DINAMICA DE UN FENOMENO DE MAREA ROJA PRODUCIDO POR **PROROCENTRUM GRACILE** SCHUTT, IQUIQUE, CHILE

Adolfo Alvial M.* y Benjamín García J.*

ABSTRACT. Dynamics of a red tide caused by **Prorocentrum gracile** Schütt at Iquique, Chile.

A strong phenomenon of red tide caused by the dinoflagellate **Prorocentrum gracile** Schütt in front of Iquique (20º12'S, 70º10,5'W) in December 1980 is analysed. The patches ran from South to North, covering a coastal band of about two (2) miles. The discoloration was associated with a decrease of the predominant winds of S-SW, high intensity solar radiation and high sea surface temperature that reached 21,8ºC in the coast. **P. gracile** was largely dominant with a maximun value of concentration in the patches of 20,500 cel/ml. Its importance declined abruptly at 5 m deep and in the surrounding zones of the patches, concomitantly with strong variations in the structure of phytoplankton. The more significant accompanying species were: **Ceratium tripos**, **Protoperidinium oceanicum**, **Ceratium breve** and **Ceratium furca**, among the dinoflagellates, and **Chaetoceros lorenzianus** and **Skeletonema costatum** among diatoms. Finally, the fluctuations of phytoplankton in space and time and its relationship with some hydrological and meteorological variables are discussed.

Key words: Red tide, Chile.

INTRODUCCION

La mayor frecuencia de registros de mareas rojas en Chile se localiza frente a las costas de la zona norte del país, entre 18º28'S y 23º38'W, según un estudio realizado por Avaria (1982). De acuerdo a los datos de esa misma investigación, la discoloración que se expone en el presente trabajo, es

* Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat. Casilla 121, Iquique, Chile.

la primera que se informa provocada por el dinoflagelado **Prorocentrum gracile** Schütt, siendo a la fecha el segundo fenómeno más intenso registrado en el país en cuanto a concentración máxima de células.

Discoloraciones producidas por otra especie del género, **Prorocentrum micans** Ehrenberg, se cuentan entre las detectadas más a menudo, especialmente en la zona norte, figurando entre ellas la marea roja más intensa estudiada hasta ahora, registrada en la bahía de Valparaíso en mayo de 1979 (Avaria & Muñoz 1982).

Con cierta frecuencia, la que aumenta en los meses de primavera y verano, se avistan y se informan discoloraciones frente a la costa de Iquique y en áreas adyacentes, las que normalmente se presentan en forma de parches aislados en las zonas neríticas y oceánicas, persistiendo por espacio de pocos días. Sin embargo, la intensidad de un fenómeno de marea roja detectado a mediado de diciembre de 1980, así como su ocurrencia en la bahía de Iquique, motivó la preocupación de la Autoridad Marítima, del sector pesquero y de los investigadores, procediéndose de inmediato, con los medios y recursos disponibles, a realizar el estudio de éste.

No obstante haberse abordado este trabajo con el grado de urgencia que implicaban las circunstancias, se procuró básicamente identificar la especie causante, caracterizar la estructura del fitoplancton y sus principales variaciones especiales y temporales y relacionar estos cambios con algunas variables físicas y químicas del ambiente.

La estrategia de toma de muestras y la selección de las variables bióticas y abióticas en esta investigación, estuvo condicionada por la disponibilidad de embarcación y equipos, dada la celeridad con que debió efectuarse.

MATERIALES Y METODOS

Se efectuaron tomas de muestras frente a Iquique durante el período de mayor intensidad de la marea roja, y al comenzar su declinación. Se realizaron dos estaciones regularmente (Est. 1 y 2) en las manchas y cinco estaciones de referencia, fuera de éstas (Est. 3, 4, 5, 6 y 7) elegidas conforme a la distri-

bución de la discoloración en cada oportunidad de muestreo (Fig. 1).

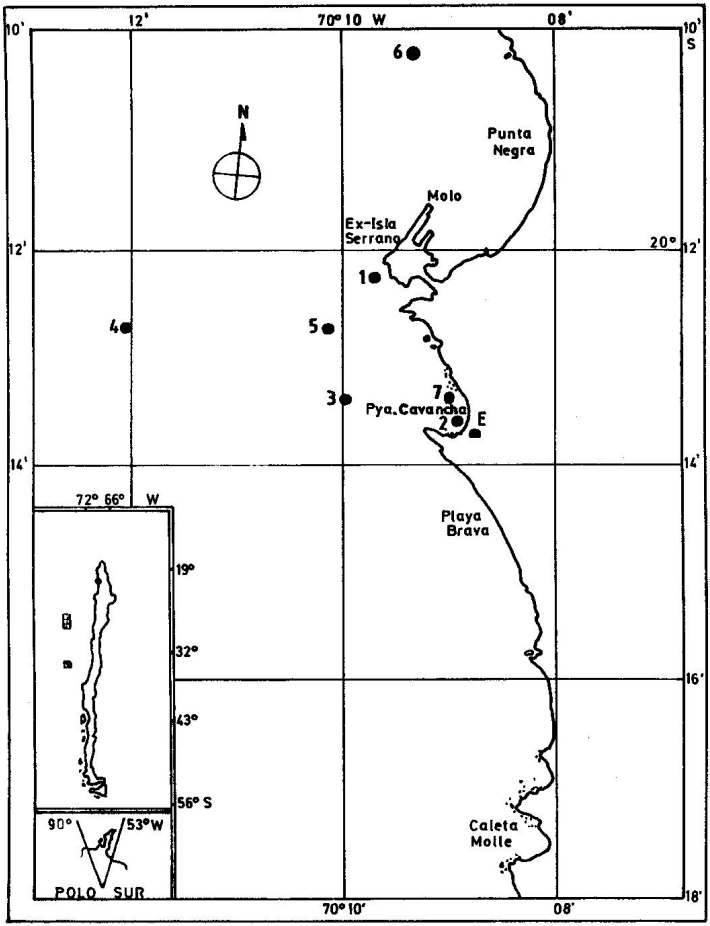

Fig. 1. Area de estudio. Ubicación de las estaciones y lugares mencionados en el texto (E, Estación meteorológica).

Las tomas de muestras se llevaron a cabo en una lancha de patrullaje de la Gobernación Marítima de Iquique el 18, 19, 20, 22 y 29 de diciembre de 1980, entre las 15.00 y las 17.00 horas. La estación 1 se realizó en las cuatro primeras fechas indicadas, en tanto la estación 2 se efectuó en todos los casos. Las estaciones de referencia correspondieron correlativamente a cada una de las fechas señaladas, ubicándose todas fuera de la zona afectada por la franja costera de marea roja, con excepción de la estación 6, que se realizó entre manchas separadas por no más de 20 m.

