

## Preservación y abundancia de escamas de peces en sedimentos del margen continental de Chile (21-36° S)

### Fish scale preservation and abundance in sediments from the continental margin off Chile (21-36° S)

JAVIER A. DÍAZ-OCHOA<sup>1,2,\*</sup>, CARINA B. LANGE<sup>2</sup> & GERT J. DE LANGE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Postgrado en Oceanografía, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile

<sup>2</sup> Departamento de Oceanografía y Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur Oriental, FONDAP-COPAS, Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile

<sup>3</sup> Department of Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Utrecht University, Budapestlaan 4, 3584 CD, Utrecht, The Netherlands

\* e-mail para correspondencia: jadiaz@udec.cl

#### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la relación entre la preservación de escamas de peces y las variaciones en las condiciones redox en sedimentos del margen continental de Chile, este trabajo presenta recuentos de escamas de peces y concentraciones normalizadas de elementos redox sensibles (Mo/Al, S/Al, Fe/Al) en ocho testigos de sedimento recolectados en la zona de mínimo oxígeno frente a Chile (Iquique: 20°15' S, bahía de Mejillones: 23° S y Concepción: 36° S). En el norte de Chile (Iquique y Mejillones) predominan las escamas de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de peces de la familia Myctophidae (media = 90 y 120 escamas 1.000 cm<sup>-3</sup>, respectivamente) mientras que en Chile centro-sur (Concepción) son más abundantes las escamas de jurel (*Trachurus murphy*; media = 140 escamas 1.000 cm<sup>-3</sup>). La abundancia de escamas de merluza común (*Merluccius gayi gayi*) y de sardina (*Sardinops sagax*) es aproximadamente un orden de magnitud más baja que la de anchoveta o jurel. En general, los valores más altos y los rangos más amplios de variación en las razones Mo/Al, S/Al y Fe/Al se encuentran en Mejillones (Mo/Al ~0,8-12 mg g<sup>-1</sup>, S/Al 0,2-4,6 g g<sup>-1</sup>, Fe/Al 0,3-0,7 g g<sup>-1</sup>) seguidos por Iquique (Mo/Al ~0,2-1,8; S/Al 0,2-0,7, Fe/Al 0,5-0,8), mientras que Concepción revela valores más bajos y poco variables (Mo/Al ~0,07, S/Al ~0,15 y Fe/Al ~0,5). La razón Mo/Al, utilizada como indicador de paleo-oxigenación, permite inferir condiciones reductoras relativamente más intensas en los sedimentos de la Bahía de Mejillones e Iquique que en Concepción. En las tres localidades de muestreo se evidencia una asociación estadísticamente significativa entre la abundancia de escamas de anchoveta y el logaritmo de la razón Mo/Al ( $r^2 = 0,46$ ;  $P < 0,0001$ ), apuntando a una dependencia entre estas variables. En especial, para razones Mo/Al < 1 mg g<sup>-1</sup>, pequeños cambios en las condiciones redox pueden afectar considerablemente la preservación de escamas en el sedimento, mientras que esta dependencia tiende a minimizarse para razones Mo/Al  $\geq 1$  mg g<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** escamas de peces, sistema corriente de Humboldt, sedimentos, elementos redox-sensibles, molibdeno.

#### ABSTRACT

The relationship between fish scale preservation and variations in the sediment redox conditions on Chile's continental shelf are evaluated herein through fish scale counts and normalized concentrations of redox sensitive elements (Mo/Al, S/Al, Fe/Al) using eight sediment cores taken from sites under the influence of the oxygen minimum zone off Chile (Iquique: 20°15' S, Mejillones Bay: 23° S, Concepción: 36° S). Off northern Chile (Iquique and Mejillones), fish scales from anchovy (*Engraulis ringens*) and the Myctophidae family are dominant (mean = 90 and 120 scales 1,000 cm<sup>-3</sup>, respectively), whereas off central-southern Chile (Concepción), jack mackerel (*Trachurus murphy*) scales are the most abundant (mean = 140 scales 1,000 cm<sup>-3</sup>). The abundance of hake (*Merluccius gayi gayi*) and sardine (*Sardinops sagax*) scales is approximately one order of magnitude lower than that of anchovy or jack mackerel. In general, the highest values and widest ranges of variation in the Mo/Al, S/Al, and Fe/Al ratios are found in Mejillones (Mo/Al ~ 0.8-12 mg g<sup>-1</sup>, S/Al 0.2-4.6 g g<sup>-1</sup>, Fe/Al 0.3-0.7 g g<sup>-1</sup>), followed by Iquique (Mo/Al ~ 0.2-1.8, S/Al 0.2-0.7, Fe/Al 0.5-0.8); Concepción has lower, less variable values (Mo/Al ~ 0.07, S/Al ~ 0.15, Fe/Al ~ 0.5). According to the Mo/Al

ratio, used as an indicator of paleo-oxygenation, reducing conditions in the Mejillones Bay and Iquique sediments are relatively more intense than in those off Concepción. At all three sampling sites, the relationship between the abundance of anchovy scales and the logarithm of the Mo/Al ratio is statistically significant ( $r^2 = 0.46$ ,  $P < 0.0001$ ), indicating a dependence between these two variables. In particular, for Mo/Al  $< 1 \text{ mg g}^{-1}$ , small changes in the redox conditions can affect considerably scale preservation in the sediment, whereas this dependence decreases with Mo/Al  $\geq 1 \text{ mg g}^{-1}$ .

**Key words:** fish scales, Humboldt Current System, sediments, redox-sensitive elements, molybdenum.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de escamas preservadas en sedimentos tiene un gran potencial como herramienta para reconstruir la abundancia de peces en sistemas de límite oriental altamente productivos como la Corriente de California (Soutar 1966, Soutar & Isaacs 1969, 1974, Baumgartner et al. 1992, Holmgren-Urba & Baumgartner 1993, O'Connell & Tunnicliffe 2001, Tunnicliffe et al. 2001, Patterson et al. 2005), la Corriente de Benguela (Shackleton 1987), y la Corriente Perú-Chile o Corriente de Humboldt (DeVries & Percy 1982, Schwartzlose et al. 1999, Milessi et al. 2005, Gutiérrez et al. 2006<sup>1</sup>). Los estudios de Soutar (1966), Soutar & Isaacs (1969, 1974) y Baumgartner et al. (1992) han permitido la reconstrucción de 1.700 años de historia de abundancia de peces pelágicos tales como la anchoveta californiana (*Engraulis mordax* Girard 1854) y la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax* Jenyns 1842), a partir de escamas en los sedimentos laminados de la cuenca de Santa Bárbara (California). Por su parte, en la Corriente Perú-Chile, este tipo de estudios han permitido establecer que frente a Perú la anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns 1842) ha sido la especie de pez pelágico más abundante durante los últimos 12.000 años (DeVries & Percy 1982). No obstante, a lo largo de la costa peruana, los sedimentos de la plataforma y el talud presentan con frecuencia discontinuidades (“slumps”), alta bioperturbación aun con bajos niveles de

oxigenación (Kim & Burnett 1988) y significativas variaciones espaciales en la preservación de escamas (DeVries & Percy 1982) dificultado la interpretación de la señal de abundancia de peces en el registro.

Frente a Chile, son escasos los estudios que han utilizado las escamas de peces en reconstrucciones paleoceanográficas. Por ejemplo, se ha demostrado que en los sedimentos laminados de la bahía de Mejillones (norte de Chile), en forma similar a lo observado frente a Perú central, predominan las escamas de anchoveta y en considerable menor proporción las escamas de jurel (*Trachurus murphyi* Nichols 1920) y sardina (Ortlieb et al. 1994, 2000). Recientemente, otro estudio realizado en la bahía de Mejillones ha establecido que la disolución de escamas es baja en sedimentos superficiales a profundidades de agua  $> 50 \text{ m}$  caracterizados por bajas concentraciones de oxígeno ambiental (Valdés et al. 2008).

