

Observaciones sobre efectos de El Niño 1997-1998 en el fitoplancton de bahía Antofagasta y durante un fenómeno de surgencia en bahía Mejillones del Sur, Antofagasta, Chile.

Observations on effects of "El Niño" 1997-1998 on the phytoplankton at Antofagasta Bay and during an upwelling phenomenon in Mejillones del Sur Bay, Antofagasta, Chile.

LUIS RODRÍGUEZ

Instituto de Investigaciones Oceanológicas,
Facultad de Recursos del Mar. Universidad de Antofagasta.
Casilla 170. Antofagasta, Chile
E-mail: lrodriguez@uantof.cl

RESUMEN

El fitoplancton de las aguas de la zona Antofagasta presenta cambios debido al efecto causado por períodos cálidos "El Niño o ENOS" y fríos "La Niña". También, la presencia de masas de agua y fenómenos de surgencia tienen una enorme importancia en su composición y proceso de crecimiento.

Se entrega una revisión histórica sobre algunos datos e información sobre fitoplancton y presencia de fenómenos de marea roja. Desde 1964 a 1999, cuarenta y seis fenómenos de marea roja han sido registrados y la ocurrencia anual es de 5 eventos por año.

Prorocentrum micans Ehrenberg (dinoflagelado) causa fenómenos de marea roja que se presentan mayoritariamente en períodos cálidos, mientras que *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger & Buddenbrock (protozoo ciliado) lo hace en períodos fríos.

Además, los estudios realizados sobre fitoplancton han permitido considerar 44 taxas, en base a sus características ecológicas, como pertenecientes a las distintas masas de agua que se presentan en la zona durante los períodos cálidos y fríos.

Por otra parte, se entrega información cualitativa y cuantitativa sobre fitoplancton y algunas variables abióticas registradas durante la presencia de "El Niño o ENOS", entre enero y mayo de 1998 en la bahía de Antofagasta y además se confirmaría la presencia de un período cálido por un fenómeno de surgencia causado por la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial, en octubre de 1998, en la bahía Mejillones del Sur.

ABSTRACT

The Antofagasta zone shows changes related to the composition of the phytoplankton due to warm and cold periods known as "El Niño or ENSO" and "La Niña". Also the presence of water masses and upwelling phenomena have enormous importance in the composition and growth process of the phytoplankton.

A revision on some historic information on phytoplankton and red tides events in the area is given. From 1964 to 1999 forty six red tide phenomena have been recorded and the yearly occurrence is five events per year.

Prorocentrum micans Ehrenberg (dinoflagellate) causes red tides phenomena that

Palabras claves: Antofagasta, Mejillones del Sur, fitoplancton, mareas rojas, masas de agua.

Key words: Antofagasta, Mejillones del Sur, phytoplankton, red tides, water masses.

occur mainly during warm periods while *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger & Buddenbrock (protozoa ciliate) appear in cold periods.

Also, the previous phytoplanktonic studies allowed to consider the ecological characteristic of forty four taxa that have been determined in the different water masses that were present in the zone during warm and cold periods.

On the other side, qualitative and quantitative information related to phytoplankton and some others factors recorded during the presence of "El Niño or ENSO" from January to May 1998 at Antofagasta bay is given and similarly, the presence of a warm period in the area has been confirmed due to an upwelling event during October 1998 at Mejillones del Sur bay caused by the Equatorial Subsurface water mass.

INTRODUCCIÓN

REVISIÓN HISTÓRICA SOBRE EL FITOPLANKTON Y MAREAS ROJAS EN LA ZONA DE ANTOFAGASTA Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO DE "EL NIÑO"

El fenómeno conocido como El Niño o ENOS causa en la zona norte del país cambios en el fitoplancton, entre otros disminución de la biomasa fitoplanctónica y aparición de especies oceánicas en aguas neríticas. Las diatomeas se presentan con amplio predominio en los períodos fríos en comparación con los cálidos, mientras que en estos últimos los dinoflagelados son abundantes en la columna de agua que tiene mayor temperatura, alta salinidad y otras características (Robles *et al.*, 1974).

Según Quinn *et al.* (1987) estos cambios han sido mencionados desde 1525 y existen numerosos testimonios escritos sobre estos períodos cálidos y fríos que han afectado la zona ribereña del Pacífico, además se ha identificado para ambas condiciones

durante el transcurso del tiempo, parte de los efectos causados por estos fenómenos.

La zona costera del norte de Chile se caracteriza por la presencia de centros de surgencia (D´Aubarede, 1967) y además por presentar cambios estacionales de temperatura, penetración de la luz en la columna de agua y nutrientes que generan la sucesión estacional de especies fitoplanctónicas en la zona (Rodríguez, 1987 y Rodríguez *et al.*, 1996a).

En la zona costera de Antofagasta se han identificado tres masas de agua: agua subtropical superficial (ASS, 0-30 m), agua subantártica (ASA, 30-80 m) y agua ecuatorial subsuperficial (AESS, 100-400 m) con sus respectivas características (Robles *et al.*, *op.cit.*; Basten 1978, Navea & Miranda, 1980; Ramorino & Muñiz 1970 y González *et al.*, 1998).

El agua subtropical superficial se presentaría en la zona durante los períodos cálidos generalmente causados por la presencia del fenómeno de El Niño y en los períodos fríos (La Niña) se repliega hacia el norte (Robles *et al.*, 1974).

El agua ecuatorial subsuperficial se haría presente en el área también en los períodos cálidos y generaría surgencia en el interior de la bahía Mejillones desde fines del invierno, principios de la primavera y verano, no existiendo información respecto a la estación de otoño (Robles *et al.*, *op.cit.*; Navea & Miranda, *op.cit.*; Rodríguez *et al.*, 1986 y González *et al.*, *op.cit.*).

Durante los períodos fríos (La Niña), solamente se encontraría presente en la zona la masa de agua subantártica, aun cuando depende de la estación del año ya que en un estudio desarrollado por Basten (1978) se señala que en el otoño de 1975 (frío) se habría encontrado sólo en el área sur la masa de agua subantártica y en el sector norte (Arica-Iquique) la masa de agua subtropical superficial, cuyo núcleo se ubicó a 15 m de profundidad, mientras que por debajo y a

una mayor profundidad (100 m) estaría la masa de agua ecuatorial subsuperficial, por lo que en general se podría señalar que la presencia de las distintas masas de agua sería dependiente de la intensidad del enfriamiento o calentamiento climático. Además, es conveniente destacar la existencia de la denominada convergencia subtropical sobre la cual no existe mayor información, especialmente en relación a su dinámica durante estos períodos.

Según Morales *et al.* (1996), la ocurrencia del fenómeno de surgencia costera estacional en el área no se observa bien definida en invierno si se compara con la primavera, por lo que la actividad sería variable en ambas estaciones. Sin embargo, cabe destacar que según Avaria & Muñoz (1983), la surgencia en el área se presenta en todas las estaciones del año, por lo que solamente existiría cambio en la intensidad de la surgencia. A modo de ejemplo, un fenómeno de surgencia que se presentó en la parte externa de la bahía Mejillones tuvo como componente a la masa de agua subantártica durante un período frío y además se reflejó hacia el interior de la bahía (Rodríguez *et al.*, 1991), mientras que en los períodos cálidos sería la masa de agua ecuatorial subsuperficial, la que se presentaría dentro de la bahía de Mejillones (Robles *et al.*, 1974; Navea & Miranda, *op. cit.*; Rodríguez *et al.*, 1986 y González *et al.*, 1998).

Más aún, según González *et al.* (1998), algunas características fisiográficas del fondo podrían variar la actividad de un centro de surgencia como lo son las elevaciones submarinas, áreas montañosas cercanas a la costa que podrían encajonar y aumentar la velocidad del viento. Además, intensidad y frecuencia están ligadas al proceso de surgencia, por lo que ambas condiciones determinan la masa de agua que constituirá el filamento. Una surgencia débil provocaría el ascenso del ASA identificada por el mínimo superior de salinidad (34,75 psu). La surgencia más intensa en cambio provoca el ascenso de AESS caracterizada por altos va-

lores de salinidad (34,8 y 34,9 psu), alta concentración de nutrientes y bajo contenido de oxígeno inferior a 0,25 ml⁻¹ en la zona costera (Robles *et al.*, *op. cit.*).

La masa de agua ecuatorial subsuperficial en el norte de Chile y Perú ha sido descrita como más rica en nutrientes, particularmente en fosfato y silicato, comparada con las masas de agua subantártica y subtropical superficial (Santander, 1974; Silva, 1987 y Morales *et al.*, 1996). Por otra parte, según Brandhorst (1971), el fenómeno de surgencia ocurriría a una distancia entre 10 y 30 millas de la costa, lo cual tiene extraordinaria importancia para los ecosistemas de la región.

En el siglo pasado fueron desarrollados los estudios sobre constituyentes fitoplanctónicos a lo largo de Chile (Rivera, 1985). Entre las publicaciones de expediciones extranjeras que han realizado importantes aportes al conocimiento del fitoplancton en la zona están las de Zacharias (1906), Hendeby (1937) y Günther (1936), esta última referida a la corriente de Humboldt. Además, Belyaeva (1972) señala especies pertenecientes a tres géneros de diatomeas para la zona norte del país. Los estudios desarrollados por Rodríguez, 1966, 1978, 1982a, 1982b, 1985a, 1985b; Rodríguez *et al.*, 1985c, 1986, 1987, 1991, 1993, 1996a; Rodríguez & Escribano 1996b; Escribano *et al.*, 1996 y Morales *et al.*, 1996, han entregado información sobre el fitoplancton, fenómenos de marea roja y surgencias costeras para las bahías Antofagasta y Mejillones del Sur.