En todas las estaciones se efectuaron colectas de fitoplancton mediante arrastre superficial de red (71µ) durante 5 minutos, a 2 nudos de velocidad. Se registró la temperatura en superficie y a 5 m con termómetros de inversión, y la concentración de oxígeno disuelto a 3 y 5 m, empleando un oxigenómetro de campo YSY modelo 54-A. Además se registró la penetración de la luz utilizando un disco de Secchi. El 18 y 19 de diciembre se tomaron muestras de agua en superficie y 5 m para análisis de salinidad. Los días 22 y 29 de diciembre se realizaron colectas de agua en las estaciones 1, 6 y 2, en los mismos niveles indicados, para el análisis cuantitativo del fitoplancton.

Las muestras de agua se obtuvieron con botellas de PVC de inversión del tipo Nansen.

De la muestra de fitoplancton lograda por arrastre superficial de red se obtenía una submuestra, a partir de la cual se tomaban algunas gotas para efectuar el reconocimiento de especies en vivo, empleando un microscopio binocular Nikon 114 modelo Biophot y otro monocular de la misma marca. La muestra total se dejaba decantar durante 6 horas y se tomaba luego el fitoplancton decantado y se concentraba en frascos de 50 ml a los cuales se le agregaban, dependiendo de la concentración de la muestra, 1 ó 2 ml de formalina al 5% neutralizada con bórax, para su examen posterior. La abundancia relativa de las especies en las muestras se realizó a partir del contaje de células mediante barridos horizontales en 4 o más gotas y sobre un número no inferior a 2.000 fitoplancteres.

Las muestras de agua para el análisis cuantitativo del fitoplancton fueron también fijadas en formalina al 5%, agregadas en proporción aproximada de 1 : 50, en volumen.

Para la identificación de las especies se recurrió a claves y descripciones existentes en publicaciones especializadas,

tales como Cupp (1943), Avaria (1965), Simonsen (1974), Jiménez (1976), Taylor (1976), Pesantes (1978) y Muñoz & Avaria (1981). La especie causante de la marea roja fue identificada con el apoyo del Laboratorio de Fitoplancton del Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso. En los análisis cuantitativos del fitoplancton, efectuados también en la institución citada, se aplicó el método de recuento de células por especies, utilizando un microscopio invertido (Utermöhl 1958).

La salinidad se determinó en un salinómetro de inducción Auto-Lab modelo 601 del Instituto Hidrográfico de la Armada.

Se obtuvo además datos diarios de temperatura superficial del mar registrados en el sector de caleta Molle para el período noviembre 1980 - enero de 1981, y datos de radiación máxima diaria, vientos y temperatura del aire obtenidos en la Estación Meteorológica de la Fuerza Aérea en Cavancha (Fig. 1).

En el análisis y en la presentación de los resultados se ha perseguido enfatizar la evolución temporal de las variables bióticas y abióticas consideradas, así como su variación espacial, consignándose sus valores en la zona de manchas y en zonas libres de éstas, denominadas de preferencia.

RESULTADOS

Características generales y especies causante de la discoloración

La discoloración se detectó el 15 de diciembre de 1980, al observarse manchas costeras aisladas de color café y café-rojizas al sur de la bahía de Iquique. Con algunas variaciones, tanto en la intensidad como en la distribución de la discoloración, ésta se mantuvo hasta el 4 de enero de 1981. Las manchas se desplazaron de sur a norte, cubriendo en los momentos de mayor intensidad del fenómeno, una franja costera en toda la bahía. Las observaciones acerca de la evolución de esta marea roja se consignan en la Fig. 2. En el lapso de 7 días el fenómeno alcanzó su máxima extensión frente a Iquique, manteniéndose las manchas normalmente más compactadas en una franja costera de ancho no superior a 2 millas desde la línea de costa, raleando notablemente hacia el océano.

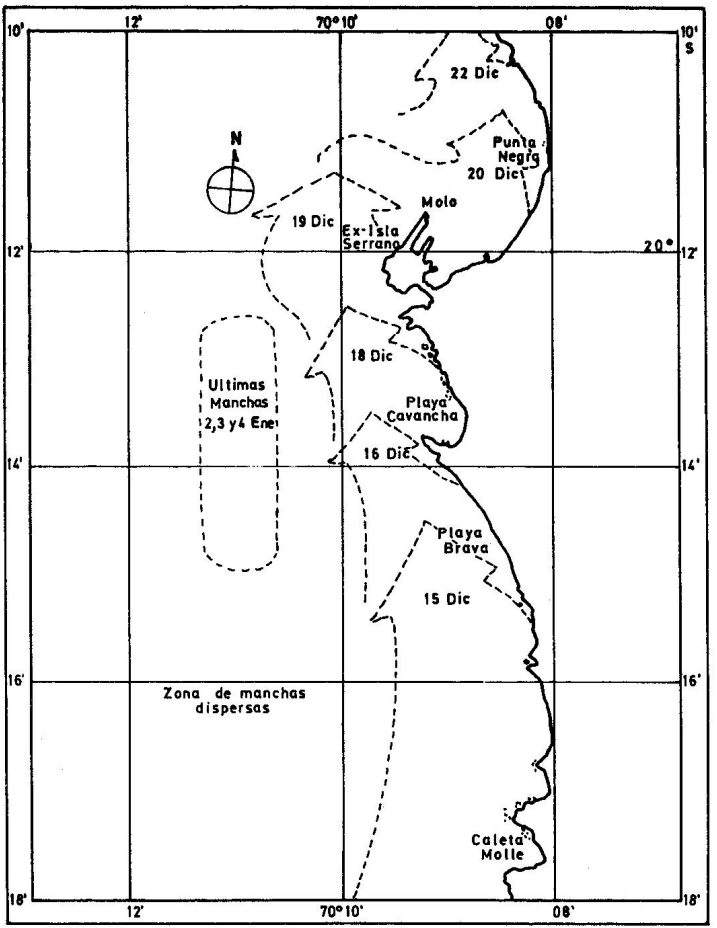

Fig. 2. Desplazamiento de las manchas en el área de estudio.

La hora de aparición de las manchas fluctuó entre las 10.30 y las 13.00 horas, y su desaparición, alrededor de las 19.00 horas. Los máximos de intensidad de la discoloración se produjeron entre las 12.00 y las 16.00 horas.

Los límites de las manchas de color café-rojizo eran bien definidas, y entre ellas se observaba agua de aspecto y coloración normal que conformaban verdaderos canales en las zonas de mayor concentración de la marea roja.

El fenómeno fue provocado por el dinoflagelado tecado **Prorocentrum gracile** Schütt. El tamaño promedio de las células, determinado sobre la base de mediciones efectuadas en 30 ejemplares, arrojó los siguientes valores: longitud total, 30 micrones (sin incluir diente apical); transdiámetro, 14 micrones y longitud del diente apical, 6 micrones; registrándose en general desviaciones poco frecuentes y significativas, respecto de las cifras señaladas.