Es evidente que para poder llevar a cabo reconstrucciones paleoecológicas es indispensable incrementar el conocimiento sobre los factores que gobiernan la preservación de escamas en el sedimento (i.e., producción de peces en la columna de agua, tiempo transcurrido entre la liberación de escamas y su depositación en el fondo marino, tasas de sedimentación, concentración de oxígeno en el agua de fondo, resistencia de las escamas a la fragmentación; Schenau & De Lange 2000, Patterson et al. 2002). Teniendo en cuenta que a lo largo del margen chileno las variaciones en las condiciones redox del sedimento pueden ser el factor primordial en la preservación de escamas, este trabajo tiene por objetivo general analizar las variaciones espaciales y en función de profundidad de testigo del contenido de escamas en tres localidades ubicadas dentro de la zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) en el norte (Iquique y Bahía de Mejillones) y el centro sur de Chile (Concepción). La ZMO frente a

<sup>1</sup> GUTIÉRREZ D, D FIELD, R SALVATTECI, T BAUMGARTNER, J DÍAZ-OCHOA, F VELAZCO, L ORTLIEB, A SIFEDDINE, P TAPIA, CB LANGE, V FERREIRA, G VARGAS (2006) Decadal to centennial variability of the Peruvian upwelling ecosystem during the last centuries as inferred from fish scale deposition rates of anchovy and other marine sediment records. En: Proceedings of the International Conference “The Humboldt Current System”. Lima (Perú), 27 de noviembre al 1 de diciembre de 2006.

Chile presenta gradientes de intensidad y extensión que abarcan desde una ZMO permanente y relativamente somera en el norte de Chile a una ZMO más profunda y bien formada solo en primavera-verano en el centro sur (e.g., Paulmier et al. 2006). Considerando el amplio rango latitudinal incluido en las muestras utilizadas, se espera observar patrones espaciales en el contenido de escamas en el sedimento en función de la intensidad de la ZMO. Para evaluar las condiciones de oxigenación se utilizan principalmente mediciones de Mo en el sedimento. Este elemento traza redox-sensible ha ganado recientemente aceptación como indicador de paleo-oxigenación en sedimentos ricos en carbono orgánico (e.g., Nameroff et al. 2004, Meyers et al. 2005, Dean et al. 2006).

A continuación se hace una breve revisión de los factores que potencialmente afectan la preservación de restos de peces en ambientes pobres en oxígeno.

#### *Preservación de escamas y huesos de peces*

El principal constituyente inorgánico de los huesos y escamas de peces es la apatita biogénica o hidroxiapatita, la cual se encuentra ensamblada en una matriz orgánica de colágeno que impide su inmediata disolución (e.g., Soutar 1966). Sin embargo, debido a que este compuesto se encuentra insaturado en el océano (e.g., Schenau & De Lange 2000) una vez que los peces mueren o las escamas son liberadas por las especies con escamas deciduas, las mismas tienden a disolverse rápidamente en la columna de agua y el sedimento superficial. La alta solubilidad de la apatita biogénica se explica además por la forma irregular y superficie relativamente grande de sus cristales (Schenau & De Lange 2000). No obstante, cuando los restos de peces alcanzan el fondo marino los grupos hidroxilo eventualmente son sustituidos por flúor durante la diagénesis transformándose en carbonato de fluorapatita (i.e., apatita autigénica) que es más resistente a la degradación (Schenau & De Lange 2000).

Estudios realizados en áreas de afloramiento revelan que la cantidad de restos de peces acumulados en los sedimentos aumenta a profundidades de agua  $\leq 600$  m (e.g., en la cuenca de Santa Bárbara: Soutar & Isaacs 1974, Baumgartner et al. 1992; en Perú central: DeVries & Percy 1982; en el norte del mar

Arábigo: Schenau & De Lange 2000). Este rango de profundidad de agua coincide con la ubicación de los núcleos de las ZMO en los principales sistemas de límite oriental del océano mundial (e.g., Helly & Levin 2004), razón por la cual se piensa que las condiciones subóxicas/anóxicas son el principal factor que determina la preservación de escamas (e.g., Soutar 1966). No obstante es de notar, por ejemplo, que algunos estudios llevados a cabo en el margen peruano sugieren que la abundancia de restos de peces desempeña un papel importante en la regulación del flujo de fosfato en el agua intersticial, así como en la formación de apatita autigénica (Suess 1981). A diferencia de la escala global, en la cual la apatita biogénica es un sumidero insignificante de fósforo reactivo, en las ZMO este mecanismo es potencialmente más importante (e.g., Schenau & De Lange 2000). Una fracción significativa del fósforo asociado con restos de peces puede ser regenerada en las primeras fases de la diagénesis, siendo este proceso potencialmente afectado por las condiciones redox del agua de fondo y del agua intersticial (Schenau & De Lange 2000, Slomp et al. 2002). Es de esperar que durante la diagénesis subóxica (desnitrificación, reducción del Mn y del Fe) y anóxica (reducción del sulfato) no se produzca acidez en el sedimento si el  $H_2S$  es consumido para formar pirita ( $FeS_2$ ), con lo cual se desfavorece la disolución de restos de peces. Igualmente, los niveles de fosfato procedentes de la descomposición de materia orgánica en estos ambientes suelen ser elevados y por consiguiente tienden a disminuir la solubilidad de la apatita biogénica (Schenau & De Lange 2000).

#### *Características de los sedimentos en el área de estudio*

En el margen Perú-Chile, entre los diferentes tipos de material biogénico exportado hacia el lecho marino se encuentran abundantes restos de peces (e.g., Perú<sup>1</sup>: DeVries & Percy 1982, Schwartzlose et al. 1999, bahía de Mejillones: Ortlieb et al. 1994, 2000, norte y centro de Chile: Milessi et al. 2005) y fosforitas tanto frente a Perú (e.g., Burnett 1977, Froelich et al. 1988, Kudrass et al. 2002) como frente a Chile (e.g., Burnett 1977, Baturin 2002). Los sedimentos sobre la plataforma continental de Iquique constan de abundante detrito orgánico,

restos de peces y nódulos de fosforita pobremente consolidados (Muñoz et al. 2004), mientras que el contenido de ópalo biogénico varía entre 2 y 16 % (Sánchez et al. 2004<sup>2</sup>). Más hacia el sur, en la bahía de Mejillones, los sedimentos se acumulan conformando láminas claras y oscuras de coloración oliva-claro a oliva-oscuro muy ricas en carbono orgánico (2-6 > %) y en ópalo biogénico (> 36-65 %) (Vargas et al. 2004). En esta localidad se encuentran también restos de huesos fosfatados y escamas de peces (Ortlieb et al. 2000). Frente a Concepción, los sedimentos son de color oliva grisáceos, con niveles de materia orgánica total > 10 % (Gutiérrez et al. 2000) equivalente a 3-5 % de carbono orgánico (Muñoz et al. 2007); el ópalo biogénico fluctúa entre 5 y 11 % (Contreras et al. 2007). En la actualidad se cuenta con muy pocos antecedentes acerca de la presencia de restos de peces en Chile centro sur, habiéndose solamente informado la ocurrencia de huesos y escamas frente a Concepción (36° S) entre 120 y 300 m de profundidad de agua (Milessi et al. 2005).

#### MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis realizados en este trabajo se basan en ocho testigos de sedimento recolectados en tres localidades al norte y centro-sur de Chile (Tabla 1) durante diferentes cruceros oceanográficos organizados por el Centro FONDAP-COPAS de la Universidad de Concepción entre 2002 y 2005 (Fig. 1). Los testigos se seccionaron en intervalos de 0,5-1 cm (Mejillones e Iquique) y de 2 cm (Concepción). Una vez cortados, las muestras de sedimento húmedo fueron guardadas en bolsas plásticas selladas y mantenidas a 4 °C para su posterior análisis en el laboratorio.

#### *Análisis químico*

Aproximadamente un cuarto en peso húmedo de las muestras fue liofilizado y reservado para

este análisis. Se pesaron alrededor de 125 mg de sedimento liofilizado para someterlos a destrucción total con una mezcla de ácidos fuertes (HClO<sub>4</sub> al 72 %, HNO<sub>3</sub> al 4,5 % y HF al 48 %) y posteriormente determinar la concentración de elementos con un espectrómetro de plasma acoplado inducido de emisión óptica (ICP-OES Perkin Elmer Optima 3000). Estas determinaciones se llevaron a cabo en el laboratorio de geoquímica marina de la Universidad de Utrecht (Holanda) siguiendo la metodología recomendada por Schenau & De Lange (2000). Se seleccionaron cuatro testigos para estos análisis (RhC-1, MUC-1B, BX-2 y BX-3, Tabla 1). En el presente trabajo se entregan los resultados correspondientes a los elementos S, Mo y Fe que son indicadores del estado redox del sedimento debido a su asociación con las reacciones de reducción de sulfato (e.g., Meyers et al. 2005, Dean et al. 2006).