El fitoplancton en el área está constituido principalmente por diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados, además corresponde a una zona templada por lo que varía estacionalmente. En período frío durante el invierno se observa una baja densidad fitoplanctónica (aprox. 45 cél ml⁻¹), que al término de la estación sufre un cambio brusco debido al incremento de la luz y abundante disponibilidad de nutrientes (variación de nitratos 0,07 a 45,35 mg l⁻¹), que hace que la densidad celular alcance en superficie entre 214 y 425 cél ml⁻¹ en primavera y vera-

no. En otoño, la concentración celular decrece con respecto a la primavera y es algo mayor que el verano. La densidad de células presenta una marcada variación producto de la aparición de surgencias estacionales en el área (Rodríguez, 1987; Rodríguez & Escribano 1996b).

En la zona fótica, la biomasa fitoplanctónica integrada (clorofila a) presenta variación estacional y su valor máximo durante las primaveras de 1994-1995 fue de 90 mg m⁻² a 902 mg m⁻², en las dos bahías de la zona de Antofagasta. Los valores más bajos se presentan a fines de otoño o comienzos del invierno (18,55 mg m⁻²) y también se han determinado al inicio de cada fenómeno de surgencia o afloramiento (diciembre, 28 mg m⁻²).

La producción primaria presenta una tasa con un valor de 2,60 mgC m⁻³ h⁻¹ durante la fase activa de una surgencia, hasta un máximo de 2.342,9 mgC m⁻³ h⁻¹ durante una marea roja causada por *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger & Buddenbrock.

A modo de ejemplo para destacar un estado de sucesión de la comunidad fitoplanctónica, desde el verano de 1979 a igual estación en 1981, se observó una proporción igual de especies de diatomeas y dinoflagelados. Sin embargo, desde el otoño de 1981, previo al desarrollo y durante el fenómeno El Niño 1982-1983 calificado por Quinn *et al.* (1987) como "fuerte" en la zona, la presencia de dinoflagelados fue mayor en número de especies, para luego empezar a apreciarse una recuperación de las diatomeas a fines de 1983, logrando la condición "normal" en 1984. En 1985, las diatomeas continuaron dominando y en 1986 se observó un equilibrio relativo entre diatomeas y dinoflagelados (Rodríguez, 1987).

Los dinoflagelados son un segundo grupo en importancia dentro del fitoplancton de la zona y los componentes de nanoplancton y ultraplancton están escasamente estudiados (cocolitofóridos, haptofíceas y otros), siendo importantes dentro de la trama trófica. Las taxas identificadas ascienden a 61 diatomeas, 34

dinoflagelados, 3 silicoflagelados y un protozoo ciliado (Rodríguez, 1976, 1978, 1987; Rodríguez *et al.*, 1996a y Rodríguez & Escribano, 1996b).

La dinámica de la comunidad fitoplanctónica revela una alta riqueza específica. Las poblaciones de diatomeas permanecen durante el año y sólo presentan cambios en composición de especies y concentración celular, mientras que representantes de otros grupos desaparecen dentro de la zona fótica, especialmente durante el invierno (Rodríguez *et al.*, *op. cit.*).

El efecto de la surgencia sobre el fitoplancton es importante de destacar, ya que su patrón o modelo de distribución cambia por breves períodos de tiempo (días), dependiendo de la duración del fenómeno, producto del ascenso de aguas de profundidad variable (40 m a 150 m) que causan un fuerte incremento en la tasa reproductiva de los diferentes grupos representados, especialmente e inicialmente sobre diatomeas de mediano tamaño (organismos de selección r). Además, en forma simultánea ocurre el desplazamiento del agua superficial en 90° hacia el oeste, lo que causa en la zona costera profundos y significativos cambios en la biomasa fitoplanctónica.

El fenómeno de marea roja que es aperiódico en la zona ha sido registrado desde diciembre de 1964 y entre las especies de dinoflagelados causantes están: *Prorocentrum micans* Ehrenberg, *Gymnodinium splendens* Lebour, *Ceratium tripos* (O. F. Müller) Nitzsch, *Ceratium fusus* (Ehrenberg) Dujardin, junto a un protozoo ciliado *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger & Buddenbrock cuya biomasa medida en términos de clorofila a, durante un fenómeno, alcanzó a 373,5 mg l⁻¹, mientras que para *P. micans* sólo fue de 24,6 mg l⁻¹. La presencia del protozoo ciliado se asocia a áreas de surgencia, en tanto que los fenómenos causados por dinoflagelados se relacionan en la costa peruana con el fenómeno El Niño (Avaria & Muñoz, 1983 y Marín *et al.*, 1993). En el área se han presentado 46 fenómenos de marea roja, que no son tóxicos para los organismos marinos ni el hombre (Tabla I).

Tabla I. Registros de marea roja en bahía Antofagasta y Mejillones del Sur.
Table I. Red tide phenomena recorded at Antofagasta and Mejillones del Sur bays.

AÑO	MES	LUGAR	ESPECIE CAUSANTE	DENSIDAD CELULAR. Cél ml ⁻¹
1964	12	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1965	10	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1966	02-03-04	Mejillones	<i>Prorocentrum micans</i>	-
1967	09	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1976	02-03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	1.300
1976	10-11	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	20-100
1976	11-12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	50
1977	01	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1978	09	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	120
1978	11	Antofagasta	<i>Ceratium tripos</i>	60
1979	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	180
1979	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	100-300
1980	01	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	20-5.000
1980	03-04	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	180-450
1980	09-11	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	174
1980	12-02	Antofagasta	<i>Ceratium fusus</i>	-
1981	05	Antofagasta	<i>Ceratium fusus</i>	110
1982	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	-
1982	09-10	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	9-381
1983	04	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	617
1984	09	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
			<i>Prorocentrum micans</i>	91
1984	12	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
			<i>Prorocentrum micans</i>	2.290
1985	10	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	241
1986	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	34
1986	04	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	204
1986	09	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	276
1986	11	Antofagasta	<i>G. splendens</i>	69
1986	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	36
1987	01	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	19
1987	04	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	30
1987	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	194
1987	12	Mejillones	<i>Prorocentrum micans</i>	1.676
1990	10	Mejillones	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1990	12	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	-
1991	01	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	600
1992	01	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	618
1993	12	Mejillones	<i>Mesodinium rubrum</i>	540
1993	12	Antofagasta	<i>Protopepidinium</i> sp.	-
1994	01	Antofagasta	<i>Protopepidinium</i>	
			<i>pentagonum</i>	3
			<i>Ceratium tripos</i>	8
1995	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	200
1997	01	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1997	03	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	232
1997	05	Antofagasta	<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1998	03	Antofagasta	<i>Ceratium fusus</i>	13
			<i>Mesodinium rubrum</i>	-
1999	02	Mejillones	<i>Prorocentrum micans</i>	10.000
1999	04	Antofagasta	<i>Prorocentrum micans</i>	60

G. = Gymnodinium. - = No cuantificado.

Por otra parte, al realizar un análisis de la presencia de fenómenos de marea roja en los períodos fríos y cálidos se ha logrado establecer que *P. micans* se presenta mayoritariamente durante los períodos cálidos o El Niño, mientras que *M. rubrum* lo hace en el período frío o La Niña. Hasta la fecha, los fenómenos de marea roja tienen una ocurrencia de hasta cinco por año. Figuras 1 y 2.

El análisis ecológico realizado sobre la presencia de las distintas especies de diatomeas y silicoflagelados, en relación con las diferentes masas de agua está basado en una exhaustiva revisión bibliográfica (ver Bibliografía Especial) que ha to-

mado en cuenta el período de tiempo comprendido por cada estudio y su coincidencia con los diferentes períodos cálidos (El Niño), indicados por Quinn *et al.* (1987) y los períodos fríos (La Niña), entregados por K. Wolter & Timlin, 1993, 1998 y 1999 del International Research Institute for Climate Prediction, U.S.A.

Las 44 taxas consideradas son una ayuda efectiva y significativa para comprender la interacción de las distintas masas de agua que se presentan en el área, estas especies podrían ser utilizadas en calidad de bioindicadores para establecer las diferentes condiciones oceanográficas presentes y pasadas, (Tabla II).

Tabla II. Diatomeas y silicoflagelados presentes en distintas masas de agua. Distribución basada en las características ecológicas de las especies.

Table II. Diatoms and silicoflagellates identified in different water masses. Distribution based on ecological species conditions.

