



ISSN 0378 - 7702

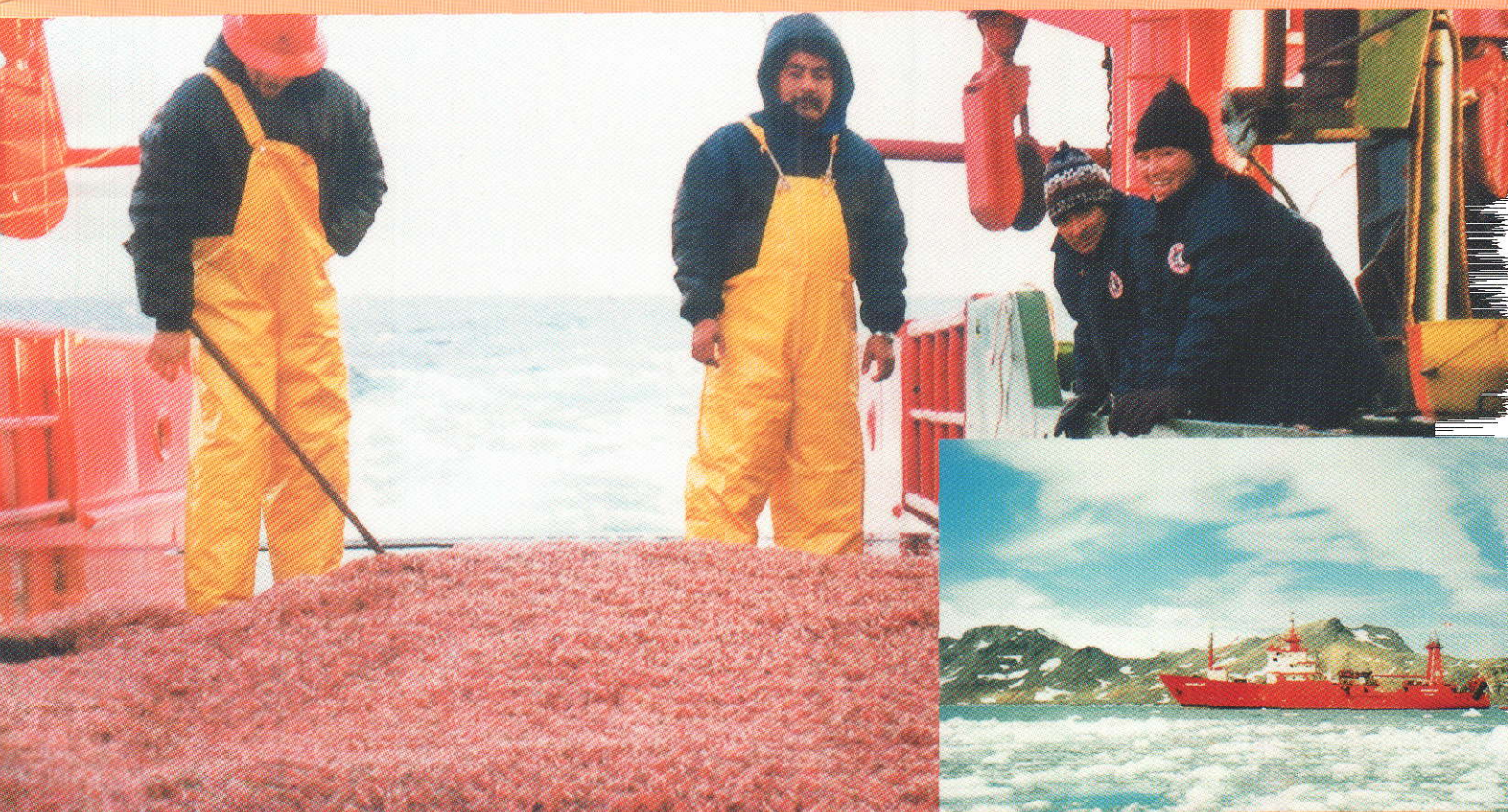
INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

INFORME

Nº 144

Abril, 1999

**Resultados del Programa de Investigación Antártica
del Instituto del Mar del Perú Verano Austral 1998.
PERU ANTAR IX. Crucero BIC Humboldt 9801**



Callao, Perú

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

Jaime Jahncke¹ Elisa Goya¹ Luis Paz-Soldán¹

RESUMEN

JAHNCKE, J., E. GOYA y L. PAZ-SOLDÁN. 1999. Las aves marinas antárticas como indicadores 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 144:71-81.

Se realizaron observaciones de aves marinas en 1177 millas en el Estrecho de Bransfield y alrededores de la isla Elefante en enero de 1998. Durante el recorrido se observó un total de 21 624 aves. Se identificaron 18 especies pertenecientes a 7 familias. Los avistamientos de aves marinas se analizaron en relación a la abundancia y distribución de su principal presa, el krill *Euphausia superba*, en varias escalas espaciales. En las millas con krill la abundancia relativa promedio del total de aves (aves/milla) fue 3,4 veces mayor que la observada en millas donde no se registró krill. Para todas las especies en estudio, excepto las especies de *Pygoscelis*, la probabilidad de encontrar este recurso se incrementó a una mayor abundancia de aves. Las diferentes respuestas encontradas con las seis especies de aves, en cada nivel de análisis, se relacionan estrechamente con sus estrategias de forrajeo y con el comportamiento social y migratorio de su presa. La distribución y abundancia de aves marinas en el mar, así como de sus colonias, refleja la disponibilidad de presas en el ecosistema marino del cual dependen. Las especies estudiadas serían, con excepción del grupo de los pingüinos, buenas indicadoras de la presencia de krill; en tanto que sólo *Daption capense* sería un buen indicador de la abundancia de este recurso. Sin embargo, hay que considerar que la ausencia de aves en un área determinada no implica necesariamente ausencia de krill, ya que existe una serie de factores que intervienen determinando la disponibilidad de esta presa y que deberían ser considerados en estudios posteriores.

PALABRAS CLAVE: aves marinas, Antártida, interacciones predador-presa, krill, *Euphausia superba*, disponibilidad, abundancia, *Pygoscelis*, *Daption capense*, ecología de forrajeo, distribución, especies indicadoras.

ABSTRACT

JAHNCKE, J., E. GOYA and L. PAZ-SOLDÁN. 1999. The marine Antartic birds as indicators of abundance and distribution patterns of krill *Euphausia superba* in Bransfield Strait and Elephant Island's surroundings. Inf. Inst. Mar Perú 144: 71-81.

Seabird observations were conducted along 1177 miles in Bransfield Strait and around Elephant Island during January 1998. A total of 21 624 seabirds were observed and 18 species from 7 families were identified. Seabird sightings were analyzed as related to main prey (krill *Euphausia superba*) abundance and distribution in various spatial scales. In miles where krill was present, mean total seabirds relative abundance (seabirds/mile) was 3,4 times larger than in miles where it was not present. For all studied seabirds, except penguins, the probability of finding krill increased when seabirds relative abundance was larger. The different responses found for the studied seabirds in each level of analysis, were closely related to their foraging strategies and with the social and migratory behavior of their prey. Abundance and distribution of seabirds at sea, as well as their colonies, reflect prey availability in the marine ecosystem from which they depend. All studied seabird species, except *Pygoscelis*, could be used as indicators of krill presence; while, only *Daption capense* could be a good indicator of krill abundance. However, it must be considered that the absence of seabirds in an area do not imply necessarily the absence of krill; there are several factors that determine prey availability and must be examined in future studies.

