,57
<i>Stercorarius maccormicki</i>	10	0,35
<i>Stercorarius sp.</i>	57	2,02
TOTAL	2827	100

Asimismo, los avistamientos de grupos de individuos 1 a 10 fueron los más abundantes (>50% de los avistamientos) y los que se registraron a lo largo de todo el trayecto. Por otro lado, los avistamientos de 10 a más individuos fueron menos frecuentes y se registraron en la zona norte de la evaluación.

Presencia de aves marinas y captura de krill

La presencia y distribución de aves marinas se encontró relacionada con la del krill (*Euphausia superba*) en las estaciones oceanográficas (Fig. 3). El mayor número de estaciones oceanográficas donde se obtuvieron observaciones positivas de krill, se encontraron en la zona norte del área de evaluación lo cual coincide con la mayor abundancia de aves marinas registradas, además del mayor número de avistamientos donde se presentaron grupos de aves entre 30 a 180 individuos por avistamiento.

La evaluación acústica se realizó dentro de las 1.881 mn, en 1.470 mn (74,15%) se registró presencia de krill. Según la información obtenida, la mayor abundancia se observó en los alrededores de isla Elefante, principalmente en la parte norte.

En la figura 4 se puede observar presencia del petrel del Cabo, petrel plateado, albatros ceja negra y grupo de pingüinos, se observó que la mayor abundancia de estas especies se registró en zonas donde la ecosonda

Sightings of groups of individuals (1 to 10) were the most abundant (>50%), being recorded along the entire route. Sightings of 10 or more individuals were less frequent and were recorded in the northern part of the study area.

Presence of seabirds and krill capture

At oceanographic stations, the presence and distribution of seabirds was related to krill (*Euphausia superba*) (Fig. 3). The highest number of oceanographic stations with positive krill observations was found in the northern zone of the evaluation area, coinciding with the record of the highest abundance of seabirds and sightings (from 30 to 180 individuals / sighting).

The acoustic evaluation was carried out within 1,881 nm, in 1,470 nm (74.15%) the presence of krill was recorded. According to the information obtained, the greatest abundance was observed around Elephant Island, mainly in the northern part of the area.

Figure 4 shows the presence of *Daption capensis*, *Fulmarus glacialis*, *Thalassarche melanophrys*, and group of penguins. The highest abundance of these species was recorded in areas where the echo sounder detected the highest abundance of

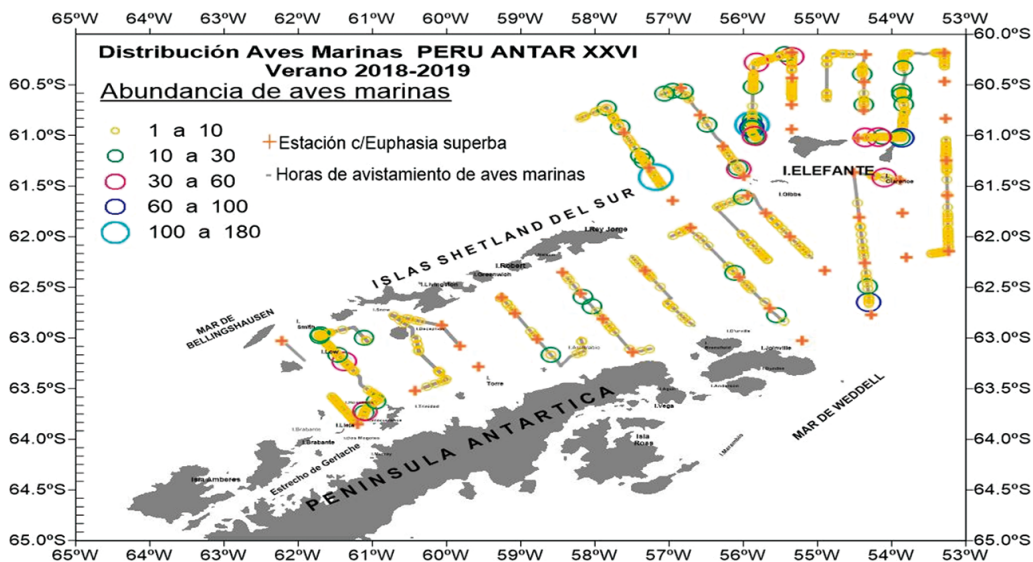


Figura 3.- Distribución de aves marinas y relación con presencia de krill (*E. superba*). Se muestran las millas donde se observaron las aves indicando, según color, el número de aves registradas en cada milla. En las estaciones oceanográficas, la cruz color naranja muestra la milla donde se registró krill. ANTAR XXVI

