

Research Article

¿Las áreas de filtración de metano constituyen zonas de agregación del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) frente a Chile central?

Javier Sellanes^{1,2*}, Milton J. Pedraza-García^{3,4} & Germán Zapata-Hernández¹

¹Departamento de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar
Universidad Católica del Norte, Larrondo 1281, Coquimbo, Chile

²Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Suroriental (COPAS)
Universidad de Concepción, P.O. Box 160-C, Concepción, Chile

³Programa de Doctorado en Ciencias Biológicas Mención Ecología
Pontificia Universidad Católica de Chile, Avenida Libertador Bernardo O'Higgins 340, Santiago, Chile

⁴Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR) Universidad de Concepción
P.O. Box 160-C, Concepción, Chile

RESUMEN. Se presenta los resultados de dos campañas (invierno y verano) de pesca de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*), realizadas sobre un área de filtración de metano (AFM) y un sitio aledaño utilizado como control. Estas fueron desarrolladas con el objetivo de determinar si las AFM constituyen sitios de agregación de *D. eleginoides*. Para cada área se registró la captura promedio, el rendimiento de pesca y se determinó índices de abundancia y diversidad incluyendo la fauna capturada incidentalmente. Los ejemplares de bacalao de profundidad capturados en ambos sitios fueron sexados, medidos y pesados. Adicionalmente, se presentan imágenes tomadas *in situ*, dentro del AFM, que documentan la presencia tanto de *D. eleginoides* como aparejos de pesca perdidos utilizados en su captura frente a la costa de Concepción. Las mayores capturas y rendimientos fueron observadas en el AFM, con valores promedio de 56,2 kg por lance de pesca y rendimientos promedios de 80,3 g/anzuelo, siendo significativamente mayores en comparación al sitio control. La campaña de pesca realizada en invierno registra mayores capturas y rendimientos en ambas áreas. La composición faunística evaluada a través de los índices comunitarios, indica diferencias significativas entre sitios, registrándose un mayor número de especies de fauna acompañante en el AFM, en comparación con el sitio control (18 y 14 especies, respectivamente). Se hipotetiza que la mayor abundancia de bacalao de profundidad en el AFM, estaría relacionada tanto con la mayor heterogeneidad espacial, dada por la presencia de arrecifes de carbonatos autigénicos, como con la disponibilidad de presas, constituyendo estos sitios como zonas de alimentación. El presente trabajo entrega información tendiente a establecer el rol ecológico de las AFM y la fauna asociada a ellas en ambientes batiales frente a Chile.

Palabras clave: bacalao de profundidad, filtraciones de metano, zona batial, fauna acompañante, Chile.

Do the methane seep areas constitute aggregation spots for the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) off central Chile?

ABSTRACT. We report results of two seasons (winter and summer) fishing for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*), performed on a methane seep area (AFM) and a nearby place used as a control. These campaigns were developed with the aim of determining whether the AFM are sites of aggregation of *D. eleginoides*. For each area, the average catch was recorded, fishing performance and, abundance and diversity of wildlife indexes were determined, including incidentally caught fauna. Patagonian toothfish caught at both sites were sexed, measured and weighed. Additionally, there are images taken *in situ*, within the AFM, documenting the presence of both *D. eleginoides* as well as lost fishing gear used in their capture off the coast of Concepcion. The largest catches and yields were observed in the AFM, with average values of 56.2 kg per fishing haul and average yields of 80.3 g/hook, being significantly higher compared to the control site. In the winter fishing season higher yields and catches were recorded in both areas. The faunal composition, evaluated through community indices, indicate significant differences between sites, with the greater number of bycatch species in the AFM, compared with the control site (18 and 14 species, respectively). We hypothesize that the greater abundance of toothfish in the AFM would be related to both the greater spatial

heterogeneity, given by the presence of authigenic carbonate reefs, and with the availability of prey, constituting these zones into foraging sites. This paper provides information aimed at establishing the ecological role of the AFM and associated fauna bathyal environments off Chile.

Keywords: Patagonian toothfish, methane seeps, bathyal area, bycatch fauna, Chile.

Corresponding author: Javier Sellanes (sellanes@ucn.cl)

INTRODUCCIÓN

Las áreas de filtración de metano (AFM), también conocidas como filtraciones frías o “cold-seeps” constituyen uno de los grandes descubrimientos científicos de las últimas décadas (Paull *et al.*, 1984). Estos ambientes se caracterizan típicamente por la presencia de una biota dominada por la presencia de bacterias quimiosintéticas de vida libre y endosimbiontes (*e.g.* sulfuro- y metano-oxidadoras) y comunidades de invertebrados que albergan estas últimas (*e.g.* bivalvos vesicómyidos, thyasíridos, solémyidos y poliquetos siboglínidos) (Levin, 2005). Estos microorganismos son los productores primarios en las redes tróficas de las AFM (Vanreusel *et al.*, 2009), habiéndose constatado que en ciertas condiciones sirven incluso de alimento a las comunidades heterotróficas locales, las cuales pueden ser atraídas masivamente a estos “oasis en el océano profundo” (Carney, 1994; MacAvoy *et al.*, 2002).

Distintos antecedentes argumentan acerca del rol de estos ambientes reductores en la estructura ecológica de zonas bentónicas profundas, entre ellos se destaca la posibilidad de que la presencia de pavimentos de carbonatos autigénicos (producto de la oxidación anaeróbica del metano) puedan generar zonas preferenciales de asentamiento y refugio para diversas especies bentodemersales (*e.g.* Drazen *et al.*, 2003; Sellanes *et al.*, 2008) y que las estructuras biogénicas generadas por algunos taxa (*e.g.* poliquetos siboglínidos, almejas vesicómyidas, corales de aguas profundas) proveen hábitats especializados para ensambles únicos de especies, creando “hot spots” de biodiversidad en el fondo oceánico (Levin & Dayton, 2010). Por otro lado, hay antecedentes que sugieren vinculación de estas zonas con recursos comercialmente importantes, tal como grandes peces migratorios (MacAvoy *et al.*, 2002).

