

PALEOCEANOGRAFÍA DE BAHÍA MEJILLONES DEL SUR
(ANTOFAGASTA, CHILE):
RESULTADOS PRELIMINARES PARA EL ÚLTIMO MILENIO

PALEOCEANOGRAPHY OF BAHIA MEJILLONES DEL SUR
(ANTOFAGASTA, CHILE):
PRELIMINARY RESULTS FOR THE LAST MILLENNIUM.

L. Ortlieb^{1, 2}, O. Zúñiga², R. Follegati²,
R. Escribano², I. Kong², L. Rodríguez², Ph. Mourguiart³,
J. Valdés^{2, 4} & P. Iratchet²

¹ORSTOM-Chile (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération)

²Facultad de Recursos del Mar, Universidad de Antofagasta, Casilla 170, Antofagasta, Chile.

³ORSTOM-Bolivia

⁴Centro EULA, Universidad de Concepción, Concepción.

RESUMEN

A través del estudio estratigráfico de sedimentos marinos extraídos de la bahía de Mejillones del Sur (23°S), se busca poner en evidencia variaciones de las condiciones océano-climáticas a escala de los últimos siglos/miles de años en la costa árida del norte de Chile. Se obtuvieron una serie de dragados y de testigos de hasta un metro de largo. Los resultados preliminares del análisis cualitativo y cuantitativo de restos de peces, foraminíferos, diatomeas y silicoflagelados a lo largo de dos testigos (35 cm de longitud), que representan aproximadamente 1000 años de sedimentación, confirman la adecuada preservación del material sub-fósil y su potencial para la reconstitución de cambios oceanográficos. La ocurrencia y proporción relativa de organismos bioindicadores en las capas sucesivas de los testigos indican la existencia de cambios en el sistema de surgencia, variaciones térmicas, y modificaciones de las condiciones de oxigenación en el fondo de la bahía durante los últimos diez siglos.

PALABRAS CLAVES: Sedimentos costeros, variaciones climáticas, oceanografía, surgencia, bioindicadores.

ABSTRACT

A stratigraphic study of marine sediments from Bahía de Mejillones del Sur (23°S) is meant to reveal secular/millennial variations in the oceanographic and climatic conditions in the arid north coast of Chile. A series of dredging samples and gravity cores (up to 1 m long) were thus obtained. Preliminary results of a qualitative and quantitative study of fish remains, foraminifers, diatoms and silicoflagellates from two short gravity cores (35 cm long) which encompass approximately 1000 yr of sedimentation, confirm the good preservation of the sub-fossil material and its potential for the reconstitution of oceanographic changes. The occurrence and relative composition of some bioindicators in the distinct layers of the cores leads to interpret significant variations in the upwelling system, the thermal regime and the oxygen content at the bottom of the bay in the course of the last ten centuries.

KEY-WORDS: Coastal sediments, climatic variations, oceanography, upwelling, bioindicators.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado notable-

mente el interés por las variaciones del clima y del entorno. Este tema ha llegado a ser prioritario en una serie de programas científicos multidisciplina-



Fonds Documentaire ORSTOM
Cote : B* 15065 Ev. 1

rios e internacionales (Programa Internacional Geosfera-Biosfera, "Cambio Global"). Una de las líneas de investigación se dedica a la comprensión de las variaciones naturales del clima a distintas escalas de tiempo (Programa Cambios globales en el pasado, PAGES). Los estudios paleoclimáticos y paleoambientales se basan en crónicas, registros y archivos naturales de varios tipos, como sedimentos marinos o continentales, capas de hielo, series de anillado de árboles, o secuencias seculares de corales (BAUMGARTNER *et al.*, 1989; BRADLEY, 1991). En Chile son escasas las investigaciones en esta línea (BERNAL, 1991; ANDERSON & ARCHER, 1993), aunque existen situaciones interesantes de interacción entre los sistemas de circulación oceánica y atmosférica, en particular en el extremo norte del país (ROMERO, 1985; ORTLIEB, 1991, 1994).

Desde el punto de vista de la explotación de recursos naturales, entre otros el recurso pesquero, existe interés para discernir entre las variaciones del entorno de origen natural y las que estén relacionadas con actividades antrópicas (sobrexplotación, contaminación, interrupción de la cadena trófica, etc.) (YÁÑEZ, 1988; McGOWAN, 1989). Un adecuado manejo de los recursos marinos vivos requiere un conocimiento mínimo de las variaciones naturales del entorno oceanográfico para poder analizar los eventuales impactos del hombre sobre el recurso (CLARAMUNT & FUENZALIDA, 1989; BERNAL, 1990). Por ejemplo, se ha demostrado que la variabilidad de las condiciones oceanográficas y de los "stocks" naturales de peces pelágicos puede estudiarse, en ciertos casos favorables, a partir de un análisis detallado de sedimentos marinos recientes (FITCH, 1969; SOUTAR & ISAACS, 1969; SOUTAR & CRILL, 1977). En áreas de la plataforma continental que presentan "varvas" (láminas sedimentarias muy delgadas) anuales, la preservación de escamas u otros restos de peces hace posible la reconstrucción de fluctuaciones de poblaciones de los peces más comunes (sardina o anchoveta) y de variaciones históricas de ciertos parámetros ecológicos y físicos, en el transcurso de los últimos siglos o milenios (SOUTAR, 1990; BAUMGARTNER *et al.*, 1992).

Algunos antecedentes sobre las condiciones físicas de la bahía de Mejillones del Sur (23°00'S, 70°30'W) llevaron a elaborar, en 1992, un proyecto de investigación ("PALEOBAME": Paleoceanografía de Bahía Mejillones) con el fin de evaluar el potencial paleoceanográfico de esta área de la plataforma continental chilena (Fig. 1). En este marco se realizó una primera serie de muestreos de fondo de la bahía para analizar las condiciones de sedimentación y preservación de los sedimentos y restos orgánicos,

y así verificar la factibilidad de estudios paleoceanográficos sobre la base de bioindicadores.