Consideraciones generales sobre el fitoplancton

En las manchas, **Prorocentrum gracile** fue ampliamente predominante, superando, como promedio, el 90% en términos de abundancia relativa, y tuvo como principales especies acompañantes a **Ceratium tripos** f. **tripodioides**, **Protoperidinium oceanicum**, **Ceratium tripos** v. **pulchellum**, **Ceratium breve** y **Ceratium furca**, entre los dinoflagelados, y a **Chaetoceros lorenzianus**, **Skeletonema costatum** y **Coscinodiscus centralis**, entre las diatomeas, ninguna de las cuales superó, como promedio de todas las estaciones el 2% de abundancia relativa. El promedio de **Prorocentrum gracile** y de las especies de dinoflagelados acompañantes se acentuó todavía más en zonas protegidas, como Cavancha (Estación 2), respecto a las zonas más expuestas (Estación 1).

No obstante mantener su importancia en las zonas adyacentes a las manchas, en ellas pudo observarse una clara disminución de **Prorocentrum gracile**, que se redujo en un promedio del 48,35% en cuanto a su abundancia relativa. Simultáneamente, en estas zonas se acentuó la importancia de las especies de diatomeas antes consignadas, con excepción de **Coscinodiscus centralis**, superando ambas el 10%, y apareciendo significa-

tivamente otras, tales como **Chaetoceros constrictus** y **Detonula pumila**, que estaban muy minimizadas en los sectores de marea roja. En general, el grupo de las diatomeas alcanzó casi el 50%, en estas zonas, lo que refleja un fuerte incremento, si se considera que a escasa distancia, sólo constituían alrededor del 3.42% del fitoplancton total. Mientras más alejadas de la costa fueron tomadas las muestras de referencia, más se acentuó la importancia de las diatomeas, variando de un 15.1% en la estación 6, entre manchas, a un 40% en las estaciones 3 y 5 cercanas a las manchas, y hasta un 86,46% en la estación 4, definitivamente más alejada de ellas. En el mismo sentido decreció la abundancia relativa de **Prorocentrum gracile**, todo ello en correspondencia con un fuerte gradiente de la temperatura superficial que bajó considerablemente en los lugares más alejados de la costa (Fig. 3). Sólo en la estación 4 **Prorocentrum gracile** dejó de ser dominante para ceder su lugar a **Skeletonema costatum**, **Chaetoceros lorenzianus** y **C. constrictus.**

Se identificó un total de 57 taxa, entre todas las estaciones, 23 de los cuales correspondieron a dinoflagelados, 33 a diatomeas y uno a cocolitofóridos.

En las zonas de manchas se encontraron 22 taxa correspondientes a dinoflagelados, 25 a diatomeas y uno a cocolitofóridos; en las zonas de referencia, 19 correspondieron a dinoflagelados, 26 a diatomeas y uno a cocolitofóridos.

De entre las especies de dinoflagelados acompañantes en la marea roja, cabe consignar, con un comportamiento similar al de **P. gracile**, o de mayor abundancia relativa en la franja más cálida, a **Ceratium tripos** v. **pulchellum**, **C. breve** y **Prorocentrum micans.** Todas las otras especies, aproximadamente mantuvieron o aumentaron sus porcentajes en las zonas de referencia. Es destacable también igual manifestación en el caso de algunas diatomeas como **Coscinodiscus centralis**, **C. perforatus**, **C. janischii** y **Climacodium biconcavus.**

Entre los dinoflagelados que mostraron clara preferencia por las aguas menos cálidas se encontraban **Protoperidinium oceanicum**, **Ceratium furca**, **Diplopsalis minor**, **Protoperidinium pellucidum**, **Dinophysis ovus**, **Protoperidinium leonis**, **Ceratium fusus** y **Dinophysis caudata.**

Las diatomeas de mayor significación cuantitativa, tanto como fuera y dentro de las manchas, fueron **Chaetoceros**

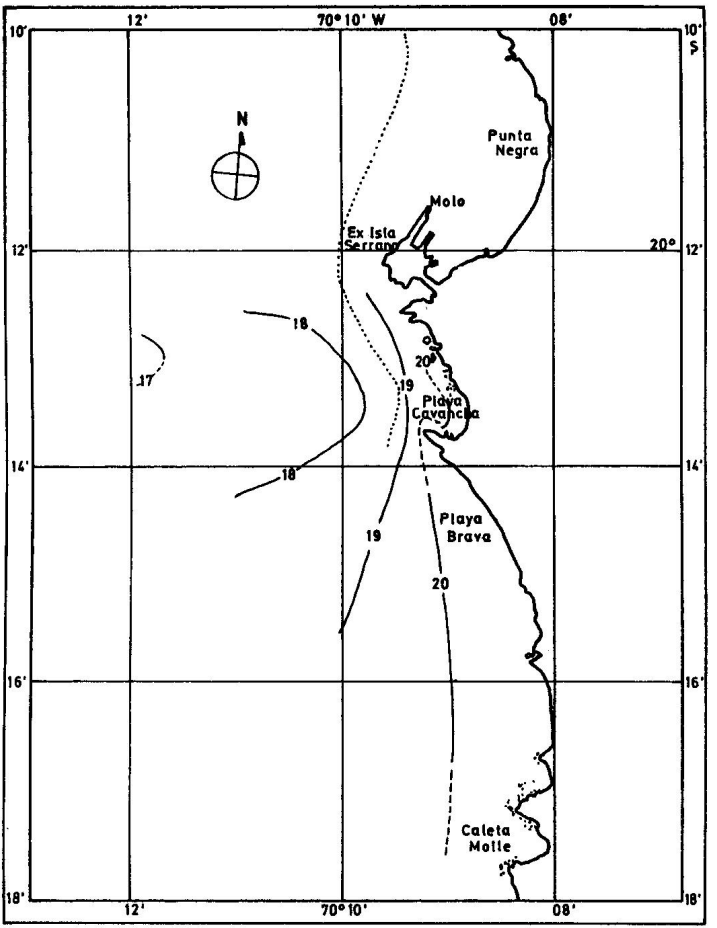

Fig. 3. Distribución de la temperatura superficial entre el 18 y el 20 de diciembre de 1980. En línea punteada se indica el límite aproximado de la franja con valores de penetración de la luz inferiores a 5 m.

lorenzianus y Skeletonema costatum.

Las diatomeas que tuvieron mayor incremento cuantitativo fuera de las manchas y especialmente en los sectores más alejados de éstas, fueron: **Chaetoceros constrictus, Detonula pumila, Chaetoceros diadema, C. didymus, C. brevis** y **C. compressus.**

En las zonas de manchas las especies más frecuentes en las muestras de red fueron: **Prorocentrum gracile. Ceratium tripos f. tripodioides, C. breve, C. furca, Protoperidinium oceanicum, Diplopsalis minor** y **Chaetoceros lorenzianus.** En las zonas de referencia, las especies más frecuentes fueron: **Prorocentrum gracile, Ceratium tripos f. tripodioides, C. furca, Diplopsalis minor, Protoperidinium oceanicum, P. pellucidum, Chaetoceros lorenzianus, Skeletonema costatum, Nitzschia pseudoseriata, N. longissima, Rhizosolenia styliformis** y **Detonula pumila.**

En las manchas, con excepción de **Prorocentrum gracile, Ceratium tripos f. tripodioides,** sobrepasó en el promedio de todas las estaciones el 1% de abundancia relativa, con un 1,72%.