El bacalao de profundidad es un pez demersal que habita en la zona batial, principalmente entre 500 y 2000 m de profundidad, presenta una amplia distribución geográfica en el hemisferio sur y es particularmente frecuente en el sur de América sobre el talud continental de Chile, Perú y Argentina (Fischer & Hureau, 1985; Arana & Vega, 1999;

Moller *et al.*, 2003; Arana, 2009). En Chile, constituye un recurso de gran importancia económica cuya pesquería se inició en la década de los 80’ (Salas *et al.*, 1987), alcanzando niveles de desembarques de 30.000 ton en el año 1992, con posterior disminución de los mismos registrándose 12.000 ton en 1996 y manteniéndose hasta el 2003 un desembarque cercano a las 10.000 ton anuales (Oyarzún *et al.*, 2003). Según estos últimos autores, la pesquería artesanal de este recurso se desarrolla en tres zonas de pesca definidas por la distribución espacio temporal del esfuerzo, capturas y rendimientos promedio. Estas zonas serían: Zona 1 (aproximadamente desde 32°S a 36°S), Zona 2 (aproximadamente desde 36°S a 40°S) y la Zona 3 (al sur de 40°S). A su vez, dentro de estas zonas existen focos de pesca discretos o “caladeros” en los cuales las capturas son marca-damente mayores.

En las últimas décadas, en Chile ha surgido una serie de evidencias sobre la relación de las comunidades asociadas a las AFM y recursos pesqueros como el bacalao de profundidad. Entre estas se puede mencionar: la descripción de *Calypptogena australis* (Stuardo & Valdovinos, 1988), especie capturada incidentalmente por pescadores del bacalao de profundidad frente a Concepción. También existen antecedentes de tubos de poliquetos siboglínidos *Lamellibrachia* sp. enganchados en líneas de pesca de *D. eleginoides* frente a Coquimbo (~31°S), aproximadamente a 1000 m de profundidad. Recientemente, se ha fortalecido la idea de esta relación basándose en el rescate de aparejos de pesca (*e.g.* restos de cabos, anzuelos, piedras lastre, mallas, etc.) empleados para la captura del bacalao, en un AFM, frente a Concepción (Sellanes & Krylova, 2005).

En este contexto, el presente estudio pretende establecer si las AFM constituyen focos de agregación del bacalao de profundidad. Se analiza la información obtenida en exploraciones pesqueras realizadas con embarcaciones de pesca dirigidas a la extracción de esta especie, comparando las capturas obtenidas y su fauna acompañante en un AFM con un sitio control. Se pretende entregar información para comprender el rol eco-biológico de las AFM en las zonas bentónicas profundas, enfatizando la relación existente entre las

comunidades presentes en estas áreas y la presencia de bacalao de profundidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de muestras

Se realizaron dos exploraciones pesqueras con embarcaciones vinculadas a la extracción comercial del bacalao de profundidad, durante invierno 2006 y verano 2007, sobre un área con presencia comprobada de filtraciones de metano (36°21'S, 73°43'W), descubierta en 2003 (Sellanes *et al.*, 2004) y en un área control (36°32'S, 73°40'W) (Fig. 1). Mayores antecedentes acerca del área de estudio y de los criterios utilizados para seleccionar la zona control se pueden encontrar en Sellanes *et al.* (2008).

En las faenas de pesca se emplearon espineles horizontales de fondo (700 anzuelos por espinel), con trozos de jibia (*Dosidicus gigas*) y jurel (*Trachurus murphyi*) como carnada. En cada lance se registró la ubicación (mediante GPS), fecha, hora y profundidad, número de anzuelos, captura total de la especie objetivo y fauna incidental (número y peso). Para cada ejemplar de *D. eleginoides* capturado se obtuvo su peso total (kg), longitud total (cm) y sexo.

Adicionalmente, se obtuvo imágenes del fondo marino, en cercanías de la zona de filtración de metano, mediante un sistema de cámaras tipo OFOS (Ocean Floor Observing System), en un crucero realizado a bordo del R/V Sonne, en octubre de 2010. El sistema OFOS consiste en un marco equipado con dos cámaras de video, una cámara fotográfica digital, dos luces, un CTD y tres punteros láser. El equipo es remolcado a una distancia de aproximadamente 1,5 m por sobre el fondo, a una velocidad de entre 0,5 y 0,8 nudos. Las imágenes obtenidas documentan la presencia de *D. eleginoides* y de artes de pesca extraviados en el AFM.

Presencia de bacalao de profundidad en las áreas de estudio

Para determinar si existen diferencias en la presencia de bacalao entre áreas exploradas (filtración *versus* control), se realizó un análisis de varianza (Zar, 1996) del rendimiento de pesca, medido en kilogramos por anzuelo (kg/anz), y la captura total (kg). Previamente, la información de Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), fue estandarizada utilizando modelos lineales generalizados (Cubillos *et al.*, 2002). Adicionalmente, para determinar la existencia de diferencias significativas entre ejemplares de bacalao capturados dentro y fuera de AFM, se analizó la información correspondiente a su longitud total, peso total y sexo, mediante análisis de varianza y regresión no lineal

(Zar, 1996). Para los análisis de varianza (ANOVA) y regresión no-lineal se utilizó el programa estadístico R (R Development Core Team, 2009).

Diversidad biológica

La información de diversidad biológica considera el total de especies registradas para cada área de exploración pesquera y se incluye tanto la fauna acompañante como la especie objetivo (*D. eleginoides*). Los ejemplares colectados fueron identificados hasta el menor nivel taxonómico posible. Cuando esto no fue posible, las especies fueron agrupadas en categorías taxonómicas más amplias (*e.g.* equinodermos, crustáceos, etc.).