Las principales condiciones favorables de la bahía de Mejillones, para este tipo de estudio, lo constituyen la cercanía de un importante foco de surgencia (Punta Angamos), la hipoxia de los fondos y la accesibilidad de dichos fondos (120 m máximo de profundidad en su centro). El clima hiperárido de la región limita drásticamente los aportes terrígenos en la bahía, de manera que la principal contribución del continente a la sedimentación marina han sido partículas acarreadas por el viento dominante del sur (NAVEA & MIRANDA, 1980; RODRÍGUEZ *et al.*, 1991). Los sedimentos acumulados en el fondo contienen una proporción elevada de restos orgánicos (ARNTZ *et al.*, 1991). El ambiente pelágico es altamente productivo (concentraciones de biomasa del fitoplancton pueden alcanzar valores superiores a 40 µg/l, RODRÍGUEZ *et al.*, 1991), lo que sostiene una gran diversidad biológica en organismos planctónicos (MARÍN *et al.*, 1993).

La bahía no posee una gran capacidad de exportación de material, dada su particular morfología semi-cerrada, su carácter protegido, y la baja velocidad de las corrientes. Datos no publicados sugieren una circulación de doble capa a profundidades superiores a los 60 m y velocidades de corrientes que no superan los 10 cm/s. Todas estas características favorecen la formación de ambientes hipóxicos en el centro de la bahía.

Los estudios previos sobre la fauna y flora de la bahía son escasos (GALLARDO, 1963, 1976; RAMORINO & MUÑIZ, 1970; ZÚÑIGA, 1974; ZÚÑIGA *et al.*, 1983; RODRÍGUEZ *et al.*, 1986), pero todos mostraron que la fauna bentónica es muy pobre. Al reducir notablemente la infauna bentónica, el carácter hipóxico del fondo limita la bioturbación del sustrato; favoreciendo así la preservación de un registro sedimentario. Estudios previos de sedimentos recientes de la plataforma continental del Perú han proporcionado antecedentes sobre la fauna y la flora susceptibles de ser encontradas en sedimentos hipóxicos y anóxicos (DeVRIES, 1979; ARNTZ *et al.*, 1991), e información sobre la variabilidad de las condiciones oceanográficas ligadas a modificaciones de los sistemas de surgencia y del régimen de la Corriente del Perú (= de Humboldt) (REIMERS & SUESS, 1983; IBARAKI, 1990; BRODIE & KEMP, 1993; THOMAS *et al.*, 1993). Otros antecedentes relevantes de comparación están disponibles en California, región que presenta similitudes con el norte de Chile (surgencia, corriente fría, influencia de la anomalía "El Niño"), tanto para el marco de la sedimentología paleoceanográfica (ANDERSON *et al.*, 1987, 1989, 1990) como para el estudio específico de los restos de peces (SOUTAR & ISAACS,

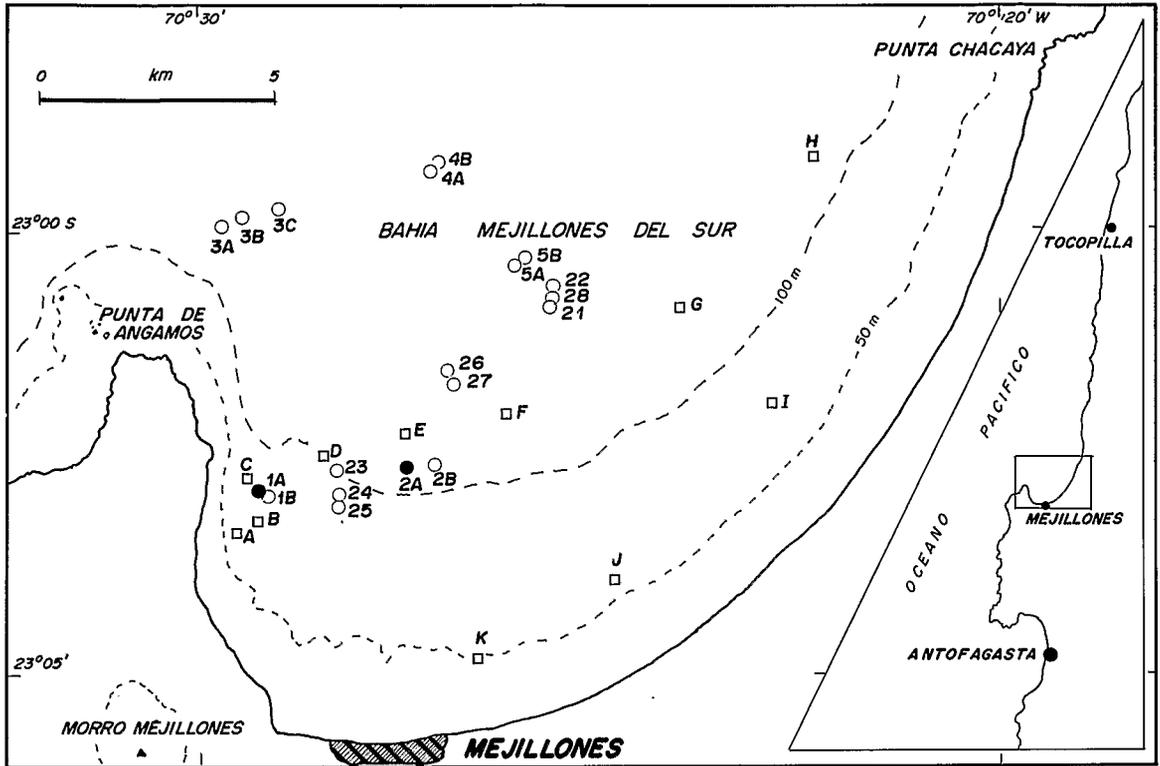


FIG. 1. Ubicación de los dragados (cuadros) y testigos (círculos) extraídos en Bahía Mejillones del Sur. Los círculos llenos indican los testigos (1A y 2A) estudiados en el trabajo.

1969; FITCH, 1969; BAUMGARTNER et al., 1989, 1992) y otros organismos planctónicos (TAKAHASHI et al., 1989; TONT, 1989).

MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo de sedimentos en Bahía de Mejillones del Sur se realizó mediante una draga tipo Emery de 3 dm² y sacatestigos de gravedad de tipo Phleger (uno de 1 pulgada y otro de 3 pulgadas de diámetro). El estudio de los dragados proporcionó información sobre la distribución espacial en el conjunto de la bahía de los sedimentos superficiales, organismos, condiciones físico-químicas y contenido en materia orgánica. Los testigos sedimentarios permitieron observar la superposición de capas que reflejan cambios sucesivos en el entorno de esta bahía. En los testigos, se separaron muestras representativas de estas capas para el estudio del contenido en restos orgánicos y la búsqueda de bioindicadores.

La separación de muestras en los testigos se hizo de distintas maneras: en el primer testigo (1A, Fig. 2) se distinguieron sólo cuatro capas, y en el

segundo testigo (2A), se separaron 8 muestras. En otros testigos se cortaron muestras cada centímetro a lo largo de toda la columna. De cada muestra se procesó sólo una pequeña fracción del orden de 1 g (equivalente en peso seco), que se lavó en tamices de 2 mm y 0,063 mm de apertura de malla. El contenido de los tamices y la fracción inferior a 0,063 mm se secaron a temperatura ambiente y luego se analizó la composición de cada grupo de organismos: peces, fitoplancton, macro y microfau-na.

Para el estudio cuantitativo de los organismos fue necesario elaborar una metodología adaptada a cada grupo. En el caso de los restos de peces, se separaron todos los huesos, vértebras y escamas encontrados, y se contabilizó solamente las escamas determinables las que finalmente fueron pesadas. En el caso del fitoplancton, se adaptó el método de recuento de diatomeas fósiles de BARCENAS & FLORES (1988), utilizando 2 mg de sedimento de cada fracción granulométrica (mayor y menor a 0.063 mm) diluido en 100 ml de agua destilada; el material estudiado corresponde a lo decantado en la superficie de un cubreobjetos de 18 mm x 18 mm, y el recuento se limitó a un área de 7.5 mm². Para los

RESULTADOS

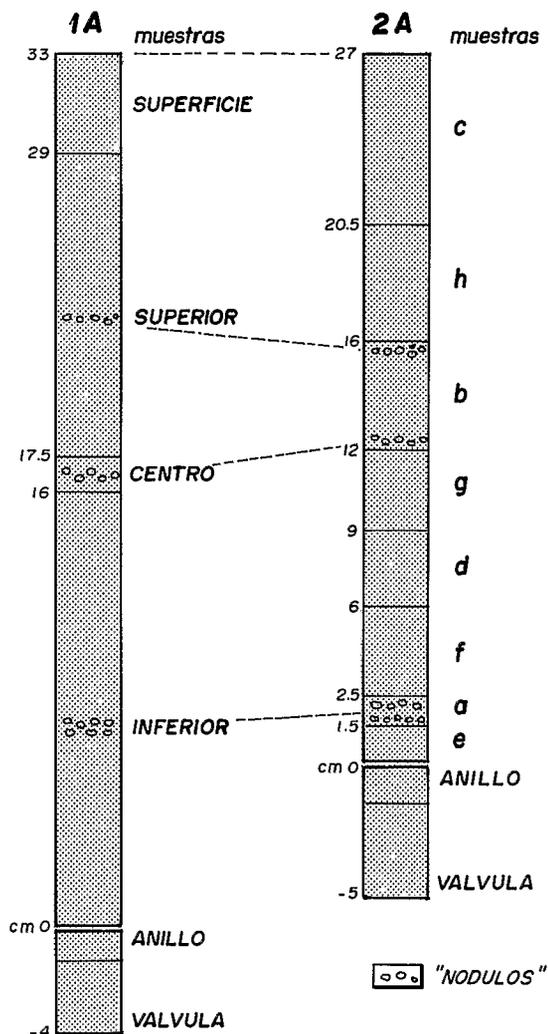


FIG. 2. Posición relativa de las muestras separadas en los testigos 1A y 2A.

foraminíferos, se separaron al azar alrededor de 200 individuos en la fracción mayor a 0.063 mm de cada muestra, los que luego fueron determinados taxonómicamente y contabilizados. La macrofauna bentónica reveló ser muy escasa en el conjunto de las muestras.

La edad de las muestras y la tasa de sedimentación fueron evaluadas sobre la base de fechamientos por radiocarbono de la parte inferior de tres testigos. Para estas dataciones, realizadas en el Laboratorio de Geocronología de ORSTOM (Bondy, Francia), se utilizó la materia orgánica total del sedimento colectado en la válvula del sacatestigo.

En la Tabla I se indican la localización y principales características de los dragados y testigos obtenidos en tres campañas sucesivas, realizadas en noviembre 1992, abril 1993 y octubre 1993. Los dragados realizados a lo ancho de la bahía (Fig. 1) sugieren que existe poca variabilidad en los sedimentos subactuales, y consecuentemente en las condiciones fisicoquímicas del fondo, a una profundidad mayor a los 60 m. Cerca de la costa y a menor profundidad, el sedimento es predominantemente arenoso y contiene macrofauna (p.e. *Nassarius gayi*, Kiener; *Nuculana* sp.). Las muestras dragadas a una profundidad mayor a 60 metros son fangosas, prácticamente sin macrofauna, y tienen un olor característico de ambiente reductor. A menudo, estos sedimentos contienen bacterias filamentosas de tipo *Thioploca* sp.

En general, el sedimento de la casi totalidad de los testigos puede ser descrito como un fango verdoso (colores entre 10Y4/2 y 5Y4/4, Tabla de colores Munsell) con algunas láminas verde-amarillentas (color 5Y5/6) de un espesor del orden de un centímetro (con "nódulos" de materia orgánica). Se observa poca variabilidad en la granulometría y textura del sedimento, aunque un examen detallado pone en evidencia una estratificación de capas que difieren entre sí en la homogeneidad, la compactación y el tono del color. En este trabajo sólo se presentan los resultados obtenidos en el análisis de los dos primeros testigos, 1A y 2A (Fig. 2).