KEY WORDS: seabirds, Antarctic, predator-prey interactions, krill, *Euphausia superba*, availability, abundance, *Pygoscelis*, *Daption capense*, foraging ecology, distribution, indicator species.

1 Suddirección de Investigaciones en Aves Marinas. Dirección de Recursos Pelágicos. DGIRH.IMARPE

INTRODUCCIÓN

Es ampliamente reconocido que la disponibilidad de alimento en el medio ambiente marino es el principal factor que influye en la distribución, éxito reproductivo y selección de áreas de anidación en las aves marinas (SAFINA y BURGER 1988). Es por ello, que los ornitólogos esperan una fuerte correlación entre la distribución de estas aves y sus presas en un amplio rango de escala espacial y temporal (HUNT 1991a, CROXALL y PRINCE 1987). Esta correlación ha sido escasamente documentada debido a la dificultad en realizar mediciones simultáneas de la distribución de las aves y sus presas. Algunos autores incorporaron información independiente proveniente de las pesquerías, en tanto que otros, utilizaron redes y trampas convencionales para obtener en forma simultánea información sobre las presas. Estos estudios mostraron que la disponibilidad de alimento varía, causando diferentes respuestas en el comportamiento de forrajeo de las aves marinas, indicando que tales métodos de muestreo utilizados para evaluar la disponibilidad de las presas no fueron los más adecuados (SAFINA y BURGER 1988). La incorporación de métodos hidroacústicos para evaluar la abundancia de la presa, ha proporcionado una mejora sustancial, permitiendo probar hipótesis que relacionan la abundancia y distribución de aves marinas en relación con la disponibilidad de sus presas (HUNT 1991b).

La Antártida ofrece un ecosistema casi ideal donde probar esta hipótesis, debido a que el krill *Euphausia superba*, organismo dominante en el segundo nivel trófico, constituye el principal alimento de aves marinas y otras especies que allí habitan (FURNESS y MONAGHAN 1987). HEINEMANN *et al.* (1989) estudiaron las distribuciones de las aves marinas antárticas y del krill *Euphausia superba* con la finalidad de obtener información que permita una mejor comprensión de la dinámica de las interacciones predador-presa en el ambiente antártico. En dicho estudio, a pesar de las deficiencias en el diseño experimental se encontraron altas correlaciones entre las aves especializadas en consumir krill y la abundancia del mismo. El grado y forma de esta correlación es de interés fundamental para entender la dinámica de la interacción predador-presa en el medio ambiente marino, es asimismo importante para el efectivo manejo y conservación de las especies involucradas, ante los efectos potenciales de la pesquería comercial de krill que se está desarrollando en la Antártida (HEINEMANN *et al.* 1989).

El presente trabajo contiene los resultados del análisis de los avistamientos de aves marinas que se realizaron a bordo del Crucero BIC HUMBOLDT durante el desarrollo de la 9^{na} Expedición Científica Peruana a la Antártida ANTAR IX, 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.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el Estrecho de Bransfield y en los alrededores de la Isla Elefante entre el 12 y el 23 de enero de 1998 a bordo del BIC Humboldt, durante el desarrollo del crucero multidisciplinario de investigaciones sobre el krill dentro del marco de la 9^{na} Expedición Científica Peruana a la Antártida, ANTAR IX.

Obtención de los datos

Se contaron aves marinas en forma continua durante las horas de luz, siguiendo los transectos descritos por el crucero (Fig. 1). Las observaciones se realizaron entre las 02:00 h y las 23:30 h, utilizando binoculares 10 x 50, telescopios 35 x 20-60 mm, guías de campo para la identificación de aves marinas (ARAYA y MILLIE 1992, HARRISON 1987, 1988), reloj, cronómetro de regresión, contómetros y libretas de campo de hojas impermeabilizadas. La velocidad del crucero fue de 10 nudos, salvo cuando las condiciones del mar no lo permitieron. Sólo se contaron las aves a un lado de la embarcación en un ángulo de 90° medido a partir de la proa del buque y hasta una distancia de 300 m. Las unidades de conteo fueron segmentos de una milla de recorrido durante los cuales se realizaba en forma simultánea la eco-integración del krill. No se realizaron observaciones durante los lances de comprobación de abundancia y composición de krill ni durante la toma de datos oceanográficos.

Durante las observaciones de aves se consideraron dos categorías de comportamiento: 1) De alimentación, que incluyó los comportamientos de búsqueda de alimento (el ave se desplaza en un área de poco tamaño buscando sobre el agua) y el de alimentación propiamente dicho y, 2) De no alimenta-