La diversidad biológica fue descrita y cuantificada mediante métodos numéricos (N) y de frecuencia de ocurrencia (F) (Hyslop, 1980). Para cada área de muestreo se determinó índices de riqueza (S) y diversidad de Shannon (H'), los cuales fueron posteriormente comparados, entre áreas, utilizando una tabla de contingencia de máxima verosimilitud (prueba G) y el test de Chi-cuadrado (Zar, 1996; Cortés, 1997). Dichos análisis fueron realizados a través del programa computacional PAST (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS

Exploraciones de pesca

Se realizó un total de 33 lances de pesca, 20 ubicados dentro del AFM y los restantes en el sitio control (Tabla 1). Durante las campañas se capturó un total de 303 ejemplares de bacalao de profundidad, 226 de ellos en lances realizados en el AFM y 77 en lances en el sitio control. En la Tabla 2, se presenta resultados del análisis de varianza para la captura total y rendimiento de pesca (CPUE) entre áreas y periodos. Estos indican diferencias significativas (ANOVA, $P < 0,01$), siendo mayor la captura y el rendimiento de pesca en el AFM. En tal sentido, en el AFM se capturó un total de 1123,4 kg de bacalao (56,2 kg promedio por lance), mientras que en el sitio control solo se alcanzó los 365 kg (26,2 kg promedio por lance), con valores promedio de CPUE de 80,3 g/anz y 37,4 g/anz para el AFM y el sitio control, respectivamente (Fig. 2). En relación a los periodos, en invierno se observaron mayores capturas y rendimientos de pesca en el AFM, registrando capturas de 689,5 kg en invierno (68,9 kg promedio por lance) y 433,7 kg en verano (43,4 kg promedio por lance) (Fig. 3), información que contrasta con los 85,1 kg y 279,9 kg capturados en el sitio control en invierno y verano, respectivamente. En la Tabla 3, se presenta infor-

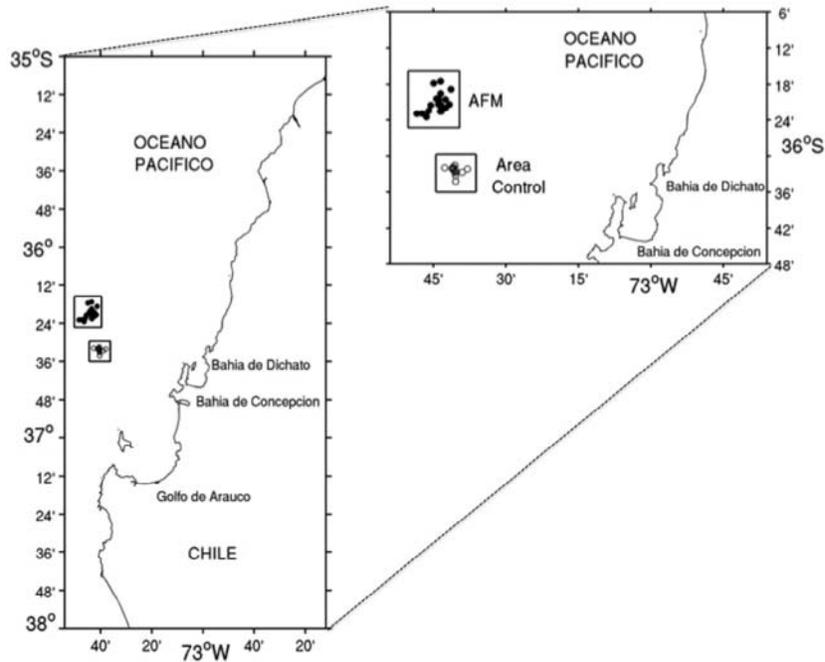


Figura 1. Zona de estudio donde se realizaron los lances de pesca experimental de bacalao de profundidad. (•) Posición de los lances de pesca realizados en el área de filtración de metano (AFM) y (o) lances de pesca realizados en el área control.

Figure 1. Study area where the experimental fishing casts of Patagonian toothfish were performed. (•) Position of fishing casts performed within the methane seep area (AFM) and (o) casts at the control area.

mación sobre la talla, peso y sexo de los bacalaos capturados, por periodo de muestreo y área de captura. Esta información sugiere que en el AFM los bacalaos presentan mayor rango de tallas y mayor frecuencia de individuos de mayor tamaño, en comparación al sitio control, lo cual es válido para los dos periodos evaluados (invierno y verano) (Fig. 4). En el AFM durante el periodo invernal se registró una mayor frecuencia de individuos pequeños (<75 cm), en comparación con las capturas registradas en el periodo estival (>75 cm). Por otra parte, en el AFM durante el periodo invernal se capturó un mayor número de bacalaos que en el periodo estival (141 y 85 ind, respectivamente). Sin embargo, el análisis de varianza para la información de tallas y pesos entre periodos evaluados y áreas de captura indican que no existen diferencias significativas entre dichos factores (en todos los casos, ANOVA $P > 0,05$) (Tabla 4).

Diversidad biológica de la captura incidental

El AFM presentó mayor riqueza de especies que el área control, identificándose para la primera un total de 18 especies, constituidas principalmente por condrictios, osteictios, cefalópodos, crustáceos, equinodermos y corales, registrándose un total de 1567 ind (762 y 805 en invierno y verano, respectivamente),

siendo los condrictios el grupo más importante en número (%N = 60,9). En el sitio control se registraron 14 especies, agrupando un total de 757 ind (163 y 594 en invierno y verano, respectivamente), siendo los osteictios el grupo más importante en número (%N = 54,8) (Tabla 5). Las pruebas de significancia asociadas al índice de diversidad de Shannon indican diferencias significativas en la biodiversidad entre áreas ($X^2 = 317,6$; $P < 0,01$). Así mismo, las tablas de contingencia de máxima verosimilitud para la frecuencia de individuos presentes por área, plantean diferencias significativas entre áreas ($X^2 = 33,6$; $P = 0,04$), observándose una mayor frecuencia de especies en el AFM.

DISCUSIÓN

El mayor número de individuos, capturas promedio y rendimientos de pesca de *D. eleginoides* en el AFM, sugieren que existe una preferencia del bacalao de profundidad por estos tipos de ambientes reductores. En efecto, en esta zona la captura promedio fue 114% mayor que en el sitio control y las pruebas de significancia reafirman que las capturas y los rendimientos de pesca entre áreas y periodos fueron diferentes (Figs. 2 y 3). Al respecto, Oyarzún *et al.*

Tabla 1. Número de lances pesqueros y posiciones geográficas de las áreas de muestreo en el área de filtración de metano y en el sitio control.

Table 1. Number of fishing casts and geographic positions of the sampled areas in the methane seep and control site.