La base de tres testigos arrojó edades ^{14}C de 1100 ± 60 años B.P., 8140 ± 80 años B.P., y 2080 ± 80 años B.P., para las estaciones 1A, 3C y 5A, respectivamente (Fig. 1). Estos datos radiométricos sugieren que en la bahía las tasas de sedimentación varían entre $300 \text{ mm}/10^3$ años en el borde suroccidental (estación 1) y $180 \text{ mm}/10^3$ años en el centro (estación 5). No se dispone de datación para la estación 2, pero algunos argumentos sedimentológicos permiten correlacionar lateralmente los registros de los testigos 1A y 2A, de tal forma que la base del testigo 2A, contemporánea a la del testigo 1A, tendría una edad aproximada de 1000 años B.P.

El testigo 1A

En el primer testigo obtenido (1A), las muestras más representativas, respecto a la cantidad de material examinado y en relación al espesor de la capa, son las del centro y de superficie (Fig. 2). La Tabla II resume el contenido de organismos de estas dos muestras.

En materia de fitoplancton, predominan las espe-

TABLA I
Ubicación y principales características de los testigos obtenidos
en Bahía de Mejillones.

Testigo N°	profundidad (m)	longitud (°W)	latitud (°S)	longitud recuperada (cm)	diámetro (pulgada)
1A	79	70°28.31'	23°02.20'	33 + válvula (4)	1
1B	76	70°28.21'	23°02.03'	34 + válvula (5)	1
1C	78	70°28.21'	23°02.23'	30 + válvula (5)	1
2A	104	70°27.83'	23°02.27'	27 + válvula (5)	1
2B	105	70°27.22'	23°02.72'	24 + válvula (5)	1
3A	137	70°29.72'	22°59.76'	37 + válvula (5)	1
3B	162	70°29.39'	22°59.65'	39 + válvula (5)	1
3C	162	70°29.04'	22°59.65'	38 + válvula (5)	1
4A	150	70°27.28'	22°59.06'	23 + válvula (5)	1
4B	158	70°27.28'	22°59.06'	32 + válvula (5)	1
5A	114	70°26.14'	23°00.32'	34 + válvula (5)	1
5B	114	70°26.01'	23°00.28'	39.5 + válvula (5)	1
21	110	70°25.61'	23°00.76'	36	3
22	110	70°25.55'	23°00.67'	49 + válvula	3
23	90	70°28.19'	23°02.59'	70 + válvula + anillo	3
24	80	70°28.29'	23°02.97'	100 + válvula (12)	3
25	80	70°28.35'	23°03.05'	101 + válvula (8)	3
26	108	70°26.89'	23°01.57'	61	3
27	107	70°26.78'	23°01.70'	63 + válvula (7)	3
28	110	70°25.58'	23°00.80'	60 + válvula (8)	3

TABLA II

Composición de foraminíferos, restos de peces y fitoplancton de los testigos 1A y 2A de Bahía de Mejillones. La abundancia de foraminíferos se expresa en % de número de individuos en la muestra analizada. Los restos de escamas están expresados en peso (mg). En el caso del fitoplancton, sólo se menciona la presencia/ausencia de los géneros y especies identificados.

	TESTIGO 1A		TESTIGO 2A									
	super.	centro	c	h	b	g	d	f	a	e	anillo	válv.
FORAMINIFEROS (%)												
Bentónicos:												
<i>Bolivina costata</i>	9	3	2	14	12	4	8	4	5	5	0	1
<i>Bolivina seminuda</i>	12	18	11	33	21	34	2	28	42	45	19	16
<i>Bullimmina elegantissima</i>	19	23	22	0	3	0	7	0	8	1	4	29
<i>Bullimina pulchella</i>	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	3
<i>Discorbis</i> sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Nonionella auris</i>	4	17	4	9	5	4	12	8	5	1	0	11
<i>Nonionella pulchella</i>	9	11	12	8	6	2	2	14	5	3	30	13
<i>Epistominella</i> sp	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
<i>Cassidulina</i> sp	0	0	3	11	0	1	0	12	3	4	0	0
<i>Rosalina</i> sp.	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hanzawaia</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Stainforthia</i> sp	13	2	16	3	21	3	2	9	8	14	26	3
Planctónicos:												
<i>Globigerina aberrante</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerina bulloides</i>	9	7	3	9	18	20	20	13	4	3	0	0
<i>Globigerina falconensis</i>	9	6	0	8	0	25	5	10	12	0	4	6
<i>Globigerina pachyderma</i>	10	1	4	0	6	4	20	4	5	6	4	1
<i>Globigerina</i> sp.	0	0	7	0	0	4	21	0	0	15	0	0
<i>Globorotalia</i> sp.	4	2	12	2	6	0	3	3	2	2	4	13
Indeterminado	0	8	1	1	0	0	0	0	1	0	4	0
Escamas de PECES (mg)												
<i>Engraulis ringens</i>	6.4	0	2	0	1.4	1.2	0.1	0.2	0	0.4	0.8	0
<i>Sardinops sagax</i>	0	0	0	0	0	0	0	2.6	0.3	0	0	0
escamas cicloides	0.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FITOPLANCTON (x=presencia; 0=ausencia)												
Diatomeas:												
<i>Actinopterychus senarius</i>	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x
<i>Actinopterychus splendens</i>	x	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x
<i>Biddulphia</i> sp	0	0	x	0	0	x	0	x	0	0	0	x
<i>Chaetoceros constrictus</i>	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros didymus</i>	0	0	x	0	x	0	x	0	x	0	0	0
<i>Chaetoceros</i> spp	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	0	x
<i>Cocconeis</i> spp	x	x	x	x	0	x	x	0	x	x	x	x
<i>Coscinodiscus centralis</i>	0	x	x	0	0	0	x	x	0	0	0	x
<i>Coscinodiscus janishii</i>	0	0	0	0	x	x	x	0	x	x	0	0
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	0	0	x	0	0	x	0	0	x	x	x	0
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	0	0	0	0	0	x	0	0	0	x	0	0
<i>Coscinodiscus wailiesii</i>	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coscinodiscus</i> sp	0	0	x	0	x	0	x	0	x	x	0	0
<i>Diploneis subovalis</i>	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
<i>Diploneis bombus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
<i>Entopyla australis</i>	x	0	x	x	0	0	0	0	0	x	0	0
<i>Grammatophora angulosa</i>	x	x	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0
<i>Grammatophora marina</i>	x	0	x	x	x	0	0	0	0	0	0	x
<i>Navicula lyra</i>	x	0	0	0	0	0	0	0	0	x	0	0
<i>Navicula</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
<i>Nitzschia</i> sp	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhizosolenia alata</i>	x	0	x	x	0	0	0	0	0	0	x	0
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	0	0	0	0	0	x	x	0	0	0	0	0
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	0	0	0	x	0	0	0	0	0	0	0	x
<i>Rhizosolenia</i> sp	0	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Stephanopyxis turris</i>	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Suritella fastuosa</i>	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira</i> spp	x	0	x	x	0	x	x	x	x	x	0	x
<i>Trachyneis aspera</i>	x	0	0	0	0	x	x	x	0	x	x	x
Silicoflagelados												
<i>Dictyocha fibula</i>	0	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x
<i>Dictyocha speculum</i>	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x
<i>Dictyocha octonaria</i>	0	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	x

