

Research Article

Determinación de los factores que inciden en la captura incidental de aves marinas en la flota palangrera pelágica chilena

Andrés González¹, Rodrigo Vega², María Ángela Barbieri^{1,3} & Eleuterio Yáñez³

¹Departamento de Evaluación de Recursos, División de Investigación Pesquera
Instituto de Fomento Pesquero, Blanco 839, Valparaíso, Chile

²Instituto de Ecología y Evolución, Universidad Austral de Chile, P.O. Box 567, Valdivia, Chile

³Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
P.O. Box 1020, Valparaíso, Chile

RESUMEN. Se analizó la relación entre la variabilidad de la tasa de captura incidental de aves marinas en la pesquería palangrera pelágica de pez espada (*Xiphias gladius*) y diversos factores temporales, ambientales, espaciales y pesqueros, entre 2007 y 2009. Los resultados muestran que las operaciones de pesca de esta flota afectan principalmente a los albatros, grupo que concentra el 83,7% de la captura incidental de aves marinas registrada en el período. Esta captura incidental se debe en primera instancia a la presencia del Frente Subtropical del Pacífico Sur, sistema que provoca la sobreposición entre la actividad de esta flota con la distribución espacial de aves marinas durante la fase residente del período no reproductivo. La variabilidad en esta captura incidental estaría fuertemente relacionada a los estímulos visuales (medido mediante el porcentaje de luces químicas y porcentaje de calamar) y las condiciones de luminosidad ambiental existentes en los períodos de forrajeo diurno y nocturno de estas aves marinas durante el calado (medido a través del desfase de la hora del ocaso con respecto a la hora de inicio del calado y fase lunar).

Palabras clave: captura incidental, aves marinas, palangre pelágico, pesquería de pez espada, albatros, Frente Subtropical del Pacífico Sur.

Determination of factors affecting the bycatch of seabirds in Chilean pelagic longline fleet

ABSTRACT. We analyzed the relationship between the variability in the rate of seabird bycatch in pelagic longline fishery for swordfish (*Xiphias gladius*), and several temporary, environmental, spatial and fisheries factors for the fishing period from 2007 to 2009. The results show that the fishing operations of this fleet mainly affect the albatross, group that accounts for 83.7% of the incidental catch of seabirds recorded in the period. This bycatch is due primarily to the presence of the South Pacific Subtropical Front, a system that causes the overlap between the activities of this fleet with the spatial distribution of these seabird species during the resident phase of the nonbreeding period. By the other hand, the variability in bycatch would be strongly linked to visual stimuli (measured by the percentage of chemical lights and percentage of squid) and the existing ambient lighting conditions during the set (measured by the lag time of sunset with respect to time start set and lunar phase).

Keywords: bycatch of seabirds, pelagic longline, swordfish fishery, albatross, South Pacific Subtropical Front.

Corresponding author: Andrés González (andres.gonzalez@ifop.cl)

INTRODUCCIÓN

La Declaración de Reykjavik (Reykjavik Declaration, 2001), marca un punto de inflexión en el paradigma de

la administración de pesquerías, recomendando el paso de un manejo centrado en el impacto de las pesquerías solo en sus especies objetivo (enfoque mono-específico), a una aproximación que considera

además el impacto en especies no-objetivo, y los efectos directos e indirectos de las operaciones pesqueras (enfoque ecosistémico) (Shannon *et al.*, 2004). Uno de los principales efectos ecosistémicos de la pesca es la captura incidental, definida como aquella porción de la captura que no es retenida, y que puede incluir peces objetivo y no-objetivo así como invertebrados, mamíferos, tortugas y aves marinas (Hall, 1996; Alverson, 1999). En este contexto el problema de conservación más crítico que enfrentan las aves marinas es su mortalidad causada por la captura incidental en pesquerías comerciales de palangre y arrastre (Lewison *et al.*, 2004; Delord *et al.*, 2005; Sullivan *et al.*, 2006). Esta captura involuntaria ha tenido un gran impacto en algunas poblaciones, particularmente de albatros y petreles, debido a sus áreas de alimentación que involucran grandes extensiones de mar, y que los ponen en contacto con pesquerías en todos los océanos y mares del mundo, lo que sumado a características de su historia de vida como madurez tardía y baja fecundidad, los hace muy sensibles a incrementos antropogénicos de su tasa de mortalidad (Gales *et al.*, 1998). En pesquerías de palangre pelágico, la mortalidad ocurre cuando las aves marinas depredan los anzuelos cebados que se hunden durante el calado del aparejo, enganchándose en el anzuelo o enredándose en el reinal. Además, cuando las aves buceadoras (*Procellaria* spp. y *Puffinus* spp.) recuperan los anzuelos cebados, necesitan traer la carnada a superficie y reposicionarla antes de poder ingerirla. Este comportamiento frecuentemente genera ataques de aves marinas de mayor envergadura lo que puede resultar en el enganche o enredo de un ave distinta a la del ataque inicial (Melvin *et al.*, 2010). Para conocer y comprender los distintos factores involucrados en los procesos que gobiernan esta captura incidental, generalmente se recurre al modelado estadístico.

Al igual como ocurre con tortugas y mamíferos marinos, la captura de aves marinas es catalogada como un evento raro (McCracken, 2004), cuyas observaciones están marcadamente dominadas por capturas nulas o cero. Esto determina que las tasas de captura de estas especies no estén distribuidas normalmente, lo que sumado al hecho que su variación esté afectada por muchos factores potenciales, cuyos efectos pueden ser no-lineales, hacen recomendable para su estudio el uso de técnicas multivariadas.

Si bien el medio natural es un medio autónomo, es decir, no se pueden elegir ni modificar los mecanismos que rigen su funcionamiento, sí es posible conocer estos mecanismos y predecir su

comportamiento (lo que otorga un cierto grado de control sobre las futuras ocurrencias del fenómeno analizado; Luceño & González, 2004). Considerando lo anterior, el presente trabajo tiene por objetivo analizar las interacciones entre las operaciones de pesca de la flota palangrera chilena que tuvo como recurso objetivo el pez espada (*Xiphias gladius*), entre 2007 y 2009, con las principales especies de aves marinas capturadas incidentalmente (albatros de ceja negra, albatros errante y fardela negra grande), con el fin de identificar las relaciones entre las tasas de interacción y variables que pudieran dar la oportunidad de reducir la probabilidad de esta captura incidental (Forney *et al.*, 2011), dado los preocupantes niveles del estado de conservación que exhiben las poblaciones de estas especies según la World Conservation Union (IUCN, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio estuvo comprendida entre 20°-40°S, y 75°-90°W. Los datos utilizados en este estudio fueron obtenidos diariamente por observadores científicos (OC) del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), en el marco del Programa de Seguimiento de Recursos Altamente Migratorios (SRAM). Los OC se embarcaron en la flota palangrera pelágica industrial que opera sobre el recurso pez espada y que tiene a Coquimbo (29°57'S-70°20'W) como puerto base. Los datos corresponden a 2.117 lances de pesca realizados por nueve embarcaciones. En cada lance de pesca los OC registraron la fecha, hora, posición geográfica y temperatura superficial del mar (TSM) del inicio y final del calado y virado, longitud de la línea madre, número de anzuelos calados, número de luces, número de boyas y tipo y porcentaje de carnada. Además, durante el viaje de pesca, los observadores monitorearon el 100% de los lances, y dentro de éstos el 100% de los anzuelos virados, registrando el número de ejemplares capturados de la especie objetivo, especies secundarias y todas las especies que componen la captura incidental incluyendo las aves marinas. En forma complementaria se obtuvo información de la fase lunar y hora de puesta del sol correspondiente a cada lance. Para obtener estos datos se utilizaron los paquetes computacionales *maptools* y *moon* del lenguaje R (R Development Core Team 2006). El paquete *moon* entrega un índice de luminosidad que va de 0 (luminosidad mínima), a 1 (luminosidad máxima), el cual se utilizó como proxy de las fases del ciclo lunar. Con la hora de puesta del sol se calculó la covariable desfase de la hora del ocaso respecto de la hora de inicio del lance. Para esto, a la hora del inicio del calado se restó la hora del

ocaso para ese día, dando valores negativos para aquellos lances iniciados antes del ocaso y valores positivos en caso contrario. Finalmente, el porcentaje de luces químicas corresponde a la proporción de reinales con estos dispositivos respecto del total de reinales calados por lance, y el porcentaje de calamar a la proporción de anzuelos encarnados con calamar respecto del total de anzuelos calados en el lance. Todos estos datos ingresan como variables independientes al modelo que tiene como variable respuesta el número de ejemplares de aves marinas capturadas incidentalmente en cada lance de pesca (Tabla 1). La hipótesis nula a probar es que la variabilidad observada en las tasas de captura incidental es independiente de la variación de las variables explicatorias.