Figure 3. Distribution of seabirds and relationship with the presence of krill (*E. superba*). The miles where the birds were observed are shown, indicating, according to color, the number of birds recorded in each mile. At oceanographic stations, the orange cross shows the mile where krill was recorded. ANTAR XXVI

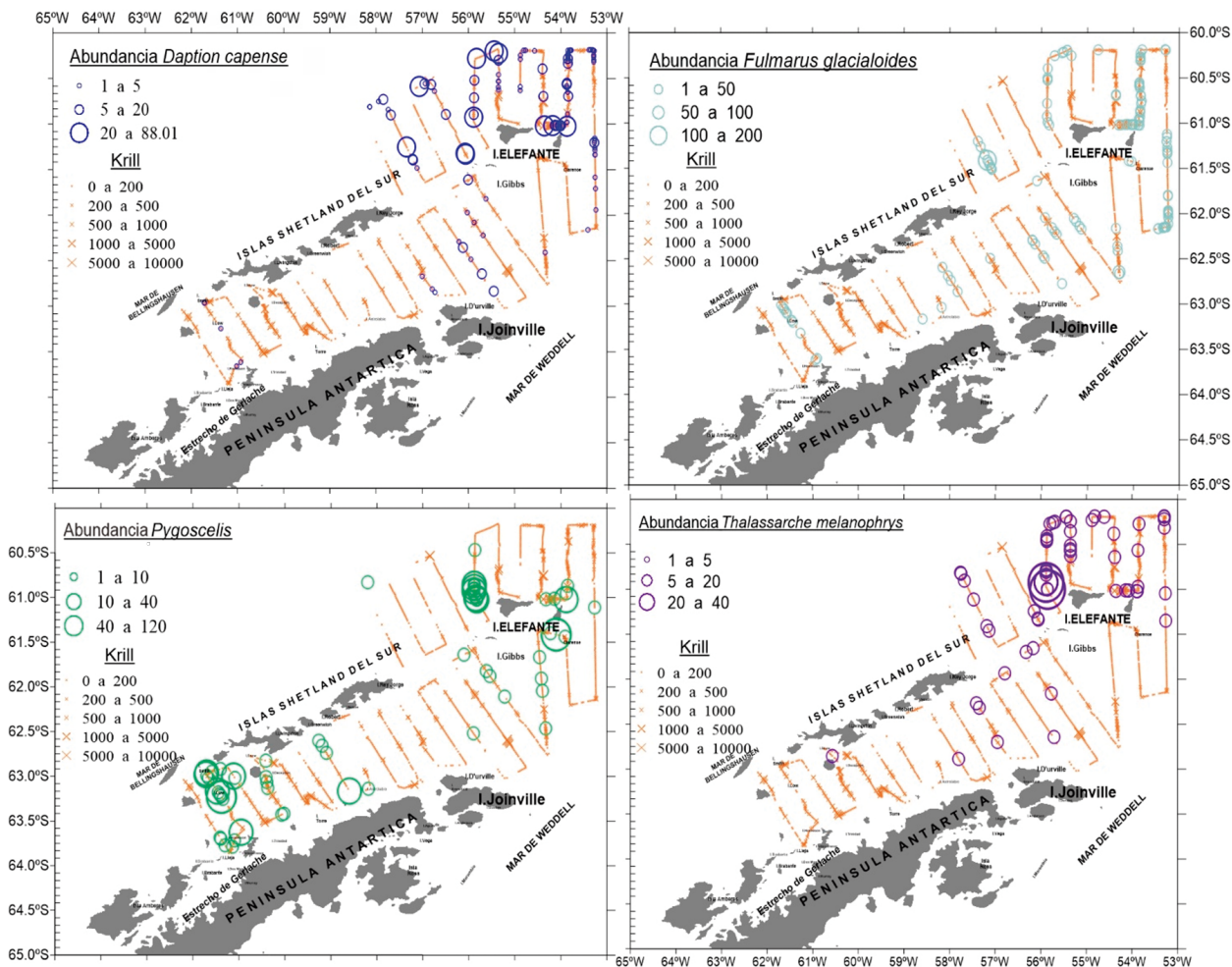


Figura 4.- Abundancia de A) petrel del Cabo *Daption capense*, b) petrel plateado *Fulmarus glacialoides*, c) pingüinos *Pygoscelis*, d) albatros ceja negra *Thalassarche melanophrys*; en (X) color naranja se muestra los ecoregistros de krill. ANTAR XXVI

Figure 4. Abundance of A) Cape petrel *Daption capense*, b) southern fulmar *Fulmarus glacialoides*, c) penguins *Pygoscelis*, d) black-browed albatross *Thalassarche melanophrys*; in (X) orange color shows krill echo-acoustic records along the acoustic assessment. ANTAR XXVI

detectó mayor abundancia de krill ocurrido en los alrededores de la isla Elefante, esto podría deberse a que estas especies se alimentan principalmente de krill y crustáceos. Los valores NASC permitieron observar que la mayor abundancia promedio de krill, se registró en los alrededores de la isla Joinville (1771,32), seguido de la zona norte de isla Elefante (448,74).