ESPECIES DE DIATOMEAS Y SILICOFAGELADOS PRESENTES EN LA MASA DE AGUA SUBANTÁRTICA	ESPECIES DE DIATOMEAS Y SILICOFAGELADOS PRESENTES EN LA MASA DE AGUA ECUATORIAL SUBSUPERFICIAL	ESPECIES DE DIATOMEAS EN MASAS DE AGUA: SUBTROPICAL SUPERFICIAL SUBANTÁRTICA, ECUATORIAL SUBSUPERFICIAL
<i>Asteromphalus heptactis</i> <i>Asteromphalus splendens</i> <i>Chaetoceros constrictus</i> <i>Chaetoceros didymus</i> <i>Cocconeis scutellum</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Coscinodiscus granii</i> <i>Dactyliosolen fragilissimus</i> <i>Diploneis subovalis</i> <i>Grammatophora angulosa</i> <i>Grammatophora serpentina</i> <i>Licmphora abbreviata</i> <i>Lyrella lyra</i> <i>Odontella longicuris</i> <i>Pleurosigma intermedium</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Stauroneis anceps</i> <i>Thalassiosira angulata</i> <i>Dictyocha speculum</i>	<i>Coscinodiscus perforatus</i> <i>Proboscia alata</i> <i>Rhizosolenia imbricata</i> <i>Rhizosolenia styliformis</i> <i>Stephanopyxis turris</i> <i>Trachyneis aspera</i> <i>Dictyocha fibula</i> <i>Dictyocha octonaria</i>	<i>Actinoptychus senarius</i> <i>Bacillaria paxillifera</i> <i>Coscinodiscus centralis</i> <i>Coscinodiscus janischii</i> <i>Coscinodiscus radiatus</i> <i>Coscinodiscus wailesii</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Diploneis bombus</i> <i>Diploneis didyma</i> <i>Entopyla australis</i> <i>Grammatophora marina</i> <i>Navicula ammophila</i> <i>Pseudo-nitzschia longissima</i> <i>Pseudo-nitzschia australis</i> <i>Planktoniella sol</i> <i>Pleurosigma normaii</i> <i>Surirella fastuosa</i>
Total: 19 Taxas	Total: 8	Total: 17

En el núcleo de la masa de agua ecuatorial subsuperficial (AESS) existe un fitoplancton de baja diversidad dominado por especies grandes de diatomeas del género *Rhizosolenia*, mientras que en la masa de agua subantártica (ASA) se observa un fitoplancton con mayor diversidad y dominado por especies pequeñas de los géneros *Chaetoceros*, *Thalassiosira* y otras. Sin embargo, a modo de ejemplo, según Avaria & Muñoz (1983) la presencia del género *Leptocylindrus* en ambas masas de agua se explicaría por ser una especie cosmopolita que prolifera en aguas neríticas eutróficas independiente de la masa de agua. Otras especies presentes en el fitoplancton de la zona son igualmente cosmopolitas.

EFFECTOS DE "EL NIÑO 97/98" EN EL FITOPLANCTON DE BAHÍA ANTOFAGASTA Y PRESENCIA DE UN FENÓMENO DE SURGENCIA EN BAHÍA MEJILLONES DEL SUR

El fitoplancton en la bahía de Antofagasta fue estudiado desde enero a mayo de 1998 (verano-otoño) y corresponde aproximadamente a la mitad del tiempo transcurrido de la presencia del fenómeno "ENOS" (enero de 1997 a diciembre de 1998).

Además, durante el debilitamiento de la presencia del fenómeno cálido, los días 3 y 4 de octubre de 1998 fue desarrollada en

la bahía Mejillones del Sur una investigación bioceanográfica a bordo del B/I "Purihaalar", perteneciente a la Facultad de Recursos del Mar de la Universidad de Antofagasta (Fig. 3). Las observaciones referidas a ambas bahías son un aporte importante al conocimiento existente en esta región.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la bahía de Antofagasta en una estación bioceanográfica de 20 m de profundidad (Lat. 23° 28' 30" S, Long. 70° 30' 05" W), se efectuaron mediciones en dos niveles: superficie y fondo.

Mediante la utilización de métodos clásicos fueron realizadas mediciones de la temperatura (con termómetro de inversión puesto en botella Nansen), de pH mediante pH metro HI 8418 Hanna y determinaciones espectrofotométricas de la clorofila *a* y feopigmentos (Strickland & Parsons, 1972). La biomasa fitoplanctónica para análisis cualitativo y cuantitativo fue muestreada utilizando botella Niskin con capacidad de 5 litros y su densidad celular (cél ml⁻¹), determinada utilizando el método de Utermöhl (1958).

Mientras que el estudio en la bahía Mejillones del Sur, se desarrolló considerando un total de siete estaciones, cuyas posiciones se muestran en la Tabla III.

Tabla III. Ubicación de las estaciones Oceanográficas durante octubre/98 en la bahía Mejillones del Sur.
Table III. Location of oceanographic stations during October/98 at Mejillones del Sur bay.

ESTACIONES	UBICACIÓN	
Estación 1	Lat. 23° 03' 27"	Long. 70° 27' 45"
Estación 2	Lat. 23° 02' 00"	Long. 70° 26' 59"
Estación 3	Lat. 23° 00' 28"	Long. 70° 25' 28"
Estación 4	Lat. 22° 57' 52"	Long. 70° 23' 10"
Estación 5	Lat. 22° 59' 17"	Long. 70° 24' 29"
Estación 6	Lat. 23° 03' 08"	Long. 70° 25' 00"
Estación 7	Lat. 23° 04' 07"	Long. 70° 28' 39"

En las estaciones oceanográficas se obtuvieron perfiles verticales de temperatura, salinidad y oxígeno mediante un CTD Seabird - 19. Además se recolectó mediante la botella muestreadora de agua Niskin, biomasa fitoplanctónica en superficie, media agua y fondo, para posterior determinación de densidad celular (cél ml⁻¹) a través del método de Utermöhl (*op. cit.*). Las profundidades en las siete estaciones variaron entre 70 y 110 metros de profundidad.

Para la identificación de las diferentes especies presentes en ambas bahías se recurrió a claves y descripciones existentes en obras de reconocidos especialistas mencionadas en la bibliografía especial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la bahía de Antofagasta, los valores de temperatura a nivel de superficie variaron entre 24,4 (enero) y 17,5 °C (mayo) y en el nivel de fondo su rango fue de entre 23,5 °C (enero) y 15,5 °C (abril). Los valores determinados resultaron ser semejantes a los señalados por Rodríguez (1987) para los años de presencia El Niño 1982-1983 y 1985-1986. Por otra parte, los valores de temperatura superficial señalados por Escribano *et al.* (1995) fueron bajos comparados con los obtenidos en este estudio, por lo que la información lograda refuerza la idea de la presencia del fenómeno El Niño en la bahía Antofagasta.

En la figura 4 se presentan los valores obtenidos durante el período.

La variación en el tiempo de los valores de pH en superficie se presentó dentro de un rango de 8,40 y 8,15, mientras que en el fondo su valor varió entre 8,35 y 7,80, encontrándose dentro de un rango normal para el agua de mar y sus cambios se deberían a la natural actividad fotosintética y respiratoria de la comunidad biológica. Esta variable no puede ser discutida por no existir datos al respecto y se encuentra representada por la figura 5.

Los valores de biomasa fitoplanctónica expresados en concentración de la clorofila **a** fueron en general bajos (Fig. 6) y variaron en superficie entre un rango de 4,39 (enero) y 0,80 mg l⁻¹ (abril), mientras que en el fondo variaron entre 5,59 (enero) y 0,20 mg l⁻¹ (febrero), que no es coincidente con los altos valores establecidos para un período frío (1994-1995) por Rodríguez & Escribano, 1996b.

La zona norte presenta varios centros de surgencia, entre ellos se menciona a Antofagasta (Morales *et al.*, 1996) y su actividad se presentaría durante todo el año (Avaria & Muñoz, 1983). Durante febrero de 1998, se habría producido un fenómeno de surgencia débil al igual que en abril encontrándose valores bajos de clorofila **a** del orden de 0,20 y 0,80 mg l⁻¹, sin embargo, después de cada evento no se observó un incremento significativo en los valores de biomasa fitoplanctónica, lo que se debería a la presencia del fenómeno El Niño, esto último es coincidente con lo señalado por Torres-Moye y Álvarez-Borrego, (1987), para la bahía de San Quintín, Baja California en el hemisferio norte.

Los valores de feopigmentos variaron en superficie entre un rango de 6,01 y 1,10 mg l⁻¹ y en el fondo entre 9,01 y 2,12 mg l⁻¹. Los valores superficiales altos y representados en la figura 7, permiten establecer en superficie la presencia de poblaciones viejas con bajas tasas de renovación durante enero, principio y final de febrero, marzo y abril. Las poblaciones jóvenes en superficie sólo se comenzaron a presentar a fines de mayo.

Los valores de feopigmentos presentes en el nivel de fondo fueron siempre altos con respecto a la superficie excepto a principio y final de enero y comienzos de abril de 1998, en que se habrían presentado poblaciones jóvenes con alta tasa de división.

Estos valores no pueden ser discutidos por no existir datos publicados para la zona,

sin embargo ellos sirven para destacar la presencia en este período de poblaciones viejas con bajas tasas de división, lo cual podría corresponder a un efecto causado sobre las poblaciones fitoplanctónicas durante la presencia del evento El Niño.

El análisis cuantitativo de la biomasa fitoplanctónica realizado mediante la densidad celular permite reafirmar su escasa presencia y sus valores oscilaron desde enero a mayo a nivel superficial entre 82 y 3 células ml^{-1} , mientras que en el fondo de la columna de agua estos valores se presentaron dentro de un rango de 87 y 6 células ml^{-1} . Su variación es coincidente con la biomasa fitoplanctónica expresada en términos de concentración de clorofila *a*. Sus índices de correlación fueron 0,72 y 0,50, respectivamente, con un nivel de significancia de 95%, figura 8.

El análisis cuantitativo de la densidad fitoplanctónica (cél ml^{-1}) en bahía Antofagasta, expresado en porcentaje para los niveles de superficie y fondo consideró representativos a un total de 16 taxas de diatomeas, 4 dinoflagelados y 1 silicoflagelado (Tabla IV), observándose que se presentaron valores bajos durante la presencia del fenómeno de El Niño 97/98.