Especies exclusivas de las manchas, aunque presentes en muy escasa cantidad, fueron: **Dinophysis hastata, Ceratium candelabrum, C. massiliense** y **Gonyaulax** sp.

En las zonas de manchas más cálidas y protegidas (Cavancha, Estación 2), se incrementó considerablemente la abundancia relativa de **Ceratium tripos f. tripodioides, Prorocentrum micans** y del propio **P. gracile,** inversamente, **Protoperidinium oceanicum** declinó notoriamente, junto a **Ceratium breve.**

Modificaciones de la estructura del fitoplancton en el espacio y en el tiempo

A partir de las tomas de muestras efectuadas entre el 18 y 22 de diciembre, período en el cual no se produjeron grandes variaciones en el ancho de la franja concentrada de marea roja, se intentó una caracterización de la estructura del fitoplancton desde la costa hacia el Océano, determinándose al

efecto las siguientes zonas: A.- Zona de manchas protegida, correspondiente a la estación 2; B.- Zona de manchas expuesta, correspondiente a la estación 1; C.- Zona entre manchas, correspondiente a la estación 6; D.- Zona próxima a las manchas, correspondiente a las estaciones 3 y 5; y E.- Zona alejada de las manchas, correspondiente a la estación 4. En cada una de las zonas señaladas se establecieron las especies principales y la diversidad específica en base a los arrastres de red superficiales, obteniéndose los resultados que se indican en la tabla 1. Como se puede apreciar, hubo una clara disminución en la abundancia relativa de **P. gracile** desde la zona de manchas protegida (A) hacia la zona más alejada (E). Por otra parte, y en igual sentido, se incrementó la importancia de las diatomeas y aumentó la diversidad específica.

El dinoflagelado **Ceratium tripos v. pulchellum** sólo permaneció entre las especies principales en la zona de manchas protegidas, en tanto **C. tripos f. tripodioides** toleró, aunque disminuido, las condiciones de los sectores expuestos y entre manchas. Tanto **C. lorenzianus** como **S. costatum** aumentaron su importancia desde el sector de manchas expuesto, lo que se acentuó hacia la zona alejada de la franja de marea roja. **C. constrictus** recién apareció en la estación entre manchas para consolidarse en los sectores próximos y alejados a éstas. **D. pumila** sólo se consignó entre las especies principales en la estación más alejada de la discoloración. Fuera de la zona de discoloración, propiamente tal, sólo se registró entre las especies principales **P. gracile**, como único representante de los dinoflagelados.

El análisis cuantitativo del fitoplancton en las muestras tomadas el 22 de diciembre, permitió observar una alta concentración en superficie, tanto en la estación 1 como en la estación 6, la cual declinó bruscamente a 5 m de profundidad. La máxima concentración de **P. gracile** se observó en superficie en la estación 1 donde fue la única especie presente, registrándose 20.500 cél/ml, disminuyendo a 975 cél/ml a 5 m, junto con registrarse simultáneamente la aparición de 8 especies de dinoflagelados y 3 de diatomeas como acompañantes. En la estación 6 declinó ligeramente la concentración de la especie dominante, alcanzando 17.966 cél/ml en superficie. En 5 m **P. gracile** presentó una concentración de 50 cél/ml y se incrementó significativamente **Dactyliosolen mediterraneus**, llegando a alcanzar a 36 cél/ml. En esta estación la diversidad aumentó de 0,01 a 1,52 bits/cél, de superficie a 5 m. Re-

sultaron destacables la disminución de **P. pellucidum** de superficie a 5 m y el aumento de **D. acuminata.** La situación descrita se resume en la tabla 2.

A los efectos de establecer la variación cuantitativa en el tiempo de marea roja, en la tabla 3 se comparan los resultados obtenidos el 22 de diciembre para la estación 1, y el 29 de diciembre para la estación 2. Cabe hacer notar que en esta última fecha, el fenómeno tendía a declinar y sólo se evidenciaban manchas en los sectores de Playa Brava y Cavancha. Los resultados demuestran que la concentración de **P. gracile** en las manchas se debilitó considerablemente, variando en superficie de 20.500 cél/ml a 3.058 cél/ml, y a 5 m, de 975 cél/ml, a 27 cél/ml, lo que representó una caída aproximadamente a un 15% en superficie y a un 2,8% a 5 m. No obstante la disminución cuantitativa anotada, la diversidad aún permaneció casi nula en superficie, incrementándose notablemente a 5 m, donde alcanzó a un valor de 2,97 bits/cél. En superficie la especie acompañante más significativa fue **C. didymus**, en tanto a 5 m ésta resultó ser **C. constrictus**, destacándose además **D. mediterraneus, D. pumila** y el propio **C. didymus.**

Condiciones físico-químicas durante la marea roja

La salinidad media, en base a registros efectuados el 18 y 19 de diciembre, fue mayor en superficie en las zonas de manchas que en las zonas de referencia, ocurriendo la situación inversa en la profundidad de 5 m (tabla 4). El valor superficial de las zonas de referencia, que alcanzó a 34.842×10^{-3} fue ligeramente mayor que el detectado en el área el 1º de diciembre de 1980, en un crucero correspondiente a la operación oceanográfica MARCHILE XI-ERFEN II y que arrojó un valor de 34.831×10^{-3} (Avaria, comunicación personal). No obstante la fuerte fluctuación de la salinidad observada, el predominio de los valores en la columna 0-5 m, sugiere una penetración de aguas oceánicas superficiales, previamente distante unas 40 millas de la costa, como se desprende de la comparación de estos resultados con aquellos obtenidos en el Crucero antes referido (34.863×10^{-3} en superficie y 34.859×10^{-3} a 10 m).

La temperatura del agua fue claramente mayor en las estaciones costeras efectuadas en las manchas. En la Fig. 3 se presenta la distribución de la temperatura superficial del mar

para el período del 18 al 20 de diciembre, utilizándose promedios en el caso de las estaciones 1 y 2. Como puede observarse, existe una franja costera angosta con temperaturas que van de 18°C a poco más de 20°C, y que disminuyen hacia el océano, llegando a 17°C a aproximadamente 3 millas de la costa. Se evidencia un calentamiento superficial costero reflejado, tanto por los valores absolutos de la temperatura como por los fuertes gradientes térmicos, los que, en promedio, alcanzan a 0,38°C/m, cifra considerablemente superior a los 0,14°C/m correspondiente al promedio en las zonas de referencia (tabla 5).