Como se muestra en la figura 5, la mayor abundancia relativa de golondrina de la tempestad de Wilson *Oceanites oceanicus* se encontró cercana a la isla Joinville (0,0024 ind/mn avistada) (rango 10 – 20 individuos por avistamiento) y estuvo relacionada con la mayor abundancia de krill. Además, esta especie se registró en todo el recorrido realizado por el BAP Carrasco.

Antarctic krill around Elephant Island, this could be since these species feed mainly on krill and other crustaceans. The NASC values showed that the highest mean abundance of Antarctic krill was recorded around Joinville Island (1771.32), followed by the northern part of Elephant Island (448.74).

Figure 5 shows that the highest relative abundance of Wilson’s storm petrel *Oceanites oceanicus* was found near Joinville Island (0.0024 ind/nm sighted) (range 10 - 20 individuals per sighting) and was related to the highest abundance of krill. In addition, this species was recorded throughout the entire route covered by the R/V Carrasco.

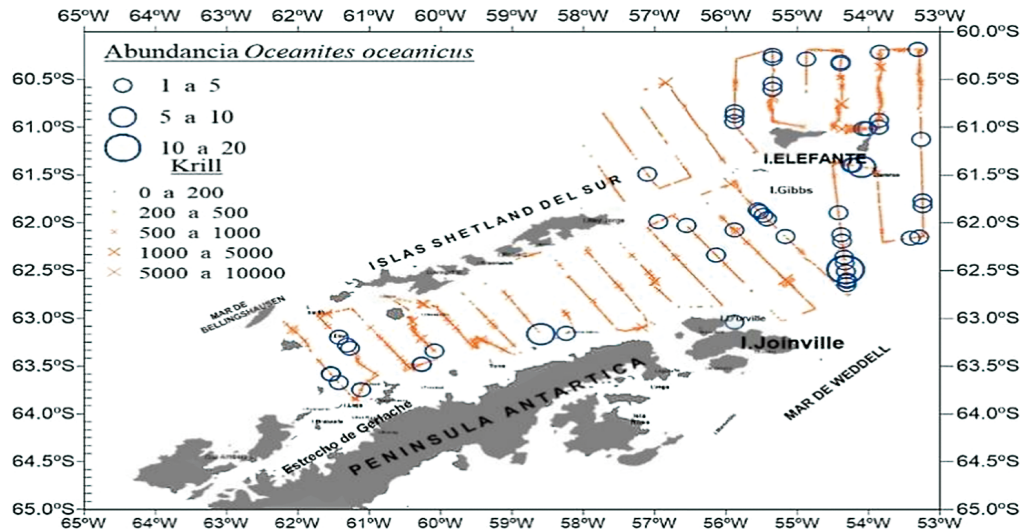


Figura 5.- Distribución y abundancia de golondrina de la tempestad de Wilson *Oceanites oceanicus* y su relación con los registros eco acústicos de krill (*E. superba*). ANTAR XXVI

Figure 5. Distribution and abundance of Wilson’s storm petrel *Oceanites oceanicus* and its ratio to Antarctic krill (*Euphausia superba*) echo-acoustic records. ANTAR XXVI