El análisis cualitativo del fitoplancton presentó las siguientes especie de diatomeas y dinoflagelados en ambos niveles de la columna de agua: *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & Lewin, *Chaetoceros lacinosus*, Schütt, *Navicula cryptocephala* Kützing, *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hende, *Pleurosigma normanii* Ralfs, *Guinardia striata* (Stolterfoth) Hasle, *Rhizosolenia hebetata* (Hensen) Gran, *Rhizosolenia styliformis* Brightwell, *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström, *Chaetoceros teres* Cleve, *Pseudo-nitzschia australis* Frenguelli, *Chaetoceros curvisetus* Cleve, *Pseudo-nitzschia longissima* Cleve, *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, *Eucampia cornuta* (Cleve) Grunow, *Cocconeis molesta* Kützing, *Cocconeis scutellum* Ehrenberg, *Chaetoceros peruvianus*

Brightwell, *Licmophora abbreviata* Agardh y *Rhizosolenia imbricata* Brightwell.

Entre los dinoflagelados: *Ceratium trichoceros* (Ehrenberg) Kofoid, *Prorocentrum micans* Ehrenberg, *Diplopsalis lenticula* Bergh, *Dinophysis ovum* Schütt, *Protoperidinium pellucidum* (Bergh) Schütt, *Dinophysis* sp., *Gyrodinium* sp. y *Gymnodinium* sp.; además del silicoflagelado *Dictyocha fibula* Ehrenberg.

El total de taxas fue de 22 diatomeas, 5 dinoflagelados, junto a un silicoflagelado.

Las diatomeas *P. alata*, *R. imbricata*, *R. styliformis*, *P. australis* y *P. longissima* y el Silicoflagelado *D. fibula* confirman la presencia en la zona de las masas de agua ecuatorial subsuperficial y subtropical superficial. Las especies señaladas fueron previamente indicadas en la Tabla II.

En la bahía Mejillones del Sur la columna de agua presentó valores promedio de temperatura a nivel de superficie, 10, 20 y 30 m de profundidad del orden de 15,39 °C; 13,75 °C; 12,90 °C y 12,60 °C, respectivamente, en las siete estaciones consideradas, figura 9.

El oxígeno disuelto en superficie alcanzó a 5,57 ml l^{-1} , sin embargo a los 10, 20 y 30 metros de profundidad sus valores fueron de 1,85; 0,62 y 0,27 ml l^{-1} respectivamente, por lo que se estaría confirmando de acuerdo a sus características, la presencia de un fenómeno de surgencia en el interior de la bahía causado por la masa de agua ecuatorial subsuperficial (AESS), figura 10.

El análisis efectuado sobre la temperatura y oxígeno establece la presencia de un evento de surgencia que se hizo presente dentro de la bahía Mejillones del Sur, durante el período correspondiente al debilitamiento del fenómeno de El Niño.

Los gráficos de temperatura/salinidad y sigma-t (Figs. 11 y 12) permiten identificar las masas de agua presentes y su presencia en

Tabla IV. Presencia y porcentaje de las diferentes especies fitoplanctónicas durante El Niño 1997-98 enero-mayo, 1998 en bahía Antofagasta, Chile.

Table IV. Species identified and percentage (%) of phytoplanktonic species during El Niño 1997-1998 January-May/1998 at Antofagasta bay, Chile.

	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
DIATOMEAS										
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	18	•	•	•	•	26,9	•	•	•	•
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	•	•	•	•	31	19,1	•	•	•	•
<i>Chaetoceros teres</i>	•	26,6	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Cylindrotheca closterium</i>	22,4	•	•	•	9	3,3	•	•	•	•
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	19,6	18	20	•	24	12,3	16,8	9,8	•	•
<i>Eucampia zodiacus</i>	•	•	•	•	•	16,8	•	•	•	•
<i>Licmophora abbreviata</i>	•	6,1	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Leptocylindrus danicus</i>	•	•	•	•	•	3,3	•	•	•	•
<i>Pseudo-nitzschia longissima</i>	•	•	•	•	18	8	•	•	•	•
<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	•	•	•	50	•	•	24,1	•	•	•
<i>Guinardia striata</i>	•	2	•	•	18	8,9	•	•	•	•
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	40	10,2	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Rhizosolenia hebetata</i>	•	6,1	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Proboscia alata</i>	•	6,1	80	•	•	•	•	•	•	•
<i>Thalassiosira angulata</i>	•	•	•	50	•	•	30,5	47	•	•
DINOFLAGELADOS										
<i>Dinophysis ovum</i>	•	6,1	•	•	•	•	3,1	•	•	•
<i>Prorocentrum micans</i>	•	•	•	•	•	•	3,1	5,8	30	•
<i>Gyrodinium sp.</i>	•	•	•	•	11,1	•	•	•	•	•
<i>Gymnodinium sp.</i>	•	•	•	•	•	•	22,1	12	•	•
SILICOFLAGELADO										

S: Superficie F: Fondo ••: Ausencia

el interior de la bahía Mejillones y según sus características corresponderían a las masas de agua ecuatorial subsuperficial y subantártica no encontrándose presente la masa de agua subtropical superficial.

Las características de ambas masas de agua han sido descritas anteriormente por Robles *et al.* (1974).

En base a la información de masas de agua presentada se confirma la presencia de un fenómeno de surgencia y cuya intensidad está dada por la presencia de la masa de agua ecuatorial subsuperficial en la bahía, siendo coincidente con lo señalado por

González *et al.* (1998) para la zona de Antofagasta durante el fenómeno El Niño.

La composición de la biomasa fitoplanctónica presentó las siguientes taxas: *Chaetoceros constrictus*, *Chaetoceros convolutus*, *Chaetoceros didymus*, *Chaetoceros lacinosus*, *Cylindrotheca closterium*, *Detonula pumila*, *Pseudonitzschia australis*, *Proboscia alata*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Rhizosolenia imbricata*, *Guinardia striata* y *Stephanopyxis turris* (diatomeas), junto a las especies de dinoflagelados como: *Dinophysis ovum*, *Podolampas bipes*, *Pyrocystis lunula*, *Proto-peridinium pellucidum* y *Proto-peridinium pentagonum*.

La composición del fitoplancton se presentó con un dominio de las diatomeas sobre el resto de los otros grupos y la especie más abundante fue *Guinardia striata* (Stolterfoth) Hasle, que junto con otras especies escasas y pertenecientes al género *Rhizosolenia* son propias de la masa de agua ecuatorial subsuperficial (Avaria & Muñoz, 1983), por lo que biológicamente se confirmaría también su presencia en el interior de la bahía.

La densidad fitoplanctónica se presentó con valores bajos, que oscilaron en superficie entre 28 y 157 cél ml⁻¹, a nivel intermedio de 3 a 43 cél ml⁻¹ y en el fondo de 0 a 13 cél ml⁻¹.

RECOMENDACIONES

Dadas las observaciones obtenidas en ambas bahías del área Antofagasta se recomienda lo siguiente:

- 1.- Desarrollar un programa de monitoreo sobre el fitoplancton en las bahías Antofagasta y Mejillones del Sur, considerando las variables: temperatura, salinidad, oxígeno, nutrientes y otros que permitan caracterizar y profundizar en el conocimiento de la dinámica de las distintas masas de agua que se presentan en el área, en los períodos cálidos y fríos.
- 2.- Evaluar los fenómenos de surgencia que se presentan en las bahías de Antofagasta y Mejillones del Sur durante los períodos cálidos y fríos, considerando su secuencia e intensidad.
- 3.- Identificar las taxa de dinoflagelados presentes durante los períodos cálidos y fríos en la zona.
- 4.- Identificar las especies causantes de los fenómenos de marea roja que ocurren en el área. Registrar su presencia considerando sus efectos en la biota y seres humanos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración entregada por la Dirección de Investigación de la Universidad de Antofagasta al desarrollo del Programa: Paleoc oceanografía de la bahía Mejillones del Sur (PALEOBAME) y también a los investigadores participantes, en especial a los Doctores Luc Ortlieb del Institut de Recherche et Developpement (ex ORSTOM) y Jean-Jacques Pichon (†) del Département de Géologie et Océanographie, Université de Bordeaux (CNRS).

REFERENCIAS

- Avaria, S. & P. Muñoz. 1983. Composición y biomasa del Fitoplancton Marino del Norte de Chile en mayo de 1981 (Operación Oceanográfica Marchile XII-ERFEN III). Cienc. Technol. Mar, 7: 109-140.
- Basten, J. 1978. Oceanografía de las Aguas costeras del Norte de Chile Resultados del Crucero de Otoño de 1975 (mayo). Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur. 9: 83-102.
- Belyaeva, T. 1972. Distribution of large diatom algae in the Southeastern Pacific. Okeanologiya. 12 (3): 475-483.
- Brandhorst, W. 1971. Condiciones Oceanográficas Estivales frente a la costa de Chile, Revista de Biología Marina, Valparaíso. 14 (3): 45-84.
- D´aubarede, G. 1967. Evaluación de los Conocimientos Existentes sobre Minerales Fosfáticos y Potásicos. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Oficina de Cooperación Técnica. CORFO. Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales, 8 pp.
- Escribano, R., C. Irribarren & L. Rodríguez. 1996. Temperature and female size effects on egg production of *Calanus chilensis*: Laboratory observations. Revista Chilena de Historia Natural. 69: 365-377.