La concentración de oxígeno disuelto fue bastante alta, especialmente en la zona de manchas, donde el máximo, que se ubicó en superficie, alcanzó un valor medio de 8,4 ml/l, declinando bruscamente a 7,5 ml/l en 3 m y a 7,3 ml/l en 5 m. En las zonas de referencia, el máximo de 7,7 ppm se ubicó a 3 m. El gradiente medio de reducción con la profundidad (0-5 m) alcanzó a 0,22 ml/l en las manchas y a 0,08 ml/l fuera de éstas (tabla 6).

En el cálculo de penetración de la luz, se determinó el límite inferior de la zona eufótica como equivalente a 2,5 veces la profundidad de desaparición del disco Secchi, siguiendo a Strickland (1958). Los valores de penetración de la luz en la zona de manchas fueron considerablemente inferiores a aquellos determinados fuera de ellos, siendo los promedios de 2,58 y 6,79 m respectivamente, de lo que se deduce una reducción al 38% de la penetración de la luz en las manchas.

En la Fig. 3 se representa el límite de la franja con valores inferiores a 5 m, en base a los registros efectuados entre el 18 y el 22 de diciembre. Puede observarse en la tabla 7 que la penetración de la luz aumentó notablemente el 29 de diciembre, consecuentemente con la declinación de la marea roja.

Algunas variables meteorológicas e hidrológicas asociadas con el fenómeno

A comienzo de noviembre se registraron valores de radiación máxima media diaria notablemente altos que declinaron hacia fines de ese mes y comienzo de diciembre, cuando alcanzaron su mínimo para aumentar nuevamente entre el 12 y el 14 de diciembre. Simultáneamente la temperatura del aire, en progresivo

aumento desde la segunda quincena de noviembre, también se vio incrementada en el período en que se presentó la marea roja, con valores de alrededor de 21°C. El viento S-SO, analizado en base al producto de la frecuencia por la velocidad, a partir de los valores medios para períodos de 3 días, mostró una fuerte intensificación en la primera quincena de noviembre, para sostenerse seguidamente bajo, hasta fines de diciembre (Fig. 4), ocurriendo simultáneamente un aumento de la frecuencia de calmas.

La temperatura superficial del mar, registrada en Caleta Molle mostró un notable aumento en diciembre, al iniciarse el fenómeno (Fig. 4), subiendo de 17,3°C (9 al 11 de diciembre) a 18,7°C (entre 15 y 17 de diciembre).

El largo período de debilitamiento del viento S-SO, pudo implicar una reducción de la mezcla y una mayor estabilización de la columna, además de una penetración de aguas superficiales de alta salinidad desde el océano, como consecuencia de una atenuación en el flujo general de dirección norte.

En general puede estimarse que la radiación solar, habiendo sido alta en noviembre, luego de una breve declinación se vio bruscamente incrementada a fines de la primera quincena de diciembre, concomitantemente con una disminución de los vientos más frecuentes del S-SO y un aumento de las calmas, lo que en conjunto, favoreció una penetración de aguas oceánicas, presumiblemente correspondientes a la masa subtropical, y el calentamiento costero superficial que se ha consignado.

La reanudación de los vientos del S-SO a fines de diciembre y comienzos de enero, determinaron el término del calentamiento superficial costero, posiblemente la ruptura de la estabilidad de la columna de agua y, consecuentemente, el fin de la marea roja.

Variaciones del habitat y cambios en la estructura del fitoplancton

La temperatura del agua estuvo fuertemente asociada a las variaciones especiales y temporales de la discoloración, de modo que ésta se concentró en las zonas de más alta temperatura en la franja costera antes anotada, y comenzó a desaparecer cuando se produjo una disminución de la temperatura en la columna 0 a 5 m. Las concentraciones de **P. gracile** estuvieron

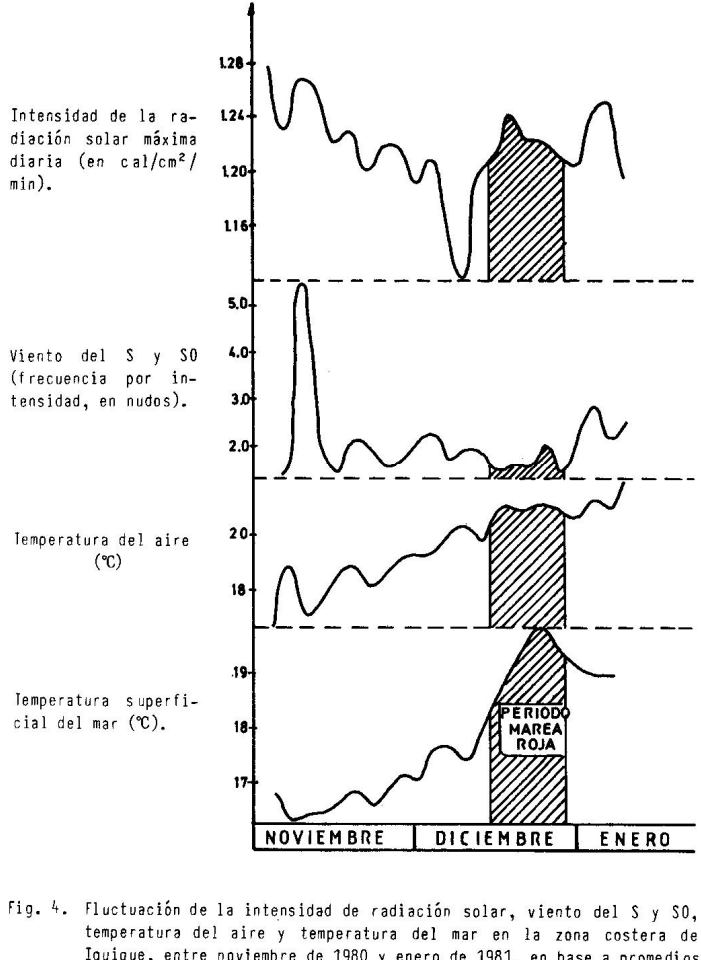

Fig. 4. Fluctuación de la intensidad de radiación solar, viento del S y SO, temperatura del aire y temperatura del mar en la zona costera de Iquique, entre noviembre de 1980 y enero de 1981, en base a promedios de dos días.

directamente relacionadas con esta variable, verificándose su decremento, tanto en un sentido de alejamiento de las áreas de mayor temperatura, como con el ligero aumento de la profundidad, de superficie a 5 m. La diversidad y la importancia de las diatomeas aumentaron significativamente con la reducción de la temperatura, lo que pudo comprobarse al comparar los resultados del análisis cuantitativo de 5 m con respecto a superficie y los resultados de las estaciones realizadas en manchas con aquellos obtenidos fuera de éstas.

En resumen, en sólo 3 a 4 millas contadas desde la costa, pudo observarse notables modificaciones en la estructura del fitoplancton, correspondientemente con la fuerte disminución de la temperatura en igual sentido. Así también, en sólo 5 m, en sentido vertical, se establecieron fuertes variaciones en la estructura consecuentes con el alto gradiente térmico registrado en dicho sentido.