La captura incidental de aves marinas corresponde a datos de recuento, los cuales son discretos, no negativos, con una gran proporción de los valores cero, altamente no normales y autocorrelacionados. Se consideró que la distribución de probabilidad que subyace al proceso de captura incidental es Poisson (Kleinbaum *et al.*, 1988), usando logaritmo como función de enlace. El esfuerzo de pesca, dado por el número de anzuelos calados, fue incluido como un offset. Así, es posible modelar la tasa de captura (número de especímenes por 1000 anzuelos), mientras todavía se mantiene la respuesta recuento de la distribución Poisson (Faraway, 2006). Los modelos que abordan la dependencia entre las observaciones se denominan modelos lineales generalizados mixtos (MLGM), los cuales tratan la autocorrelación de los datos incorporando dos tipos de efectos: efectos directos, denominados fijos, que corresponden a los factores y covariables explicatorios, y los efectos indirectos, llamados aleatorios, dentro de los cuales se agrupa un número determinado de observaciones (lances). Los primeros representan el nivel medio de la variable respuesta y los segundos a las desviaciones determinadas por los niveles de agrupamiento, los cuales se incorporan a la distribución marginal (Bates, 2010). Se confeccionó un modelo para cada una de las tres principales especies de aves marinas capturadas incidentalmente (albatros de ceja negra, albatros errante y fardela negra grande). Para realizar el modelado se utilizó el paquete estadístico lme4 (Bates, 2010), y para chequear la presencia de un proceso de autocorrelación de las observaciones, se realizó el test Box-Pierce, que se utiliza para examinar la hipótesis nula de independencia entre las observaciones.

La construcción del modelo final se inició con un modelo sin variables independientes, al cual se le van añadiendo secuencialmente variables. Los modelos son comparados por una ANOVA, en la cual si el

valor-*P* de la variable adicional es menor o igual a 0,05, implica que esa covariable mejora significativamente el modelo.

Finalmente, se utilizaron modelos aditivos generalizados (MAG) para explorar relaciones funcionales entre la variable respuesta y las variables independientes.

RESULTADOS

Durante el período analizado, la flota palangrera industrial concentró su operación principalmente entre 78°-84°W y 24°-34°S (Fig. 1). Temporalmente, el esfuerzo de pesca se distribuyó especialmente entre marzo y diciembre.

Mortalidad incidental

Se capturó un total de 174 aves marinas pertenecientes a 12 especies (Tabla 2). La mayor proporción (81%), correspondió a tres especies: albatros de ceja negra (*Talassarche melanophrys*) con 97 ejemplares, seguido del albatros errante (*Diomedea exulans*) con 23 ejemplares y la fardela negra grande (*Procellaria aequinoctialis*) con 21 ejemplares, cuyas capturas incidentales agrupadas se concentraron principalmente en invierno (Fig. 2).

Autocorrelación de los datos

Los resultados del test Box-Pierce mostraron que los eventos de captura incidental para albatros de ceja negra ($P < 0,01$), y para fardela negra grande ($P < 0,01$), estaban autocorrelacionados, mientras que para albatros errante no ($P = 0,08071$).

Modelación

Albatros de ceja negra

La variabilidad de la captura incidental de esta especie estuvo fuertemente influenciada por las covariables desfase del ocaso respecto de la hora inicio calado, latitud y los factores estación y fase lunar, mientras que en menor grado influyeron las covariables TSM y longitud (Tabla 3). En el factor estación la categoría invierno fue la que tuvo la mayor influencia en la tasa de captura incidental, mientras que en caso del factor fase lunar, aquellos lances realizados con índices de luminosidad mayor o igual a 0.5 tuvieron un efecto altamente significativo en la tasa de captura incidental.

El análisis gráfico indicó que las mayores tasas de captura incidental se registraron en lances iniciados aproximadamente 1 h antes del ocaso, luego decaen hasta un mínimo 2 h después del ocaso para llegar a un segundo máximo en torno a 3 h tras el ocaso (Fig. 3a). En relación a la influencia de la fase lunar, se observó que la tasa de captura incidental aumentó

Tabla 1. Variables introducidas en el análisis.**Table 1.** Variables introduced in the analysis.

VARIABLES INDEPENDIENTES	CLASES	DESCRIPCIÓN
Temporal		
Estación (estación)	otoño-invierno-primavera	cada estación modelada como factor
Fase lunar (fase)	pabme - pabma*	cada categoría modelada como factor
Espacial		
Latitud (lat)	Continua	grados decimal
Longitud (lon)	Continua	grados decimal
Distancia a monte submarino (dist)	Continua	kilómetros
Ambiental		
Temperatura superficial del mar (tsm)	Continua	grados centígrados
Pesquera		
Porcentaje de calamar (porcal)	pcme - pcma**	cada categoría modelada como factor
Porcentaje de luces químicas (porluc)	Continua	porcentaje
Porcentaje de luces químicas (porlucac)	plme - plma***	cada categoría modelada como factor
Desfase del ocaso hora inicio calado (desfase)	Continua	hora
Velocidad promedio de calado (vel)	Continua	nudos
Tipo aparejo (aparejo)	español - americano	cada categoría modelada como factor
Número de anzuelos calados (nanz)****	Discreta	

() Codificación asignada a cada variable para ingresarla al modelo

*pabme = porcentaje área brillante menor 50%; pabma = porcentaje área brillante mayor igual 50%

**pcme = porcentaje de calamar menor 50%; pcma = porcentaje de calamar mayor igual 50%

***plme = porcentaje de luces menor 50%; plma = porcentaje de luces mayor igual 50%

**** variable offset

linealmente conforme se incrementa el valor del índice de luminosidad (Fig. 3b). Efecto opuesto al anterior se registró con la TSM, donde la tasa de captura incidental decayó monótonicamente con el aumento del valor de esta covariable (Fig. 3c). Latitudinalmente, la tasa de captura incidental presentó dos máximos centrados en 28° y 31°S aproximadamente, separados por un mínimo en torno a 29°S (Fig. 3d).

Fardela negra grande

La captura incidental de la fardela negra grande estuvo influenciada por los factores fase lunar, estación y porcentaje de calamar, mientras que las principales covariables fueron porcentaje de luces químicas y TSM (Tabla 4). Similar a lo ocurrido con el albatros de ceja negra, la categoría más influyente en el factor estación fue el invierno (de hecho sólo registra capturas incidentales en invierno), mientras que en el factor fase lunar, la categoría más importante fue

aquella correspondiente a los lances realizados con índices de luminosidad mayor o igual a 0,5. Por otra parte, no hubo captura incidental de fardela negra grande en lances que ocuparon menos de un 50% de calamar como carnada. Finalmente, la tasa de captura incidental aumentó significativamente cuando se incrementó el porcentaje de luces químicas utilizadas en la calada.