Área de filtración de metano						
Nº Lance	Verano			Invierno		
	Lat. S	Long. W	Profundidad (m)	Lat. S	Long. W	Profundidad (m)
1	36° 22' 535"	73° 43' 638"	396	36° 21' 906"	73° 42' 542"	764
2	36° 21' 374"	73° 41' 702"	410	36° 20' 398"	73° 44' 374"	1000
3	36° 18' 803"	73° 41' 398"	505	36° 21' 492"	73° 43' 699"	1600
4	36° 23' 497"	73° 46' 472"	680	36° 22' 055"	73° 43' 251"	780
5	36° 22' 893"	73° 47' 356"	745	36° 22' 550"	73° 43' 391"	790
6	36° 22' 916"	73° 48' 442"	810	36° 21' 496"	73° 45' 569"	1281
7	36° 19' 524"	73° 43' 527"	590	36° 20' 527"	73° 42' 542"	890
8	36° 22' 468"	73° 46' 008"	798	36° 21' 413"	73° 43' 508"	990
9	36° 17' 791"	73° 44' 960"	830	36° 21' 322"	73° 43' 980"	1005
10	36° 17' 791"	73° 44' 960"	600	36° 20' 512"	73° 43' 901"	790

Sitio control						
Nº Lance	Verano			Invierno		
	Lat. S	Long. W	Profundidad (m)	Lat. S	Long. W	Profundidad (m)
1	36° 32' 055"	73° 41' 201"	750	36° 33' 095"	73° 44' 822"	874
2	36° 32' 330"	73° 40' 391"	730	36° 32' 526"	73° 42' 000"	925
3	36° 31' 490"	73° 40' 569"	850	36° 32' 827"	73° 44' 150"	980
4	36° 33' 218"	73° 40' 414"	800	36° 33' 510"	73° 41' 115"	899
5	36° 32' 107"	73° 37' 987"	780			
6	36° 31' 789"	73° 40' 880"	750			
7	36° 31' 906"	73° 42' 672"	810			
8	36° 32' 673"	73° 39' 014"	850			
9	36° 32' 541"	73° 40' 650"	810			

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza y regresiones no lineales para la captura total y rendimientos de pesca (CPUE), considerando como factores la zona de pesca (AFM *versus* control) y la estación de muestreo (invierno *versus* verano). Se entrega en valor de significancia *P* de las pruebas.

Table 2. Results of the analysis of variance and non linear regressions for the total catch (kg) and capture per unit of effort (CPUE), considering as factors the fishing area (AFM *versus* control) and sampling season (winter *versus* summer). The *P* value for each test is indicated.

	gl	SC	SCM	F	Valor <i>P</i> (>F)
Respuesta: Captura total (kg)					
Zona	1	42040	42040	75,525	3,40E ⁻¹⁶
Respuesta: CPUE (kg/anz)					
Zona	1	0,0924	0,0924	79,736	2,2E ⁻¹⁶
Respuesta: Captura total (kg)					
Estación	1	41233	41233	73,686	7,06E ⁻¹⁶
Respuesta: CPUE (kg/anz)					
Estación	1	0,1284	0,1284	124,96	2,2E ⁻¹⁶

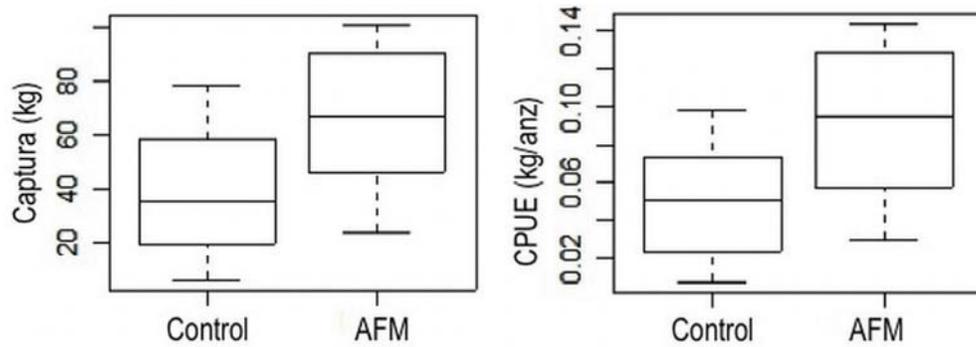


Figura 2. Captura total (kg) y captura por unidad de esfuerzo (CPUE, kg/anz) registrada en el área de filtración de metano (AFM) y en el área control (Control). Los bordes de las cajas indican el rango y la línea horizontal al interior indica el promedio, los "bigotes" representan la varianza asociada a la medición.

Figure 2. Total catch (kg) and catch per unit of effort (CPUE, kg/hook) between the methane seep area (AFM) and control site (Control). The borders of the boxes represent the range and the horizontal line within them is the average, whiskers represent the variance associated to the measurement.

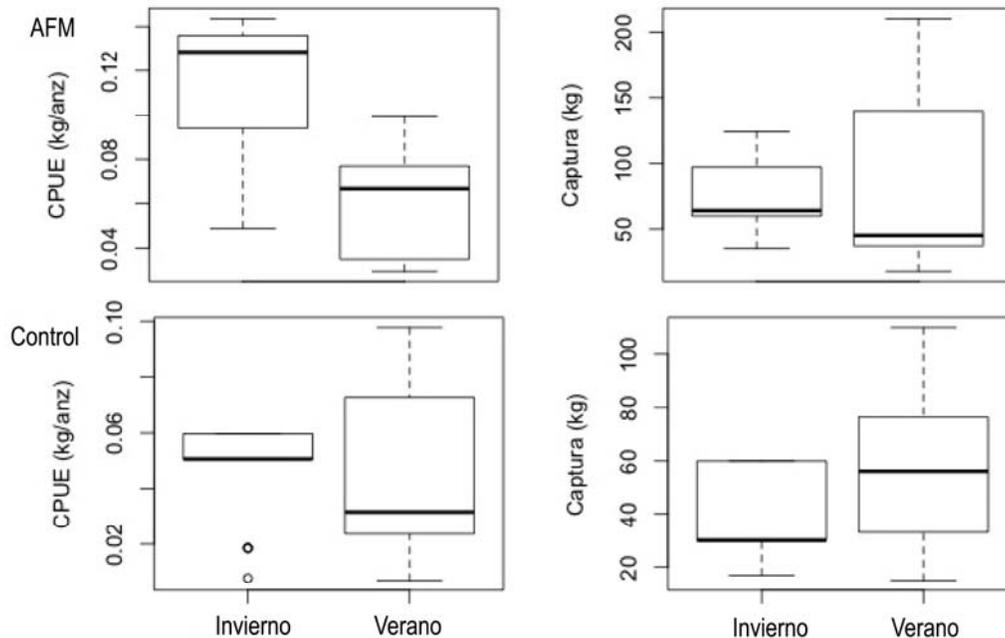


Figura 3. Comparaciones de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y captura total (kg) por sitio y para los diferentes periodos de muestreo (invierno y verano). En el panel superior se muestran los datos del área de filtración de metano (AFM) y en el inferior los del área control (Control). Los bordes de las cajas indican el rango y la línea horizontal al interior indica el promedio, los "bigotes" representan la varianza asociada a la medición.