Otras observaciones

Es destacable el hecho que, tanto en las muestras de red como en las muestras obtenidas con botellas para análisis cuantitativo, se observó una gran cantidad de tintínidos, los cuales de preferencia se ubicaron a 5 m, ésto es, por debajo de las más altas concentraciones de **P. gracile.**

La observación al microscopio de las muestras en vivo, permitió también establecer que una gran fracción de células de **P. gracile** se encontraban en deficiente estado fisiológico, incluyendo muchas tecas vacías a la profundidad de 5 m. Igual cosa ocurrió con la mayoría de las especies de diatomeas en ese mismo nivel.

DISCUSION

En relación con esta primera discoloración informada para Chile, en la cual la especie causante es **Prorocentrum gracile**, cabe anotar que frente a las costas del Perú se han verificado también eventos de color marrón rojizo provocadas

por esta especie (Santander & Ochoa 1982). En general, fenómenos causados por especies del género **Prorocentrum** han sido informados frente a las costas de Ecuador, Perú y Chile, siendo las más frecuentes, en este último caso, aquellas correspondientes a **P. micans** en la zona norte del país. En ninguna oportunidad se ha observado mortandades de animales marinos ni problemas derivados de intoxicación en seres humanos, lo que tampoco ocurrió con esta proliferación de **P. gracile.**

Esta intensa discoloración coincidió con la manifestación de fenómenos causados por el protozoo ciliado no tóxico **Mesodinium rubrum** en la zona comprendida entre Arica (18º 28'S) y Antofagasta (23º38'S), analizados por Avaria **et al.** (1982), y que estuvieron asociados, en sus concentraciones máximas, a los límites entre aguas surgentes y a las aguas más pobres en nutrientes que las rodean. Las temperaturas más frecuentes registradas en las manchas fluctuaron entre 19°C y 23°C. En este mismo estudio se determinó que en la época del Crucero (diciembre de 1980), la dominancia de diatomeas y las máximas concentraciones de fitoplancton estuvieron asociadas con el agua ecuatorial subsuperficial provista cerca de la costa por fenómenos de surgencias. Por su parte, la dominancia de dinoflagelados y las menores concentraciones del fitoplancton estuvieron asociadas al agua subtropical, que se expresaría afuera de las 15 millas de la costa. Estos antecedentes, sumado al hecho de los valores de salinidad y temperatura durante la discoloración frente a Iquique, así como a la presencia de haptofíceas nanoplanctónicas, sugiere que luego de períodos de afloramientos hubo una intrusión hacia la costa del agua subtropical, favorecida por el debilitamiento sostenido del viento S-SO entre noviembre y diciembre, en agregación a una intensificación de la radiación solar que causó un fuerte calentamiento superficial costero con una alta estratificación térmica. La reanudación de los vientos predominantes del S-SO habría reiniciado los afloramientos costeros reestableciendo el agua ecuatorial subsuperficial y aprisionado contra la costa la lengua intrusiva subtropical. La posterior mezcla y desaparición de esta última habría favorecido, en último término, el desarrollo del fitoplancton normal del área dominado por las diatomeas. Esta situación se habría verificado alrededor del 29 de diciembre de 1980, iniciándose la declinación de la marea roja objeto de este estudio.

Respalda la hipótesis anterior el hecho que han sido calificadas como especies indicadoras de agua más cálida por Avaria

et al. (1982), frecuentemente entre las 40 y 100 millas de la costa, **Ceratium candelabrum** y **Ceratium massilliense**, ambas presentes en las manchas de marea roja. Asimismo, se destacó en el mismo estudio en la masa de agua ecuatorial subsuperficial a **Chaetoceros lorenzianus**, entre Arica e Iquique, la cual se ubicó fuera de la franja costera de manchas.

El dinoflagelado **Ceratium tripos f. tripodioides**, importante como especie acompañante en la marea roja, ha sido indicado como dominante entre las 15 y 100 millas de la costa.

Las condiciones asociadas a esta marea roja, de alta radiación solar máxima, atenuación de los vientos predominantes, fuerte aumento la temperatura del agua acompañada de un alto calentamiento superficial y elevados valores de concentración de oxígeno disuelto, son coincidentes con el comportamiento de las variables físico-químicas observados en otros estudios sobre mareas rojas realizadas en las costas de Chile, tales como los de Avaria (1970), Guzmán **et al.** (1975), Avaria (1976), Pinto & González (1978), Jara **et al.** (1981) y Avaria & Muñoz (1982). Asimismo, Alvial & Avaria (1982) han relacionado condiciones similares con la progresión de la sucesión fitoplanctónica hacia estudios en que dominan ampliamente los dinoflagelados.

La concentración fundamentalmente superficial del dinoflagelado causante de un fenómeno de marea roja, como en este caso, también se ha consignado en los trabajos de Avaria (1978) sobre una proliferación de **Mesodinium rubrum** y Avaria & Muñoz (1982) sobre una proliferación de **P. micans.**

Ordinariamente, el término de la discoloración se ha determinado que está en relación con un aumento del viento predominante, disminución de la estabilidad en la columna de agua, caída de la temperatura e incremento de las poblaciones de diatomeas (Guzmán **et al.** 1975, Avaria 1976, Rodríguez 1978, Muñoz & Avaria 1981, Avaria & Muñoz 1982).

Por otra parte, las migraciones verticales nictimerales, estimadas por la aparición y desaparición de las manchas a simple vista en este estudio, fueron también detectados en base a análisis cuantitativos al sur de la bahía de Valparaíso durante la marea roja causada por **P. micans** (Avaria & Muñoz 1982).

La presencia de abundante tintinidos asociados a las mues-

tras de fitoplancton en esta marea roja, ha sido también observada en la bahía de Concepción (36º40'S), donde Hermosilla (1972) pudo establecer una relación estrecha y directa entre las variaciones de los dinoflagelados, los tintínidos y la temperatura media mensual.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Entre el 15 de diciembre de 1980 y el 4 de enero de 1981, se presentó en la bahía de Iquique un intenso fenómeno de marea roja provocado por el dinoflagelado tecado **Prorocentrum gracile** Schütt, el cual se concentró fundamentalmente en una franja costera que no excedió de 2 millas de ancho, declinando fuertemente más hacia el océano.

La discoloración estuvo asociada con un período de atenuación en los vientos predominantes del S-SO que se inició desde mediados de noviembre, con altos valores de la intensidad de radiación máxima diaria antes y durante su manifestación y con un notable aumento de la temperatura superficial del mar la cual llegó a alcanzar a 21,8℃ en la costa.

Los valores de salinidad y temperatura en la franja costera y la atenuación de los vientos sugieren una penetración de una lengua de agua superficial subtropical desde el océano, luego de un período de surgencias, lo cual sumado a la alta radiación que indujo un calentamiento superficial, generó las condiciones óptimas para la proliferación de **P. gracile**.