Teniendo en cuenta que las muestras en su mayoría fueron tomadas sobre la plataforma continental (solo el testigo RhC-1 fue recolectado en el talud) la concentración de elementos fue normalizada dividiendo por el contenido de Al (determinado también por destrucción total) para corregir por el ingreso de material terrígeno.

#### *Recuentos de escamas*

Los restantes <sup>3</sup>/<sub>4</sub> de muestra húmeda se filtraron con tamices de 250, 150 y 63 μm. Solo en la fracción > 250 μm se encontraron escamas no fragmentadas identificables a nivel de especie y/o familia, siendo estos resultados los únicos que se presentan en este trabajo. Para la identificación de escamas se utilizó una lupa binocular Olympus SZ40 y se comparó su morfología con material fresco y claves fotográficas (Patterson et al. 2002). La abundancia de escamas se calculó dividiendo los recuentos de cada muestra por su volumen de sedimento húmedo, expresando los resultados en unidades de número por 1.000 cm<sup>3</sup>. Para estimar el volumen de la muestra se multiplicó el área interna del tubo colector (Tabla 1) por el grosor de corte de cada losa de sedimento (0.5-1 o 2 cm). Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Paleooceanografía de la Universidad de Concepción.

<sup>2</sup> SÁNCHEZ G, C LANGE, P MUÑOZ & R CASTRO (2004) Composición y abundancia de diatomeas y silicoflagelados en sedimentos costeros de Iquique (Norte de Chile), durante el pasado reciente. Memorias del XXIV Congreso de Ciencias del Mar, Coquimbo (Chile), 17-20 de mayo de 2004.

TABLA 1

Localidades de muestreo, testigos recolectados, tipo de colector, tasas de sedimentación y análisis efectuados en los sedimentos recolectados

Sampling sites, cores and coring devices, sedimentation rates, and type of analyses performed

Localidad	Posición	Z (m)	Testigo	Largo del del testigo (cm)	Área colector (cm <sup>2</sup> )	TS (cm año <sup>-1</sup> )	Tipo de análisis
Iquique	20°15' S, 70°16' O	291	RhC-1	41	43,0	-	Escamas y ET
	20°14' S, 70°12' O	100	BX-1	35	45,8	0,10 <sup>(1)</sup>	Escamas
Mejillones	23°03' S, 70°27' O	93	MUC-1A	30	35,3	0,16 <sup>(2)</sup>	Escamas
	23°03' S, 70°27' O	93	MUC-1B	25	70,9	0,16	ET
Concepción (Estación 26)	36°26' S, 73°23' O	120	MUC-2	32	70,9	0,09-0,15 <sup>(1)</sup>	Escamas
	36°26' S, 73°23' O	120	BX-2	31	95,0	0,09-0,15 <sup>(1)</sup>	Escamas y ET
	36°26' S, 73°23' O	120	MUC-3	26	70,9	0,09-0,15 <sup>(1)</sup>	Escamas
	36°26' S, 73°23' O	120	BX-3	36,5	95,0	0,09-0,15 <sup>(1)</sup>	ET

RhC = Rhumor corer, BX = Box corer, MUC = Multicorer, Z = profundidad de agua, TS = tasa de sedimentación lineal, ET = elementos traza. <sup>(1)</sup>Muñoz et al. (2004) y <sup>(2)</sup>Vargas et al. (2004).

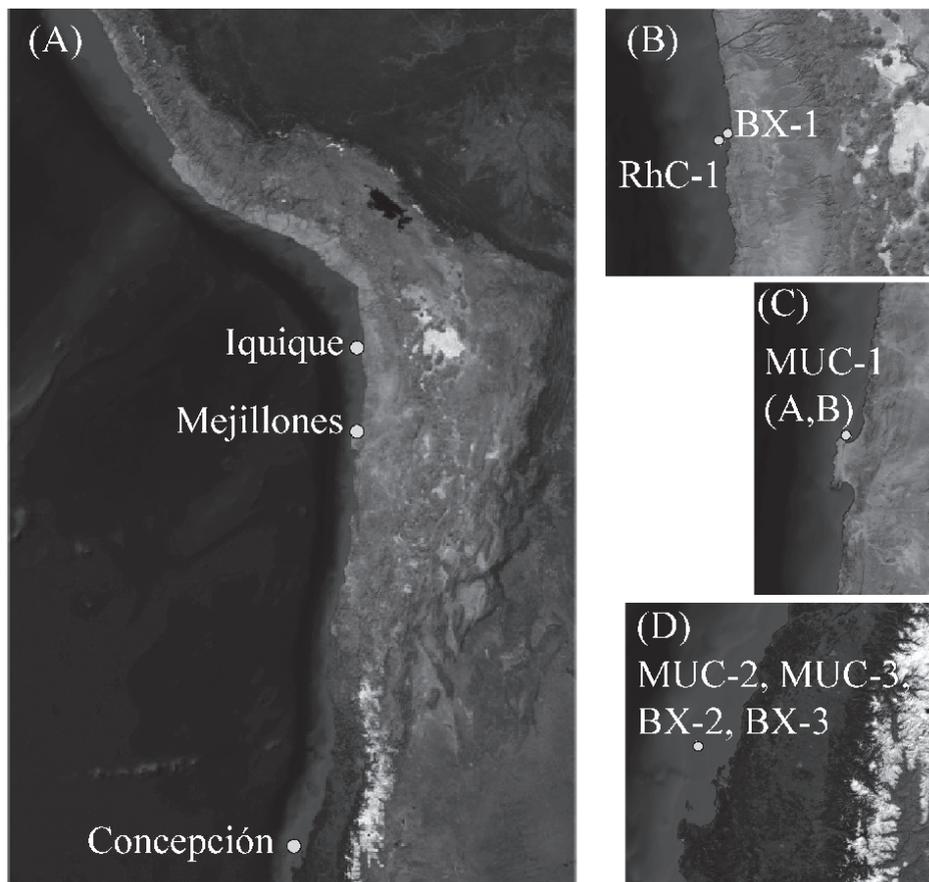


Fig. 1: Áreas de estudio frente a Chile (A), mostrando las localidades de muestreo sobre el talud y plataforma frente a Iquique (B), bahía de Mejillones (C) y plataforma continental frente a Concepción (D).

Study area off Chile (A), sampling locations on the slope and shelf off Iquique (B), Mejillones Bay (C), and continental shelf off Concepción (D).

### Procesamiento de la información

Se graficaron los diferentes indicadores en función de la profundidad de testigo para Iquique, Mejillones y Concepción. Debido a la persistencia en el sedimento de señales de alta frecuencia se calcularon promedios entre muestras contiguas en intervalos de 6 cm. Este procedimiento es, en cierta medida, análogo a la utilización de filtros de frecuencias pasa-baja en los análisis de series de tiempo (e.g., Emery & Thompson 2001). Para realizar comparaciones entre sitios de muestreo, los recuentos de escamas de las diferentes especies fueron integrados para los 24 cm analizados de cada testigo de sedimento, siendo utilizado este último intervalo para tener una visión general de la importancia relativa de las abundancias de escamas por especie en función del sitio de muestreo.

Con el fin de analizar los efectos de los cambios en las condiciones redox sobre la preservación de escamas se hizo un análisis de regresión lineal entre la abundancia de escamas y la razón Mo/Al. En este análisis se combinaron (1) mediciones del contenido de escamas y de la razón Mo/Al en un mismo testigo (RhC-1 y BX-2), (2) mediciones de ambas variables en testigos diferentes pero recolectados en el mismo lance (MUC-1A y MUC-1B), y (3) mediciones de ambas variables procedentes de la misma localidad pero con diferente fecha de recolección (BX-3, MUC-2 y MUC-3) (Tabla 1).