Figure 3. Comparisons between the catch per unit of effort (CPUE) and total catch (kg) for each site and between different sampling periods (winter and summer). Upper panel shows results for the methane seep area (AFM) and lower panel for the control site. Box plots indicate the median, the upper and lower quartiles and the range of values for each parameter.

(2003) registraron rendimientos de pesca para el bacalao en varias localidades (al sur de las áreas de muestreo), indicando un aumento del rendimiento

hacia mayores latitudes, haciendo referencia a los 60,1 g/anz determinados en Lebu y 353 g/anz en Quellón. No obstante, al estandarizar estos rendimientos por

Tabla 3. Estadígrafos generales de la captura de bacalao de profundidad durante las exploraciones pesqueras para los distintos períodos (invierno y verano) y áreas de captura (área de filtración de metano y zona control).

Table 3. General statistics of the Patagonian toothfish fishing surveys reported by seasons (winter and summer) and areas (methane seep area and control site).

Estadígrafos	Verano		Invierno	
	Área filtración de metano	Sitio Control	Área filtración de metano	Sitio Control
Nº Bacalaos	85	56	141	21
Nº Hembras	39	26	65	14
Nº Machos	46	30	51	4
Talla Promedio (cm)	80,7	80,2	83	79,2
Moda (cm)	80,5	69,2	75	72
Varianza	134,4	139	269,4	121,2
Desviación estándar	11,6	11,8	16,4	11
Peso Promedio (kg)	5,1	5	5,9	4,7
Moda (kg)	3,7	2,9	3,5	2,5
Varianza	12,3	7,7	17,5	4,3
Desviación estándar	3,5	2,8	4,2	2,1

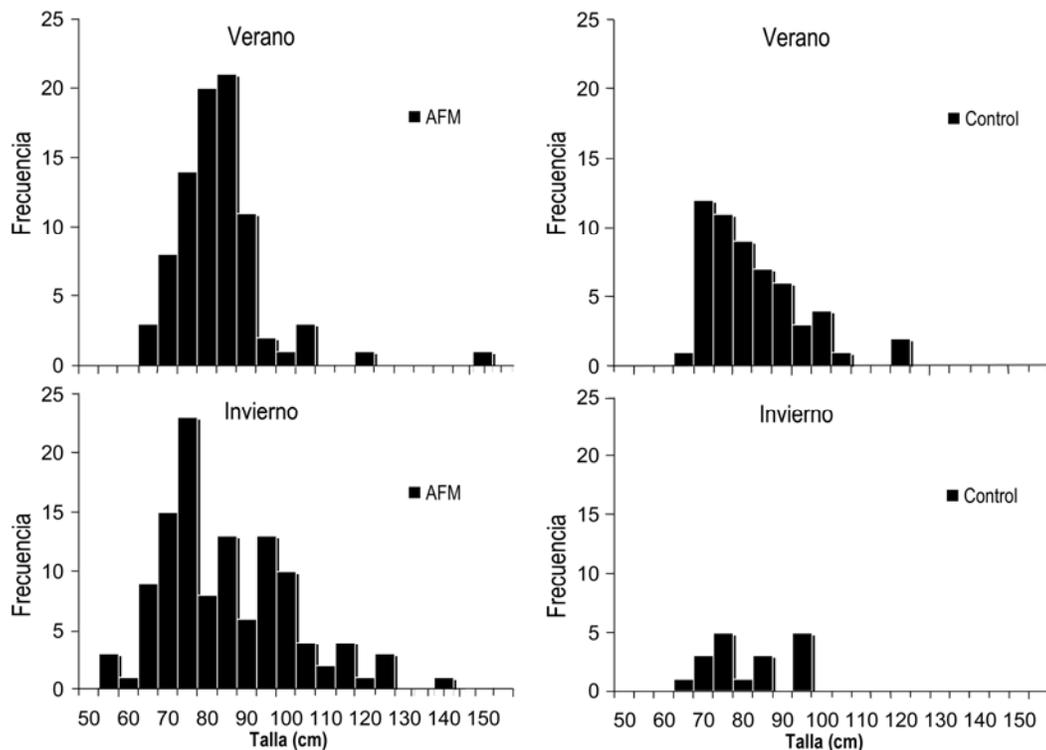


Figura 4. Distribución de frecuencias de tallas para la totalidad de los ejemplares de bacalao de profundidad capturados en la zona de filtración de metano y en la zona control.

Figure 4. Size frequency distribution of all the Patagonian toothfish individuals caught in the methane seep area and in the control site.

Tabla 4. Análisis de varianza y regresiones no lineales para la longitud y peso total de los ejemplares capturados, considerando como factor el área de pesca (AFM *versus* control) y la estación de muestreo (invierno *versus* verano). Se entrega en valor de significancia *P* de las pruebas.

Table 4. Analysis of variance and non linear regressions for the total individual length and weight, considering as factors the fishing area (AFM *versus* control) and sampling season (winter *versus* summer). The *P* value for each test is indicated.

	gl	SC	SCM	F	Valor <i>P</i> (>F)
Relación: longitud total (cm)-área	1	232	232	1,2135	0,2716
Relación: peso total (kg)- área	1	23,3	23,3	1,7788	0,1834
Relación: longitud total (cm)-estación	1	288	288	1,5074	0,2206
Relación: peso total (kg)-estación	1	35,2	35,2	2,6896	0,1022

Tabla 5. Abundancia y frecuencia de especies de fauna acompañante en el área de filtración de metano y el sitio control.

Table 5. Abundance and frequency of bycatch species in the methane seep area and control site.