cies de diatomeas *Thalassiosira* spp., *Actinopterychus* spp., *Chaetoceros* spp., *Cocconeis* spp., *Grammatophora* spp., y de silicoflagelados del género *Dictyocha* (Tabla II). Los restos de peces son muy poco abundantes, predominando las escamas de *Engraulis ringens* en la superficie. En materia de foraminíferos, predominan las especies bentónicas *Bolivina seminuda*, *Bulliminella elegantissima*, *Nonionella auris* y *N. pulchella*, y las especies planctónicas *Globigerina pachyderma*, *G. falconensis* y *G. bulloides* (Tabla II, Fig. 3). La proporción relativa de las especies de foraminíferos bentónicos es comparable a la que se observa en la muestra subsuperficial del testigo 2A (muestra 2A-c, Tabla II, Fig. 5), lo que convalida la representatividad de estas muestras recientes. Por otro lado, se observan diferencias significativas en la abundancia relativa de ciertos foraminíferos de las muestras 1A-superficie y 1A-centro (Fig. 3).

El testigo 2A

Las diez muestras separadas en el testigo 2A corresponden a capas de distinto espesor, que presentan leves diferencias sedimentológicas. Los rasgos sedimentarios más destacados del testigo lo constituyen tres horizontes delgados (entre 0.2 y 1 cm de espesor) formados por abundantes "nódulos" orgánicos amarillentos, ubicados en la base y el centro de la columna sedimentaria (Fig. 2). Estos horizontes corresponden probablemente a episodios recurrentes de condiciones particulares en la bahía. La composición en restos orgánicos de estos horizontes se aprecia en la muestra 2A-a (Tabla II).

En la Tabla II se muestra la composición del fitoplancton, la abundancia relativa (%) de foraminí-

feros y la presencia de escamas de peces (expresada en mg), para cada muestra. Por otra parte, en las Fig. 4 y 5, se ilustra la distribución, en las ocho capas separadas más "anillo" y "válvula", de escamas de peces y de algunas especies de foraminíferos. En cuanto a restos de peces, destacan las muestras 2A-a y -f que contienen escamas de *Sardinops sagax* (Fig. 4). La composición en foraminíferos planctónicos presenta diferencias importantes entre las muestras 2A-d,-g,-b,-h y las demás (Fig. 5). La distribución de foraminíferos bentónicos muestra una mayor variabilidad; las muestras con una com-

ESCAMAS DE PECES TESTIGO 2A

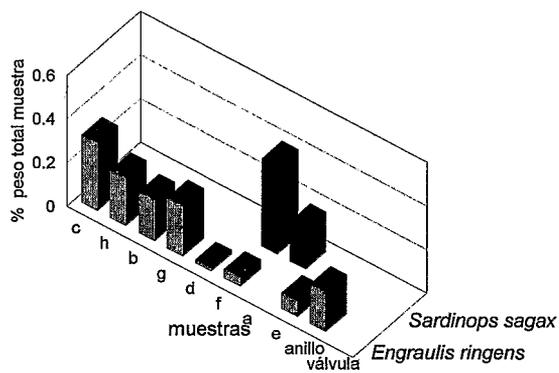


FIG. 4. Abundancia relativa en las muestras del testigo 2A de escamas de anchoveta y sardina española (expresada en % ponderal del material analizado, ver Tabla II).

FORAMINIFEROS TESTIGO 1A

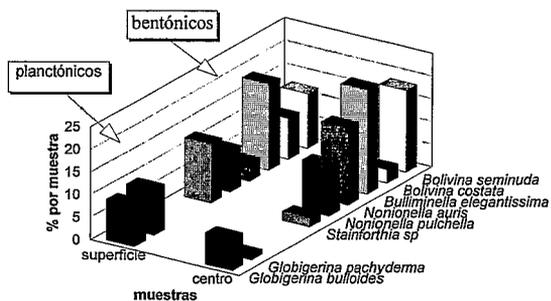


FIG. 3. Abundancia en las muestras "superficie" y "centro" del testigo 1A de algunas especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos (expresada en % relativo del total de individuos separados, ver Tabla II).

FORAMINIFEROS TESTIGO 2A

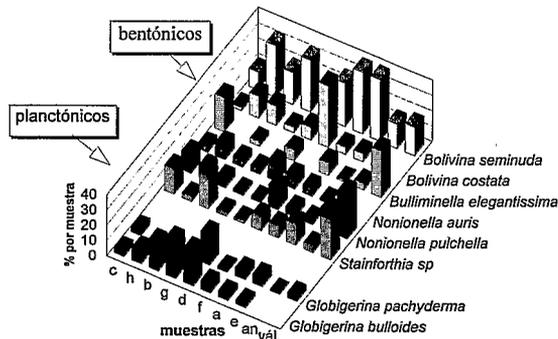


FIG. 5. Abundancia en las muestras analizadas del testigo 2A de algunas especies de foraminíferos planctónicos y bentónicos (expresada en % relativo del total de individuos separados, ver Tabla II).

posición particular son las de la válvula, 2A-f, y 2A-c (Fig. 5).