## RESULTADOS

### Escamas de peces

En los sedimentos recolectados frente a Mejillones, Iquique y Concepción, se encuentran abundantes escamas de anchoveta, jurel, merluza y sardina. Sobre el talud continental frente a Iquique y en la bahía de Mejillones se observan además cantidades apreciables de escamas pequeñas (~1 mm) identificadas como pertenecientes a miembros de la familia mesopelágica Myctophidae (Salvatecci R comunicación personal) (Fig. 2).

Los valores integrados de escamas en 24 cm de la columna de sedimento de cada testigo indican que las escamas de anchoveta y

mictófididos son más abundantes en Iquique y Mejillones (Fig. 2A y 2B) que en Concepción en donde predominan las escamas de jurel (Fig. 2C). Latitudinalmente, la abundancia de escamas de anchoveta y de mictófididos disminuye en sentido norte-sur siguiendo un patrón opuesto al del jurel mientras que, de la costa a mar abierto, las escamas de Myctophidae son considerablemente más abundantes sobre el talud (200 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ ) que en la plataforma continental frente a Iquique (10 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ , Fig. 2B). Por otra parte, la abundancia de escamas de merluza (Fig. 2D) y de sardina (Fig. 2E) es aproximadamente un orden de magnitud más baja que la de anchoveta o jurel. Con respecto al jurel la máxima abundancia de escamas se encuentra frente a Concepción (> 100 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ ) superando en aproximadamente un orden de magnitud los valores observados frente a Iquique o Mejillones (5-50 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ , Fig. 2C).

El análisis de las abundancias de escamas por intervalos de profundidad de sedimento (i.e., 0-6, 6-12, 12-18 y 18-24 cm) revela los siguientes patrones: (a) predominio de escamas de Myctophidae en el talud de Iquique (> 300 escamas  $100 \text{ cm}^{-3}$ , 0-12 cm, Fig. 3A) y en Mejillones (> 500 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ , 18-24 cm, Fig. 3C), (b) altas concentraciones de escamas de anchoveta (> 200 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ ) tanto en la plataforma continental frente a Iquique (6-12 cm, Fig. 3B) como en Mejillones (12-18 cm, Fig. 3C), (c) abundantes escamas de jurel sobre la plataforma frente a Concepción en profundidades de testigo  $\leq 12$  cm (100 a más de 300 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ , Fig. 3D) y en menor cantidad (< 100 escamas  $\text{cm}^{-3}$ ) en la plataforma frente a Iquique, en profundidades de testigo de 6 a 18 cm (Fig. 3B), (d) ausencia de escamas de jurel en todas las localidades estudiadas en profundidades de testigo > 18 cm (Fig. 3).

Entre las escamas de otras especies con menor representación las de merluza común (*Merluccius gayi gayi* Guichenot 1848) son más abundantes frente a Concepción a profundidades de testigo < 12 cm (40-70 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ , Fig. 3D) y en el talud frente a Iquique a profundidades > 12 cm (40 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ , Fig. 3A). Por otra parte, las escamas de sardina son más abundantes sobre la plataforma continental de Iquique entre 12 y 24 cm (25-40 escamas  $1.000 \text{ cm}^{-3}$ , Fig. 3B).

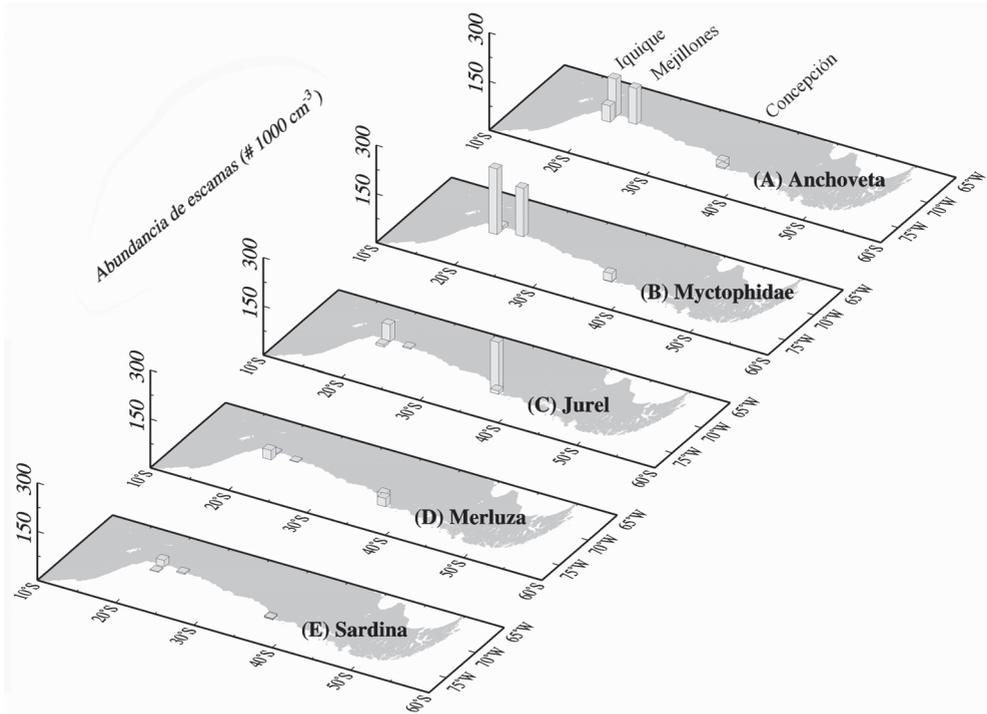


Fig. 2: Distribución latitudinal de las abundancias de escamas por especie promediadas entre 0 y 24 cm de profundidad de testigo: (A) anchoveta, (B) Myctophidae, (C) jurel, (D) merluza y (E) sardina.

Latitudinal distribution of average fish scales abundance by species between 0 and 24 cm depth in core: (A) anchovy, (B) Myctophidae, (C) jack mackerel, (D) hake, and (E) sardine.

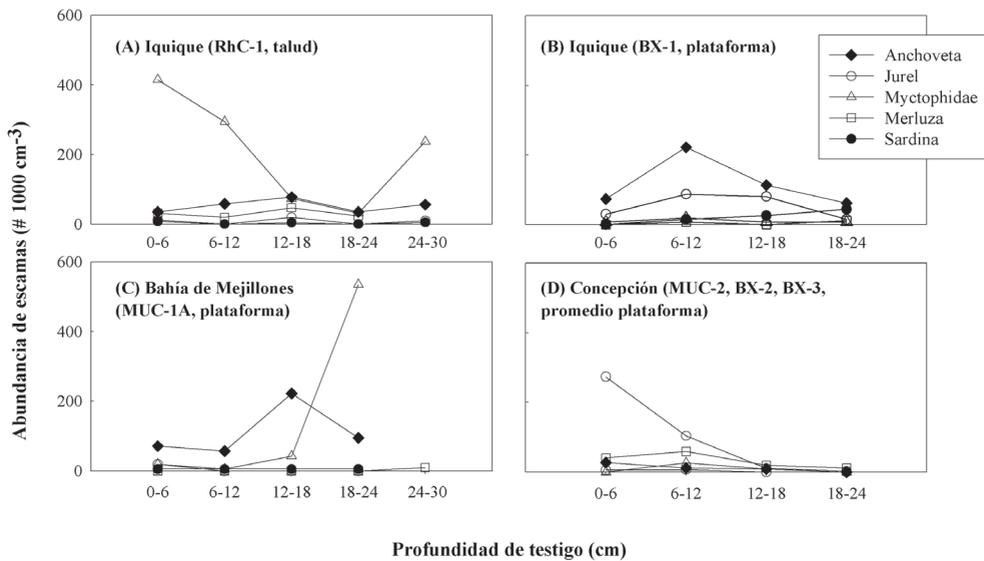


Fig. 3: Abundancias de escamas promediadas en intervalos de 6 cm de profundidad de testigo en Iquique (A, B), Mejillones (C) and Concepción (D) (para esta última localidad las abundancias corresponden al promedio de los tres testigos de sedimento analizados).

Fish scale abundance averaged over 6 cm core depth intervals in Iquique (A, B), Mejillones (C) and Concepción (D) (for the last location the abundances correspond to averages of the three sediment cores analyzed).