La estructura del fitoplancton se modificó en las zonas ubicadas entre las manchas, acentuándose en las áreas adyacentes y alejadas de éstas, correspondientemente con un fuerte gradiente en la distribución de la temperatura superficial del mar, aumentando simultáneamente la diversidad específica, desde valores de 0,66 bits/cél a 3,0 bits/cél. Cambios similares pudieron verificarse a 5 m de profundidad en relación a superficie.

Las condiciones físicas y químicas del ambiente durante la marea roja se caracterizaron en las manchas por un fuerte gradiente vertical de temperatura, con un predominio de 19,5℃ en superficie y de 17,6℃ a 5 m. La salinidad promedio en esas zonas fue de $34,868 \times 10^{-3}$ y $34,829 \times 10^{-3}$ a 0 y 5 m, respec-

tivamente. La concentración de oxígeno disuelto tuvo su máximo en superficie, con valores del orden de 8,4 ml/l. La penetración de la luz alcanzó un valor medio de sólo 2,58 m.

En las manchas **Prorocentrum gracile** alcanzó una abundancia relativa superior al 90% y tuvo como principales especies acompañantes a **Ceratium tripos** f. **tripodioides**, **Protoperidinium oceanicum**, **C. tripos** v. **pulchellum**, **C. breve** y **C. furca**, entre los dinoflagelados, y a **Chaetoceros lorenzianus** y **Skeletonema costatum**, entre las diatomeas. Fuera de las manchas se incrementó la importancia de las diatomeas, hasta ser dominantes en la estación más alejada de la costa, **S. costatum**, **C. lorenzianus** y **Detonula pumila.**

La concentración de **P. gracile** disminuyó bruscamente de superficie a 5 m, en las manchas consignándose el 22 de diciembre valores de 20.500 cél/ml, y de 975 cél/ml a esos respectivos niveles durante la fase de mayor intensidad del fenómeno.

La declinación de la marea roja estuvo relacionada con la intensificación de los vientos predominantes del S-SO y una disminución de la temperatura del agua, la cual alcanzó en superficie a 17,9°C el 29 de diciembre. En esa misma fecha la concentración superficial de **P. gracile** en las manchas llegó sólo a 3.058 cél/ml.

La discoloración se extinguió completamente el 5 de enero de 1981, estimándose que su término estuvo relacionado con la reanudación de procesos de afloramientos que restablecieron en la zona costera el agua ecuatorial subsuperficial, poniendo fin a la presencia de la lengua intrusiva subtropical que terminó por mezclarse y desaparecer de la zona.

AGRADECIMIENTOS. Los autores expresan su reconocimiento a la Gobernación Marítima, al Instituto del Mar y a la Estación Meteorológica de la Fuerza Aérea en Iquique, por su apoyo en la obtención de las muestras oceanográficas y datos meteorológicos. Asimismo, dejan constancia de su agradecimiento al Laboratorio de Fitoplancton del Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso y al Instituto Hidrográfico de la Armada, por su valiosa contribución en los análisis de laboratorio. Finalmente destacan el respaldo del M.Sc. Sr. Donaldo Mussiett y de los funcionarios de esta Universidad Sres. Jorge Cortés y Libia Núñez.

LITERATURA CITADA

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.

Avaria, S. 1965. Diatomeas y silicoflagelados de la bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina, Valparaíso, **12** (1-3): 61-119.

Avaria, S. 1970. Observación de un fenómeno de marea roja en la bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina, Valparaíso, **14** (1): 1-5.

Avaria, S. 1976. Marea roja en la costa central de Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso, **16** (1): 95-111.

Avaria, S. 1978. Marea roja en la zona de Aysén. Informe presentado al Servicio Agrícola y Ganadero, Chile.

Avaria, S. 1982. Investigaciones sobre mareas rojas en Chile. Informe de la UNESCO sobre Ciencias del Mar, Nº 19, pp. 2-11.

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., Muñoz, P. & E. Uribe. 1982. Composición y biomasa del fitoplancton marino del norte de Chile en diciembre de 1980 (Operación Oceanográfica MARCHILE XI-ERFEN II). Ciencia y Tecnología del Mar, CONA **6**: 5-36.

Cupp, E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bulletin Scripps Institution of Oceanography, **5** (1): 1-273.

Guzmán, L., Campodonico, I. & M. Antunovic. 1975. Estudios sobre un florecimiento tóxico causado por **Gonyaulax** en Magallanes. I. Distribución especial y temporal de **G. catenella**. Anales del Instituto de la Patagonia, Punta Arenas (Chile), **6** (1-2): 173-183.

Hermosilla, J. 1972. Variación estacional de los dinoflagelados y tintínidos en la bahía de Concepción, Chile. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, Tomo XLIV, pp. 149-159.

Jara, C., Román, C. & E. Jaramillo. 1981. Observación sobre un caso de marea roja causada por **Mesodinium rubrum** (Lohman) en el fiordo Aysén. Resúmenes Jornadas de Ciencias del Mar, 1981, p. 35.

Jiménez, R. 1976. Diatomeas y silicoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil. Boletín del Instituto Oceanográfico de la Armada -CM-BIO-5. Guayaquil, Ecuador, 52 pp.

Muñoz, P. & S. Avaria. 1981. **Scrippsiella trochoidea** (Stein) Loeblich III, nuevo organismo causante de marea roja en la bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina, Valparaíso, **19** (1): 63-78.

Pesantes, F. 1978. Dinoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil. Publicación INOCAR, **2** (2): 1-46.

Pinto, M. & W. González. 1977. Observaciones sobre un fenómeno de marea roja en la bahía de Arica. Revista de la Universidad de Chile, Sede Arica, **4-5**: 3-6.

Rodríguez, L. 1978. "Marea roja" en la bahía de San Jorge, Antofagasta, Chile. Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural, **266**: 6-8.

Santander, H. & N. Ochoa. 1982. Informe sobre mareas rojas en el Perú. Informe de la UNESCO sobre Ciencias del Mar, Nº 19, pp. 18-23.

Simonsen, R. 1974. The diaton plankton of the Indian Ocean Expedition of R.V. "Meteor" 1964-65. Meteor Forschunsergeb. (D. Biol.), **19**: 1-66.

Taylor, F. 1976. Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. A report on Material collected by the R.V. "Anton Bruun" 1963-1964. Biblioteca bot., **132**: 1-234.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der Quantitativen Phytoplankton methodik. Mittilungen Internationale Vereinigung Limnologie, **9**: 1-38.

Manuscrito recibido en julio de 1985 y aceptado en noviembre de 1986.

TABLA 1. Abundancia relativa de las especies principales y diversidad específica del fitoplancton en las zonas y estaciones señaladas en el texto.