- González, H., G. Daneri, D. Figueroa, J. Iriarte, N. Lefevre, G. Pizarro, R. Quiñones, M. Sobarzo & A. Troncoso. 1998. Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmósfera de CO en la zona norte de la Corriente de Humboldt (23° S): Posibles efectos del evento El Niño, 1997-98 en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 71: 429-458.
- Gunther, E. 1936. A report on oceanographical investigations in the Perú Coastal Current. *Discovery Report*. 13: 107-276.
- Hendey, N. 1937. The plankton diatoms of the southern seas. *Discovery Report*. 16: 151-64, 8 pls.
- Marín, V., L. Rodríguez, L. Vallejo, J. Fuenteseca & E. Oyarce. 1993. Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile) *Revista Chilena de Historia Natural*. 66: 479-491.
- Morales, C., J. Blanco, M. Braun, H., Reyes & N. Silva. 1996. Chlorophyll a distribution and associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile during the winter and spring 1993. *Deep Sea Research*. 43 (3): 267-289.
- Navea, E. & O. Miranda. 1980. Ciclo anual de las condiciones oceanográficas en Mejillones del Sur (Chile). *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 17 (1): 1-57.
- Quinn, W., V. Neal & S. Antunez de Mayolo. 1987. El Niño Occurrences over the past four and a half Centuries. *Journal of Geophysical Research*. 2 C13: 14.449-14.461.
- Ramorino, L. & L. Muñiz. 1970. Estudio Cuantitativo General sobre la Fauna de Fondo de la bahía de Mejillones. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 14 (2): 79-93.
- Rivera, P., 1985. Diatomeas y Silicoflagelados: Investigaciones Taxonómicas realizadas en Chile y Problemas Existentes. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 21 (1): 9-30.
- Robles, F., E. Alarcón & A. Ulloa. 1974. Las masas de agua en la región norte de Chile y sus variaciones en un período frío (1967) y en períodos cálidos (1969, 1971-73). Reunión de Trabajo sobre el Fenómeno conocido como El Niño. Guayaquil, Ecuador, 4-12 de diciembre. 94-196.
- Rodríguez, L. 1966. Primera Cita de las especies componentes del "Huirihue o marea roja". *Estudios Oceanológicos, Chile*. 2: 91-93.
- Rodríguez, L. 1976. "Marea roja" en el norte de Chile. *Noticiario Mensual Museo Nacional de Historia Natural*. 243-244: 6-8.
- Rodríguez, L. 1978. "Marea Roja" en la Bahía San Jorge, Antofagasta-Chile. *Noticiario Mensual Museo Nacional de Historia Natural*. Año XXIII-Nº 266: 6-9.
- Rodríguez, L. 1982a. Fitoplancton de la bahía Mejillones del Sur (1966-1967). *In literis*.
- Rodríguez, L., 1982b. Análisis Fitoplanctónico en biodeposiciones en *Tagelus (Tagelus) dombeii*. Lamarck y de los Sedimentos recientes en que vive (Tellinacea: Solecurtidae). *Noticiario Mensual Museo Nacional de Historia Natural*. Año XXVI. 308-309: 4-8.
- Rodríguez, L. 1985a. Revisión del fenómeno de Marea Roja en Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*. 21(1):173-197.
- Rodríguez, L. & O. Zarate. 1985b. Nuevas Observaciones sobre Mareas Rojas en la bahía San Jorge, Antofagasta-Chile. *Estudios Oceanológicos*. 4: 81-85.
- Rodríguez, L., O. Zarate & E. Oyarce. 1985c. "Marea roja" durante septiembre y octubre de 1982 en la bahía San Jorge-Antofagasta,

- Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 21 (2): 273-294.
- Rodríguez, L. O. Zárate & E. Oyarce. 1986. Producción Primaria del Fitoplancton a temperatura, oxígeno, nutrientes y salinidad en la bahía Mejillones del Sur. 22 (1): 75-96.
 - Rodríguez, L. 1987. Observaciones sobre fitoplancton y temperatura superficial en la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 23 (1): 1-29.
 - Rodríguez, L., V. Marín, M. Farías & E. Oyarce, 1991. Identification of an upwelling zone by remote sensing and *in situ* measurement. Mejillones del Sur Bay (Antofagasta-Chile). Scientia Marina. 55 (3): 467-473.
 - Rodríguez, L., R. Escribano, G. Grone, C. Irribarren & H. Castro. 1996a. Ecología del Fitoplancton en la bahía de Antofagasta (23°), Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 31 (2): 65-80.
 - Rodríguez, L. & R. Escribano. 1996b. Bahía Antofagasta y bahía Mejillones del Sur: Observaciones de la temperatura, penetración de la luz, biomasa y composición fitoplanctónica. Estudios Oceanológicos. 15: 75-85.
 - Santander, H. 1974. La corriente Peruana. Parte II: Aspectos Biológicos. Reunión de Trabajo sobre el Fenómeno conocido como "El Niño". Guayaquil, Ecuador, 4-12. Diciembre. 285-295.
 - Silva, N. 1987. Contenido de sales nutrientes de las aguas de la región norte de Chile (Cruce MARCHILE XII-ERFEN III). Cienc. Tecnol. Mar, 11: 95-117.
 - Strickland, J. & T. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin of Fisheries and Research Board of Canada 167: 1-130.
 - Tont, S. 1989. Climatic Change: Response of Diatoms and Dinoflagellates. Geophysical Monograph. 55: 161-163.
 - Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung Limnologie 9: 1-38.
 - Zacharias, O. 1906. Veber Periodizitat. Variation und Verteilung verschiedener Planktonwesen in südlichen Meeren. Archiv für Hydrobiologie und Planktokunde. 1: 498-575.

**BIBLIOGRAFÍA ESPECIAL REFERIDA A
ESPECIES DEL FITOPLANCTON UTILIZADA
PARA CONSTRUCCIÓN DE LA TABLA II**

- Avaria, S., P. Muñoz & E. Uribe. 1982. Composición y biomasa del Fitoplancton Marino del Norte de Chile en diciembre de 1980 (Operación Oceanográfica MARCHILE XI-ERFEN II). Cienc. Tecnol. Mar, 6: 5-36.
- Avaria, S., P. Muñoz & E. Uribe. 1983. Composición y biomasa del Fitoplancton Marino del Norte de Chile en diciembre de 1980 (Operación Oceanográfica MARCHILE XII-ERFEN III). Cienc. Tecnol. Mar, 7: 109-140.
- Avaria, S. 1982. Fenómenos de Marea Roja en el Mar Chileno. Cienc. Tecnol. Mar, 6: 117-127.
- Avaria, S. & A. Alvial. 1985. La investigación ecológica del Fitoplancton marino en Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 21 (1): 61-106.
- Avaria S., D. Cassis, P. Muñoz & P. Vera. 1997. Distribución del Microfitoplancton Marino en Aguas Interiores del Sur de Chile en octubre de 1995 (Cruce CIMAR-FIORDO 1). Cienc. Tecnol. Mar, 20: 107-123.
- Avaria, S. & P. Muñoz. 1982. Producción Actual, biomasa y composición específica del fitoplancton de la bahía de Valparaíso en 1979. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 18 (2): 129-157.

- Avaria, S. 1975. Estudios de Ecología Fitoplanctónica en la Bahía de Valparaíso II. Fitoplancton 1970-1971. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 15 (2): 131-148.
- Avaria, S. 1971. Variaciones mensuales del Fitoplancton de la bahía de Valparaíso, entre julio de 1963 y julio de 1966. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 14 (3): 15-43.
- Avaria, S. 1965. Diatomeas y Silicoflagelados de la bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina, Valparaíso 12 (1, 2 y 3): 61-119.
- Avaria, S. 1970. Fitoplancton de la Expedición del "Doña Berta" en la zona Puerto Montt-Aysén. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 14 (2): 1-17.
- Avaria, S. & E. Orellana, 1975. Estudios de Ecología Fitoplanctónica en la Bahía de Valparaíso. III. Fitoplancton 1972-1973. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 15 (3): 207-226.
- Avaria, S. & P. Muñoz. 1987. Effects of the 1982-1983 on the Marine Phytoplankton off Northern Chile. Journal of Geophysical Research 92, N° C 13: 14.369-14.382.
- Avaria, S. & P. Muñoz. 1982. Primer Registro de Marea Roja Producida por Dinoflagelados Tecados en la bahía de Valparaíso, Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 18 (2): 101-115.
- Avaria, S. & P. Muñoz. 1985. Efectos del Fenómeno de "El Niño" sobre el fitoplancton marino del Norte de Chile en diciembre de 1982 (Operación Oceanográfica MARCHILE XIV-ERFEN V). Cienc. Tecnol. Mar, 9: 3-30.
- Alvial, A. & S. Avaria. 1981. Proliferación de Primavera del Fitoplancton en la bahía de Valparaíso. I Condiciones meteorológicas y oceanográficas. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 17 (2): 197-227.
- Alvial, A. & S. Avaria. 1982. Proliferación de Primavera del Fitoplancton en la bahía de Valparaíso. II. Dinámica de las Comunidades, Revista de Biología Marina, Valparaíso. 18 (1): 1-56.
- Alvial, A. & S. Avaria, 1981. Proliferación de Primavera del Fitoplancton en la bahía de Valparaíso y condiciones meteorológicas y oceanográficas. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 17 (2): 197-227.
- Barron, J. 1985. Diatoms. En: Fossil Prokaryotes and Protists Edited by Jere H. Lipps. Blackwell Scientific Publications. 342 pp.
- Bezerra D. 1986. Microfitoplancton do Estuário do Rio Potengi Natal-RN. Boletim de Pesquisa 14: 1-30.
- Bezerra, D., E. Eskinazi & M. Koenig. 1986. Microfitoplancton da Baía de Mangunca (Estado do Maranhao-Brasil). Natla-RN Boletim Técnico N° 15: 1-22.
- Boalch, G. 1970. The Typification of the Diatom Species *Coscinodiscus concinnus* Wm Smith and *Coscinodiscus granii* Gough. J. Mar. Biol. Ass. U.K. 51: 685-695.
- Boalch, G. 1974. The Type Material of the Diatom Genus *Bacteriastrum* Shadbolt. Second Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms. Beiheft 45 Zur Nova Hedwigia. 159-163.
- Burone, F. & C. Bayssé. 1984. Diatomeas de la bahía de Maldonado (Uruguay) I. Litho-desmiaceae y Eupodisceaeae. Contribuciones Departamento de Oceanografía (F. H. C.). Montevideo. 1 (10): 1-18.
- Burone, F. & C. Bayssé. 1985. Diatomeas de la bahía de Maldonado (Uruguay). II. Biddulphiaceae y Chaetoceraceae. Contribuciones Departamento de Oceanografía (F. H. C.). Montevideo. 2 (1): 1-31.
- Curl, H. 1959. The Phytoplankton of Apalachee Bay and the Northeastern Gulf of Mexico. Publications of the Institute of Marine Science. 6: 277-320.