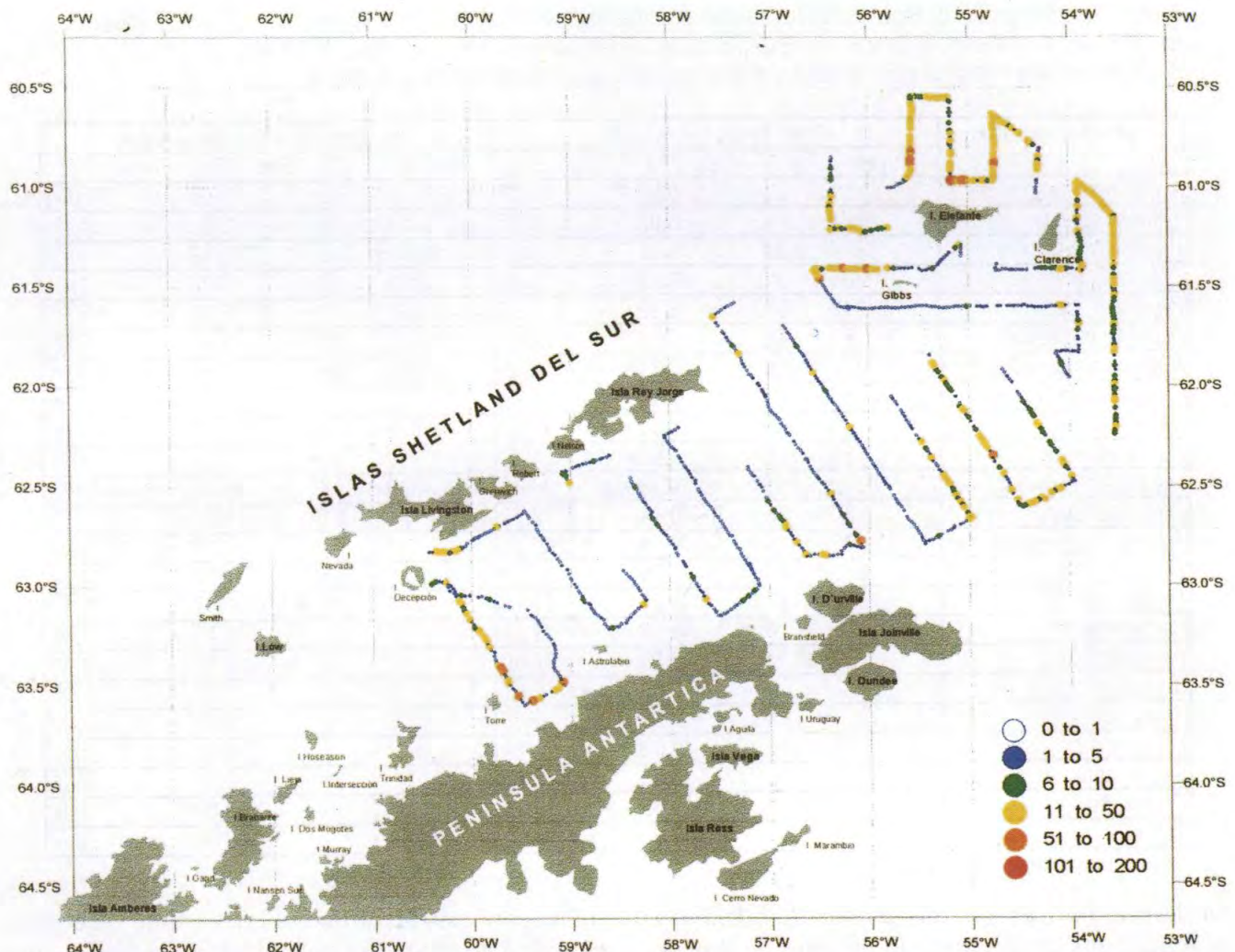


Figura 1. Trayecto del Crucero BIC Humboldt entre el 12 y el 23 de enero de 1998, durante el desarrollo de la Novena Expedición Científica Peruana a la Antártida (PERU ANTAR IX). Se muestran las millas donde se realizaron las observaciones de aves indicando según color el número total de aves registrado en cada milla.

ción, que incluyó los comportamiento de vuelo (desplazamiento en vuelo rápido) y percha (cuando los individuos están posados sobre el agua o en un bloque de hielo sin mayor actividad). Dado que el objetivo de este estudio no era la estimación de abundancia absoluta de aves, las observaciones por cada milla fueron consideradas como independientes.

Durante el crucero se recorrió en total 1 465 millas, realizándose observaciones de aves marinas en 1 177 millas. Las 281 millas restantes corresponden a horas de penumbra que no fueron evaluadas y 7 millas que fueron descartadas porque ocurrieron cambios bruscos en la velocidad del buque.

La información sobre abundancia y distribución de krill, tomada simultáneamente utilizando una ecosonda SIMRAD EK 500 de 38 y 120 kHz de frecuencia de emisión sonora y un geoposicionador

(GPS), fue proporcionada por el programa de evaluación hidroacústica. La abundancia de krill utilizada se encuentra en valores acústicos (m^2/mn^2) que son directamente proporcionales a la biomasa de krill. Las observaciones de aves mantuvieron concordancia con los registros acústicos de abundancia de krill en espacio y tiempo.

Análisis de los datos

A lo largo del recorrido se observó un total de 21.624 aves. Se identificaron 18 especies pertenecientes a 7 familias. Para efectos del análisis, se consideraron sólo las especies *Daption capense*, *Oceanites oceanicus*, *Fregetta tropica*, *Fulmarus glacialisoides*, *Macronectes giganteus*, además del grupo de los pingüinos, que reúne a las especies más comunes en el

Tabla 1. Relación general de especies de aves marinas antárticas observadas entre el 12 y el 23 de enero de 1998, durante el desarrollo de la Novena Expedición Científica Peruana a la Antártida (PERU ANTAR IX). Se presenta el número total de aves y el número de aves observado en comportamiento de alimentación.

Especies observadas	Total de aves observado				Aves comiendo o buscando alimento			
	Número	n*	Frec. (%)	Ocurr. (%)	Número	n*	Frec. (%)	Ocurr. (%)
<i>Aptenodytes patagonicus</i>	1	1	0.00	0.08	0	0	0.00	0.00
<i>Pygoscelis papua</i>	4	1	0.02	0.08	4	1	0.05	0.08
<i>Pygoscelis antarctica</i>	1949	124	9.01	10.54	1171	115	14.19	9.77
<i>Pygoscelis adeliae</i>	10665	32	49.32	2.72	156	17	1.89	1.44
<i>Pygoscelis</i> spp.	848	93	3.92	7.90	470	70	5.70	5.95
<i>Diomedea melanophris</i>	53	43	0.25	3.65	36	31	0.44	2.63
<i>Macronectes giganteus</i>	283	216	1.31	18.35	208	159	2.52	13.51
<i>Thalassoica antarctica</i>	36	17	0.17	1.44	33	16	0.40	1.36
<i>Daption capense</i>	4746	564	21.95	47.92	3916	481	47.47	40.87
<i>Pagodroma nivea</i>	18	15	0.08	1.27	18	15	0.22	1.27
<i>Fulmarus glacialis</i>	1780	457	8.23	38.83	1326	356	16.07	30.25
<i>Pachyptila</i> spp.	30	25	0.14	2.12	26	21	0.32	1.78
<i>Procellaria aequinoctialis</i>	3	3	0.01	0.25	0	0	0.00	0.00
<i>Oceanites oceanicus</i>	876	384	4.05	32.63	656	285	7.95	24.21
<i>Fregetta tropica</i>	218	131	1.01	11.13	204	122	2.47	10.37
<i>Garrodia nereis</i>	17	16	0.08	1.36	13	12	0.16	1.02
<i>Catharacta</i> spp.	53	33	0.25	2.80	7	4	0.08	0.34
<i>Larus dominicanus</i>	7	6	0.03	0.51	2	1	0.02	0.08
<i>Sterna paradisea</i>	1	1	0.00	0.08	1	1	0.01	0.08
<i>Sterna vittata</i>	26	15	0.12	1.27	2	2	0.02	0.17
<i>Sterna</i> spp.	6	5	0.03	0.42	1	1	0.01	0.08
<i>Chionis alba</i>	4	3	0.02	0.25	0	0	0.00	0.00
TOTAL	21624		100.00		8250		100.00	

* Número de millas donde se registró cada especie

área de estudio: (*Pygoscelis papua*, *P. adeliae*, *P. antarctica*), los cuales resultan difíciles de diferenciar en el mar, y que para efecto del análisis fueron considerados como un solo grupo. Todas estas especies representaron en total el 98,8% de las observaciones (tabla 1). Estas aves consumen principalmente krill, crustáceo que representa más del 85% de la dieta de estas especies, con excepción de *Macronectes giganteus* cuya dieta está compuesta en sólo un 20% por krill (OBST 1985).

Para cada una de las seis especies mencionadas, se procedió a determinar si existe asociación entre la presencia de aves y la presencia de krill, utilizando para ello la prueba de CHI-CUADRADO. Asimismo, se determinó si existen diferencias en el número de aves observado en presencia y ausencia de krill, utilizando la prueba de MANN-WHITNEY.

El número de aves y la probabilidad de observar krill

Se determinó la correlación entre la probabilidad de encontrar krill y la abundancia relativa de aves por

milla, para esto se utilizó el coeficiente de correlación de SPEARMAN. La probabilidad de observar krill en un intervalo de abundancia de aves, se definió como el número de millas donde se observó krill y el ave, dividido entre el número total de millas donde se observó el ave. Estas frecuencias, fueron calculadas independientemente para cada una de las seis especies en cuestión y para el total de aves.

El número de aves y la abundancia de krill

Se determinaron las correlaciones entre la abundancia relativa de aves por milla y la abundancia de krill para cada una de las especies en estudio y para el total de aves, utilizando en todos los casos el coeficiente de correlación de SPEARMAN. Para reducir el efecto de la escala espacial, se examinaron las densidades promedio de aves y krill en millas agrupadas dentro de unidades más grandes (v.g. estratos y eventos).