DISCUSIÓN

Las muestras dragadas y los sedimentos de los testigos indican, a primera vista, una relativa homogeneidad de las condiciones de sedimentación y de preservación del material acumulado. Las pequeñas diferencias de color, consistencia y textura del sedimento observadas en los testigos 1A y 2A atestiguan, sin embargo, que se produjo una serie de cambios en el sistema de la bahía. No se presentan indicios de bioturbación, ni en los sedimentos recientes superficiales ni en las muestras más antiguas de los testigos. Este resultado que traduce aparentemente una permanencia de la escasez de oxígeno en el fondo de la bahía de Mejillones es fundamental para establecer el potencial del área en materia de estudios paleoceanográficos.

La microfauna y flora, así como los restos de peces, que constituyen los principales restos orgánicos determinables, registraron capa por capa las condiciones ambientales de la bahía. Los organismos planctónicos (peces, diatomeas y foraminíferos), dependientes de las condiciones imperantes en la capa eufótica, dan indicaciones sobre la temperatura superficial del mar, la productividad primaria, la intensidad de las surgencias, y otros parámetros relacionados con la atmósfera. En cambio, las especies bentónicas reflejan el ambiente del fondo de la bahía y en particular el grado de hipoxia.

A continuación se revisan los principales bioindicadores identificados en el área y su distribución a lo largo de los testigos 1A y 2A.

Los restos de peces más comunes son, al igual que en California, la anchoveta (*E. ringens*) y la sardina española (*S. sagax*). Observaciones actuales indican que la primera es más adaptada a aguas frías, mientras la sardina española llega a ser predominante durante los eventos El Niño más cálidos. Por lo tanto, la abundancia relativa en restos de *E. ringens* sugiere que en el lapso correspondiente a las muestras 2A-g,-b,-h,-c, las aguas de la bahía eran más frías que anteriormente (muestras 2A-válvula, -anillo,-e,-a,-f,-d) (Fig. 4). La muestra 2A-a, caracterizada por los "nódulos" amarillentos, se distingue de las demás por la presencia de escamas de *S. sagax* y la ausencia de restos de *E. ringens*, y parece entonces reflejar un episodio más cálido.

El foraminífero planctónico *G. bulloides* (y, en una menor proporción, *G. pachyderma*), más abundante en la mitad superior del testigo 2A (muestras 2A-d,-g,-b,-h)(Fig. 5), indica influencias de aguas de origen probablemente subantártico, relativamente

frías. Así, parece confirmarse que, antes de un período reciente, y durante varios siglos, las aguas superficiales de la bahía eran más frías y la surgencia intensa.

El foraminífero endobentónico *B. seminuda*, indicador de un ambiente pobre en oxígeno (RELMERS & SUESS, 1983), está presente en casi todas las capas del testigo 2A (menos en la muestra 2A-d) y es más abundante en las capas 2A-e,-a,-f,-g y -h (Fig. 5). Se interpreta que durante la deposición de las capas 2A-e,-a, y -f, las aguas superficiales eran relativamente tibias (como hoy en día), la termoclina estable, las aguas bien estratificadas, y el fondo aún más pobre en oxígeno que en la actualidad.

Es significativo que la muestra 2A-d donde se observa una abundancia mayor en los foraminíferos planctónicos *G. bulloides* y *G. pachyderma* sea precisamente la capa que tenga las menores cantidades relativas de *Stainforthia* sp., *N. pulchella* y *B. seminuda* (Fig. 5): se interpreta que durante la sedimentación de esta muestra se instalaron las condiciones relativamente frías de los últimos siglos, condiciones que no habrían perdurado hasta hoy en día.

La relativa abundancia de las especies *G. pachyderma*, *B. elegantissima*, *N. pulchella* y *Stainforthia* sp., en la capa subsuperficial 2A-c por un lado, y en la válvula por otro, tiende a indicar una similitud de condiciones oceanográficas entre el período actual (siglo XX) y hace aproximadamente 1000 años.

El fitoplancton constituye un bioindicador muy preciso de distintas condiciones oceanográficas, y en particular de eventos de surgencia ("blooms" de diatomeas). Sin embargo, el estudio muestra que la metodología empleada para análisis cuantitativo de diatomeas y silicoflagelados en la columna de agua, adaptada para el estudio de variaciones oceanográficas a escala del día/semana/mes, no es directamente aplicable para muestras de sedimentos que representan lapsos de decenios o siglos. El análisis cualitativo del testigo 1A indica que la muestra superficial contiene más especies de aguas templadas (*Diploneis subovalis*, *Navicula lyra*, *Rhizosolenia alata*) que la muestra del centro. En el testigo 2A, destacan la muestra 2A-b por la ausencia de formas típicas de surgencia (*Actinopterychus senarius*, *A. splendens*, *Chaetoceros* spp., *Stephanopyxis turris*, *Thalassiosira* spp.).

El rasgo sedimentológico más destacable en los testigos sedimentarios está constituido por los tres horizontes con "nódulos" amarillentos. La composición en foraminíferos y restos de peces de las muestras 1A-centro y 2A-a sugiere que el ambiente correspondiente fue caracterizado por una tempera-

tura relativamente templada de las aguas superficiales y un elevado grado de hipoxia en el fondo. No se descarta que dichos horizontes nodulosos traduzcan la ocurrencia de fuertes anomalías oceano-climáticas, de tipo "Mega-El Niño" (ORTLIEB & MACHARE, 1992, 1993).

CONCLUSIÓN

Este estudio preliminar demostró la adecuada preservación de los sedimentos acumulados en la bahía de Mejillones. Ya que los testigos no muestran índices de bioturbación, se puede esperar reconstituir la evolución de las condiciones oceanográficas costeras con una mayor precisión que en cualquier otra área de la plataforma continental del norte de Chile. Se probó que la tasa de sedimentación es suficientemente elevada (180 a 300 mm/10³ años) para esperar obtener información a una escala de orden decenal. Los principales organismos fósiles indicadores de condiciones oceanográficas anteriores son diatomeas y silicoflagelados, foraminíferos planctónicos y bentónicos y restos de peces pelágicos.