- De Vries, T. 1979. Nekton Remains, Diatoms and Holocene Upwelling off Perú. Thesis (M. Sc. degree) Oregon State University. 85 p.
- De Vries T. and H. Schrader. 1997. Middle Miocene Marine Sediments in the Pisco Basin (Perú). Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. 87: 1-13.
- Fryxell, G. & G. Hasle. 1977. The genus *Thalassiosira*: Some Species with a Modified Ring of Central Strutted Processes. Edit. Simonsen. Fourth Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms. Oslo 67-98. Plates 8 and 2 text figures. Nova Hedwigia.
- Fryxell, G. & W. Miller, 1978. Chainforming Diatoms: Three Araphid Species. Editor: R. Simonsen. Bacillaria 1. International Journal for Diatom Research. 113-136.
- González, H. *et al.*, 1987. Desarrollo de dominancia local en la taxocenosis del Fitoplancton de bahía Concepción, Chile durante un evento de surgencia. Revista de Historia Natural. 60: 19-35.
- Guzmán, L. & I. Campodónico, 1972. Fitoplancton de Red en puerto Edén, Chile (26 de marzo al 2 de abril de 1971). Anales del Instituto de la Patagonia. 3 (1-2): 209-219.
- Hasle, G. & G. Fryxell. 1977. The Genus *Thalassiosira*: Some Species with a Linear Areola Array. Edit. Simonsen. Fourth Symposium on Recent and Fossil Marine Diatoms. Oslo. 15-66. Plates 18. Nova Hedwigia.
- Hustedt, F. 1955. Marine Litoral Diatoms of Beaufort, North Carolina. Duke University Press. 67 pp.
- Jacques, G., C. Decolas - Gros, J. Grall & A. Sounia. 1979. Distribution du phytoplankton dans la partie Antarctique de L' Ocean Indien en fin d'été. Int. Revue. ges. Hydrobiol. 64 (5): 609-628.
- Koch, P. & P. Rivera. 1984. Contribución al Conocimiento de las Diatomeas Chilenas III. El Género *Chaetoceros* Ehr. (Subgénero *Phaeceros*) Gran. Gayana. Botánica 41 (1-2): 61-64.
- Koch, P. P. Rivera. 1988. Taxonomía y Morfología de cinco especies de *Chaetoceros* Ehrenberg (Subgénero *Hyalochaete* Gran) en las aguas costeras de Chile. Cienc. Technol. Mar, 12: 109-135.
- Koizumi, I. 1990. Miocene to Pliocene Marine Diatoms from caleta Herradura de Mejillones Section, Chile. Reports of Andean Studies, Shizuoka University. Special Volume 3: 17-22.
- Moreno J., S. Licea & H. Santoyo. 1996. Diatomeas del golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 1-272. Lám. 34.
- Muñoz, P., S. Avaria, H. Sievers & R. Prado. 1992. Presencia de Dinoflagelados Tóxicos del Género *Dinophysis* en el seno Aysén, Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 27 (2): 187-212.
- Muñoz, P. 1985. Revisión Taxonómica de los dinoflagelados de Chile. Revista Biología Marina, Valparaíso. 21 (1): 31-60.
- Muñoz, P. & S. Avaria. 1986. Análisis Taxonómico de los Dinoflagelados *Prorocentrum micans* Ehrenberg y *Prorocentrum gracile* Shütt causantes de Marea Roja en el litoral chileno. Revista de Biología Marina, Valparaíso. 22 (2): 141-155.
- Padilla, H. *et al.*, 1990. Significado paleo-oceanográfico de Diatomitas Neogenas en península Mejillones, Antofagasta. Segundo Simposio sobre el Terciario de Chile. Concepción. 235-244.
- Peña, R. *et al.*, 1987. Variación estacional del índice Gonadosomático en *Acanthopleura echinata* (Barnes, 1823) (Mollusca: Polyplacophora). Estudios Oceanológicos 6: 59-65.

- Ramírez, B. 1985. Estado Actual de los estudios sobre pigmentos Vegetales marinos y producción en Chile. *Revista Biología Marina, Valparaíso*. 21 (1): 107-149.
- Reimer, C. 1961. New and Variable Taxa of the Diatom Genera *Anomoeoneis* Pfitz & *Stauroneis* Ehr. (Bacillariophyta) from the United States. *The Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 113 (9): 187-214.
- Reimer, C. 1961. Some aspects of the Diatom Flora of Cabin Creek Raised Bog, Randolph Co., Indiana. *Proceeding of the Indiana Academy of Science*. 71: 306-319.
- Rivera, P. 1968. Sinopsis de las Diatomeas de la bahía de Concepción. *Gayana. Botánica*. 18: 1-111.
- Rivera, P. 1970. Diatomeas de los Lagos Ranco, Laja y Laguna Chica de San Pedro (Chile). *Gayana. Botánica* 20 : 1-26. 1
- Rivera, P. 1973. Diatomeas de la bahía de Concepción, Chile. II. *Bol. Soc. Biol. de Concepción*. Tomo XLVI: 169-175.
- Rivera, P. 1973. Diatomeas Epífitas en *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss recolectada en la costa chilena. *Gayana. Botánica*. 25: 1-115.
- Rivera, P., O. Parra & M. González. 1973. Fitoplancton del Estero de Lengua, Chile. *Gayana. Botánica*. 23: 1-93.
- Rivera, P. 1974. Diatomeas de Agua Dulce de Concepción y Alrededores (Chile). *Gayana. Botánica*. 28: 1-134.
- Rivera, P. 1979. Diatomeas Recolectadas en las Desembocaduras de los Ríos Chivilingo, Laraquete y Carampangue, Chile. *Gayana. Botánica*. 35: 1-98.
- Rivera, P. 1982. Contributions to the Diatom Flora of Chile II. 7th. *Diatoms-Symposium*. 279 -298.
- Rivera, P. 1983. Las Especies del Género *Nitzschia* Hassall, Sección *Pseudonitzschia* (Bacillariophyceae) en las Aguas Marinas Chilenas. *Gayana. Botánica*. 42 (3- 4): 9-38.
- Rivera, P. 1983. A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18° 28´ S and 58° S. *Bibliotheca Diatomologica*. 1-386.
- Rivera, P. & M. González. 1984. Microalgas de los Colectores de Larvas de Mitílidos en bahía Coliumo, Chile. *Phycol. Lat. Americana*. 2: 27 -82.
- Rivera, P. 1985. Nuevo Registro de *Thalassiosira weissflogii* (Grunow) Fryxell & Hasle (Bacillariophyceae) para Chile. *Gayana, Botánica*. 42 (3-4): 51-57.
- Rivera, P. H. González & H. Barrales. 1986. Cingulum and valve morphology of *Pseudohimantidium* Hustedt & Krasske (Bacillariophyceae). *Phycologia*. 25 (1): 19-27.
- Rivera, P. & M. Gebauer. 1989. Diatomeas Chilenas en las Colecciones de Boyer, Cleve & Moeller, Schulze & Smith, depositadas en la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia, Estados Unidos. *Gayana. Botánica*. 46 (1-2): 89-116.
- Rivera, P. & H. Barrales. 1989. El Género *Rhoicosphenia* Grunow (Bacillariophyceae) en Chile. *Gayana. Botánica*. 46 (3-4): 213-223.
- Rivera, P. *et al.*, 1989. A Guide for References and distribution for the Class Bacillariophyceae in Chile between 18° 28´ S and 58° S. Part II. Data from 1982 to 1988. *Gayana. Botánica*. 46 (3-4): 155-198.
- Rivera, P., S. Avaria & H. Barrales, 1989. *Ethmodiscus rex* Collected by Net Sampling off the Coast of Northern Chile. *Diatom Research*. 4 (1): 131-142.