### *Elementos redox-sensibles*

Las razones Mo/Al y S/Al y en cierta medida Fe/Al presentan valores característicos para cada área de muestreo (Fig. 4). En general, los valores más altos y los rangos más amplios de variación se encuentran en Mejillones (Mo/Al: 0,8-12 mg g<sup>-1</sup>; S/Al: 0,2-4,6 g g<sup>-1</sup>; Fe/Al: 0,3-0,7 g g<sup>-1</sup>) seguidos por Iquique (Mo/Al: 0,2-1,8; S/Al: 0,2-0,7; Fe/Al: 0,5-0,8), mientras que Concepción revela valores más bajos y poco variables oscilando alrededor de 0,07 para Mo/Al; 0,15 para S/Al y 0,5 para Fe/Al.

En función de la profundidad de testigo, en el talud de Iquique (RhC-1) las razones Mo/Al, S/Al y Fe/Al permanecen casi constantes en profundidades de testigo > 6 cm pero hacia la superficie las mismas prácticamente se duplican (Fig. 4A). Por su parte, en la bahía de Mejillones (MUC-1B) las razones Fe/Al y S/Al tienden a aumentar hacia la superficie a partir de los 12 cm de profundidad de testigo, mientras que la razón Mo/Al se mantiene constante en todos los intervalos excepto entre 6 y 12 cm de profundidad de testigo donde alcanza valores máximos (Fig. 4B). En cambio, frente a Concepción (testigos BX-2 y BX3) estas tres razones cambian poco en función de la profundidad de testigo (Fig. 4C).

El análisis de las correlaciones entre los elementos redox-sensibles por sitio de muestreo arroja los siguientes resultados: en el testigo RhC-1 del talud de Iquique, la variabilidad en la razón Mo/Al está íntimamente ligada con las razones Fe/Al y S/Al ( $r > 0,9$ ;  $P < 0,001$ ), (Fig. 4A). Por su parte, en el área de Mejillones (MUC-1B) existe una correlación significativa solo para las razones Mo/Al y S/Al ( $r = 0,85$ ;  $P < 0,001$ ), mientras que la relación Fe/Al exhibe una fuerte tendencia creciente hacia el presente, la cual es prácticamente independiente de las razones Mo/Al y S/Al ( $r \leq 0,33$ ;  $P > 0,05$ , Fig. 4B). En los testigos recolectados frente a Concepción (BX-2, BX-3) las razones Mo/Al, Fe/Al y S/Al tuvieron una fuerte correlación entre sí solamente en los 16 cm más superficiales del testigo BX-3 ( $r > 0,8$ ;  $P < 0,01$ ).

### *Razón Mo/Al y abundancia de escamas*

Con el fin de explorar la relación entre la abundancia de escamas y los cambios en

oxigenación inferidos a través de la razón Mo/Al (ver Introducción), se plantea un modelo estadístico de regresión escamas de anchoveta-Mo/Al (Fig. 5A). Solo se consideran las escamas de esta especie dado que son las únicas bien representadas en las tres áreas de muestreo. Si bien el ajuste de un modelo de regresión lineal simple es significativo ( $r^2 = 0,34$ ;  $P = 0,023$ ) una transformación logarítmica de la razón Mo/Al aumenta substancialmente el coeficiente de determinación de dicha regresión ( $r^2 = 0,46$ ;  $P < 0,0001$ ; Tabla 2). Así, en la Fig. 5A se ve claramente que sedimentos con altas razones Mo/Al (e.g., Mejillones) contienen una mayor abundancia de escamas de anchoveta. Una relación no lineal como la establecida revela que la variación en la abundancia de escamas de anchoveta ( $dy/dx$ , Fig. 5B) es considerablemente más elevada para razones Mo/Al  $\leq 0,1$  mg g<sup>-1</sup>, mientras que la curva tiende a estabilizarse alrededor de valores mínimos para razones Mo/Al  $\geq 1$  mg g<sup>-1</sup> (Fig. 5B).

## DISCUSIÓN

### *Abundancia de escamas*

En general, los patrones latitudinales de abundancia de escamas en las diferentes localidades muestreadas indican que la anchoveta y los mictófidios son las especies más importantes en el norte de Chile, en tanto que el jurel predomina en la zona centro-sur (Fig. 2). Estos resultados coinciden con las series históricas de desembarques para Perú y Chile (e.g., Serra 1983, Arcos et al. 2001, Zuzunaga 2002) y con resultados de cruceros de investigación pesquera (e.g., Sielfeld et al. 1995, Sielfeld & Kawaguchi 2004). A su vez, un análisis detallado de los sedimentos por intervalos de profundidad (dimensión temporal) revela importantes fluctuaciones en la abundancia de escamas de estas especies en el pasado (Fig. 3) que se discuten a continuación. La baja representatividad de las escamas de sardina y merluza común en los sitios de muestreo (Fig. 2D y 2E) impide establecer patrones claros para estas especies por lo que no serán incluidas en la discusión.

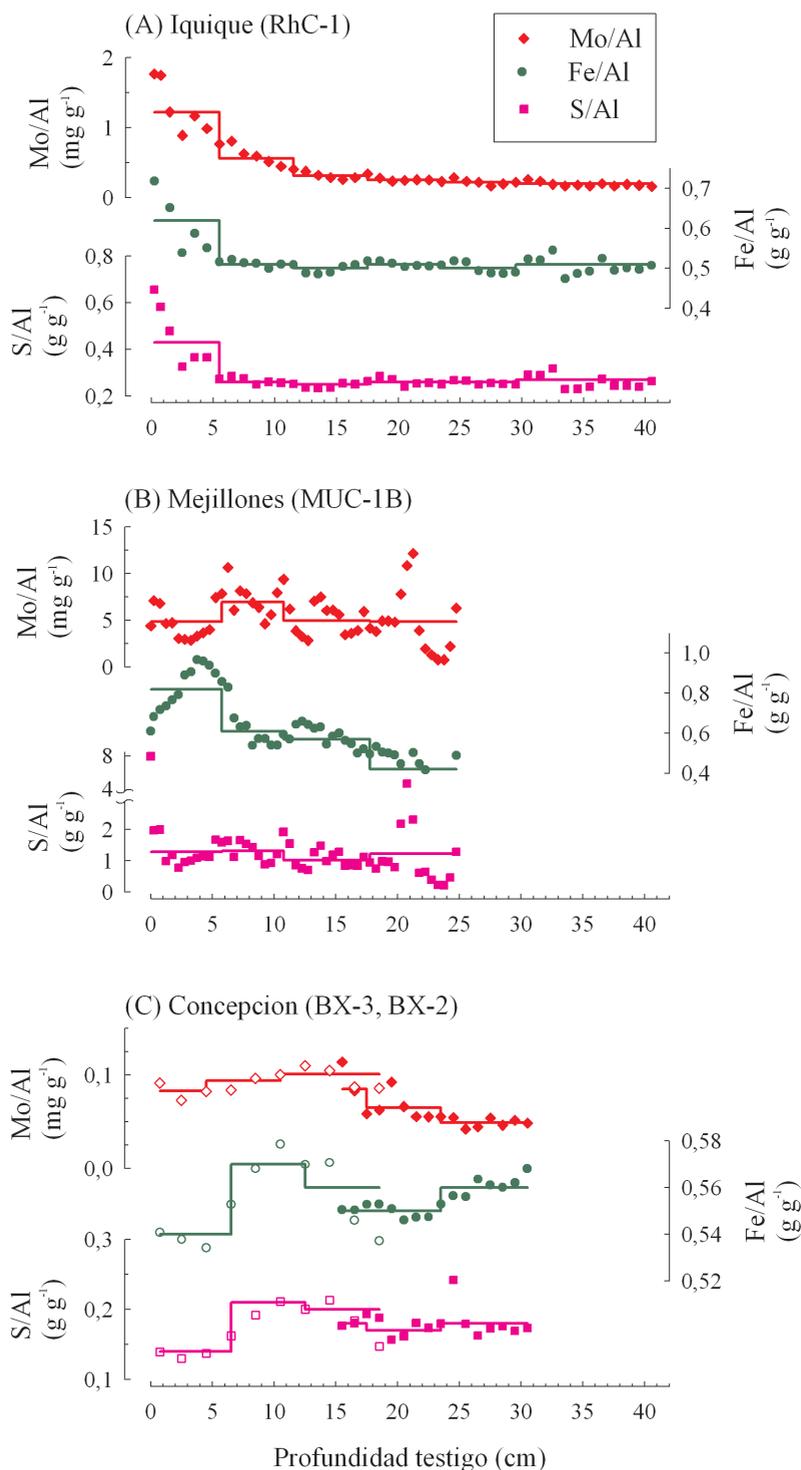


Fig. 4: Relaciones Mo/Al, Fe/Al y S/Al en sedimentos de (A) Iquique (testigo RhC-1), (B) Bahía de Mejillones (testigo MUC-1B) y (C) Concepción (testigos BX-2; símbolos rellenos y BX-3, símbolos vacíos). Las líneas horizontales corresponden a los promedios de las razones en intervalos de 6 cm de profundidad de testigo.