Al sintetizar los principales datos reunidos en el análisis de los dos primeros testigos obtenidos, se propone un primer esbozo de correlación con las principales fluctuaciones climáticas ocurridas durante el último milenio.

La combinación de los datos relativos a los restos de peces (abundancia de *E. ringens*) y foraminíferos (planctónicos en particular) sugiere que cuando se sedimentó la mitad superior del testigo 2A (después de 1500 de la era cristiana) las aguas eran más frías que en el lapso correspondiente a la deposición de la mitad inferior del testigo (siglos X a XV?). Se infiere que el lapso durante el cual se depositaron las muestras 2A-g,-b,-h podría ser coetáneo de la "Pequeña Edad del Hielo" (siglos XVI a XIX).

Parte de la mitad inferior del testigo 2A (muestras 2A-e,-a,-f) tiene características de aguas superficiales tan (o más) cálidas que hoy en día, mientras que las condiciones de hipoxia parecen haber sido reforzadas en el fondo de la bahía. Esta parte del testigo podría corresponder al Episodio Cálido de la Edad Media. Las proporciones relativas de organismos encontrados en los sedimentos de la base del testigo 2A son parecidas a las que se observan en las muestras superficiales de los dos testigos estudiados.

El estudio en curso sobre los demás testigos se realiza sobre la base de muestreos cada centímetro, o sea con una resolución temporal mucho mayor. Obviamente las informaciones obtenidas serán más detalladas y permitirán un análisis más fino de

los fenómenos involucrados. Así, se espera reconstituir la evolución de las condiciones oceanográficas en un área que parece ser privilegiada para el análisis de las fluctuaciones oceano-climáticas en un pasado reciente.

AGRADECIMIENTOS

Investigación desarrollada en el marco del Convenio ORSTOM-Universidad de Antofagasta (Facultad de Recursos del Mar), con co-financiamiento de la Dirección de Investigación de dicha Universidad y de la UR-1C (ORSTOM), y ayuda de la Embajada de Francia (Santiago).

Se agradece el apoyo prestado por L. Martin (ORSTOM), M. Fournier (Laboratorio de geocronología ORSTOM, Bondy) y R. Martínez-Pardo (Dep. de Geología, Univ. de Chile) por su colaboración en la determinación de los foraminíferos. También se agradece la ayuda técnica prestada por L. Castillo (Univ. de Antofagasta). La Universidad Católica del Norte (Sede Coquimbo) tuvo la amabilidad de facilitar un sacatestigo utilizado para el estudio.

LITERATURA CITADA

- ANDERSON RY, GARDNER JV & E HEMPHILL HALEY 1987. Persistent late Pleistocene-Holocene upwelling and varves off the coast of California. **Quaternary Research**, **28**: 307-313.
- ANDERSON RY, GARDNER JV & E HEMPHILL HALEY 1989. Variability of the late Pleistocene-Holocene oxygen-minimum zone off northern California. In: D.H. Peterson (Editor), Aspects of Climate Variability in the Pacific and Western Americas. **American Geophysical Union, Geophysical Monograph**, **55**: 75-84.
- ANDERSON RY, LINSLEY BK & JV GARDNER 1990. Expression of seasonal and ENSO forcing in climatic variability at lower than ENSO frequencies: Evidence from Pleistocene marine varves off California. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **78**: 287-300.
- ANDERSON DM & RB ARCHER 1993. The plankton environment and marine sediment record of the Archipiélago de Magallanes, Chile. Intern. Workshop "The Quaternary of Chile" (Santiago, 1993), abstr. vol. res., p. 46.
- ARNTZ W, FLORES LA, TARAZONA J, SALZWEDEL H & VA GALLARDO 1991. Benthos communities in oxygen deficient shelf and upper slope areas of the Peruvian and Chilean Pacific coast, and changes caused by El Niño. In: Modern and