Los estratos se definieron a partir de un mapa de distribución de abundancia de krill (Fig. 2), elaborado a partir de valores ecoacústicos transforma-

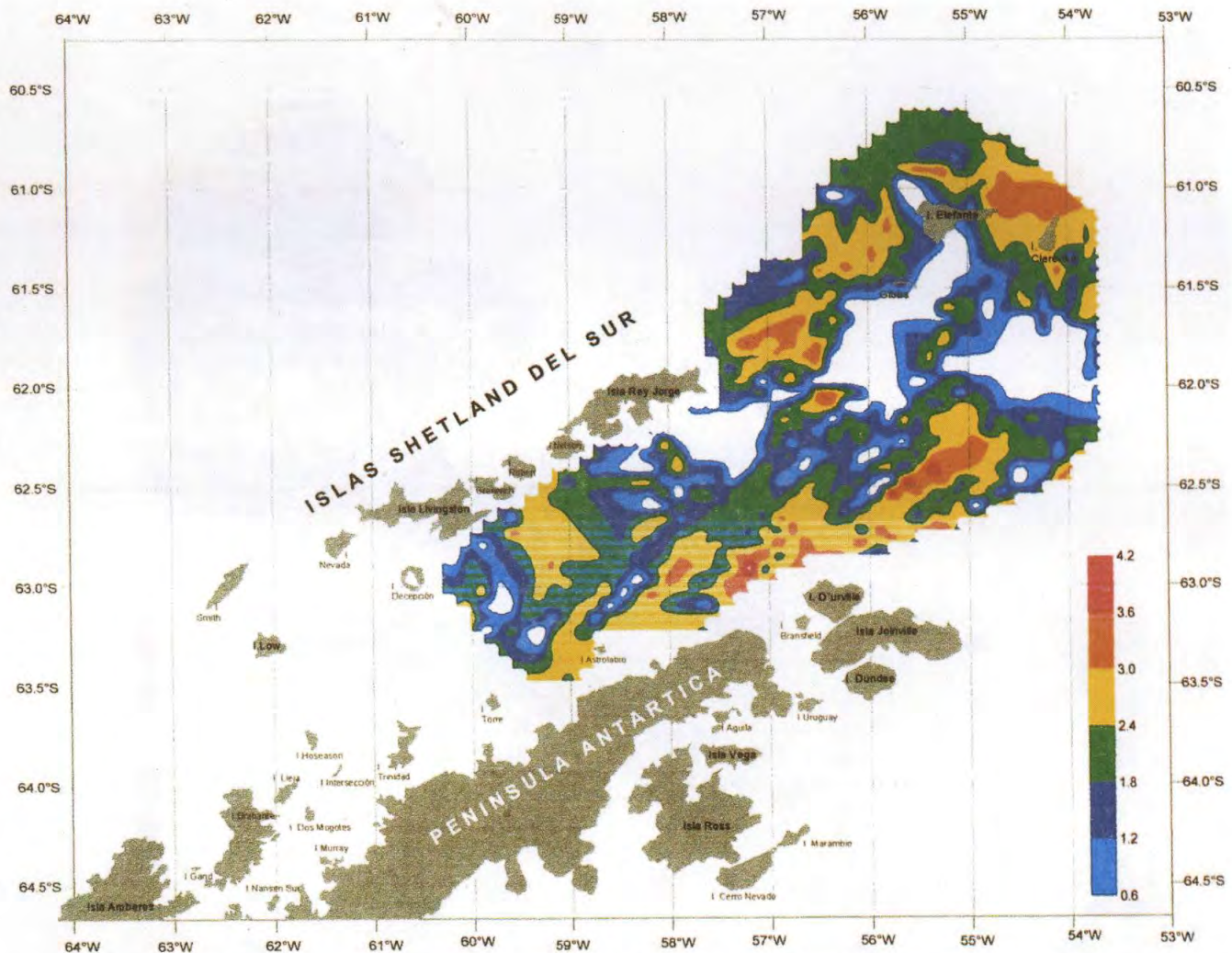


Figura 2. Estratos de abundancia de krill *Euphausia superba* elaborados a partir de valores transformados, eointegrados entre los 2 m y 150 m de profundidad. Crucero BIC Humboldt, 12 al 23 de enero de 1998, Novena Expedición Científica Peruana a la Antártida (PERU ANTAR IX).

dos utilizando el logaritmo de $(n+1)$. Para cada uno de estos estratos se determinó el número promedio de aves por milla de cada una de las seis especies en estudio y el promedio de sus valores transformados a logaritmo de $(n+1)$. Este procedimiento se llevó a cabo con estratos elaborados a partir de los valores de krill integrados en la capa superior comprendida entre 2 m y 10 m de profundidad y con los valores totales integrados entre 2 m y 150 m de profundidad. Se determinó la correlación entre el número de aves por milla y el índice de abundancia de krill de cada estrato, tanto en valores reales como en valores transformados.

Los eventos fueron unidades que comprendían trayectos continuos de longitud variable determinados por interrupciones, tales como lances de comprobación, estaciones oceanográficas o ausencia de luz; los eventos que incluían menos de 9 millas fue-

ron descartados. Los bloques fueron grupos de eventos continuos en espacio y que presentaban un nivel similar de abundancia de krill (alta y baja densidad). Un segundo tipo de bloques fueron los grupos de millas en unidades de $0,5^\circ$ de latitud y 1° de longitud. Para los tres casos, se determinó la correlación entre el número promedio de aves por milla de cada una de las especies en estudio en valores transformados y la abundancia promedio de krill.

La diversidad de aves y la abundancia de krill

Se hallaron los índices de diversidad de SHANON-WIENER para cada milla y evento (Fig. 3). Para el caso de los eventos, éstos se clasificaron en dos estratos considerando su cercanía a la Isla Elefante y la abundancia de krill. Las diferencias se contrastaron mediante la prueba de MANN-WHITNEY. Se de-