- Round, F. 1979. The Clasification of the Genus *SyneDra*. *Nova Hedwigia*. Beiheft 64: 135-146.
- Saifullah, S. 1970. The Phytoplankton of the Nova Scotian Shelf. *Nova Hedwigia*. 517-522.
- Schrader, H. & T. Baumgartner. 1983. Decadal Variation of Upwelling in the Central Gulf of California. In: Coastal Upwelling, its Sediment Record. Part B. Sedimentary records of ancient coastal Upwelling. J. Thiede & E Suess Eds. Plenium Press. 247-275.
- Saunders, R. & D. Glenn. 1969. Diatoms. *Memoirs of the Hourglass Cruises Marine Research Laboratory*. Department of Natural Resources. Florida. U.S.A. Part III. Vol. 1: 1-119.
- Sournia, A. 1972. Un periode de poussées Phytoplanktoniques pres de Nosy-Bé (Madagascar) en 1971. I. Especies rares ou nouvelles du phytoplankton. *Cah. Orstom.*, sér. Oceanogr. 10 (2): 151-159.
- Tilman, D., S. Kilham & P. Kilham. 1982. Phytoplankton Community Ecolog: The Role of Limiting Nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 349-372.
- Tabata, S. 1989. Siliceus Phytoplankton Flux: Interannual Variability and Response to Hydro-graphic Changes in the Northeastern Pacific. *Geophysical Monograph* 55: 151-160.
- Torres-Moye, G. & S. Álvarez-Borrego. 1987. Effects of the 1984 El Niño on the Summer Phytoplankton of a Baja California Upwelling Zone. *Journal of Geophysical Research* 92, N° C13: 14.338-14.386.
- Tomas, C. 1996. Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press. 339-351.
- Tsuchi, R. *et al.*, 1990. Fundamental Data on Cenozoic Biostratigraphy of Chile - Supplement. *Reports of Andean Studies Shizuoka University*, Spec. Vol. 3: 59-71.
- Uribe, E., 1985. Indicadores Biológicos en el Fitoplancton Marino. *Rev. Biol Marina, Valparaíso*. 21 (1): 151-172.
- Vera, P. *et al.*, 1996. Composición y distribución del fitoplancton de los fiordos adyacentes a Campos de Hielo Sur y su relación con algunos parámetros oceanográficos. *Cienc. Tecnol. Mar*, 19: 73-92.
- Wood, E. J. F. 1963. A Study of the Diatom Flora of Fresh Sediments of the South Texas Bays and Adjacent Waters. *Publications of the Institute of Marine Science*. 9: 237-310.
- Wood, E. J. F. 1963. Dinoflagellates in the Australian Region II. Recent Collections. *Division of Fisheries and Oceanography*. Technical Paper N° 14. Colleted reprints of the International Indian Ocean Expedition, Vol. II. Contribution N° 119. 509-563.

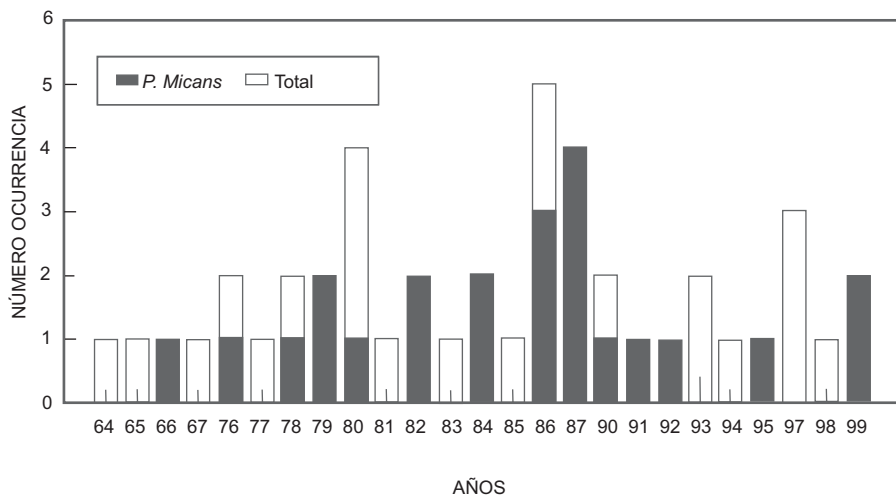


Fig. 1: Número total de mareas rojas y aquellas causadas por *Prorocentrum micans* en las bahías Antofagasta y Mejillones del Sur desde 1964 a 1999.

Fig. 1: Red tide presence from 1964 to 1999 and those caused by *Prorocentrum micans* Antofagasta and Mejillones del Sur bays.

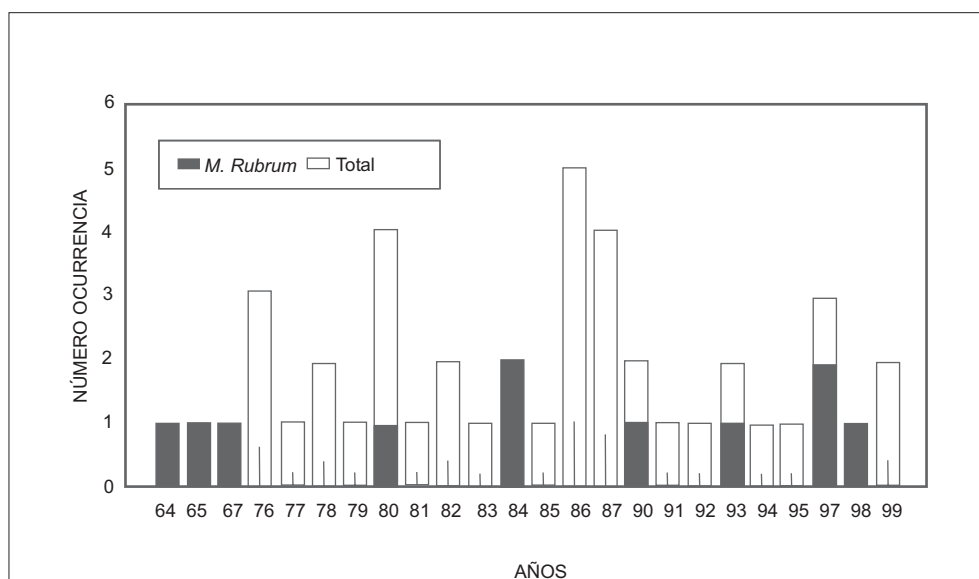


Fig. 2: Número total de mareas rojas y aquellas causadas por *Mesodinium rubrum* en las bahías Antofagasta y Mejillones del Sur desde 1964 a 1999.

Fig. 2: Red tide presence from 1964 to 1999 and those caused by *Mesodinium rubrum* at Antofagasta and Mejillones del Sur bays.

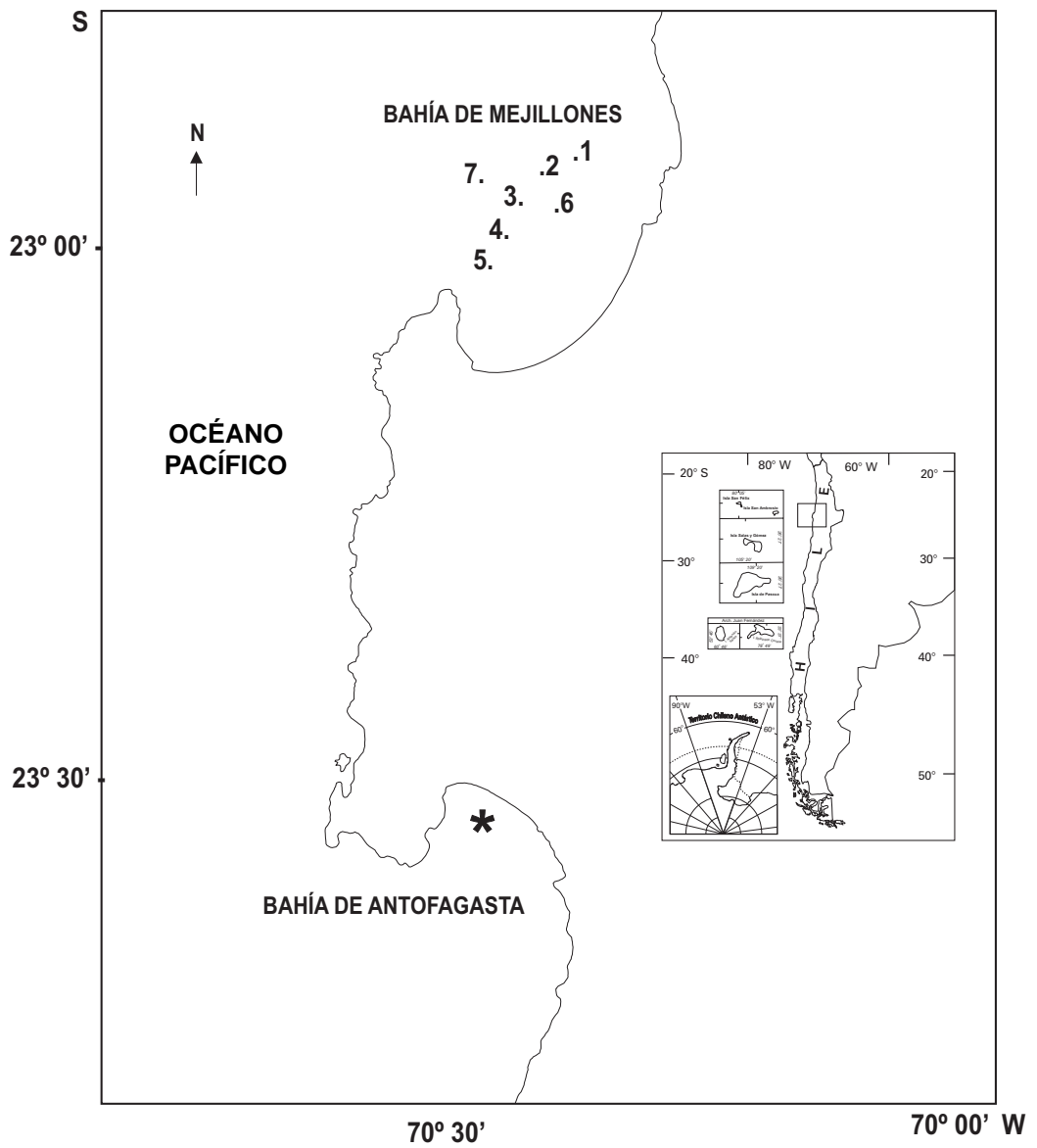


Fig. 3: Posición de las estaciones bio-oceanográficas en las bahía Antofagasta (*) y Mejillones del Sur (estaciones 1 a 7).