De la revisión de las relaciones funcionales se pudo apreciar que la tasa de captura incidental de la fardela negra grande aumentó según se acrecentó el porcentaje de luces químicas utilizadas en el calado (Fig. 4a), aumentó el valor del índice de luminosidad de la luna (Fig. 4b) e incrementó el porcentaje de calamar utilizado como carnada (Fig. 4c). Un patrón opuesto al anterior se observó con la TSM, es decir, la tasa de captura incidental disminuyó con el aumento de esta covariable (Fig. 4d).

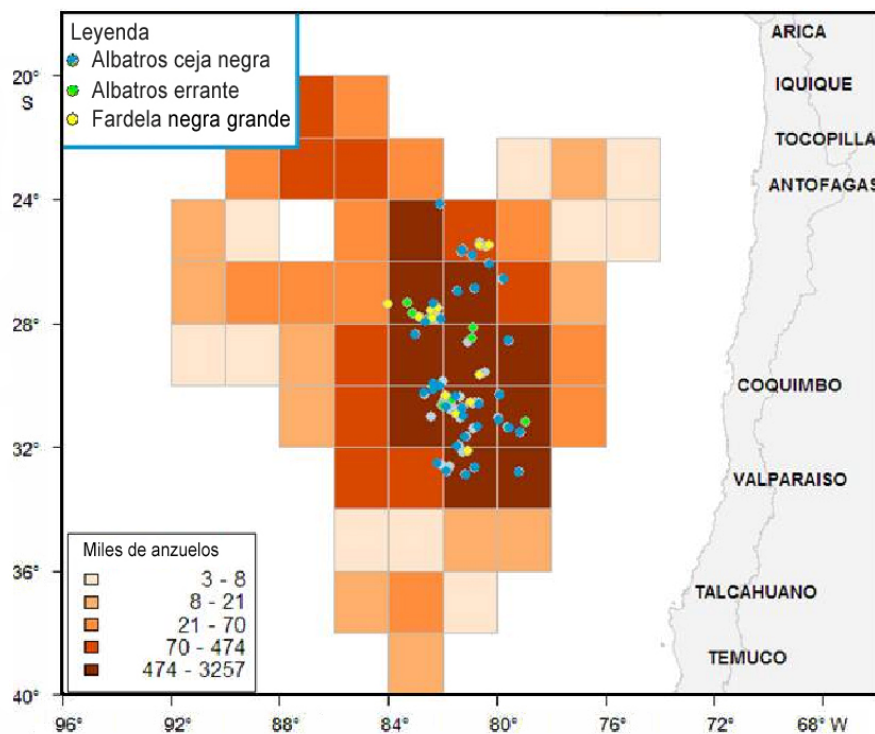


Figura 1. Distribución espacial del esfuerzo de pesca aplicado por la flota palangrera chilena y lances (círculos) con captura incidental de aves marinas durante el período 2007-2009 (cuadrículas de 2x2 grados).

Figure 1. Spatial distribution of fishing effort applied by the Chilean longline fleet and sets (circles) with seabird bycatch during 2007-2009 period (grid cells of 2x2 grades).

Tabla 2. Nombre común, nombre científico, estado de conservación IUCN, número y porcentaje relativo de especies capturadas por la flota palangrera chilena entre 2007 y 2009.

Table 2. Common name, scientific name, IUCN status, number and relative proportion of species caught by the Chilean longline fleet during 2007-2009 period.

Nombre común	Nombre científico	IUCN 2008*	Nº	Porcentaje
Albatros de ceja negra	<i>Thalassarche melanophris</i>	EN	97	55,7
Albatros errante	<i>Diomedea exulans</i>	VU	23	13,2
Petrel negro grande	<i>Procellaria aequinoctialis</i>	VU	21	12,1
Albatros de buller	<i>Thalassarche bulleri</i>	NT	11	6,3
Albatros de salvini	<i>Thalassarche salvini</i>	VU	6	3,4
Albatros de cabeza gris	<i>Thalassarche chrysostoma</i>	VU	6	3,4
Albatros real	<i>Diomedea epomophora</i>	VU	3	1,7
Petrel damero o moteado	<i>Daption capense</i>	LC	3	1,7
Petrel gigante antártico	<i>Macronectes giganteus</i>	NT	1	0,6
Petrel gigante subantártico	<i>Macronectes halli</i>	NT	1	0,6
Petrel plateado	<i>Fulmarus glacialisoides</i>	LC	1	0,6
Ave del trópico de cola blanca	<i>Phaethon lepturus</i>	LC	1	0,6
Total			174	100

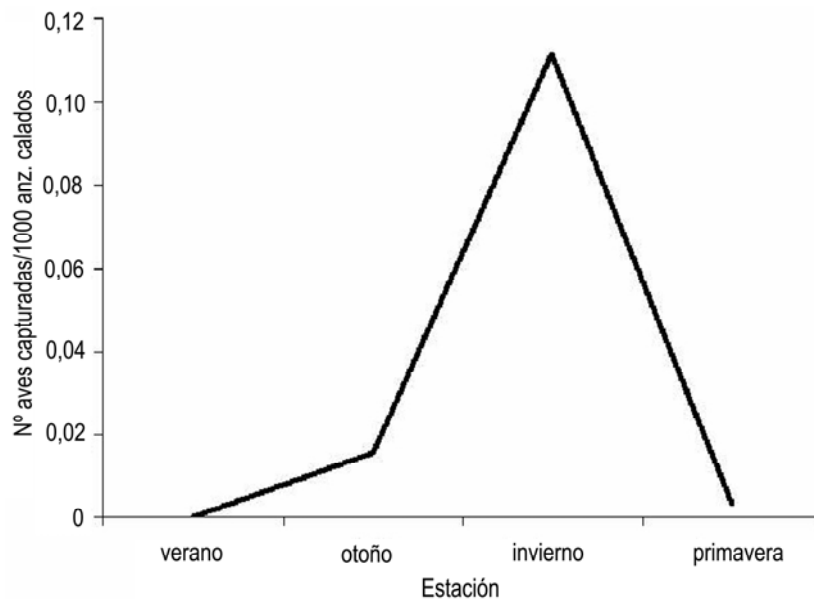
* Categoría de riesgo de las especies.

LC: Least Concern (preocupación menor), NT: Near Threatened (casi amenazada); VU: Vulnerable, EN: Endangered (en peligro).

Tabla 3. Resultado del modelado de la captura incidental de albatros de ceja negra.**Table 3.** Results of modeling of bycatch of black browed albatross.

Covariable	Num. gl	Den. gl	Chisq-valor	P-valor
Estación	3	2117	21,08	0,0001013 ***
Fase lunar	1	2117	8,44	0,003659 **
Latitud	1	2117	12,29	0,000456 ***
Longitud	1	2117	4,15	0,04158 *
Temperatura superficial del mar	1	2117	5,88	0,01534 *
Porcentaje de calamar	1	2117	0,21	0,6475
Porcentaje de luces químicas	1	2117	1,28	0,2579
Desfase del ocaso hora inicio calado	1	2117	23,09	1,549e-06 ***
Velocidad promedio de calado	1	2117	0,57	0,4489
Tipo aparejo	1	2117	0,99	0,3195
Distancia a monte submarino	1	2117	2,59	0,1075

gl: grados de libertad, Num. gl: numerador grados de libertad, Den. gl: denominador grados de libertad.

**Figura 2.** Estacionalidad de la tasa de captura incidental (aves capturadas/1000 anzuelos calados), de las aves marinas analizadas (albatros de ceja negra, albatros errante y fardela negra grande), por la flota palangrera chilena, 2007-2009.**Figure 2.** Seasonal catch rates (birds captured/1000 hooks set), of seabird analyzed (black-browed albatross, wandering albatross, white-chinned petrel), by the Chilean pelagic longline fishery, 2007-2009.