Taxa	Área de filtración de metano				Sitio control			
	Número	Frecuencia	%N	%F	Número	Frecuencia	%N	%
Cnidaria								
<i>Paragorgia</i> sp.	2	1	0,1	5	2	1	0,3	8
<i>Callogorgia</i> sp.	1	1	0,1	5	-	-	-	-
Mollusca								
<i>Dosidicus gigas</i>	-	-	-	-	6	2	0,8	15
<i>Histiotheuthis</i> sp.	1	1	0,1	5	-	-	-	-
<i>Graneledone</i> sp.	1	1	0,1	5	-	-	-	-
Crustacea								
<i>Lithodes turkayi</i>	7	4	0,4	20	5	3	0,7	23
Pycnogonida								
<i>Pycnogonida</i> sp.	1	1	0,1	5	-	-	-	-
Echinodermata								
<i>Psilaster charcoti</i>	5	1	0,3	5	25	2	3,3	15
<i>Doraster qawashqari</i>	-	-	-	-	13	2	1,7	15
Chondrichthyes								
<i>Centroscyllium granulatum</i>	382	12	24,4	60	146	9	19,3	69
<i>Bythaelurus canescens</i>	525	12	33,5	60	130	9	17,2	69
<i>Deania calcea</i>	8	5	0,5	25	-	-	-	-
<i>Dipturus trachydermus</i>	39	12	2,5	60	5	1	0,7	8
<i>Dipturus chilensis</i>	-	-	-	-	10	5	1,3	38
Osteichthyes								
<i>Sagamichthys abei</i>	1	1	0,1	5	-	-	-	-
<i>Antimora rostrata</i>	96	13	6,1	65	106	10	14	77
<i>Dissostichus eleginoides</i>	226	10	14,4	50	77	9	10,2	69
<i>Brama australis</i>	3	1	0,2	5	-	-	-	-
<i>Barathrites</i> sp.	-	-	-	-	2	1	0,3	8
<i>Coryphaenoides ariommus</i>	30	4	1,9	20	69	6	9,1	46
<i>Macrourus holotrachys</i>	202	13	12,9	65	161	12	21,3	92
<i>Macrourus carinatus</i>	37	4	2,4	20	-	-	-	-
Total	1567		100		757		100	

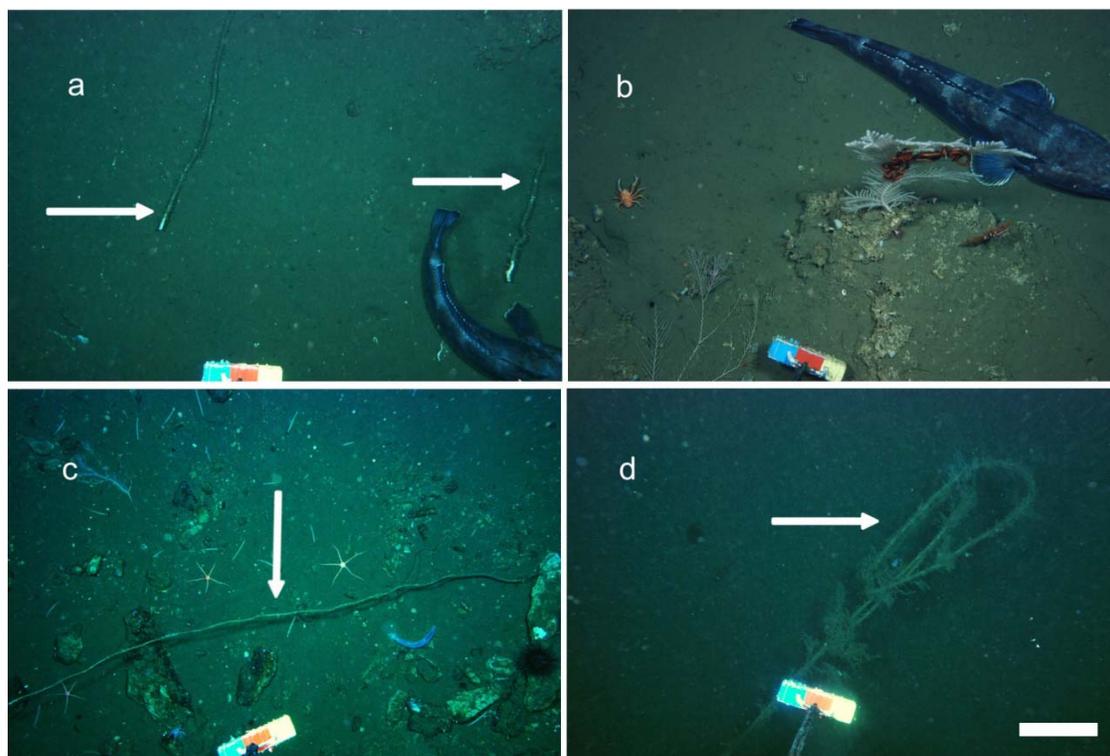


Figura 5. Imágenes del fondo marino obtenidas en el área de filtración de metano frente a Concepción ($36^{\circ}23.97'S$, $73^{\circ}42.07'W$, 702 m de profundidad) obtenida mediante el sistema OFOS, crucero R/V Sonne 210, octubre de 2010. a) ejemplar de *Dissostichus eleginoides* y poliquetos siboglinidos del género *Lamellibrachia* (flechas), b) ejemplar de *D. eleginoides* asociado a bloques carbonáticos y corales de aguas frías (Octocorallia: Gorgonacea), c) línea madre perdida (flecha) de un espinel utilizado para la captura de bacalao de profundidad, se distinguen las brazoladas aun con los anzuelos, d) trozo de cabo perdido utilizado para amarrar las anclas de los espineles. barra escala: 20 cm).

Figure 5. Seafloor images of the methane seep area off Concepción ($36^{\circ}23.97'S$, $73^{\circ}42.07'W$, 702 m depth) taken with OFOS system, R/V Sonne 210 cruise, October 2010. a) specimen of *Dissostichus eleginoides* and siboglinid polychaetes of the genus *Lamellibrachia* (arrows), b) specimen of *D. eleginoides* associated to carbonatic blocks and cold water corals (Octocorallia: Gorgonacea), c) lost main line (arrow) of a long line used in the fishing of *D. eleginoides*, secondary lines with hooks are also visible, d) lost piece of rope used to secure anchors to long lines (scale bar: 20 cm).