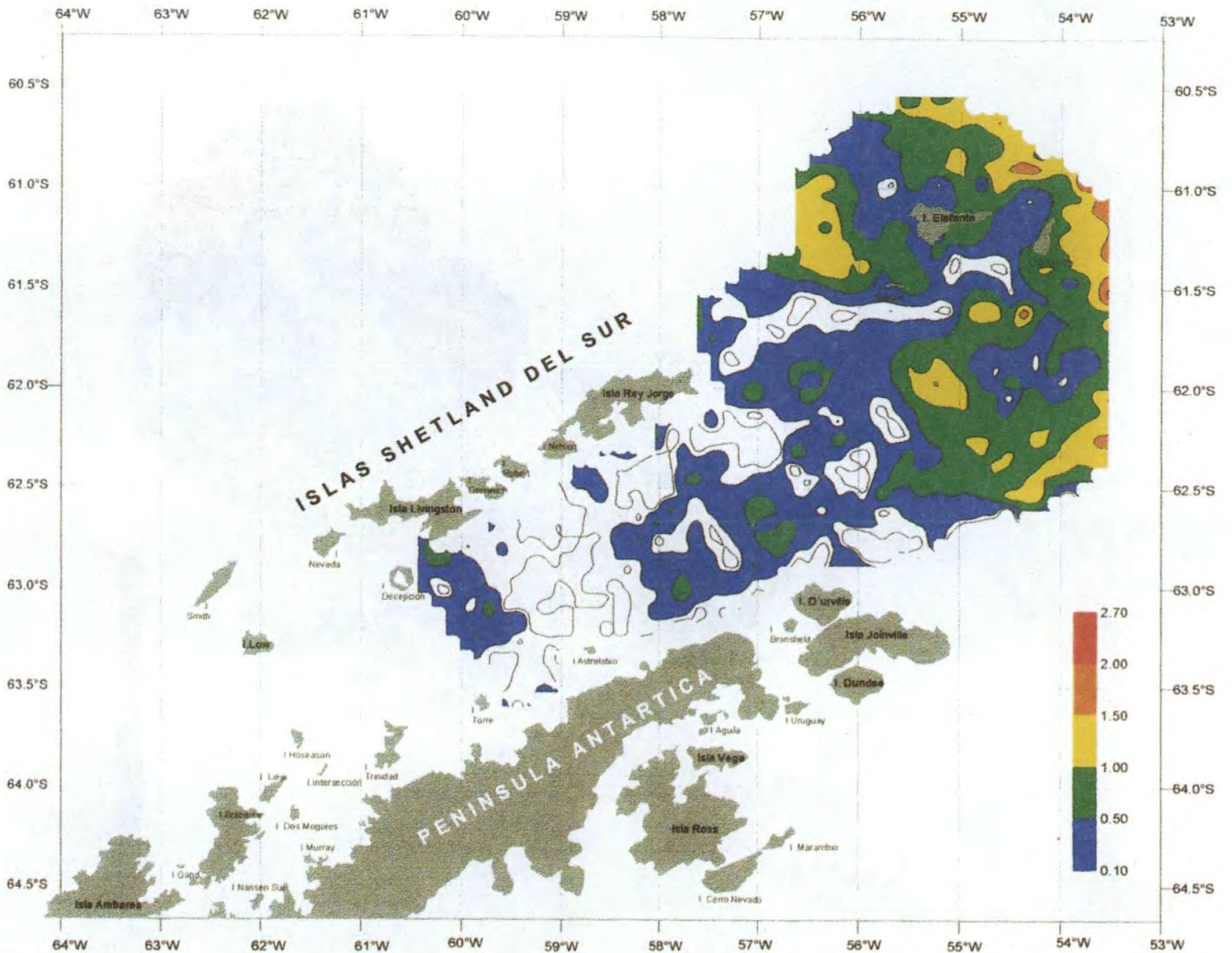


Figura 3. Zonas de mayor diversidad de especies de aves marinas observadas entre el 12 y el 23 de enero de 1998, durante el desarrollo de la Novena Expedición Científica Peruana a la Antártida (PERU ANTAR IX),

terminó la correlación entre la diversidad y la abundancia de krill para eventos mediante el coeficiente de correlación de SPEARMAN.

RESULTADOS

Se registró presencia de krill en 996 (84,6 %) de las 1 177 millas que comprendieron las observaciones de aves marinas, encontrándose diferencias altamente significativas en la abundancia relativa de aves entre millas donde se registró presencia de krill y donde no se registró (MANN-WHITNEY; $U = 56,092$; $P < 0,01$). En las millas con krill la abundancia promedio de aves (aves/milla) fue 3,4 veces mayor que la observada en millas donde no se registró krill. De igual manera, se encontraron diferencias significativas en la abundancia relativa de cada una de las seis especies en estudio entre millas donde se regis-

tró presencia de krill y donde no se registró (MANN-WHITNEY; $P < 0,05$), siendo la abundancia de aves mayor en las zonas donde había krill (Tabla 2).

Para las seis especies en estudio, se encontró que existe asociación entre la presencia de aves y la presencia de krill (Prueba CHI-CUADRADO; $GL = 1$; $P < 0,05$), observándose que entre el 88 % y el 94 % de los registros de aves se realizaron en zonas donde existe krill.

El número de aves y la probabilidad de observar krill

Cuando se grafica la abundancia relativa de aves marinas (sin separar especies) y la probabilidad de observar krill, se aprecia una tendencia creciente (Fig. 4). En las millas donde la abundancia de aves fue 1 - 5 aves/milla, 79% presentaron krill; en aqué-

Tabla 2. Número promedio de aves observado en presencia (n=181) y ausencia (n=996) de krill *Euphausia superba*. Se presenta el promedio \pm 1 desviación estándar y el rango para cada especie en estudio y para el total de aves.

	Millas sin krill	Millas con krill
Pingüinos	0,62 \pm 2,87 (rango= 0 - 28)	1,68 \pm 8,42 (rango= 0 - 193)
<i>Macronectes giganteus</i>	0,08 \pm 0,30 (rango= 0 - 2)	0,19 \pm 0,60 (rango= 0 - 11)
<i>Daption capense</i>	0,51 \pm 1,83 (rango= 0 - 18)	3,84 \pm 8,27 (rango= 0 - 85)
<i>Fulmarus glacialisoides</i>	0,64 \pm 2,31 (rango= 0 - 26)	1,22 \pm 3,76 (rango= 0 - 75)
<i>Oceanites oceanicus</i>	0,31 \pm 0,83 (rango= 0 - 5)	0,60 \pm 1,61 (rango= 0 - 22)
<i>Fregatta tropica</i>	0,05 \pm 0,26 (rango= 0 - 2)	0,20 \pm 0,64 (rango= 0 - 6)
Total de aves	2,31 \pm 4,67 (rango= 0 - 32)	7,86 \pm 12,98 (rango= 0 - 193)

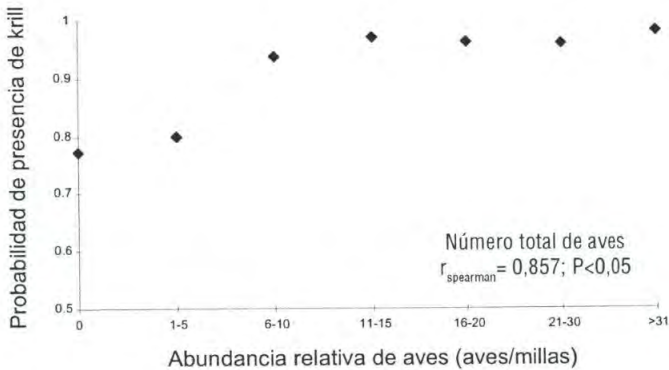


Figura 4. Probabilidad de encontrar krill *Euphausia superba* entre los 2 m y 150 m de profundidad para diferentes niveles de abundancia de aves. Se considera el número total de aves marinas antárticas observadas entre el 12 y 23 de enero de 1998 durante el desarrollo de la Novena Expedición Peruana a la Antártida (PERU ANTAR IX).

llas donde la abundancia fue 11 - 15 aves/milla, 96 % presentaron krill, y donde la abundancia de aves fue mayor a 31 aves/milla, 98 % de las millas presentaron krill. Esto sugiere que el número de aves marinas podría ser un buen indicador de la presencia de krill.

Al graficar la abundancia relativa de cada una de las especies objeto de este estudio y la probabilidad de observar krill se aprecian patrones similares al descrito (figura 5), siendo las correlaciones entre ambas variables significativas en todos los casos con

excepción de los pingüinos ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,700$; GL = 5; $P > 0,05$).