	A		B		C		D		E	
	2		1		6		3 y 5		4	
ESPECIES PRINCIPALES	P. gracile	91,8%	P. gracile	89,9%	P. gracile	79,0%	P. gracile	53,1%	S. costatum	30,4%
	C. tripos f. trip.	2,7%	C. lorenzianus	1,3%	C. lorenzianus	8,6%	C. lorenzianus	12,8%	C. lorenzianus	24,0%
	C. tripos r. pulch.	1,0%	S. costatum	1,1%	C. constrictus	1,6%	S. costatum	10,4%	D. pumila	12,0%
	P. oceanicum	0,7%	P. oceanicum	1,1%	D. diadema	1,3%	C. constrictus	4,4%	C. constrictus	9,0%
	C. lorenzianus	0,6%	C. breve	1,0%	P. pellucidum	1,0%	C. didymus	3,0%	P. gracile	8,3%
	S. costatum	0,6%	C. tripos f. trip.	1,0%	C. tripos f. trip.	1,0%	R. alata	2,0%	C. diadema	4,0%
DIVERSIDAD ESPECIFICA (bits/cél)	0,66		0,78		1,44		2,41		3,00	

TABLA 2. Distribución cuantitativa de las especies (en Nº de cél/ml) en una estación efectuada en una mancha (1) y otra entre manchas (6), el 22 de diciembre de 1980.

ESTACIONES	1		6	
PROFUNDIDADES (metros)	0	5	0	5
ESPECIES				
DINOFLAGELADOS:				
P. gracile	20.500.0	974.9	17.966.6	50.0
D. acuminata	-	3.8	+	2.4
P. pellucidum	-	1.9	25.0	0.8
D. minor	-	1.9	0.3	2.6
C. tripos f. tripodioides	-	0.8	0.1	1.7
P. steinii	-	1.9	0.3	-
C. furca v. berghii	-	1.3	-	-
C. furca v. eugrammum	-	-	0.2	0.4
P. oceanicum	-	0.3	-	+
P. micans	-	-	0.2	-
C. tripos v. pulchellum	-	-	0.2	-
D. hastata	-	0.1	-	-
P. leonis	-	-	+	+
P. depressum	-	-	-	+
DIATOMEAS:				
D. mediterraneus	-	47.6	4.8	36.0
C. compressus	-	23.6	-	-
C. constrictus	-	2.4	-	-
L. undulatum	-	-	0.6	-
Coscinodiscus sp.	-	-	-	0.8
N. pseudoseriata	-	+	-	-
C. pelagica	-	+	-	-
C. lorenzianus	-	-	-	+
TOTAL	20.500.0	1.060.7	17.998.3	94.7

TABLA 3. Distribución cuantitativa de las especies (en Nº de cél/ml) en estaciones efectuadas en manchas el 22 de diciembre (1) y el 29 de diciembre de 1980 (2).

ESTACIONES	1 (22/12)		2 (29/12)	
PROFUNDIDADES (metros)	0	5	0	5
ESPECIES				
DINOFLAGELADOS:				
P. gracile	20.500.0	974.9	3.058.3	26.9
P. steinii	-	1.9	1.9	1.9
D. acuminata	-	3.8	-	1.9
P. pellucidum	-	1.9	-	-
C. tripos f. tripodioides	-	0.8	+	2.2
D. minor	-	1.9	-	0.1
C. furca v. berghii	-	1.3	-	0.3
P. oceanicum	-	0.3	-	-
D. hastata	-	0.1	-	-
C. fusus v. schuettii	-	-	-	0.1
C. fusus v. seta	-	-	-	0.1
P. micans	-	-	-	-
C. furca v. eugrammum	-	-	-	-
C. tripos v. pulchellum	-	-	-	-
P. leonis	-	-	-	-
P. depressum	-	-	-	-
DIATOMEAS:				
D. mediterraneus	-	47.6	3.2	9.2
C. didymus	-	-	17.8	7.6
C. compressus	-	23.6	-	3.2
C. constrictus	-	2.4	-	12.0
C. lorenzianus	-	-	6.3	3.2
D. pumila	-	-	-	6.8
N. longissima	-	-	-	3.2
C. convolutus	-	-	-	+
A. senarius	-	-	-	+
N. pseudoseriata	-	+	-	-
C. pelagica	-	+	-	-
TOTAL	20.500.0	1.060.7	3.087.5	78.7

TABLA 4. Valores de salinidad (X 10^{-3}) registrados el 18 y 19 de diciembre de 1980.

ESTAC.	EN MANCHAS					EN ZONA DE REFERENCIA			
	1		2		PROMEDIO	3	4		PROMEDIO
PROF. (m)	18/12	19/12	18/12	19/12		18/12	19/12		
0	34,900	34,827	34,872	34,874	34,868	34,835	34,849		34,842
5	34,855	34,812	34,832	34,817	34,829	34,828	34,928		34,878
Δ S‰. m^{-1}	0,009	0,003	0,008	0,011	0,008	0,001	-0,016		-0,007

TABLA 5. Valores de temperatura del mar (°C) registrados durante el período de toma de muestras.

ESTAC.	EN MANCHAS									EN ZONAS DE REFERENCIA					
	1				2				PROM.	3	4	5	6		PROM.
PROF. (m)	18/12	19/12	20/12	22/12	18/12	19/12	20/12	29/12	(+)	18/12	19/12	20/12	22/12		
0	19,3	19,6	18,5	19,0	19,7	21,8	18,9	17,9	19,5	17,4	16,9	18,0	18,8		17,8
5	17,3	18,0	17,3	17,2	17,2	18,2	17,5	15,3	17,6	16,4	16,3	17,7	17,9		17,1
Δ T.m^{-1}	0,40	0,32	0,24	0,36	0,38	0,72	0,28	0,52	0,38	0,20	0,12	0,06	0,18		0,14

(+) No incluye los datos del 29 de diciembre de 1980.

TABLA 6. Valores de concentración de oxígeno disuelto (ml/l) registrados durante el período de toma de muestras.

ESTAC.	EN MANCHAS								EN ZONA DE REFERENCIA				
	1				2				3	4	5	6	
PROF. (m)	18/12	19/12	20/12	22/12	18/12	19/12	20/12	PROMEDIO	18/12	19/12	20/12	22/12	PROMEDIO
0	8,0	9,5	7,3	9,0	7,6	10,0	7,1	8,4	7,0	7,3	7,4	7,7	7,4
3	7,0	7,6	7,5	7,5	7,0	7,8	7,8	7,5	8,0	8,1	7,8	7,0	7,7
5	7,5	7,4	7,5	7,4	6,9	7,3	7,2	7,3	6,2	7,0	7,4	7,2	7,0
Δ ox.$^{-1}$ (0 – 5m	0,70	0,42	-0,04	0,32	0,14	0,54	-0,02	0,22	0,16	0,06	0,00	0,10	0,08

TABLA 7. Penetración de la luz (m) en las distintas estaciones durante el período de toma de muestras.

EN MANCHAS									EN ZONAS DE REFERENCIA					
1				2					3	4	5	6	7	
18/12	19/12	20/12	22/12	18/12	19/12	20/12	29/12	PROMEDIO	18/12	19/12	20/12	22/12	29/12	PROMEDIO
1,63	1,45	4,56	1,50	1,63	1,25	3,63	5,00	2,58	7,78	5,50	9,15	5,00	6,50	6,79