700 anzuelos, se comprobó un mayor rendimiento en el AFM (80,3 g/anz), en comparación con lo observado en la localidad de Lebu. En tal sentido, si bien la agregación de individuos en ambientes de filtraciones de metano es un fenómeno escasamente estudiado, esto ha sido evidenciado en peces y cefalópodos en zonas de filtración de metano frente a California (“Gorda escarpment” y “Mendocino ridge”), donde estos organismos utilizarían estos ambientes principalmente con fines reproductivos y alimenticios (Drzen *et al.*, 2003).

Recientemente, para la AFM del presente estudio, se ha reportado grandes acumulaciones de cápsulas ovígeras de *Bathyraja* spp. (Treude *et al.*, 2011), lo cual podría ser evidencia que el AFM es una zona de reproducción, al menos para algunas especies de condrictios. Según Treude *et al.* (2011) esto no sería

un hecho casual, ya que se ha encontrado evidencia fósil de cápsulas ovígeras de condrictios en hábitats de filtración de metano que datan al menos del Eoceno. En tal sentido, el mayor número de hembras registradas en invierno en el AFM podría sugerir además algún vínculo entre estos sitios como áreas de reproducción para el *D. eleginoides*, debido a que su desove ocurre entre julio y agosto en el extremo sur de Chile (Rubilar *et al.*, 1999, Young *et al.*, 1999). Sin embargo, las tallas con mayor frecuencia registradas en invierno (machos y hembras), se encontraron bajo el límite inferior de la talla de madurez sexual señalada para individuos habitando en el margen continental de Chile (78-105 y 89-128 cm en machos y hembras, respectivamente) (Arana *et al.*, 2009). Por lo tanto, el uso de estos sitios como áreas de reproducción *a priori* podría ser descartado.

En cuanto a una posible relación trófica entre *D. eleginoides* y las comunidades presentes en el AFM, este estudio no evaluó la importancia de las comunidades quimiosimbióticas (e.g. lucínidos, vesicómidos, siboglinidos) en la nutrición de los individuos recolectados en el AFM. No obstante, una serie de análisis de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$) revelan valores ligeramente empobrecidos en ^{13}C en algunos individuos, lo que podría estar asociado a la utilización parcial de la producción quimiosintética (Sellanes *et al.*, 2008). Esto a su vez sugiere que la producción primaria generada localmente en estas áreas, podría ser transferida hacia los consumidores móviles de alto nivel trófico.

Por otra parte, en cuanto al detalle de la fauna capturada en el AFM, estos son coincidentes en cuanto a grupos y especies, según lo registrado por Oyarzún *et al.* (2003). Cabe destacar las similitudes en la mayor importancia numérica (%N) y frecuencia (%F) de grupos como los condrictios, osteictios y crustáceos. En base a estos resultados es importante destacar que los osteictios son unos de los ítemes presas más importantes de *D. eleginoides* en la zona centro-sur (Oyarzún *et al.*, 2003, Murrillo *et al.*, 2008), por lo tanto la selectividad del arte de pesca (espinel) utilizado en esta pesquería, podría afectar de modo directo la disponibilidad de presas para *D. eleginoides*, además de numerosas especies de alto nivel trófico (e.g. condrictios, osteictios), alterando de este modo la estructura comunitaria de las AFM.

Sobre la base de los resultados obtenidos se postula entonces que: las AFM efectivamente constituyen áreas de agregación de los bacalao de profundidad, en donde el beneficio directo encontrado por *D. eleginoides*, así como la fauna acompañante, podría estar vinculado a la mayor disponibilidad de presas y refugios asociados a la presencia de arrecifes de carbonatos autigénicos y especies bioingenieras (Figs. 5a y 5b). La presencia de numerosos aparejos de pesca observados en estos sitios (Figs. 5c y 5d) reafirma la idea de que estas zonas son frecuentemente explotadas por flotas pesqueras. Si bien, para una especie de gran tamaño como el bacalao, la disponibilidad de refugio tal vez no sea un factor de gran importancia, es muy probable que sí lo sea para sus potenciales presas (macrúridos y móridos) (Arkhipkin *et al.*, 2003), las cuales se encuentran en mayor abundancia en las AFM, en comparación a la zona control sin filtración de metano (Sellanes *et al.*, 2008). Por lo tanto, la agregación de individuos en las AFM respondería principalmente a la importante disponibilidad de presas en estos sitios, lo cual le permitiría a *D. eleginoides* optimizar el esfuerzo invertido en capturar

sus presas, principalmente en la fase de crecimiento previa al período reproductivo de la especie.

CONCLUSIONES

Los resultados generados en este estudio ayudan a comprender la importancia de las AFM para especies de interés comercial como el bacalao de profundidad. Dichos resultados indican que las AFM son sitios de agregación para esta especie, la cual utilizaría estos sitios posiblemente con fines alimenticios. Por otra parte, por constituir focos de abundancia, diversidad y de pesca de especies de alto valor comercial, estos sitios son vulnerables a sufrir importantes impactos antropogénicos. A esto se agrega además, potenciales impactos causados por la eventual explotación a futuro de los yacimientos de hidrocarburos asociados a ellos. Es así que, la localización de las AFM, el catastro de su fauna y el estudio de su estructura y funcionamiento serán aspectos de gran importancia para el establecimiento de potenciales áreas claves para la conservación y manejo del ecosistema batial en particular, para estos puntos de elevada abundancia y diversidad de fauna que, a su vez, es en gran parte endémica de este tipo de ambientes.

AGRADECIMIENTOS

Las actividades de terreno y laboratorio de este trabajo fueron financiados por el proyecto FONDECYT 1061217. Apoyo adicional durante la preparación del manuscrito y la participación en el crucero a bordo del R/V Sonne (SO 210), se obtuvo por parte del proyecto FONDECYT 1100166, ambos proyectos otorgados a JS. El crucero a bordo del R/V Sonne fue financiado por el "Collaborative Research Center (SFB) 574 ('Volatiles and Fluids in Subduction Zones') financiado por el DFG, Contribución No. 214. Agradecemos al Sr. Francisco Valdés por su colaboración en el procesamiento de las imágenes submarinas obtenidas en el crucero SO 210, así como a dos revisores anónimos por sus sugerencias. Nuestro agradecimiento también al Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Suroriental (COPAS), por el apoyo a GZ-H durante la elaboración del manuscrito. MJP agradece a EPOMAR – UdeC por el apoyo en la realización de las campañas de pesca.