Mo/Al, Fe/Al and S/Al ratios in sediments from (A) Iquique (core RhC-1), (B) Mejillones Bay (core MUC-1B), and (C) Concepción (core BX-2, filled symbols, and core BX-3, empty symbols). Horizontal lines refer to mean ratios computed for each 6 cm core depth.

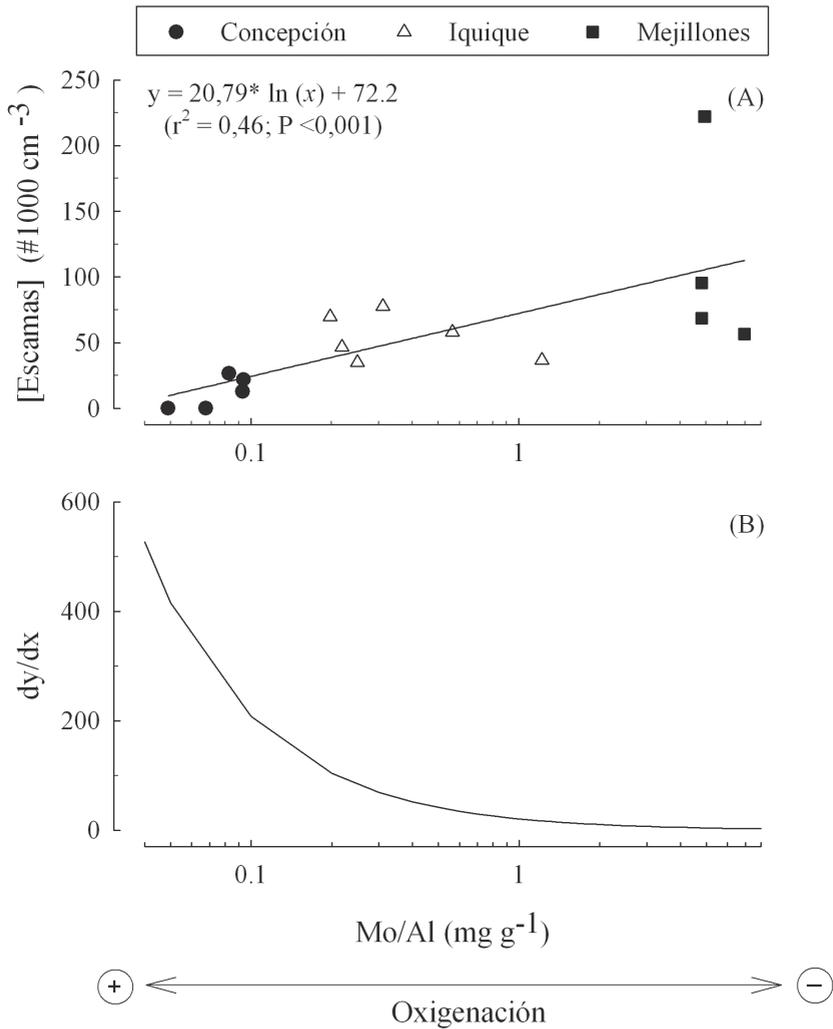


Fig. 5: (A) Abundancia de escamas de anchoveta en función de la razón Mo/Al (utilizada como indicador de paleo-oxigenación). Cada punto del gráfico corresponde a promedios calculados cada 6 cm de ambas variables. (B) Variación de la abundancia de escamas de anchoveta (primera derivada = dy/dx) en función de la razón Mo/Al de la curva (A).

(A) Abundance of anchovy scales vs. the Mo/Al ratio (used as a proxy of paleo-oxigenation). Each dot in the graph represents the averages for each 6 cm core depth for both parameters. (B) Variability of anchovy scale abundance (first derivative = dy/dx) as a function of the Mo/Al ratio in curve (A).

TABLA 2

Modelos de regresión lineal ajustados a la relación Mo/Al (X) – abundancia de escamas de anchoveta (Y) en sedimentos recolectados sobre la plataforma (Concepción y Mejillones) y el talud continental (Iquique) frente a Chile (se presentan los parámetros ± un error estándar)

Linear regression fits for the relationship Mo/Al ratio (X) – anchovy fish scale abundance (Y) in sediments collected on the continental shelf (Mejillones Bay and Concepción) and slope (Iquique) off Chile (parameters ± one standard error)

Modelo	Intercepto (a)	Pendiente (b)	Valor de r <sup>2</sup>	Valor de P
Y = a + b* X	33,6 ± 14,5	13,14 ± 5,1	0,34	0,023
Y = a + b* ln X	72,2 ± 11,8	20,79 ± 6,3	0,46	< 0,0001

*(a) Anchoveta*

Las abundancias de escamas de anchoveta fueron más altas en los testigos recolectados en la Bahía de Mejillones y en la plataforma continental de Iquique en comparación con las abundancias del testigo procedente del talud continental frente a Iquique (Fig. 2A, 3A-3C). De acuerdo con el conocimiento sobre la dinámica poblacional actual de la anchoveta, el patrón observado en las abundancias de escamas de esta especie coincide con la concentración de sus poblaciones cerca de la costa entre 0 y 100 m de profundidad de agua (Serra 1983, Gutiérrez et al. 2007). En este sentido, los sedimentos de Iquique y Mejillones registran la dinámica correspondiente a la unidad de pesquería del norte de Chile (Serra 1983) y revelan una tendencia decreciente hacia el presente para la anchoveta en esta región (Fig. 3A y 3B).

*(b) Mictófidis*

Estos peces mesopelágicos extremadamente abundantes en todos los océanos y que habitan entre los 200 y 1.000 m de profundidad (Salvanes & Kristoffersen 2001), actualmente no constituyen un objetivo para las pesquerías en Chile, razón por la cual no existen series históricas de desembarque. No obstante, información reciente indica que ~ 60 % del ensamblaje de peces mesopelágicos del norte de Chile está constituido por las especies de mictófidis *Triphoturus mexicanus* Gilbert (1890), *Diogenichthys atlanticus* Tåning (1928) y *Scolopengys tristis* Alcock (1890), asociadas con aguas tropicales y subtropicales de la "lente de agua cálida Arica-río Loa" (isoterma de 18 °C y la isohalina de 34,5) (Sielfeld et al. 1995). Se piensa que estos peces mesopelágicos pueden servir como indicadores de influencia oceánica y de la dinámica del agua ecuatorial subsuperficial en el área costera (Sielfeld et al. 1995, Rodríguez-Graña & Castro 2003, Sielfeld & Kawaguchi 2004). Por consiguiente, las altas abundancias de escamas de mictófidis observadas en el talud continental frente a Iquique (Fig. 2B y 3A) y en la bahía de Mejillones (Fig. 2B y 3C) indicarían periodos con mayor influencia de aguas relativamente más cálidas sobre el ecosistema de afloramiento del norte de Chile.

*(c) Jurel*

En Concepción, las altas abundancias de escamas de jurel (Fig. 2C) estuvieron concentradas en los primeros 12 cm de la columna de sedimento (Fig. 3D) sugiriendo que la presencia del jurel en el área ha aumentado hacia el presente. En la actualidad, la mayor parte de la biomasa total del jurel se concentra en la zona oceánica frente a Chile (e.g., Bertrand et al. 2004). En escala estacional, algunos estudios indican que además esta especie varía su distribución espacial a lo largo de la costa dependiendo de la posición latitudinal de la isoterma de los 15 °C, en estrecha relación con el desarrollo de su ciclo vital y la disponibilidad de alimento (e.g., Arcos et al. 2001). No obstante, estos patrones del presente podrían estar fuertemente distorsionados por los altos niveles de explotación pesquera (e.g., Sepúlveda et al. 2001).