- ancient continental shelf anoxia, R.V. Tyson & T.H. Pearson (eds.), **Geological Society, Special Publication 58**: 131-154.
- BARCENA MA & JA FLORES 1988. Ensayo de una técnica para la preparación y recuento de diatomeas fósiles. In: *Actas IV Jornadas de Paleontología*, J.C. Civis & J.A. Flores (eds.), p. 75-83.
- BAUMGARTNER TR, MICHAELSEN J, THOMPSON LG, SHEN GT, SOUTAR A. & R CASEY 1989. The recording of interannual climatic change by high-resolution natural systems: Tree-rings, coral bands, glacial ice layers, and marine varves. In: D. Peterson (Ed.), *Aspects of climatic variability in the Pacific and western Americas*. **American Geophysical Union, Geophysical Monograph 55**: 1-14.
- BAUMGARTNER TR, SOUTAR A & V FERREIRA-BARTINA 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. In: *History of Pacific sardine and Northern anchovy populations*, Baumgartner et al. (eds.), **CALCOFI Report 33**, p.24-40.
- BERNAL P 1990. La oceanografía del sistema de corrientes de Chile-Perú en relación a las pesquerías: una revisión. In: *Perspectivas de la actividad pesquera en Chile*, M.A. Barbieri (ed.), p.35-48.
- BERNAL P 1991. Consequences of global change for oceans: A review. **Climatic Change**, 18: 339-359.
- BRADLEY R (Ed.) 1991. *Global Changes in the past*. UCAR, Office for Interdisciplinary Earth Studies, Boulder, Colorado. 514 pp.
- BRODIE I & AES KEMP 1993. Variation in biogenic and detrital fluxes and formation of laminae in late Quaternary sediments from the Peruvian coastal upwelling zone. **Marine Geology 116**: 385-398.
- CLARAMUNT G & R FUENZALIDA 1989. Fluctuaciones ambientales y su relación con los recursos del sector pesquero artesanal en la zona de Iquique. *Mem. del Simp. Intern. de los Rec. Vivos y Pesquerías en el Pacífico Sudeste (Viña del Mar, 9-13 Mayo, 1988)*, Comisión Permanente del Pacífico Sur, **Pacífico Sur** (número especial), Santiago, p.135-143.
- DeVRIES TJ 1979. Nekton remains, diatoms, and Holocene upwelling off Peru. Master's Thesis, Oregon State University, 85 p.
- FITCH JE 1969. Fossil records of certain schooling fishes of the California Current system. California Marine Research Commission, **CALCOFI Report 13**: 71-80.
- GALLARDO VA 1963. Notas sobre la densidad de la fauna bentónica en el sublitoral del Norte de Chile. **Gayana 10**: 3-15.
- GALLARDO VA 1976. On a benthic sulfide system on the continental shelf of North and Central Chile. *International Symposium on Coastal Upwelling*, Univ. del Norte, Chile. pp.113-118.
- IBARAKI M 1990. Coastal upwelling off Peru viewed from planktonic foraminifera. *Simposio Eventos Neógenos del Pacífico en Sud América* (Lima, 1990), volumen de resúmenes, 1 p.
- MARÍN V, RODRÍGUEZ L, VALLEJOS L, FUENTESECA J & E OYARCE 1993. Efectos de las surgencias costeras sobre la productividad primaria primaveral de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). **Revista Chilena de Historia Natural 66**: 474-491.
- McGOWAN JA 1989. Pelagic ecology and Pacific climate. In: D.Peterson (Ed.), *Aspects of climatic variability in the Pacific and western Americas*. **American Geophysical Union, Geophysical Monograph 55**: 141-150.
- NAVEA E & O MIRANDA 1980. Ciclo anual de las condiciones oceanográficas en Mejillones del Sur (Chile). **Revista de Biología Marina 17**: 97-133.
- ORTLIEB L 1991. Una bibliografía preliminar relativa a la evolución climática en el Norte Grande de Chile durante el Cuaternario, con énfasis en las interacciones océano-atmósfera y el fenómeno El Niño. *Illa Reunión Anual Proy. PICG 281* (Lima, 1991), volumen de resúmenes y contribuciones, p.157-184.
- ORTLIEB L 1994. Evolución de la aridez en el Desierto de Atacama durante el Cuaternario: Nuevas perspectivas. *Actas VII Congreso Geológico Chileno* (Concepción, 1994), volumen I: 351-355.
- ORTLIEB L & J MACHARE (Eds.) 1992. *Paleo-ENSO Records international symposium*, Extended abstracts. ORSTOM & CONCYTEC, Lima. 334 pp.
- ORTLIEB L & J MACHARE 1993. Former El Niño events: Records from western South America. **Global & Planetary Change 7**: 181-202.
- RAMORINO L & L MUÑOZ 1970. Estudio cuantitativo general sobre la fauna de fondo de la Bahía de Mejillones del Sur. **Revista de Biología Marina 14**: 79-93.
- REIMERS CE & E SUESS 1983. Spatial and temporal patterns of organic matter accumulation on the Peru continental margin. In: *Coastal upwelling, its sediment record*; Part B: *Sedimentary records of ancient coastal upwelling*, J. Thiede & E. Suess (eds.), Plenum Press, New York, pp. 311-345.
- RODRÍGUEZ L, ZÁRATE O & E OYARCE 1986. Producción primaria del fitoplancton y su relación con la temperatura, oxígeno y salinidad en la Bahía de Mejillones del Sur. **Revista de Biología Marina, 22**: 75-96.

- RODRÍGUEZ L, MARÍN V, FARÍAS M & E OYARCE 1991. Identification of an upwelling zone by remote sensing and in situ measurement, Mejillones del Sur Bay (Antofagasta, Chile). **Scientia Marina** 55: 467-473.
- ROMERO H 1985. Geografía de los climas. Geografía de Chile, tomo XI, Instituto Geográfico Militar. Santiago. 243 pp.
- SOUTAR A 1990. Climatic sensitivity of biological components in the laminated sediments of the Santa Barbara Basin. Workshop on Paleoclimatic aspects of El Niño/Southern Oscillation (Boulder, May 1990), H.F. Diaz & B. Markgraf (eds.), NOAA and INSTAAR, Univ. Colorado, Boulder, 3 p.
- SOUTAR A & JD ISAACS 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. California Marine Research Commission, CALCOFI Report, 13: 63-70.
- SOUTAR A & PA CRILL 1977. Sedimentation and climatic patterns in the Santa Barbara basin during the 19th and 20th centuries. **Geological Society of America Bulletin**, 88: 1161-1172.
- TAKAHASHI K, HONJO S & S TABATA 1989. Siliceous phytoplankton flux: interannual variability and response to hydrographic changes in the northeastern Pacific. In: D. Peterson (Ed.), Aspects of climatic variability in the Pacific and western Americas. **American Geophysical Union, Geophysical Monograph** 55: 151-160.
- THOMAS AC, STRUB PT, HUANG F & C JAMES 1993. A comparison of the seasonal and interannual variability of phytoplankton pigment concentrations in the Peru and California current systems. **Journal of Geophysical Research** 99 (C4): 7355-7370.
- TONT SA 1989. Climatic change: response of diatoms and dinoflagellates. In: D. Peterson (Ed.), Aspects of climatic variability in the Pacific and western Americas. **American Geophysical Union, Geophysical Monograph** 55: 161-163.
- YÁÑEZ E 1988. Fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona norte de Chile y variaciones ambientales asociadas. Simposio Recursos vivos y pesquerías en el Pacífico sudeste (Viña del Mar), CPPS, volumen de resúmenes, p.27.
- ZÚÑIGA O 1974. Cálculo preliminar de la biomasa bentónica de la bahía de Mejillones. **Apuntes Oceanológicos** 6: 1-10.
- ZÚÑIGA O, BAEZA H & R CASTRO 1983. Análisis de la macrofauna bentónica del sublitoral de la bahía de Mejillones del Sur. **Estudios Oceanológicos** 3: 41-62.