Albatros errante

La variabilidad de la captura incidental del albatros errante estuvo influenciada por los factores estación y porcentaje de luces químicas y por las covariables longitud y desfase del inicio del calado (Tabla 5). Como ocurrió con la fardela negra grande, el albatros errante solo registró capturas incidentales en invierno, mientras que en el factor porcentaje de luces químicas,

la categoría más importante fue aquella con caladas en que se utilizaron luces químicas mayor o igual al 50%.

Las relaciones funcionales evidenciaron un aumento en las tasas de captura incidental según se incrementa el valor de las covariables longitud (Fig. 5a) y porcentaje de luces químicas (Fig. 5b), en tanto que presentó un patrón inverso en la medida que el lance se inicia más hacia la oscuridad (Fig. 5c).

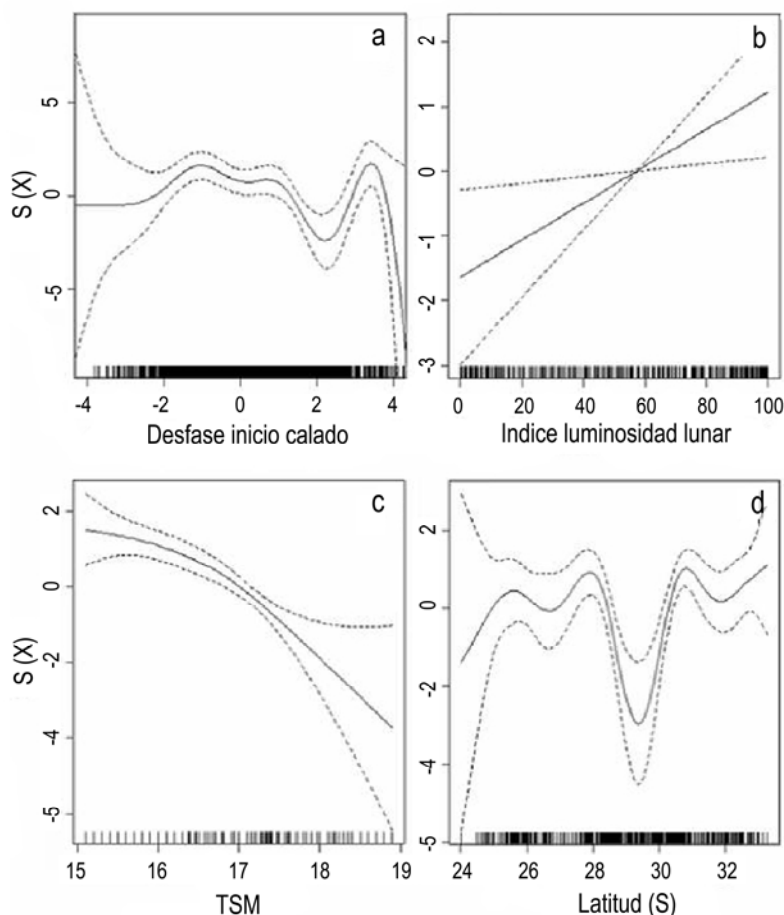


Figura 3. Representaciones graficas de las relaciones. a) Desfase inicio calado, b) índice luminosidd lunar, c) TSM, d) latitud; $s(x)$ representa la función spline suavizada de la variable predictorica indicada.

Figure 3. Graphical representations of the relationships. a) Delay start set, b) lunar brightness index, c) SST, d) latitude; $s(x)$ represents the smoothing spline of the indicated predictor variable.

Tabla 4. Resultado del modelado de la captura incidental de fardela negra grande.

Table 4. Results of modeling of bycatch of white chinned petrel.

Covariable	Num. gl	Den. gl	Chisq-valor	P-valor
Estación	3	2117	10,74	0,0132 *
Fase lunar	1	2117	11,74	0,0006106 ***
Latitud	1	2117	0,09	0,7583
Longitud	1	2117	0,47	0,4938
Temperatura superficial del mar	1	2117	10,26	0,01651 *
Porcentaje de calamar	1	2117	7,31	0,006867 **
Porcentaje de luces químicas	1	2117	13,63	0,003454 **
Desfase del ocaso hora inicio calado	1	2117	0,71	0,4006
Velocidad promedio de calado	1	2117	0,002	0,9690
Tipo aparejo	1	2117	0,00	1,0000
Distancia a monte submarino	1	2117	0,31	0,5748

gl: grados de libertad, Num. gl: numerador grados de libertad, Den. gl: denominador grados de libertad.

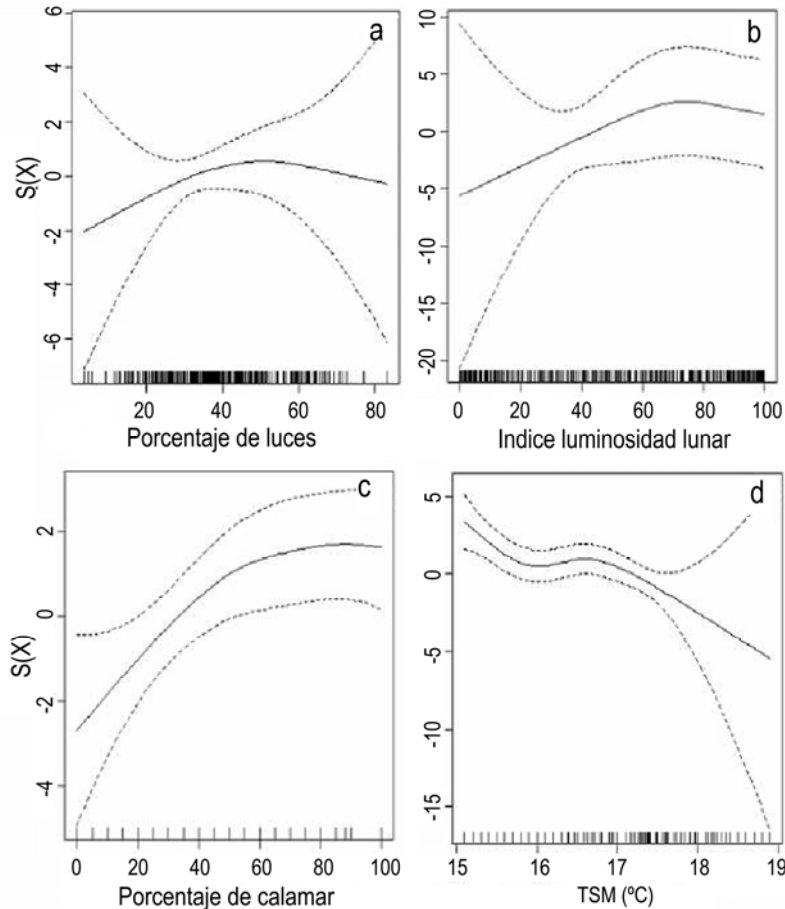


Figura 4. Representaciones gráficas de las relaciones. a) Porcentaje de luces químicas, b) índice luminosidad lunar, c) porcentaje de calamar, d) TSM; $s(x)$ representa la función spline suavizada de la variable predictora indicada.

Figure 4. Graphical representations of the relationships. a) Percentage of light sticks, b) lunar brightness index, c) percentage of squid, d) SST; $s(x)$ represents the smoothing spline of the indicated predictor variable.