El número de aves y la abundancia de krill

El alimento disponible cerca de la superficie del mar es el más importante para todas aquellas especies de aves marinas antárticas que no son capaces de bucear. Los coeficientes de correlación encontrados entre los estratos de abundancia de krill en esta capa y el número promedio de aves por milla para cada una de las especies en estudio fueron no significativos (r_{SPEARMAN} ; GL = 7; $P > 0,05$). De igual forma, las correlaciones entre la abundancia de krill por estratos y el promedio de los valores transformados de aves por milla fueron no significativos (r_{SPEARMAN} ; GL = 7; $P > 0,05$).

Al considerar los valores totales de krill integrados entre 2 m y 150 m de profundidad como indicadores de la disponibilidad de este recurso en superficie (disperso, no posible de registrar por el ecointegrador), los coeficientes de correlación encontrados entre estratos de abundancia de krill y el número promedio de aves por milla para cada una de las 6 especies en estudio fueron no significativos (r_{SPEARMAN} ; GL = 6; $P > 0,05$), sin embargo, se observaron tendencias positivas ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,657$) con *Daption capense*, *Fulmarus glacialisoides*, *Macronectes giganteus* y el grupo de los pingüinos.

Al hallar las correlaciones entre la abundancia de krill por estratos y el promedio de los valores transformados de aves por milla, se encuentra una correlación positiva y significativa para el caso de los pingüinos. ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,943$; GL = 6; $P < 0,05$). Sin embargo, cuando se juntan las observaciones de los dos últimos estratos, se encuentran correlaciones positivas y significativas para *Daption capense* ($r_{\text{SPEARMAN}} = 1,000$; GL = 5; $P < 0,05$) y el grupo de los pingüinos. ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,900$; GL = 5; $P < 0,05$), observándose tendencias positivas con las otras cuatro especies en valores reales de abundancia por milla ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,800$; GL = 5; $P > 0,05$).

Al analizar las correlaciones entre los valores de abundancia relativa de aves por milla y de krill entre 2 m y 150 m por eventos, se encuentra una correlación positiva y significativa para el caso de *Daption capense* ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,313$; GL = 73; $P < 0,01$) y los pingüinos. ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,286$; GL = 73; $P < 0,01$). Al analizar la abundancia de aves y de krill en la misma capa y por bloques, los coeficientes de correlación fueron no significativos para todas las espe-

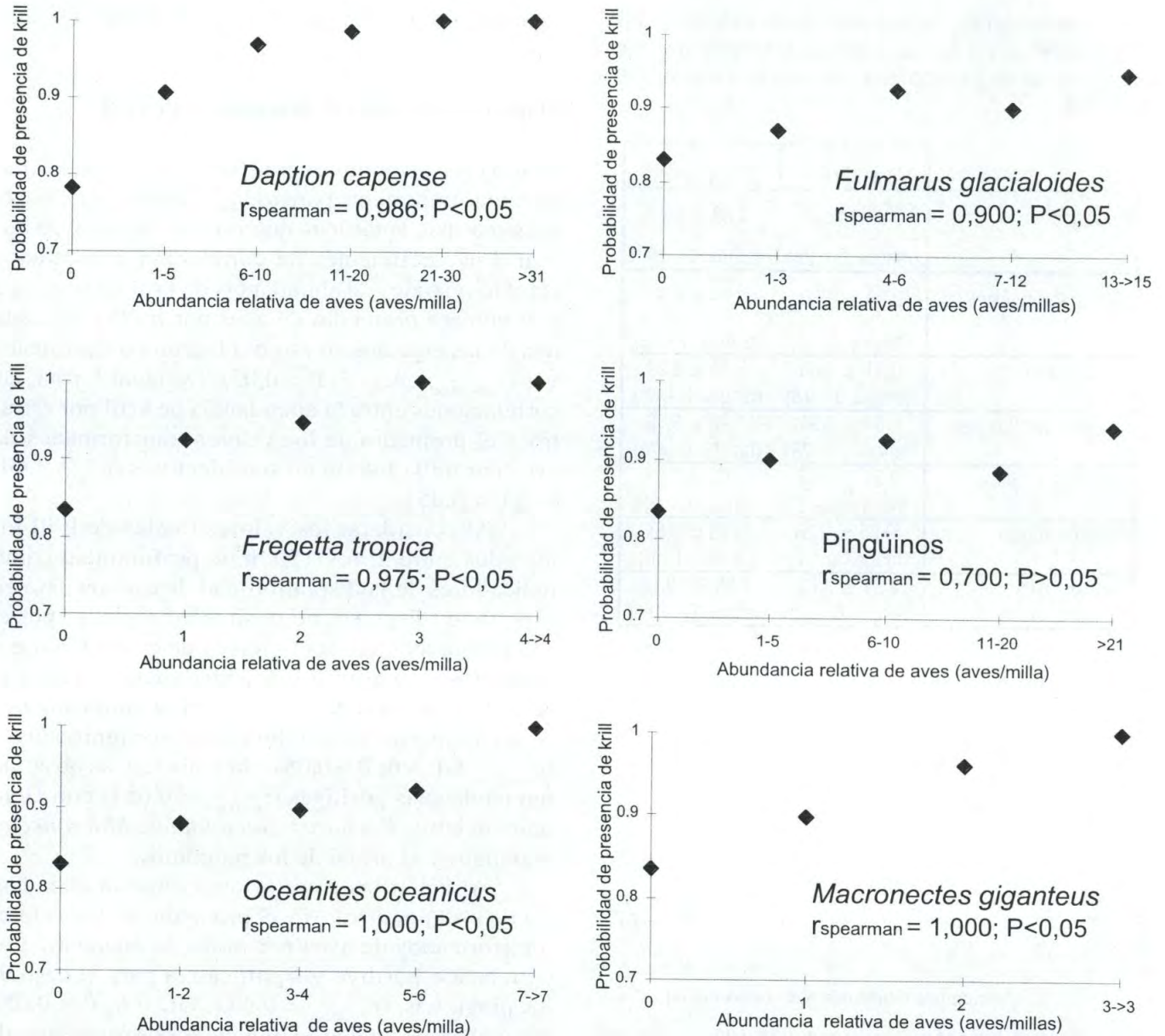


Figura 5. Probabilidad de encontrar de krill *Euphausia superba* entre los 2 m y 150 m de profundidad para diferentes niveles de abundancia de aves. Se muestran las relaciones para seis especies de aves marinas antárticas observadas entre el 12 y 23 de enero de 1998, durante la Novena Expedición Científica Peruana a la Antártida (PERU ANTAR IX).

cies (r_{SPEARMAN} ; $P > 0,05$). Sin embargo, cuando los estratos se construyen considerando únicamente latitud y longitud, se encuentra una correlación positiva y significativa para el caso de los pingüinos. ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,481$; $GL = 23$; $P < 0,05$), observándose sin embargo, tendencias positivas no significativas para *Daption capense* ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,221$; $GL = 23$; $P > 0,05$) y para *Oceanites oceanicus* ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,238$; $GL = 23$; $P > 0,05$).

La diversidad de aves y la abundancia de krill

Se observa una tendencia de incremento en la diversidad de aves hacia Isla Elefante (Fig. 3), observándose que existen diferencias significativas en los índices de diversidad de eventos alrededor de Isla Elefante con aquéllos que se encuentran en el Estrecho de Bransfield, lo que sugiere una mayor disponibilidad de krill alrededor de esta isla (MANN-WHITNEY;

$J = 565,00$; $P < 0,01$). Sin embargo, no se encontró correlación entre los índices de diversidad y la abundancia de krill por milla o por evento.