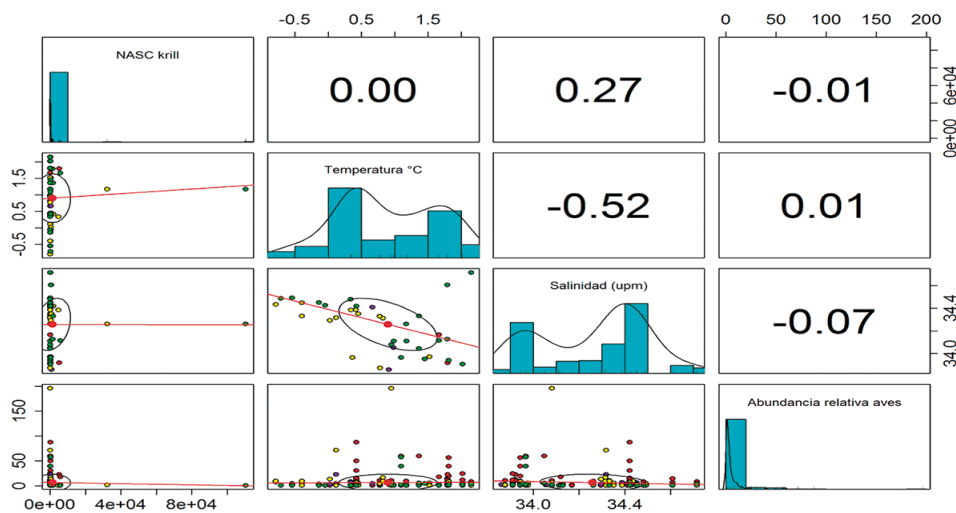


Figura 6.- Relación entre abundancia de cinco especies de aves marinas: *Daption capensis* (puntos color rojo), *Fulmarus glacialoides* (puntos color amarillo), *Thalassarche melanophris* (puntos color verde) y *Oceanites oceanicus* (puntos color morado), TSM, salinidad y abundancia de krill (*Euphausia superba*). 31 de diciembre 2018 - 15 de enero 2019. Antar XXVI

Figure 6. Ratio between abundance of five seabird species: *Daption capensis* (red dots), *Fulmarus glacialoides* (yellow dots), *Thalassarche melanophris* (green dots), and *Oceanites oceanicus* (purple dots), SST, salinity, and abundance of krill (*Euphausia superba*). December 31, 2018 - January 15, 2019. ANTAR XXVI

Relación aves marinas vs. TSM, salinidad y abundancia de krill

Al hallar la correlación entre TSM, salinidad y abundancia de krill, se obtuvo que: la abundancia de krill ($r_{\text{Spearman}} = -0,01$) y salinidad ($r_{\text{Spearman}} = -0,07$) tuvieron mayor relación lineal con abundancia relativa de las cuatro especies de aves estudiadas (petrel del Cabo, golondrina de la tempestad de Wilson, albatros ceja negra y petrel plateado), lo cual se tomó en cuenta porque son especies que tienen como parte de su dieta al krill, pero no es su presa principal (Fig. 6).

Ratio between seabirds vs. SST, salinity, and krill abundance

When finding the correlation between SST, salinity, and krill abundance, we obtained that: krill abundance ($r_{\text{Spearman}} = -0.01$) and salinity ($r_{\text{Spearman}} = -0.07$) had the highest linear ratio with the relative abundance of the four bird species studied (Cape petrel, Wilson’s storm petrel, black-browed albatross, and southern fulmar), which was considered because they are species that have krill as part of their diet, but it is not their main prey (Fig. 6).

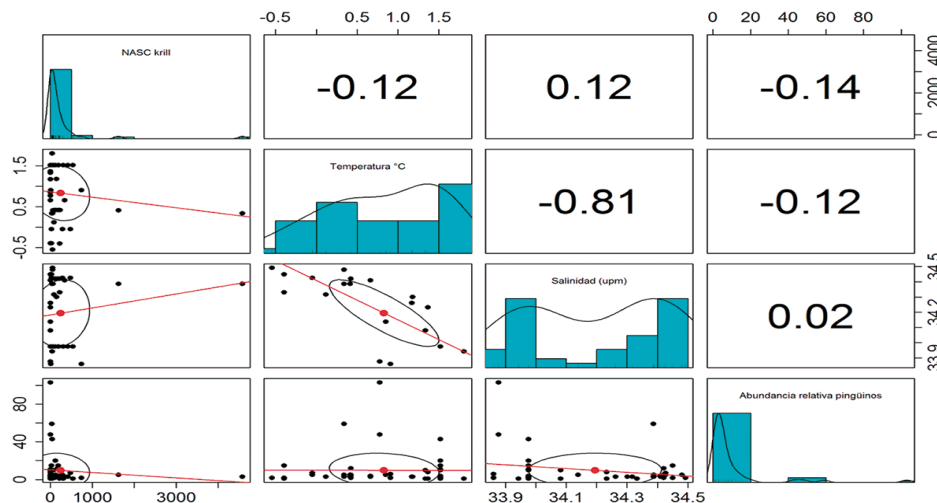


Figura 7.- Relación entre abundancia de pingüinos (grupo *Pygoscelis*) y TSM, salinidad y abundancia de krill. 31 de diciembre 2018 - 15 de enero 2019. ANTAR XXVI

Figure 7. Ratio between penguin abundance (group *Pygoscelis*) and SST, salinity, and krill abundance. December 31, 2018 - January 15, 2019. ANTAR XXVI