DISCUSIÓN

Si bien el número de ejemplares capturados incidentalmente por esta flota es bajo en relación a otras flotas palangreras que operan en los océanos australes (solo la flota japonesa captura miles de albatros anualmente; Brothers, 1991; Løkkeborg, 2011), su sensible estado de conservación (en peligro y vulnerables), sumado a las tendencias de sus poblaciones mundiales (todas decrecientes; IUCN, 2008), hacen que el estudio de su captura incidental sea un tema relevante para la administración de pesquerías. Las especies analizadas son aves cuyas colonias de anidamiento se encuentran en distintas islas ubicadas en la zona subantártica, región circunscrita al área al norte del Frente Subantártico y al sur del Frente Subtropical (Leppe *et al.*, 2007). El albatros de ceja negra procede principalmente de islas del sur de Chile (Diego Ramírez e Ildefonso) y secundariamente de las islas Malvinas, mientras que la

fardela negra grande viene esencialmente desde islas de Nueva Zelanda y también desde la isla Georgia del Sur, mientras que el albatros errante puede provenir desde cualquiera de sus sitios donde nidifica (islas Georgia del Sur, Crozet, Marion, Príncipe Edward e incluso las islas Kerguelen; BirdLife International, 2004; Delord & Weimerskirch, 2011). Estas especies migran a alimentarse a aguas productivas del Sistema de la Corriente de Humboldt en los períodos en que no nidifican. Este proceso migratorio las hace coincidir en tiempo y espacio con la actividad de la flota palangrera industrial que opera sobre el pez espada (Moreno *et al.*, 2008), no sorprendiendo por tanto, que sus capturas incidentales se concentren en el área donde se aplican los mayores niveles de esfuerzo por parte de esta flota (Fig. 1).

Si bien la latitud solo fue significativa para explicar la captura incidental de albatros de ceja negra, la tasa de captura incidental para las tres especies presenta un patrón latitudinal caracterizado por altas

tasas entre 25° y 27°S, seguido por una brusca disminución entre 28° y 29°S. Entre 30° y 32°S se observó un incremento en la tasa de captura del albatros de ceja negra, similar a los niveles exhibidos en la primera zona, y un aumento menos marcado en el caso de la fardela negra grande. En el albatros errante esta tasa tiende a disminuir hacia el sur, hasta desaparecer a 31°S (Fig. 6a). La Corriente del Pacífico Sur (CPS), es una corriente que fluye hacia el este. Asociada al brazo meridional de esta corriente se encuentra el Frente Subtropical (FST), que corresponde a una estrecha zona de transición entre aguas superficiales subtropicales por el norte y aguas subantárticas por el sur (Stramma *et al.*, 1995; Fig. 6c). La CPS forma la parte austral del Giro Subtropical del Pacífico Sur (GSPS), girando hacia el norte en su margen oriental (Sirota *et al.*, 2004). Esta última sección de la CPS se sobrepone con el área donde se aplica el mayor esfuerzo de la flota palangrera chilena que captura pez espada, donde se observó la totalidad de la captura incidental de aves marinas (Fig. 1). Lo anterior sugiere que las mayores tasas de captura incidental de este grupo de aves marinas tienen lugar hacia los bordes de estos sistemas (CPS y FST). La variación longitudinal de las tasas de captura incidental muestra que el albatros de ceja

negra registra un gran aumento en la zona central del área de estudio, mientras que el albatros errante tiende a incrementar su tasa hacia el margen occidental del área, mientras que la fardela negra grande no presenta mayores variaciones (Fig. 6b).

El período en que se registró casi la totalidad de la captura incidental (mayo a septiembre; 99% del total), esta inscrito en la temporada no reproductiva del albatros de ceja negra y la fardela negra grande (Mackley *et al.*, 2011). Este período también coincide con los meses en que se produce un enfriamiento de las aguas donde opera la flota, situándose la TSM promedio de los lances en torno a los 17°C, valor que concuerda con la isoterma utilizada en otros estudios como indicador de zonas frontales de mayor productividad (Polovina *et al.*, 2000). En efecto, este valor de la TSM concuerda con el rango del Frente Subtropical (16°-18°C), zona asociada al proceso migratorio del pez espada en el Pacífico Suroriental (Yáñez *et al.*, 2008). Lo anterior indicaría, por una parte, la relevancia del Frente Subtropical como zona de forrajeo durante el período no-reproductivo de estas aves marinas y por otra, el carácter estacional del fenómeno analizado. El factor estación resultó ser altamente significativo para las tres especies anali-

Tabla 5. Resultado del modelado de la captura incidental de albatros errante.

Table 5. Results of modeling of bycatch of wandering albatross.

Covariable	Num. gl	Den. gl	Chisq-valor	P-valor
Estación	3	2117	41,23	5,85e-09 ***
Fase lunar	1	2117	2,18	0,1395
Latitud	1	2117	0,13	0,7107
Longitud	1	2117	14,70	0.0001258 ***
Temperatura superficial del mar	1	2117	0,12	0,7251
Porcentaje de calamar	1	2117	0,24	0,6235
Porcentaje de luces químicas	1	2117	6,58	0,01029 *
Desfase del ocaso hora inicio calado	1	2117	10,79	0,001023 **
Velocidad promedio de calado	1	2117	0,18	0,6749
Tipo aparejo	1	2117	0,01	0,9684
Distancia a monte submarino	1	2117	1,97	0,1604

gl: grados de libertad, Num. gl: numerador grados de libertad, Den. gl: denominador grados de libertad.

zadas, siendo el invierno la estación que concentró el 87,2% de la captura incidental para estas especies agrupadas.

La participación relativa de los principales componentes en la dieta de los *Procellariiformes* (peces, cefalópodos y krill), puede variar con respecto a la

disponibilidad de presas (Reid *et al.*, 1997; Colabuono & Vooren, 2007), o la época del año (Ainley *et al.*, 1984), siendo los cefalópodos general-mente más relevantes fuera de la temporada de reproducción (Croxall & Prince, 1996). Por otra parte, la importancia de los cefalópodos en la dieta de estas

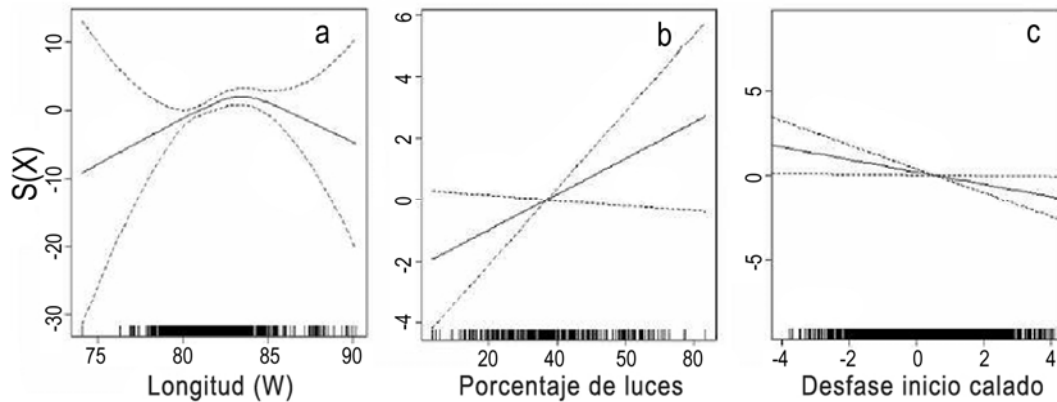


Figura 5. Representaciones graficas de las relaciones. a) Longitud, b) porcentaje luces químicas, c) desfase inicio lance, $s(x)$ representa la función spline suavizada de la variable predictorica indicada.

Figure 5. Graphical representations of the relationships. a) Longitude, b) percentage of light sticks, c) delay start set, $s(x)$ represents the smoothing spline of the indicated predictor variable.