DISCUSION

La distribución en el mar de la mayoría de especies de aves marinas es agregada y muestra un patrón no aleatorio. La formación de estas agregaciones está en función tanto de los parches en la disponibilidad de la presa, como de interacciones sociales; particularmente, el hábito de formar bandadas cuando la presa está presente y abundante (HUNT 1991b). La disponibilidad de la presa es una función de su distribución geográfica, abundancia y accesibilidad, determinada por las condiciones oceanográficas locales (v.g. cobertura de hielo, turbidez y procesos físicos que interactúan con el comportamiento de la

presa causando su concentración) (HUNT 1991a). Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran claramente que la abundancia de aves es mayor en zonas donde se presenta el krill y que para todas las especies en estudio, excepto en el caso de los pingüinos, la probabilidad de encontrar este recurso se incrementa en las áreas donde se presenta mayor abundancia de aves.

Según OBST (1985), *Fulmarus glacialisoides*, *Daption capense* y *Oceanites oceanicus* serían, entre los Procellariiformes, las mejores indicadoras de presencia de krill debido a que son altamente pelágicas y pueden permanecer en el mar por varios días buscando y explotando los parches de krill disponibles. Para estas aves, de modo de vuelo energéticamente económico, cada krill individual consumido representa un aporte sustancial a sus requerimientos energéticos diarios, en tanto que para *Macronectes*

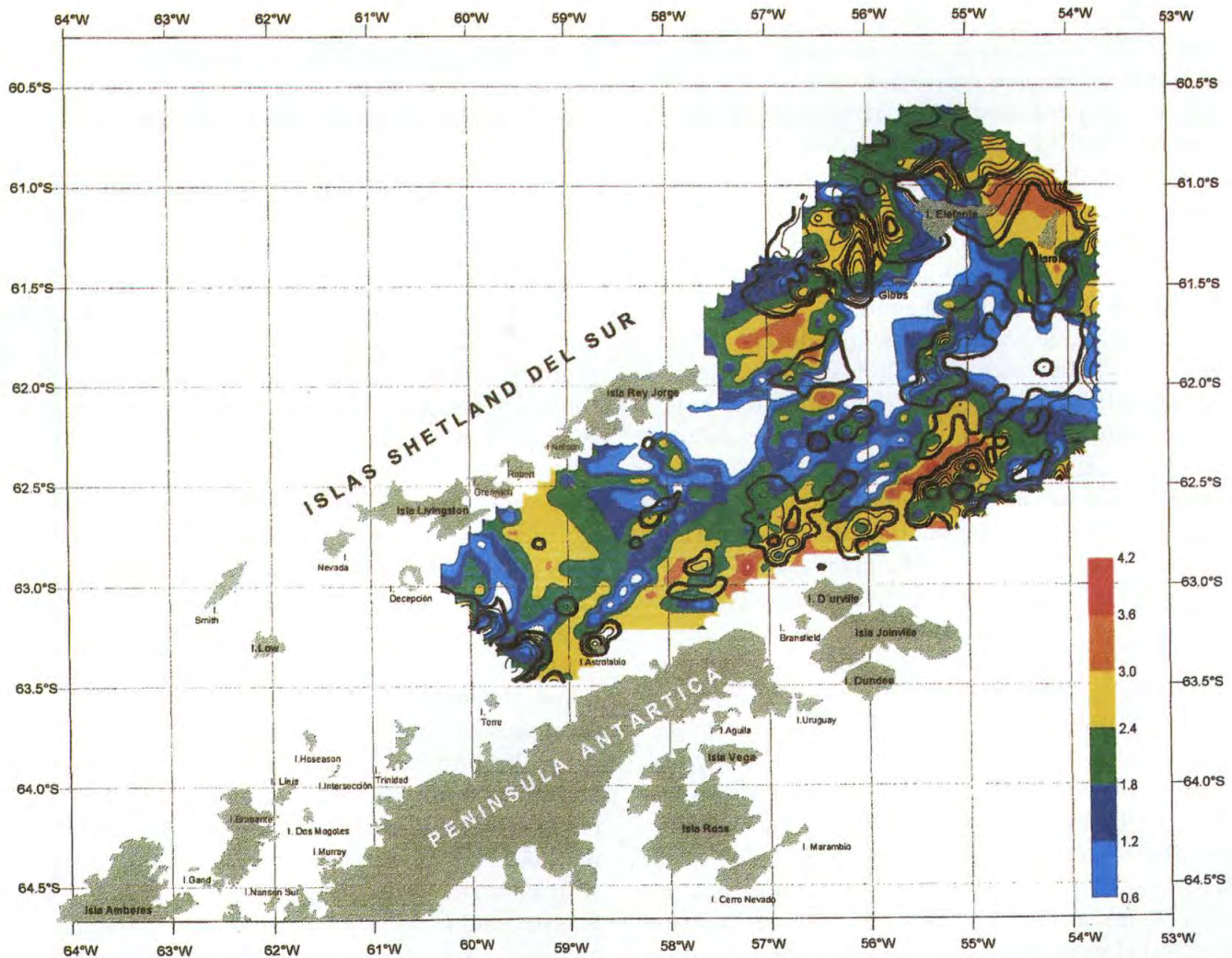


Figura 6. Distribución de *Daption capense* (isodensas) en relación a los estratos de abundancia de krill *Euphausia superba* generados a partir de valores transformados, ecointegrados entre los 2 m y 15 m de profundidad. Crucero BIC Humboldt, 12 al 23 de enero de 1998, Novena Expedición Científica Peruana a la Antártida (PERU ANTAR IX).

giganteus esto ocurre sólo con los grandes parches disponibles de krill o de otras presas que a su vez dependen de este recurso. Mientras que los pingüinos, por estar restringidos en su distribución en el mar a áreas cercanas a las colonias, no serían buenos indicadores de presencia de krill más allá de su rango potencial de forrajeo.

La escala espacial en la cual ocurren los procesos en el ambiente oceánico es importante ya que influencia la distribución y abundancia de las aves marinas y afecta nuestra habilidad para relacionar la distribución de estos predadores y su presa, pudiendo tener un efecto crítico en los resultados (SCHNEIDER y DUFFY 1985, OBST 1985, HUNT y SCHNEIDER 1987, HEINEMANN *et al.* 1989, HUNT 1991b, HUNT *et al.* 1992). HEINEMANN *et al.* (1989) encontraron concordancia numérica y espacial entre algunas especies de aves marinas y el krill en el Estrecho de Bransfield cuando usaron el promedio de cientos de millas náuticas dentro una gran área, que cuando intentaron correlacionar transectos de una milla de longitud. De manera similar, en el presente trabajo al agrupar las millas en estratos, eventos y bloques, se puede apreciar que en ciertas especies de aves, un mayor número de individuos se relaciona directamente con una mayor abundancia de krill.