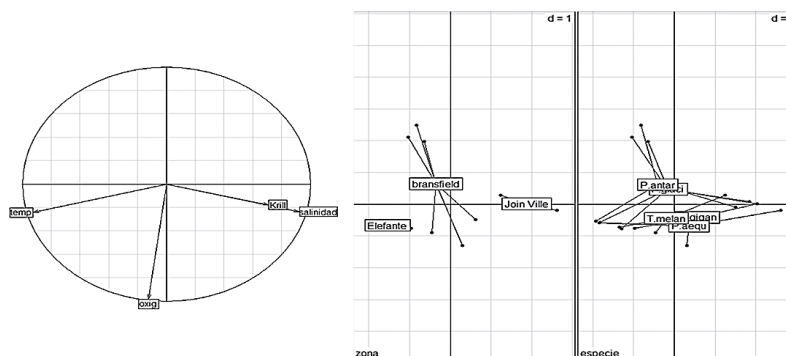


Figura 8.- Análisis de Componentes Principales (ACP) con parámetros físico – ambientales asociados a la presencia de *Thalassarche melanophris*, *Macronectes giganteus*, *Procellaria aequinoctialis* y *Daption capensis* (aves migratorias) y *Pygoscelis antarcticus* y *Fulmarus gracialoides* (aves endémicas) vs TSM, concentración de oxígeno, salinidad y el coeficiente de abundancia de krill

Figure 8. Principal Component Analysis (PCA) with physical-environmental parameters associated with the presence of *Thalassarche melanophris*, *Macronectes giganteus*, *Procellaria aequinoctialis*, and *Daption capensis* (migratory birds) and *Pygoscelis antarcticus* and *Fulmarus gracialoides* (endemic birds) vs SST, oxygen concentration, salinity, and the coefficient of abundance of Antarctic krill

Sin embargo, cuando se analizó la correlación entre las variables ambientales y biológicas y la abundancia de pingüinos, se encontró que las variables con mayor relación fueron abundancia de krill ($r_{\text{Spearman}} = -0,14$) con TSM ($r_{\text{Spearman}} = -0,12$) y el mayor número de observaciones se registró entre 0,5 y 1,0 °C. (Fig. 7).

Asociación entre las variables ambientales, abundancia de krill y aves marinas

En el Análisis de Componentes Principales (ACP) se observó la ubicación de aves endémicas en el estrecho de Bransfield como es el *Pygoscelis antarcticus* pingüino barbijo y el *Fulmarus gracialoides* petrel plateado. Las aves migratorias (albatros ceja negra, petrel gigante del sur y el petrel barba blanca) fueron ubicadas en los alrededores de la isla Elefante y Joinville (Fig. 8).

Nevertheless, when the correlation between environmental and biological variables and penguin abundance was analyzed, we found that the variables with the strongest ratio were krill abundance ($r_{\text{Spearman}} = -0.14$) with SST ($r_{\text{Spearman}} = -0.12$), and the highest number of observations was recorded between 0.5 and 1.0 °C. (Fig. 7).

Association between environmental variables, krill abundance, and seabirds

Principal Component Analysis (PCA) showed the location of endemic birds in the Bransfield Strait such as *Pygoscelis antarcticus* chinstrap penguin and *Fulmarus gracialoides* southern fulmar. Migratory birds (black-browed albatross, southern giant petrel, and white-chinned petrel) were located around Elephant Island and Joinville (Fig. 8).

Además, se observó que la zona del estrecho de Bransfield está relacionada con temperaturas más bajas, mientras que los alrededores de la isla Elefante se relaciona con temperaturas más cálidas y ricas en oxígeno.

Por otro lado, en Joinville se observó mayor concentración de krill, a su vez el análisis de ACP muestra un porcentaje de inercia de 83,5% en los dos primeros componentes.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El petrel plateado, petrel del Cabo, golondrina de la tempestad y el petrel ceja negra son especies que pueden ser utilizadas como indicadores de la presencia de krill debido a que son especies pelágicas gregarias que pueden permanecer muchos días buscando su alimento que es el krill (JAHNCKE *et al.*, 1999). El petrel de Cabo es una especie endémica de la zona antártica que forma parte del grupo de petreles que anidan en los alrededores del continente Antártico y que se alimenta de crustáceos, principalmente del krill *Euphausia superba* (CREET *et al.*, 1994).