Fig. 3: Location and distribution of bio-oceanographic stations at Antofagasta (*) and Mejillones del Sur bays (stations 1 to 7).

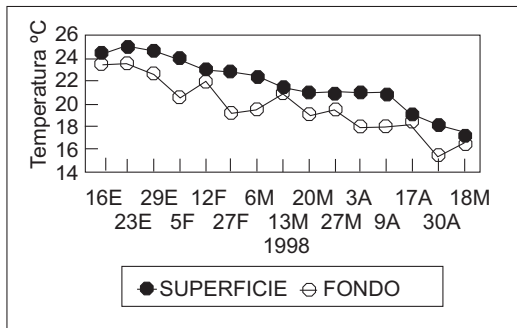


Fig.5: Variación de pH en superficie y fondo en bahía Antofagasta (enero-mayo de 1998).

Fig. 5: Monthly variations of pH at surface and botton at Antofagasta bay (January-May 1998).

Fig. 4: Variación mensual de la temperatura superficial y fondo en bahía Antofagasta (enero-mayo de 1998).

Fig. 4: Monthly sea surface temperatures recorded at two depths (0, 20 m).

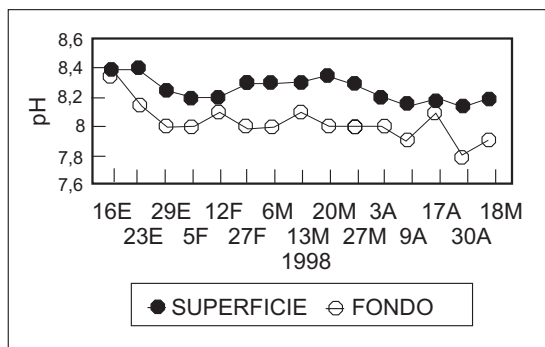


Fig. 6: Variación de la biomasa fitoplanctónica (Clorofila a) en superficie y fondo en bahía Antofagasta (enero-mayo de 1998).

Fig. 6: Monthly variation of phytoplanktonic biomass (chlorophyll a) at surface and botton at Antofagasta bay (January-May/ 1998).

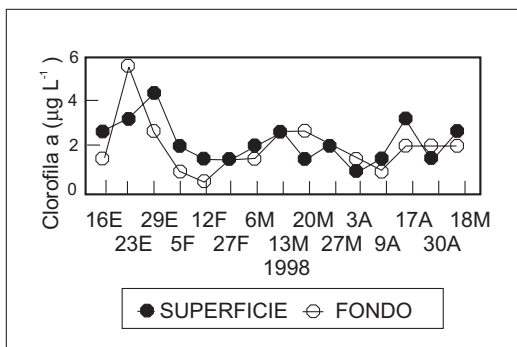
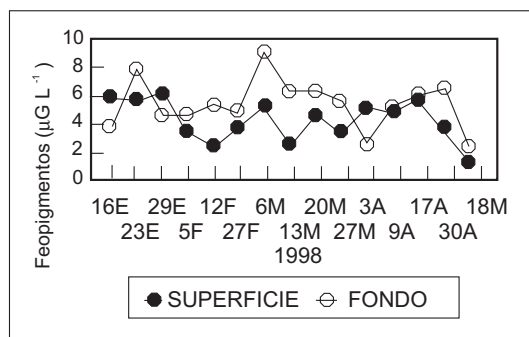


Fig. 7: Variación de Feopigmentos en superficie y fondo en bahía Antofagasta (enero-mayo de 1998).

Fig. 7: Variations of phaepigments at surface and botton at Antofagasta bay (January-May 1998).



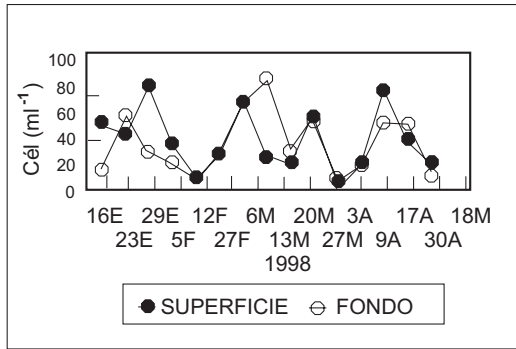


Fig. 8: Variación de biomasa fitoplanctónica (cél ml⁻¹) en la superficie y fondo en bahía Antofagasta (enero-mayo de 1998).

Fig. 8: Monthly variation of phytoplankton biomass at surface and bottom at Antofagasta bay (January-May/1998).

Fig.9: Distribución vertical de la temperatura del mar en la bahía Mejillones del Sur (3-4 de octubre de 1998).

Fig. 9: Vertical distribution of sea water temperature at Mejillones del Sur bay (October 3/4, 1998).

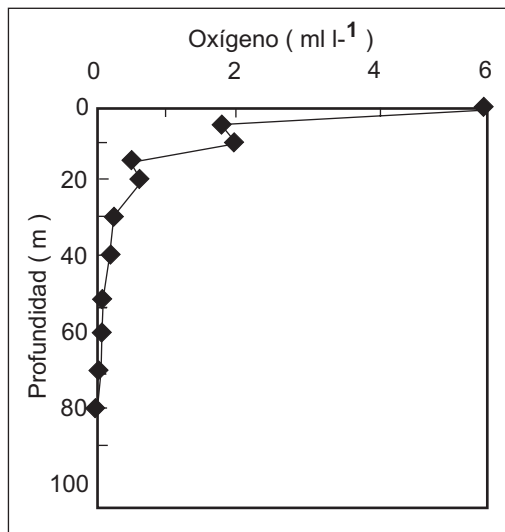
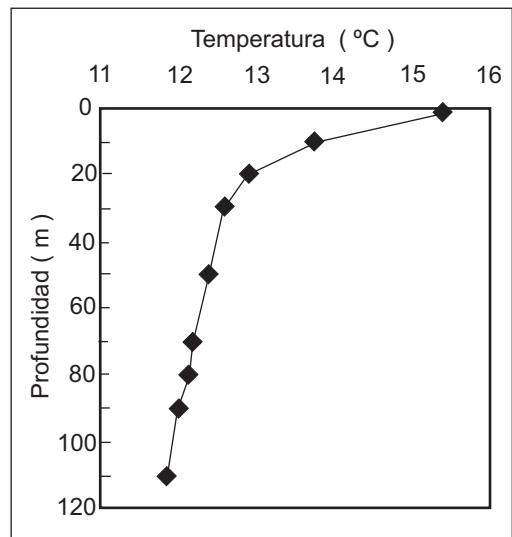


Fig. 10: Distribución vertical del oxígeno disuelto en Mejillones del Sur (3-4 de octubre de 1998).

Fig. 10: Vertical distribution of dissolved oxygen at Mejillones del Sur bay (October 3/4, 1998).

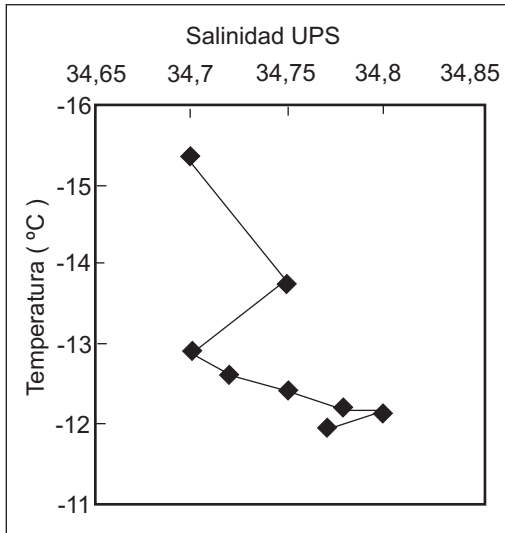


Fig. 11: Curva T/S. 3-4 de octubre de 1998. Promedio 7 Estaciones bio-oceanográficas en la bahía Mejillones del Sur.

Fig. 11: T/S curve, October 3/4, 1998. Average of seven biooceanographic stations at Mejillones del Sur bay.

Fig. 12: Presencia de masas de agua en bahía Mejillones del Sur. 3-4 de octubre 1998. Promedio 7 Estaciones bio-oceanográficas.

Fig. 12: Water mass presence at Mejillones del Sur bay, October 3/4, 1998. Average of seven biooceanographic stations.