Se conoce que los desembarques del jurel frente a Chile central aumentaron considerablemente desde comienzos de la década de 1970 superando 4 millones de toneladas en 1995 (INPESCA 2003, SERNAPESCA 2004). Entre los años 1970 y 1980, la flota de la antigua Unión Soviética obtuvo máximas capturas de ~1 millón de toneladas por año fuera de la zona económica exclusiva frente a Chile y además se observó una expansión del jurel desde el océano abierto atravesando los bordes oceánicos de los centros de afloramiento costero (Grechina 1998).

La observación de un aumento de escamas de jurel en sedimentos recientes (12 cm superiores) del área de Concepción es difícil de interpretar dada la disparidad en la escala temporal abarcada por los registros biológicos (que cubren alrededor de 40 años de historia de desembarques) y los sedimentos. De acuerdo a las tasas de sedimentación medidas en esta área (Tabla 1), los 12 cm superiores de sedimento antes mencionados abarcarían una historia de ~100 años.

*Condiciones redox y preservación de escamas*

Teniendo en cuenta que las razones Mo/Al y S/Al han sido utilizadas como indicadores de condiciones reductoras en el agua de fondo y el sedimento en ambientes ricos en carbono

orgánico y deficientes en oxígeno (e.g., Zheng et al. 2000, Nameroff et al. 2004, Meyers et al. 2005, Algeo & Lyons 2006, Siebert et al. 2006), las mismas podrían ser utilizadas aquí como indicadoras del gradiente latitudinal en la intensidad y extensión de la ZMO en la corriente de Humboldt. Así, los valores mucho más altos de estas razones en el norte de Chile (Mejillones e Iquique) que en Concepción (Fig. 4) reflejarían una ZMO más intensa en el norte que en Chile centro-sur, en concordancia con estudios específicos sobre la ZMO (e.g., Morales et al. 1999, Hormazábal et al. 2006, Paulmier et al. 2006).

Los resultados obtenidos en este trabajo apuntan a una dependencia entre la preservación de escamas de anchoveta y las variaciones en las condiciones redox del sedimento, utilizando la razón Mo/Al como indicador de paleo-oxigenación (Meyers et al. 2005) (Fig. 5, Tabla 2). En especial, para razones Mo/Al < 1 mg g<sup>-1</sup>, pequeños cambios en las condiciones redox pueden afectar considerablemente la preservación de escamas (Fig. 5B), por lo que se sugiere que estos registros deben ser utilizados con precaución cuando el objetivo es la reconstrucción de la abundancia de peces en escalas temporales largas.

Por otra parte, es importante mencionar que la preservación de escamas de peces en el sedimento también puede variar dependiendo de la especie (Patterson 2002). Por ejemplo, en el sedimento del área de Concepción, se observó una gran cantidad de escamas de jurel (Fig. 2C y 3D) en buenas condiciones de preservación (i.e. completas, no desgarradas, translúcidas y con anillos de crecimiento bien marcados) a diferencia de lo observado para las escamas de anchoveta y sardina. Es probable que una gran abundancia en la columna de agua y un alto flujo de escamas de esta especie hayan sido los factores que predominaron por encima de la oxigenación permitiendo su buena preservación en estos sedimentos.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Luis Cubillos (Universidad de Concepción) por facilitar la recolección de ejemplares frescos para la identificación de escamas, a Diego Holmgren por sugerencias

metodológicas para la conservación de escamas al inicio de este estudio y al personal del laboratorio de Geoquímica de la Universidad de Utrecht (Holanda) por su valiosa asesoría técnica en las mediciones de elementos traza. Este trabajo fue financiado por el Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur-Oriental (FONDAP-COPAS) de la Universidad de Concepción. JADO agradece las becas de estudios de doctorado proporcionadas por el Eastern Pacific Consortium for Oceanographic Research (EPCOR-IAI) y la escuela de Graduados de la Universidad de Concepción. Se agradece al convenio Woods Hole Oceanographic Institution-Universidad de Concepción-Fundación Andes y a la Partnership for Observation of the Global Oceans (POGO)-Nippon Foundation por patrocinar dos estancias de investigación en la Universidad de Utrecht a JADO. Se agradecen los comentarios y correcciones de dos revisores anónimos que contribuyeron a mejorar el manuscrito original.

#### LITERATURA CITADA

- ALGEO T & T LYONS (2006) Mo-total organic carbon covariation in modern anoxic marine environments: implications of analysis of paleoredox and paleohydrographic conditions. *Paleoceanography* 21 PA1016: 1-23.
- ARCOS D, L CUBILLOS & S NÚÑEZ (2001) The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects off Chile. *Progress in Oceanography* 49: 597-617.
- BATURIN G (2002) Manganese and molybdenum in phosphorites from the ocean. *Lithology and Mineral Resources* 37: 412-428.
- BAUMGARTNER T, A SOUTAR & V FERREIRA-BATRINA (1992) Reconstruction of the history of Pacific sardine and northern anchovy populations over the past two millennia from sediments of the Santa Barbara basin, California. *Reports of California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations* 33: 24-40.
- BERTRAND A, MA BARBIERI, J CÓRDOVA, C HERNÁNDEZ, F GÓMEZ & F LEIVA (2004) Diel vertical behaviour, predator-prey relationships, and occupation of space by jack mackerel (*Trachurus murphyi*) off Chile. *ICES Journal of Marine Science* 61: 1105-1112.
- BURNETT W (1977) Geochemistry and origin of phosphorites deposits from off the coast of Peru and Chile. *Geological Society of America Bulletin* 88: 813-823.
- CONTRERAS S, S PANTOJA, C NEIRA & C LANGE (2007) Biogeochemistry of surface sediments off Concepción (~36 °S), Chile: El Niño vs. non-El Niño conditions. *Progress in Oceanography* 75: 576-585.
- DEAN W, Y ZHENG, J ORTIZ & A VAN GEEN (2006)