Durante el desarrollo de ANTAR XXVI se pudo observar grupos con rango promedio de 5 – 30 individuos de estas especies; además, se encontraron relacionados con la presencia de krill, lo cual es información que se ha podido observar en evaluaciones como la de ALZA *et al.* (2016) y JAHNCKE *et al.* (1999) quienes detectaron que las zonas de mayor distribución de estas especies estuvieron en Joinville y alrededores de isla Elefante. Sin embargo, según el resultado del análisis de ACP, el petrel del Cabo y petrel plateado son especies que estarían asociadas a la presencia de krill, pero que no son las zonas con mayor abundancia necesariamente. Además, se debe mencionar que estas especies presentan comportamiento de seguimiento de barcos de pesca.

El albatros ceja negra *Thalassarche melanophrys* es una especie que realiza largos viajes migratorios en busca de alimento. Pero los viajes pueden ser muy cercanos a su zona de anidación y podría estar definido por sexo, etapa reproductiva y posiblemente la necesidad nutricional del individuo. Ya que la zona de forrajeo estaría relacionada con la disponibilidad de alimento que necesite (PHILLIPS *et al.*, 2005), lo que también podría ocurrir con el petrel barba blanca *Procellaria aequinoctialis*.

En el caso del grupo de pingüinos, estos presentaron mayor asociación con abundancia de krill y temperatura superficial del mar como se muestra en la figura 4c. El mayor número de avistamiento con

Moreover, we observed that the Bransfield Strait area is associated with lower temperatures, while the area around Elephant Island is associated with warmer and oxygen-rich temperatures.

On the other hand, a higher concentration of Antarctic krill was observed in Joinville, and the PCA analysis showed an inertia percentage of 83.5% in the first two components.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The southern fulmar, Cape petrel, Wilson's storm petrel, and black-browed albatross are species that can be used as indicators of the presence of *Euphausia superba* since they are gregarious pelagic species that can stay for many days searching for their food, which is the Antarctic krill (JAHNCKE *et al.*, 1999). The Cape petrel is a species endemic to the Antarctic area that is part of the group of petrels that nest around the Antarctic continent and feeds on crustaceans, mainly krill *Euphausia superba* (CREET *et al.*, 1994).

During the development of ANTAR XXVI, we observed groups with a mean range of 5 - 30 individuals of these species. They were also found to be related to the presence of krill, which is information that has been observed in evaluations such as that of ALZA *et al.* (2016) and JAHNCKE *et al.* (1999) who found that the areas of greatest distribution of these species were in Joinville and around Elephant Island. Nonetheless, according to the result of the PCA analysis, Cape petrel and southern fulmar are species that would be associated with the presence of Antarctic krill, but they are not necessarily the areas with the highest abundance. In addition, we should mention that these species show the behavior of following fishing boats.

The black-browed albatross *Thalassarche melanophrys* is a species that makes long migratory journeys in search of food. However, the trips may be very close to its nesting area and could be defined by sex, reproductive stage, and possibly the nutritional needs of the individual. Since the foraging area would be related to the availability of food needed (PHILLIPS *et al.*, 2005), this could also occur with the white-chinned petrel *Procellaria aequinoctialis*.

Regarding the penguin group, they showed a greater association with krill abundance and sea surface temperature as shown in Figure 4c. The highest number of sightings with the highest number of individuals was observed in the Bransfield Strait area. Although the PCA was conducted only with

mayor número de individuos fue observado en la zona del estrecho de Bransfield. Si bien, el ACP se realizó solo con el pingüino barbijo, se observó la asociación con la variable abundancia del krill. En esa localidad se encontraron los vectores de mayor concentración de krill y aguas más salinas, lo cual podría influenciar en la distribución de este grupo de aves y el uso de las zonas de forrajeo ya que son cercanas a sus colonias reproductivas.

En el análisis de ACP para el albatros ceja negra se detectó que la mayor presencia de esta especie ocurrió mayormente en los alrededores de Joinville e isla Elefante. Sin embargo, en la figura 4d se observó que la especie se encuentra principalmente al norte de la isla Elefante, más que en los alrededores de Joinville, posiblemente por la proximidad a sus zonas de anidación en la isla Diego Ramírez, siendo la zona de reproducción más importante de Chile y del mundo. Esta zona se encuentra en el extremo sur del continente (ROBERTSON *et al.*, 2007).

En el caso del petrel barba blanca, se trata de una especie de mayor tamaño que realizan largos viajes en busca de alimento en zonas donde la presa se encuentre más abundante, como lo observado en este trabajo. El albatros ceja negra se observó en los alrededores de isla Elefante, donde se encontró mayor abundancia de krill; en Joinville e isla Elefante también estuvo asociado con presencia de krill. Sin embargo, se sabe que el 40% de la dieta de estas especies está compuesta por cefalópodos y pescado que podrían obtener del descarte de la pesquería que se realizan en aguas sub-Antárticas (COLABUONO & VOOREN, 2007). Esta especie tiene un amplio rango de distribución circumpolar que abarca todo el océano Austral. Además, es conocida por anidar en islas subantárticas, como las Georgias del Sur y Malvinas, siendo las dos últimas cercanas a las zonas en la que se desarrolló este crucero de investigación, por lo que estaría relacionada la presencia registrada en el verano del 2020 (ACAP, 2009).