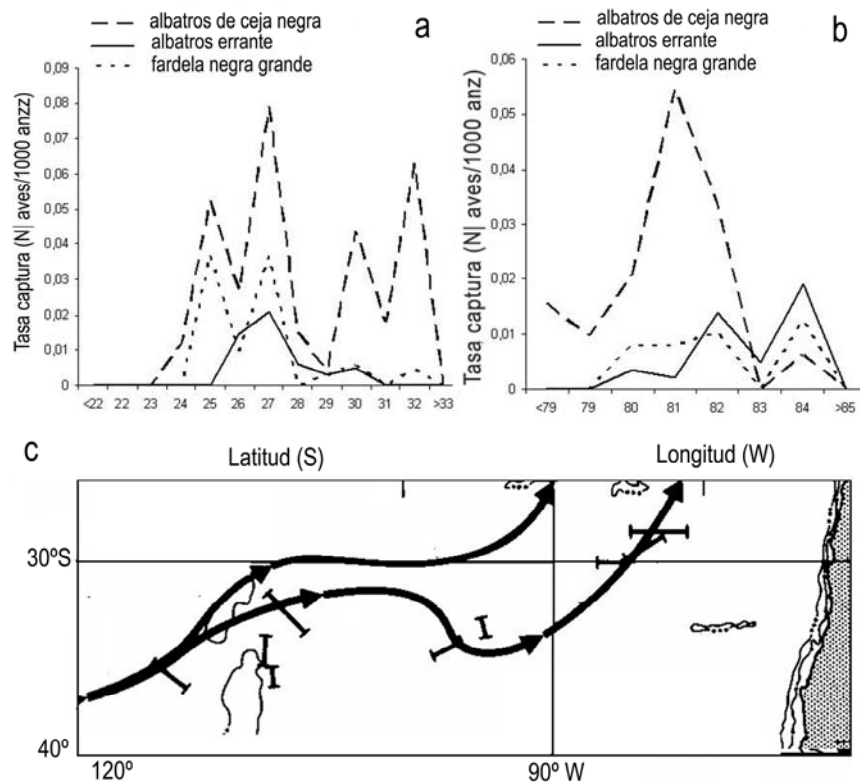


Figura 6. a) Variación latitudinal de las tasas de captura incidental de aves marinas, b) variación longitudinal de las tasas de captura incidental de aves marinas, c) representación esquemática de la Corriente del Pacífico Sur (líneas gruesas), y del Frente Subtropical (barras) (Modificado de Stramma, 1995).

Figure 6. a) Latitudinal variation of bycatch rates of seabirds, b) longitudinal variation of bycatch rates of seabirds, c) schematic representation of the South Pacific Current (heavy lines); and Subtropical Front (bars) (Modified from Stramma, 1995).

aves marinas de forrajeo superficial está relacionada con su tamaño, donde las especies más grandes tienen mayor proporción de cefalópodos en su alimento

(albatros > petreles o fardelas *Procellaria* > petreles o fardelas *Pterodroma* > petrel azul y priones; Cherel *et al.*, 2011), y además se alimentan de cefalópodos de

mayor tamaño (Croxall & Prince, 1996). Cocking *et al.* (2008) mediante un modelo matemático demostraron que el calamar (*Notodarus photololigo*) y la sardina (*Sardinops neopilchardus*), utilizados como carnada no teñida y en condiciones de luz diurna, mostraban similares niveles de contraste cromático y acromático (luminosidad) respecto del fondo del océano y eran visibles para las aves marinas. Resultados análogos se obtuvieron en estudios experimentales sobre captura incidental de aves marinas (Ochi *et al.*, 2011) y proporción de ataques a carnadas (Cocking *et al.*, 2008), los cuales no exhibieron mayores diferencias entre tipo de carnadas, ni para albatros ni petreles. Sin embargo, el análisis de las relaciones funcionales entre tasa de captura incidental y el porcentaje de calamar utilizado como carnada, muestra que si bien las tasas del albatros de ceja negra y fardela negra grande exhiben un comportamiento muy similar (Fig. 7a), este patrón se invierte para el albatros de ceja negra cuando se analizan los lances nocturnos, mientras que la fardela negra grande mantiene su comportamiento original (Fig. 7b). Esto se explicaría, por una parte, a que en la noche el albatros de ceja negra es menos activo que la fardela negra grande en zonas de alimentación durante el período no reproductivo (Mackley *et al.*, 2011), y por otra, a que el tipo de calamar utilizado como carnada en esta pesquería (*Illex argentinus*), sería llamativo para la fardela negra grande tanto de día como de noche, resultando por lo tanto que la covariable porcentaje de calamar solo sea significativa para la fardela negra grande.

Los cefalópodos son conocidos como principal ítem alimenticio de distintos depredadores pelágicos como atunes, peces picudos, tiburones oceánicos, cetáceos, además de las aves marinas, lo cual refleja la abundancia de los estos organismos en ambientes epi- y mesopelágicos (Vaske, 2011). Se han identificado cinco posibles fuentes de cefalópodos para los procellariiformes: 1) mortalidad cefalópodos post-desove, 2) calamares no reutilizados como carnada, 3) cefalópodos de migración nictimeral, 4) regurgitación de cetáceos, y 5) contenidos estomacales de peces eviscerados capturados por buques palangreros (Croxall & Prince, 1994; Vaske, 2011). El análisis de contenidos estomacales de fardelas negra grande colectadas en el Sistema de la Corriente de Humboldt durante la estación invernal, indicó que esta especie se alimenta principal y activamente de cefalópodos que migran verticalmente hacia la superficie en la noche y están ausentes de la superficie en el día, secundariamente de cefalópodos amoniacales de distribución mesobatipelágica que se encuentran flotando tras su muerte y de peces mesopelágicos que también

realizan migraciones verticales nocturnas (Lipinski & Jackson, 1989; Spear *et al.*, 2005). Todas las especies de cefalópodos registradas en este estudio que migran a la zona epipelágica, poseen bioluminiscencia (Nesis, 1987), lo cual explicaría la importancia que tuvo el porcentaje de luces químicas como agente estimulante de la actividad forrajera de la fardela negra grande.

Una de las características distintivas de la pesquería palangrera de pez espada es la gran extensión de sus aparejos (45 mn en promedio), lo que determinó que el 94% de las caladas excedieran las 4 h de duración. En esta flota, el 62% de los lances se iniciaron antes del crepúsculo náutico (en el 38% restante la calada transcurre sólo de noche), lo que imposibilita saber si un ave fue capturada de día, en el crepúsculo o de noche. Problemas similares se han detectado en otros estudios (Murray *et al.*, 1992; Duckworth, 1995). Sin embargo, se sabe que los albatros buscan y capturan activamente la mayoría de sus presas durante el día a través del año (Mackley *et al.*, 2010; Phalan *et al.*, 2007), mientras que la fardela negra grande parece exhibir una alta actividad nocturna (Mackley *et al.*, 2011). Considerando lo anterior se incluyó la covariable desfase de la hora del ocaso respecto de la hora de inicio del lance, la cual se usó como proxy de las condiciones de luminosidad ambiental existentes durante el calado de manera de determinar como estas condiciones afectan la actividad forrajera de estas aves marinas. Los resultados confirman los antecedentes sobre el comportamiento forrajero de estos procellariiformes, siendo significativo sólo para los albatros (Tablas 3 y 5) y no para la fardela negra grande (Tabla 4). Se observó un patrón de conducta de mayor actividad forrajera diurna en las especies de mayor tamaño pertenecientes al género *Diomedea*, como el albatros errante (Fig. 5c), que en aquellas de talla intermedia del género *Thalassarche*, como el albatros de ceja negra, particularmente activos en la primera parte de la noche (Fig. 3a; Weimerskirch & Guionnet, 2002; Phalan *et al.*, 2007), mientras que la fardela negra grande forrajea tanto de día como de noche, al igual que lo mencionado por Chérel *et al.* (1996).