- Sediment Cd and Mo accumulation in the oxygen-minimum zone off western Baja California linked to global climate. *Paleoceanography* 21 PA4209: 1-13.
- DEVRIES T & W PEARCY (1982) Fish debris in sediments of the upwelling zone off central Peru: a late Quaternary record. *Deep-Sea Research* 28: 87-109.
- EMERY W & R THOMPSON (2001) Data analysis methods in physical oceanography. Second edition. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 638 pp.
- FROELICH P, M ARTHUR, W BURNETT, M DEAKIN, V HENSLEY, R JAHNKE, L KAUL, K KIM, K ROE, A SOUTAR & C VATHAKANON (1988) Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: phosphorite precipitation. *Marine Geology* 80: 309-343.
- GUTIÉRREZ D, V GALLARDO, S MAYOR, C NEIRA, C VÁSQUEZ, J SELLANES, M RIVAS, A SOTO, F CARRASCO & M BALTAZAR (2000) Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on the bioturbation potential of macrofauna in sublittoral sediments off central Chile during the 1997/98 El Niño. *Marine Ecology Progress Series* 202: 81-99.
- GRECHINA A (1998) Historia de investigaciones y aspectos básicos de la ecología del jurel (*Trachurus symmetricus murphyi* (Nicholls)) en alta mar del Pacífico Sur. En: Arcos D (ed) *Biología y ecología del jurel en aguas chilenas*: 11-34. Editorial Aníbal Pinto, Concepción, Chile.
- GUTIÉRREZ M, G SWARTZMAN, A BERTRAND & S BERTRAND (2007) Anchovy (*Engraulis ringens*) and sardine (*Sardinops sagax*) spatial dynamics and aggregation patterns in the Humboldt Current ecosystem, Peru, from 1983-2003. *Fisheries Oceanography* 16: 155-168.
- HELLY J & L LEVIN (2004) Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research* 51: 1159-1168.
- HOLMGREN D & T BAUMGARTNER (1993) A 250-year history of pelagic fish abundances from the anaerobic sediments of the central Gulf of California. *Reports of California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations* 34: 60-68.
- HORMAZÁBAL S, G SHAFFER, N SILVA & E NAVARRO (2006) The Perú-Chile undercurrent and the oxygen minimum zone variability off central Chile. *Gayana (Chile)* 70: 37-45.
- KIM K & W BURNETT (1988) Accumulation and biological mixing of Peru margin sediments. *Marine Geology* 80: 181-194.
- KUDRASS H (2002) Cruise Report SO-147 Peru-Upwelling. Federal Institute for Geoscience and Natural Resources, Hannover, Germany. 120 pp.
- MEYERS S, B SAGEMAN & T LYONS (2005) Organic carbon burial and the molybdenum proxy: theoretical framework and application to Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event 2. *Paleoceanography* 20 PA2002: 1-19.
- MILESSI A, J SELLANES, V GALLARDO & C LANGE (2005) Osseous skeletal material and fish scales in marine sediments under the oxygen minimum zone off northern and central Chile. *Estuarine and coastal shelf science* 64: 185-190.
- MORALES C, S HORMAZÁBAL & JL BLANCO (1999) Interannual variability in the moscale distribution of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24 S): implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. *Journal of Marine Research* 57: 909-932.
- MUÑOZ P, J SELLANES, C LANGE, M PALMA & M SALAMANCA (2007) Temporal variability of <sup>210</sup>Pb fluxes and bioturbation in shelf sediments beneath the high primary production area off Concepción, central-southern Chile (36° S). *Progress in Oceanography* 75: 586-602.
- MUÑOZ P, C LANGE, D GUTIÉRREZ, D HEBBELN, M SALAMANCA, L DEZILEAU, J REYSS & L BENNINGER (2004) Recent sedimentation and mass accumulation rates based on <sup>210</sup>Pb along the Peru-Chile continental margin. *Deep-Sea Research II* 51: 2523-2541.
- NAMEROFF T, E CALVERT, W MURRAY (2004) Glacial-interglacial variability in the eastern tropical north Pacific oxygen minimum zone recorded by redox-sensitive trace metals. *Paleoceanography* 19 PA1010: 1-19.
- O'CONNELL J & V TUNNICLIFFE (2001) The use of sedimentary fish remains for interpretation of long-term fish population fluctuations. *Marine Geology* 174: 177-195.
- ORTLIEB L, R ESCRIBANO, R FOLLEGATI, O ZÚÑIGA, I KONG, L RODRÍGUEZ, J VALDÉS, N GUZMÁN & P IRATCHET (2000) Recording of ocean-climate changes during the last 2,000 years in the hypoxic marine environment off northern Chile (23° S). *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 221-242.
- ORTLIEB, L, O ZUÑIGA, R FOLLEGATI, R ESCRIBANO, I KONG, P MOURGUIART, J VALDÉS & P IRATCHET (1994) Paleoclimatología de bahía de Mejillones del sur (Antofagasta, Chile): resultados preliminares para el último milenio. *Estudios Oceanológicos (Chile)* 13: 45-55.
- PATTERSON R, C WRIGHT, A CHANG, L TAYLOR, P LYONS, A DALLIMORE & A KUMAR (2002) Atlas of common squamatomological (fish scale) material in coastal British Columbia and an assessment of the utility of various scale types in paleofisheries reconstruction. *Paleontologia Electronica* 4 ([http://palaeo-electronica.org/2001\\_2/index.html](http://palaeo-electronica.org/2001_2/index.html))
- PATTERSON R, A PROKOPH, A KUMAR, A CHANG & H ROE (2005) Late Holocene variability in pelagic fish scales and dinoflagellate cysts along the west coast of Vancouver Island, NE Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology* 55: 183-204.
- PAULMIER A, D RUIZ-PINO, V GARÇON & L FARIAS (2006) Maintaining of the eastern south Pacific oxygen minimum zone (OMZ) off Chile. *Geophysical Research Letters* 33 L20601: 1-16.
- RODRÍGUEZ-GRAÑA L & L CASTRO (2003) Ichthyoplankton distribution off the Peninsula de Mejillones, Chile (23° S, 71° W), under hydrographic conditions during the austral summer and winter of the 1997 El Niño. *Hydrobiologia* 501: 59-73.
- SALVANES AG & JB KRISTOFFERSEN (2001) Mesopelagic fishes. En: Steele J (Ed) *Encyclopaedia of Ocean Sciences* 3: 1711-1717. Academic Press, San Diego, California, USA.
- SEPÚLVEDA A, S NUÑEZ, H PEÑA, L CUBILLOS, A HERNANDEZ, T MARIELA, D BUCARY, A ROJAS, F VEJAR, C GONZALEZ, M BARBIERI, J CORDOVA, M ESPEJO & S LILLO (2001) Condiciones biológicas del jurel en alta mar. Informe Técnico, Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile. Proyecto FIP 99-14. 147 pp.
- SCHENAU S & GJ DE LANGE (2000) A novel chemical method to quantify fish debris in marine sediments. *Limnology and Oceanography* 45: 963-971.

- SCHWARTZLOSE, R, J ALHEIT, A BAKUN, T BAUMGARTNER, R CLOETE, R CRAWFORD, W FLETCHER, Y GREEN-RUIZ, E HAGEN, T KAWASAKI, D LLUCH-BELDA, S LLUCH-COTA, A MACCALL, Y MATSUURA, M NARVAÉZ-MARTÍNEZ, R PARRISH, C ROY, R SERRA, K SHUST, M WARD & J ZUZUNAGA (1999) Worldwide large-scale fluctuations of sardine and anchovy populations. *South African Journal of Marine Science* 21: 289-335.
- SERRA R (1983) Changes in the abundance of pelagic resources along the Chilean coast. *FAO Fisheries Report* 291: 255-284.
- SHACKLETON L (1987) A comparative study of fossil fish scales from three upwelling regions. En: Payne A, J Gulland & K Brink (eds) *The Benguela and comparable ecosystems*. *South African Journal of Marine Science* 5: 79-84
- SIEBERT C, J McMANUS, A BICE, R POULSON & W BERELSON (2006) Molybdenum isotope signatures in continental margin marine sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 241: 723-733.
- SIELFELD W & A KAWAGUCHI (2004) Peces mesopelágicos capturados durante el crucero Cimar 6-Islas Oceánicas. *Ciencia y Tecnología del Mar (Chile)* 27: 87-97.
- SIELFELD W, M VARGAS & R FUENZALIDA (1995) Peces mesopelágicos frente a la costa norte de Chile. *Investigaciones Marinas (Chile)*. 23: 83-97.
- SLOMP C, J THOMPSON & G DE LANGE (2002) Enhanced regeneration of phosphorus during formation of the most recent eastern Mediterranean sapropel (s1). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66: 1171-1184.
- SOUTAR A (1966) The accumulation of fish debris in certain California coastal sediments. *Reports of California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations* 11: 136-139.
- SOUTAR A & J ISAACS (1974) Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fishery Bulletin* 72: 257-273.
- SOUTAR A & J ISAACS (1969) History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *Reports of California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations* 13: 63-70.
- SUESS, E (1981) Phosphate regeneration from sediments of the Peru continental margin by dissolution of fish debris. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45: 577-588.
- TUNNICLIFFE V, J O'CONNELL & M MCQUOID (2001) A Holocene record of marine fish remains from the Northeastern Pacific. *Marine Geology* 174: 197-210.
- VALDÉS J, L ORTLIEB, D GUTIÉRREZ, L MARINOVIC, G VARGAS & A SIFEDDINE (2008) A 250-years record of sardine and anchovy scale deposition in Mejillones Bay, northern Chile. *Progress in Oceanography* 79: 198-207.
- VARGAS G, L ORTLIEB, J PICHON, J BERTAUX & M PUJOS (2004) Sedimentary facies and high resolution primary production inferences from laminated diatomaceous sediments off northern Chile (23° S). *Marine Geology* 211: 79-99.
- ZHENG Y, R ANDERSON, R GEEN, J KUWABARA (2000) Authigenic molybdenum formation in marine sediments: a link to pore water sulfide in the Santa Barbara Basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64: 4165-4178.
- ZUZUNAGA J (2002) Some shared fish stocks of south eastern Pacific. *FAO Fisheries Report* 695: 1-240.

*Editor Asociado: Claudio Latorre*

*Recibido el 31 de Julio de 2007; aceptado el 3 de junio de 2008*