Los dos primeros metros, incluso los primeros 30 cm de la columna de agua son los más importantes para un ave no buceadora que busca y captura el krill. El krill en esta parte de la columna de agua no se cuantificó debido a que la profundidad del calado de la embarcación y la posición del transductor no lo permitieron. Sin embargo, se puede considerar que la disponibilidad de la presa en superficie está en función de la abundancia total de esta presa en la columna de agua (SAFINA y BURGER 1988), ello explicaría las correlaciones significativas encontradas para el grupo de los pingüinos y *Daption capense*, y las tendencias positivas observadas para las otras cuatro especies cuando se consideran los valores totales de krill integrados entre 2 m y 150 m de profundidad en diferentes escalas espaciales. Los resultados del presente estudio, son similares a los obtenidos por HEINEMANN *et al.* (1989), quienes encontraron correlaciones significativas para *Pygoscelis adeliae* y *Daption capense* en la misma área de estudio. Dadas las restricciones mencionadas anteriormente en el caso de los pingüinos, se podría considerar que entre las especies estudiadas, *Daption capense* sería la mejor indicadora de la disponibilidad e indirectamente de la abundancia de krill (figura

6); no obstante, se debe tener precaución al realizar los registros de esta especie que suele seguir a las embarcaciones.

HUNT *et al.* (1990, en Hunt 1991a) encontraron correlaciones significativas entre predadores (*Aethia pusilla*) y presas (copépodos) en la isla St. Lawrence, observando que muchas grandes asociaciones de presas (parches) no presentaron grandes agregaciones de aves. Este problema no pudo ser salvado en el presente trabajo, donde si bien se consideró que la disponibilidad de la presa es función de su abundancia en la columna de agua, no se conocen los factores que intervienen concentrando y facilitando su captura. BRIGGS *et al.* (1981, en SAFINA y BURGER 1988) notaron que la abundancia y la disponibilidad son dos variables distintas; para las aves marinas, esta última tendría mayor importancia, pero la percepción de esta variable por las aves podría diferir de la nuestra. Esto explicaría el hecho de que en algunas millas con abundancia de krill no se registraran aves.

Las diferentes respuestas encontradas con las especies de aves, en cada nivel de análisis, se relacionan estrechamente con sus estrategias de forrajeo y con el comportamiento social y migratorio de su presa, el mismo que determina la disponibilidad para las aves. La predecibilidad de la localización y disponibilidad de un recurso es mayor cuando la concentración del recurso es físicamente forzada y topográficamente fija, que cuando es el resultado de interacciones de comportamiento (v.g. competencia, interacciones sociales con otras presas). Las aves que están en reproducción, particularmente aquellas con modos de vuelo energéticamente altos, preferirían usar, concentraciones de presas topográficamente fijas cuando están disponibles. Mientras que especies con alta eficiencia de vuelo pueden ser más efectivas en aprovechar aquellas concentraciones de presas menos predecibles y posiblemente más efímeras como resultado de agregaciones forzadas por interacciones de comportamiento (HUNT 1991a).

Por otro lado, durante la estación reproductiva, la disponibilidad de sitios de anidación es una restricción en la distribución y abundancia de aves marinas. Durante la reproducción las demandas energéticas son mayores, ya que aparte de cubrir sus propias necesidades, las aves tienen que alimentar a sus pichones. Aún cuando las áreas de anidación estuviesen disponibles, la evidencia actual sugiere que es la disponibilidad de la presa en la vecindad de las colonias la que limita el tamaño de la colonia (FUR-

IESS y MONAGHAN 1987, HUNT 1991a). El hecho de que en varios niveles de análisis las correlaciones depredador-presa fueran significativas para los pingüinos, se debe a que la mayoría de avistamientos fueron en áreas cercanas a las Islas Elefante y Clarence, donde el krill es abundante y existen grandes colonias de pingüinos (ca. 430 000 parejas de *Pygoscelis antarctica*; CROXALL y FURSE 1980).

Los resultados obtenidos muestran que la distribución y abundancia de aves marinas en el mar, así como, de sus colonias, refleja la disponibilidad de presas en el ecosistema marino del cual dependen. Las especies estudiadas serían, con excepción del grupo de los pingüinos, buenas indicadoras de la presencia de krill; en tanto que sólo *Daption capense* sería un buen indicador de la abundancia de este recurso. Sin embargo, hay que considerar que la ausencia de aves en un área determinada no implica necesariamente ausencia de krill, como se explicó anteriormente, existen una serie de factores que intervienen determinando la disponibilidad de esta presa y que deberían ser considerados en estudios posteriores.

Agradecimientos

Agradecemos a la Dirección General de Investigaciones en Pesca del IMARPE por proporcionar los datos de las bitácoras del barrido hidroacústico. Agradecemos también al Ingeniero LUIS VÁSQUEZ por su ayuda en el manejo del Surfer y al Bachiller JAVIER QUIÑONES por haber participado durante las observaciones de aves.

Referencias

- ARAYA, B. y G. MILLIE. 1992. Guía de campo de las aves de Chile. Editorial Universitaria. Santiago. 404 pp.
- CROXALL, J. P. y P. A. PRINCE. 1987. Seabirds as predators on marine resources, specially krill, at South Georgia. p: 347-381. En: CROXALL, J. P. (Ed.). Seabirds feeding, ecology and role in marine ecosystems. Cambridge Univ. Press. 408 pp.
- CROXALL, J. P. y J. R. FURSE. 1980. Food of Chinstrap penguins *Pygoscelis antarctica* and Macaroni penguins *Eudyptes chrysolophus* at Elephant Island Group, South Shetland Islands. Ibis 122: 237-245
- FURNESS, R. W. y P. MONAGHAN. 1987. Seabird ecology. Blackie and Son Ltd. Glasgow and London. 164 pp.
- HARRISON, P. 1987. Seabirds of the World. A photographic guide. Christopher Helm (Ed.). London. 317 pp.
- HARRISON, P. 1988. Seabirds, An identification guide. Re-printed rev. ed. Christopher Helm (Ed.). London. 448 pp.
- HEINEMANN, D., G. HUNT e I. EVERSON. 1989. Relationships between the distributions of marine avian predators and their prey, *Euphausia superba*, in Bransfield Strait and Southern Drake Passage, Antarctica. Mar. Ecol. Prog. Ser. 58: 3-16.
- HUNT, G. L., Jr. 1991a. Occurrence of polar seabirds at sea in relation to prey concentration and oceanographic factors. Polar Research 10(2): 553-559.
- HUNT, G. L., Jr. 1991b. Marine ecology of seabirds in polar oceans. Amer. Zool. 31: 131-142.
- HUNT, G.L., Jr. y D. C. SCHNEIDER. 1987. Scale-dependent processes in the physical and biological environment of marine birds. p: 7-41. En: CROXALL, J. P. (eds.) Seabirds, feeding ecology and role in the marine ecosystems. Cambridge Univ. Press. 408 pp.
- HUNT, G. L., Jr., D. HEINEMANN, e I. EVERSON. 1992. Distributions and predator-prey interactions of macaroni penguins, Antarctic fur seals, and Antarctic krill near Bird Island, South Georgia. Mar. Ecol. Prog. Ser. 86: 15-30.
- OBST, B. S. 1985. Densities of Antarctic seabirds at sea and the presence of the krill *Euphausia superba*. The Auk 102: 540-549.
- SAFINA, C. y J. BURGER. 1988. Ecological dynamics among prey fish, Bluefish, and foraging Common Terns in an Atlantic coastal system. p: 95-173. En: BURGER, J. (ed.). Seabirds and other marine Vertebrates. Competition, Predation and Other Interactions. Columbia Univ. Press. 339 pp.
- SCHNEIDER, D. C. y D. C. DUFFY. 1985. Scale-dependent variability in seabird abundance. Mar. Ecol. Prog. Ser. 25: 211-218.