Otra variable relacionada con las condiciones de luz es la fase lunar, que resultó significativa en los modelos que explican la captura de albatros de ceja negra y fardela negra grande (Tablas 3 y 4). En este estudio se utilizó un índice de luminosidad de la luna como proxy de los niveles de luz nocturna, que si bien no daría cuenta del efecto de la variación de la cobertura de nubes, este efecto de confusión sería ligero (Mackley *et al.*, 2011). El análisis de los lances nocturnos (iniciados una hora después del ocaso),

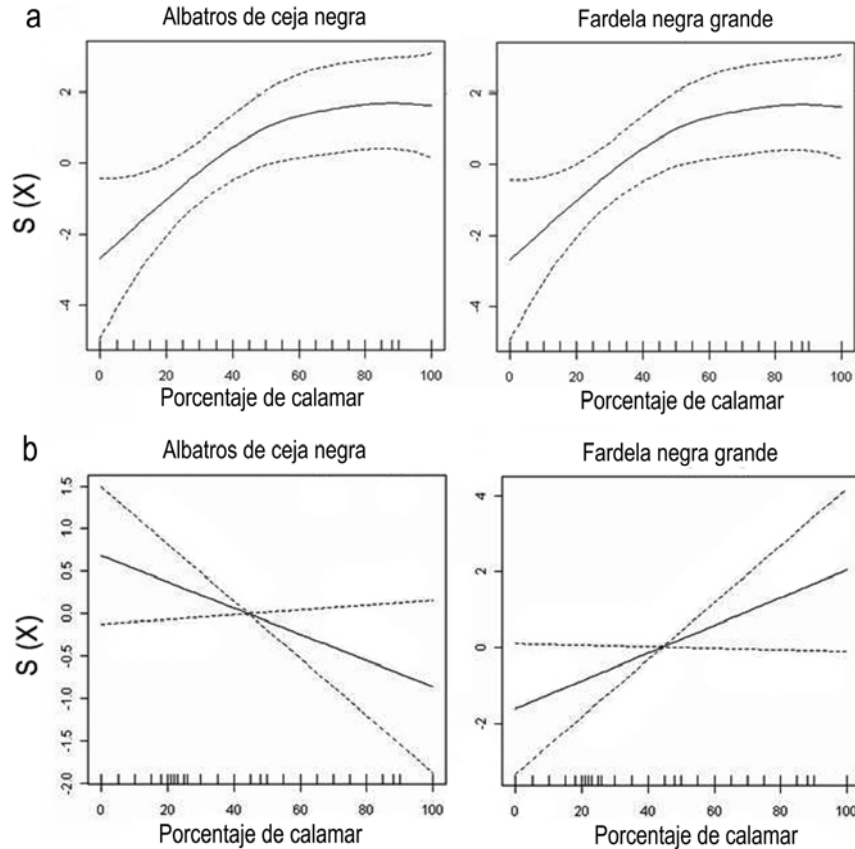


Figura 7. Variación de las tasas de captura incidental según el porcentaje de calamar usado como carnada. a) Lances realizados en invierno, b) lances nocturnos realizados en invierno; $s(x)$ representa la función spline suavizada de la variable predictora indicada.

Figure 7. Variation in bycatch rates by the percentage of squid used as bait. a) Sets made in winter, b) night sets made in winter; $s(x)$ represents the smoothing spline of the indicated predictor variable.

reveló que en los lances realizados con índices de luminosidad mayores a 0,5 (fases más luminosas), la tasa de captura incidental para las tres especies agrupadas fue 1.460% mayor que la tasa observada en lances realizados en las fases menos luminosas (índice luminosidad <0,5), no registrándose captura incidental de albatros errante ni de fardela negra grande en esta última condición. Estos resultados confirman la importancia que tiene el ciclo lunar en relación al nivel de actividad nocturna que exhiben las aves marinas y su interacción con la actividad pesquera (Phalan *et al.*, 2007; Mackley *et al.*, 2011; Pinet *et al.*, 2011).

Finalmente, los resultados expuestos en este estudio confirmarían lo encontrado en otros trabajos que indican que en regiones templadas y subtropicales del Hemisferio Sur, las operaciones de pesca de las flotas palangreras pelágicas tienen un impacto mayor en albatros que en otros grupos de aves marinas (Jiménez *et al.*, 2009; Petersen *et al.*, 2009),

representando los albatros el 83,7% de la captura incidental de aves marinas registrada en la flota palangrera industrial chilena en el período analizado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto de Fomento Pesquero y al Programa de Seguimiento de Recursos Altamente Migratorios, por proporcionar los datos utilizados en este estudio. También agradecen a los Observadores Científicos por su valiosa contribución en el levantamiento de los datos a bordo.

REFERENCIAS

- Alverson, D. 1999. Some observations on the science of bycatch. *Mar. Technol. Soc. J.*, 33: 6-12.
- Ainley, D., E.F. O'Connor & R.J. Boekelheide. 1984. The marine ecology of birds in the Ross Sea, Antarctica. *Ornithol. Monogr.*, 32: 97 pp.

- Bates, D. 2010. lme4: Mixed-effects modelling. [<http://lme4.r-forge.r-project.org/book>].
- Berrow, S.D., A.G. Wood & P.A. Prince. 2000. Foraging location and range of white-chinned petrels *Procellaria aequinoctialis* breeding in the South Atlantic. *J. Avian Biol.*, 31: 303-311.
- BirdLife International. 2004. Tracking ocean wanderers: the global distribution of albatrosses and petrels. Results from the Global Procellariiform Tracking Workshop, 1-5 September, 2003, Gordon's Bay, South Africa. Cambridge, BirdLife International.
- Boyle, P.R. & P. Rodhouse. 2005. Cephalopods. Ecology and fisheries. Blackwell Publishing, Oxford, 451 pp.
- Brothers, N. 1991. Albatross mortality and associated bait loss in Japanese longline fishery in the Southern Ocean. *Biol. Conserv.*, 55: 255-268.
- Cherel, Y., H. Weimerskirch & G. Duhamel. 1996. Interactions between longline vessels and seabirds in Kerguelen waters and a method to reduce seabird mortality. *Biol. Conserv.*, 75: 63-70.
- Cherel, Y., N. Gasco & G. Duhamel. 2011. Top predators and stable isotopes document the cephalopod fauna and its trophic relationships in Kerguelen waters. In: G. Duhamel & D. Welsford (eds.). *The Kerguelen Plateau: marine ecosystem and fisheries*. Société Française d'Ichtyologie, Paris, pp. 99-108.
- Cocking, L.J., M.C. Double, P.J. Milburn & V. Brando. 2008. Seabird bycatch mitigation and blue-dyed bait: A spectral and experimental assessment. *Biol. Conserv.*, 141: 1354-1364.
- Colabuono, F. & C. Vooren. 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. *Mar. Ornithol.*, 35: 9-20.
- Croxall, J. & P. Prince. 1994. Dead or alive: night or day. How do albatrosses catch squid? *Antarct. Sci.*, 6(2): 155-162.
- Croxall, J. & P. Prince. 1996. Cephalopod as prey. I. Seabirds. *Phil. Trans. Roy. Soc. London Bull.*, 351: 1023-1043.
- Delord, K., N. Gasco, H. Weimerskirch, C. Barbraud & T. Micol. 2005. Seabird mortality in the Patagonian toothfish longline fishery around Crozet and Kerguelen Islands, 2001-2003. *CCAMLR Science*, 12: 53-80.
- Delord, K. & H. Weimerskirch. 2011. New information on distribution of albatrosses and petrels breeding in the Indian Ocean and assessment of potential overlap with the IOTC fisheries. *IOTC-2011-WPEB07-38*: 16 pp.
- Duckworth, K. 1995. Analyses of factors which influence seabird bycatch in the Japanese southern bluefin tuna longline fishery in New Zealand waters, 1989-93. *New Zealand Fisheries Assessment Research Document 95/26*, Department of Conservation, Ministry of Fisheries, Wellington, 59 pp.
- Faraway, J. 2006. Extending the linear model with R: generalized linear mixed effects and nonparametric regression models. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 301 pp.
- Forney, K., D. Kobayashi, D. Johnston, J. Marchetti & M. Marsik. 2011. What's the catch? Patterns of cetacean bycatch and depredation in Hawaii-based pelagic longline fisheries. *Mar. Ecol.*, 32(3): 380-391.
- Gales, R., N. Brothers & T. Reid. 1998. Seabird mortality in the Japanese tuna longline fishery around Australia, 1988-1995. *Biol. Conserv.*, 86: 37-56.
- Hall, M. 1996. On bycatches. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 6(3): 319-352.
- Harper, P. 1979. Colour vision in the Procellariiformes. *Mauri Ora*, 7: 151-155.
- International Union for Conservation of Nature (IUCN). 2008. The red list of threatened species. [www.iucnredlist.org].
- Jiménez, S., A. Domingo & A. Brazeiro. 2009. Seabird bycatch in the Southwest Atlantic: interaction with the Uruguayan pelagic longline fishery. *Polar Biol.*, 32: 187-196.
- Kleinbaum, D., L. Kupper & K. Muller. 1988. Applied regression analysis and other multivariate methods. Duxbury Press, Belmont, 906 pp.
- Leppe, M., D.E. Domínguez, C. Olave & C. Rodrigo. 2007. Revisión de las islas subantárticas de Chile austral. VI° Simposio Argentino y III sobre Investigaciones Antárticas, Buenos Aires, 10 al 14 de septiembre.
- Lewis, R.L., L.B. Crowder, A.J. Read & S.A. Freeman. 2004. Understanding impacts of fisheries bycatch on marine megafauna. *Trends Ecol. Evol.*, 19(11): 598-604.
- Lipinski, M. & A. Jackson. 1989. Surface-feeding on cephalopods by Procellariiform seabirds in the Southern Benguela Region, South Africa. *J. Zool.*, 218: 549-563.
- Løkkeborg, S. 2011. Best practices to mitigate seabird bycatch in longline, trawl and gillnet fisheries: efficiency and practical applicability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 435: 285-303.
- Luceño, A. & F. González. 2004. Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad. Editorial Universidad de Cantabria, Santander, 378 pp.