Los resultados obtenidos en el presente trabajo relacionan la presencia de aves marinas, abundancia de krill y variables ambientales, información que podría ser útil como aporte adicional y exploratorio, ya que se trata de una evaluación donde se ha trabajado con los valores NASC de abundancia para toda la columna de agua, valor que no considera la disponibilidad de la presa (profundidad).

Los resultados muestran distribución y abundancia de aves marinas en el mar y refleja que su comportamiento estaría asociado con la presencia de presas en el ecosistema marino, así como de otras variables ambientales que pueden explicar su comportamiento de forrajeo.

chinstrap penguins, the association with the krill abundance variable was observed. In this locality, we found the vectors of higher krill concentration and more saline waters, which could influence the distribution of this group of birds and the use of foraging areas, since they are close to their reproductive colonies.

In the PCA analysis for the black-browed albatross, we detected that the greatest presence of this species occurred mostly in the surroundings of Joinville and Elephant Island. Nevertheless, in Figure 4d, we observed that this species is mainly found north of Elephant Island, more than in the surroundings of Joinville, possibly due to the proximity to its nesting areas in Diego Ramirez Island, being the most important mating area worldwide. This area is located at the southern end of the continent (ROBERTSON *et al.*, 2007).

The white-chinned petrel is a larger species that makes long trips in search of food in areas where prey is more abundant, as observed in this study. The black-browed albatross was observed around Elephant Island, where a greater abundance of Antarctic krill was found. In Joinville and Elephant Island, it was also associated with the presence of krill. Yet, we know that 40% of the diet of these species is made up of cephalopods and fish that could be obtained from the discarded fishery in sub-Antarctic waters (COLABUONO & VOOREN, 2007). This species has a wide circumpolar distribution range that encompasses the entire Southern Ocean. In addition, it is known to nest in sub-Antarctic islands, such as South Georgia and Malvinas, the latter two being close to the areas where this research cruise took place, so the presence recorded in the summer of 2020 would be related (ACAP, 2009).

The results obtained in this study link the presence of seabirds, krill abundance, and environmental variables. This information could be useful as an additional and exploratory contribution since it is an evaluation that has worked with the NASC values of abundance for the entire water column, a value that does not consider the prey availability (depth).

The results show the distribution and abundance of seabirds at sea and reflect that their behavior would be associated with the presence of prey in the marine ecosystem, as well as other environmental variables that may explain their foraging behavior.

La distribución y abundancia de aves marinas en el mar está relacionada a aspectos biológicos y físicos que pueden ocurrir en el océano, ya que las aves marinas son especies sensibles a los cambios que pueden ocurrir con relación a su alimento (HUNT, 1991). En el presente estudio se pudo observar la influencia de la distribución de krill con la abundancia y distribución que presentaron las aves marinas que fueron observadas a lo largo del crucero de evaluación ANTAR XXVI. Sin embargo, es importante mencionar, si bien se observó la relación entre la presencia de aves marinas y la presencia de krill, esto no quita que en zonas donde no se observó presencia de aves marinas hubiera presencia y disponibilidad de alimento. La distribución de las aves marinas está relacionada con el balance entre el gasto energético y la posibilidad de encontrar parches de krill (SANTORA *et al.*, 2009).

The distribution and abundance of seabirds at sea are related to biological and physical aspects that may occur in the ocean since seabirds are species sensitive to changes that may occur about their food (HUNT, 1991). We observed the influence of krill distribution on the abundance and distribution of seabirds that were observed throughout the ANTAR XXVI cruise. However, it is noteworthy that although the relationship between the presence of seabirds and the presence of Antarctic krill was observed, this does not mean that in areas where seabirds were not present there was no presence and availability of food. The distribution of seabirds is related to the balance between energy expenditure and the possibility of finding krill patches (SANTORA *et al.*, 2009).