REFERENCIAS

- Arana, P. & R. Vega. 1999. Exploratory fishing for *Dissostichus* spp. in the Antarctic region (Subareas 48.1, 48.2 and 88.3). CCAMLR Science, 6: 1-17.
- Arana, P. 2009. Reproductive aspects of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*), off southern Chile. Lat. Am. J. Aquat. Res., 37: 381-394.

- Arkipkin, A., P. Brickle & V. Laptikhovsky. 2003. Variation in the diet of the Patagonian toothfish with size, depth and season around the Falkland Islands. *J. Fish Biol.*, 63: 428-441.
- Carney, R.S. 1994. Consideration of the oasis analogy for chemosynthetic communities at Gulf of Mexico hydrocarbon vents. *Geo-Mar. Lett.*, 14: 149-159.
- Cortés, E. 1997. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 54: 726-738.
- Cubillos, L.A., D.A. Bucarey & M. Canales. 2002. Monthly abundance estimation for common sardine *Strangomera bentincki* and anchovy *Engraulis ringens* in the central-southern area off Chile (34-40°S). *Fish. Res.*, 57: 117-130.
- Drazen, J.C., S.K. Goffredi, B. Schlining & D.S. Stakes. 2003. Aggregations of egg-brooding deep-sea fish and cephalopods on the Gorda Escarpment: a reproductive hot spot. *Biol. Bull.*, 205: 1-7.
- Fischer, W. & J. Hureau. 1985. FAO species identification sheets for fishery purposes. Southern Ocean (Fishing Areas 48, 58 and 88) (CCAMLR Convention Area). Prepared and published with the support of the Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources. FAO, Vol. 1-2: 470 pp.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper & P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.*, 4: 1-9.
- Hyslop, J. 1980. Stomach contents analysis: a review of methods and their application. *J. Fish Biol.*, 17: 411-429.
- Levin, L. 2005. Ecology of cold seep sediments: interactions of fauna with flow, chemistry and microbes. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 43: 1-46.
- Levin, L. & P. Dayton. 2010. Ecological theory and continental margins: where shallow meets deep. *Trends Ecol. Evol.*, 24: 606-617.
- MacAvoy, S.E., R.S. Carney, C.R. Fisher & S.A. Macko. 2002. Use of chemosynthetic biomass by large, mobile, benthic predators in the Gulf of Mexico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 225: 65-78.
- Moller, P.R., J.G. Nielsen & I. Fossen. 2003. Fish migration: Patagonian toothfish found off Greenland. *Nature*, 421: 599.
- Murrillo, C., C. Oyarzún & I. Fernández. 2008. Variación latitudinal y estacional en la dieta de *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898 (Perciformes: Nototheniidae) en ambientes profundos de la costa centro-sur de Chile. *Gayana*, 72: 94-101.
- Oyarzún, C., S. Gacitúa, M. Araya, L. Cubillos, R. Galleguillos, C. Pino, G. Aedo, M. Salamanca, M. Pedraza & J. Lamilla. 2003. Monitoreo de la pesquería artesanal de bacalao de profundidad entre la VIII y XI regiones. Informe Final, Proyecto FIP N°2001-16: 247 pp.
- Paull, C.K., B. Hecker, R. Commeau, R.P. Freeman-Lynde, C. Neumann, W.P. Corso, S. Golubic, J.E. Hook, E. Sikes & J. Curray. 1984. Biological communities at the Florida escarpment resemble hydrothermal vent taxa. *Science*, 226: 965-967.
- R. Development Core Team. 2009. R: A Language and environment for statistical computing. R. Foundation for Statistical Computing, Vienna. Available at: <http://www.r-project.org/>. Revisado: 5 enero 2012.
- Rubilar, P., C. Moreno & A. Zuleta. 1999. Edad y crecimiento de *Dissostichus eleginoides* (Pisces: Nototheniidae) en la costa centro sur de Chile (38°19' a 43°S). *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 72: 285-296.
- Salas, R., H. Robotham & G. Lizama. 1987. Investigación de bacalao de profundidad VII Región. Inf. Tec. IFOP/SERPLAC Región del Biobío, 107 pp.
- Sellanes, J. & E. Krylova. 2005. A new species of *Calyptogena* (Bivalvia: Vesicomidae) from a recently discovered methane seepage area off Concepcion Bay, Chile (~36°S). *J. Mar. Biol. Assoc. UK.*, 85: 969-976.
- Sellanes, J., E. Quiroga & C. Neira. 2008. Megafauna community structure and trophic relationships at the recently discovered Concepción methane seep area, Chile, 36°S. *ICES J. Mar. Sci.*, 65: 1102-1111.
- Sellanes, J., E. Quiroga & V.A. Gallardo. 2004. First direct evidences of methane seepage and associated chemosynthetic communities in the bathyal zone off Chile. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 84: 1065-1066.
- Stuardo, J. & C. Valdovinos. 1988. A new bathyal *Calyptogena* from off the coast of central Chile (Bivalvia: Vesicomidae). *Venus*, 47: 241-250.
- Treude, T., S. Kiel, P. Linke, J. Peckmann & J.L. Goedert. 2011. Elasmobranch egg capsules associated with modern and ancient cold seeps: a nursery for marine deep-water predators. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 437: 175-181.
- Vanreusel, A., A. Andersen, A. Boetius, D. Connelly, M. Cunha, C. Decker, A. Hilario, K. Kormas, L. Maignien, K. Olu, M. Pachiadaki, B. Ritt, C. Rodrigues, J. Sarrazin, P. Tyler, S. Van Gaever & H. Vanneste. 2009. Biodiversity of cold seep ecosystems along the European margins. *Oceanography*, 22: 110-127.
- Young, Z., J. Oliva, A. Olivares & E. Díaz. 1999. Aspectos reproductivos del recurso bacalao de

profundidad en la I a X Regiones. Informe Final,
Proyecto FIP-IT/97-16: 101 pp.

Zar, J.H. 1996. Biostatistical analysis. Prentice-Hall,
New Jersey, 988 pp.

Received: 18 January 2012; Accepted: 30 October 2012