- Mackley, E.K., R.A. Phillips, J.R. Silk, E.D. Wakefield, V. Afanasyev, J.W. Fox & R.W. Furness. 2010. Free as a bird? Activity patterns of albatrosses during the nonbreeding period. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 406: 291-303.
- Mackley, E.K., R.A. Phillips, J.R. Silk, E.D. Wakefield, V. Afanasyev & R.W. Furness. 2011. At-sea activity patterns of breeding and nonbreeding white-chinned petrels *Procellaria aequinoctialis* from South Georgia. *Mar. Biol.*, 158(2): 429-438.
- McCracken, M.L. 2004. Modeling a very rare event to estimate sea turtle bycatch: lessons learned. US Dept. Commer, NOAA Tech Memo. NOAA-TM-NMFS-PIFSC-3; 25 pp.
- Melvin, E.F., T.J. Guy & L.B. Read. 2010. Shrink and defend: a comparison of two streamer line designs in the 2009 South Africa tuna fishery. Agreement on the Conservation of Albatrosses and Petrels, Third Meeting of Seabird Bycatch Working Group, Mar del Plata, 08-09 April 2010.
- Moreno, C.A., R. Vega, G. Robertson & G. Luna. 2008. Seguimiento del plan de acción nacional de aves marinas. Informe Final, Proyecto FIP 2006-30: 89 pp.
- Murray, T., P. Taylor, J. Greaves, J. Bartle & J. Molloy. 1992. Seabird bycatch in southern fishery longline vessels in New Zealand waters. *Fish. Assessment Res. Doc.*, 92/22: 20 pp.
- Nesis, K.N. & L.A. Burgess. 1987. Cephalopods of the world: squids, cuttlefishes, octopuses, and allies. T.F.H. Publications, London, 351 pp.
- Ochi, D., H. Minami & N. Sato. 2011. A comparison of two blue-dyed bait types for reducing incidental catch of seabirds in the experimental operations of the Japanese southern bluefin tuna longline. Western and Central Pacific Fisheries Commission, WCPFC-SC7-2011/EB-WP-09, 16 pp.
- Petersen, S., D. Nel, P. Ryan & L. Underhill. 2008. Understanding and mitigating vulnerable bycatch in southern African trawl and longline fisheries. WWF South Africa Report Series, 262 pp.
- Petersen, S., M.B. Honig, P.G. Ryan & L.G. Underhill. 2009. Seabird bycatch in the pelagic longline fishery off southern Africa. *Afr. J. Mar. Sci.*, 31: 191-204.
- Phalan, B., R. Phillips, J. Silk, V. Afanasyev, A. Fukuda, J. Fox, P. Catry, H. Higuchi & J. Croxall. 2007. Foraging behaviour of four albatross species by night and day. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 340: 271-286.
- Pinet, P., A. Jaeger, E. Cordier, G. Potin & M. Le Corre. 2011. Celestial moderation of tropical seabird behavior. *PLoS One*, 6(11): 7 pp.
- Polovina, J., D. Kobayashi, D. Parker, M. Seki & G. Balazs. 2000. Turtles on the edge: movement of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) along ocean fronts, spanning longline fishing grounds in the central North Pacific, 1997-1998. *Fish. Oceanogr.*, 9: 71-82.
- R Development Core Team. 2006. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna [http://www.r-project.org].
- Reid, K., J.P. Croxall, T.M. Edwards, H.J. Hill & P.A. Prince. 1997. Diet and feeding ecology of the diving petrels *Pelecanoides georgicus* and *P. urinatrix* at South Georgia. *Polar Biol.*, 17: 17-24.
- Reykjavik Declaration. 2001. Reykjavik Declaration on responsible fisheries in the marine ecosystem. Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem, Reykjavik, Iceland, 1-4 October 2001, 4 pp.
- Shannon, L., K. Cochrane, C. Moloney & P. Freon. 2004. Ecosystem approach to fisheries management in the southern Benguela: a workshop review. Ecosystem approaches to Fisheries in the Benguela. *African J. Mar. Sci.*, 26: 1-8.
- Sirota, A.M., S.A. Lebedev & A.G. Kostianoy. 2004. Oceanic currents in the southeastern Pacific Ocean as revealed by satellite altimetry data, *Gayana*, 68(2): 539-542.
- Spear, L., D. Ainley & S. Webb. 2005. Distribution, abundance, habitat use and behaviour of three *Procellaria* petrels off South America. *Notornis*, 52: 88-105.
- Stramma, L., R.G. Peterson & M. Tomczak. 1995. The South Pacific current. *J. Phys. Oceanogr.*, 25: 77-91.
- Sullivan, B.J., T. Reid & L. Bugoni. 2006. Seabird mortality on factory trawlers in the Falkland Islands and beyond. *Biol. Conserv.*, 131: 495-504.
- Vaske Jr, T. 2011. Are deep-sea cephalopods really common preys for oceanic seabirds? *Biota Neotrop.*, 11: 177-180.
- Weimerskirch, H. & T. Guionnet. 2002. Comparative activity pattern during foraging of four albatross species. *Ibis*, 144: 40-50.
- Yáñez, E., R. Vega, C. Silva, J. Letelier, M.A. Barbieri & F. Espindola. 2008. An integrated conceptual approach to study the swordfish (*Xiphias gladius* Linnaeus, 1758) fishery in the eastern South Pacific. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.*, 43(3): 641-652.

Received: 10 May 2011; Accepted: 03 August 2012