REFERENCIAS / REFERENCES

- AGREEMENT ON THE CONSERVATION OF ALBATROSSES AND PETRELS (ACAP). 2009. ACAP Species assessment: White-chinned petrel *Procellaria aequinoctialis*. Descargado de <http://www.acap.aq>. 25 de octubre 2020.
- ALZA L, VAN OORDT F, YATACO G. 2016. Aves y mamíferos marinos antárticos relacionados con la biomasa de krill *Euphausia superba*, estrecho de Bransfield e isla Elefante. Bol Inst Mar Perú. 31(1): 71-75.
- APABLAZA Y. 2020. Aplicación del Análisis Multivariante Exploratorio a la Matriz de datos de aguas superficiales en la cuenca del río Choapa durante el periodo 2011-2018. Tesis de pregrado. Universidad de Chile, Chile. 55 pp.
- BIRT V L, BIRT T P, GOULET D, CAIRNS DK, MONTEVECCHI WA. 1987. Ashmole's halo: direct evidence for prey depletion by a seabird. Mar. Ecol Prog. Ser. 40: 205 – 208.
- COLABUONO F, VOOREN C. 2007. Diet of black-browed *Thalassarche melanophrys* and Atlantic yellow-nosed *T. chlororhynchos* albatrosses and white-chinned *Procellaria aequinoctialis* and spectacled *P. conspicillata* petrels off southern Brazil. Marine Ornithology. 35: 9 – 20.
- COMMISSION FOR THE CONSERVATION OF ANTARCTIC MARINE LIVING RESOURCES. 2018. Krill fisheries and sustainability | CCAMLR. /www.Ccamlr.Org. <https://www.ccamlr.org/en/fisheries/krill-fisheries-and-sustainability>
- CREET J, VAN FRANKEKER T, VAN SPANJE T, WOLF W. 1994. Diet of the Pintado Petrel *Daption capense* at King George Island, Antarctica, 1990/91. Marine Ornithology 22: 221 – 229.
- DRAY S, DUFOUR A B, THIOULOUSE J. 2020. Package 'ade4' Analysis of Ecological Data: Exploratory and Euclidean Methods in Environmental Sciences, version 1.7-15 [Document WWW]. Accessible in URL: <https://cloud.r-project.org/> and <http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4> (view 05/04/2020).
- ESPINO M, AYÓN P, CORNEJO R, ALARCÓN J, VÁSQUEZ L, QUIÑONEZ J, CHANG F, GOYA E, VILLEGAS P, VELAZCO F, QUIPUZCOA L, CASTILLO D, QUESQUÉN R, RIVADENEYRA S, CORREA J. 2016. Ecosistema marino del estrecho de Bransfield, bahía Almirantazgo y alrededores de las islas Joinville y Elefante. ANTAR XXII, 2014. Bol Inst Mar Perú. 31(2): 229-294.
- FURNESS R W, MONAGHAN P. 1987. Seabird Ecology. Blackie. London. p. 164.
- HARRISON P. 1991. Seabirds: An Identification Guide. London, United Kingdom: Croom Helm. 448 pp.
- HUNT, L. Jr. 1991. Marine Ecology of Seabirds in Polar Oceans. Amer. Zool. 31: 131 – 142.
- JAHNCKE J, GOYA E, PAZ-SOLDÁN L. 1999. Las aves marinas antárticas como indicadoras de los patrones de abundancia y distribución del krill (*Euphausia superba*) en el estrecho de Bransfield y alrededores de isla Elefante. Inf Inst Mar Perú. 144: 71 – 78.
- PHILLIPS R, SILK J, CROXALL J, AFANASYEV V, BENNETT V. 2005. Summer distribution and migration of nonbreeding albatrosses: Individual Consistencies and Implications for Conservation, the Ecological Society of America. Ecology. 86(9): 2386 - 2396.
- ROBERTSON G, MORENO C A, LAWTON K, ARATA J, VALENCIA J, KIRKWOOD R. 2007. An estimate of the population sizes of Black-browed (*Thalassarche melanophrys*) and Grey-headed (*T. chrysostoma*) Albatrosses breeding in the Diego Ramírez Archipelago, Chile. Emu-Austral Ornithology. 107(3): 239-244.
- SANTORA J, REISS C, COSSIO A, VEIT R. 2009. Interannual spatial variability of krill (*Euphausia superba*) influences seabird foraging behavior near Elephant Island, Antarctica. Fisheries Oceanography. 18(1): 20-35.
- SANTORA J, VEIT R, REISS C, SCHROEDER I, MANGEL M. 2016. Ecosystem Oceanography of Seabird Hotspots: Environmental Determinants and Relationship with Antarctic Krill Within an Important Fishing Ground. Ecosystems. 20(5): 885-903.
- TASKER M, HOPE P, DIXON T, BLAKE B. 1984. Counting Seabird al sea from ships: A review of method employed and a suggestion for a standardized approach. The Auk. 101: 567 – 577.