

ESTUDIOS DE ECOLOGIA FITOPLANCTONICA EN LA BAHIA DE VALPARAISO. IV. CONDICIONES FISICAS Y QUIMICAS DEL AMBIENTE

MARIANO J. PIZARRO*

ABSTRACT. This paper analyses the temporary distribution of both physical and chemical variations in Valparaíso bay based on observations carried out from July to December 1967 and from July 1970 to June 1971.

The stability of the water column and the westerly winds are the main factors that regulate the activity of the phytoplankton. During the summer months the intense solar radiation creates a thermocline which is periodically destroyed due to the increased intensity and frequency of the westerly winds producing a process of upwelling that sustains nutrient concentrations in the surface waters. In autumn the thermocline is reduced due to the decrease in intensity of solar radiation, and the milder winds allow a more homogenous column of water to remain. This characteristic is more pronounced in the winter months. At the beginning of spring, the solar radiation and nutrients are adequate to produce the first blooms of the phytoplankton. It is assumed that in autumn the phytoplankton responds more to the variation of light intensity than to its actual values.

INTRODUCCION

En la segunda mitad de 1967 se inició un estudio tendiente a conocer las condiciones físicas y químicas de las aguas de la bahía de Valparaíso desde el punto de vista de la ecología fitoplanctónica. El conocimiento de las variaciones estacionales de los parámetros físicos y químicos que permiten definir el ambiente marino era escaso; sólo se contaba con buena información sobre la temperatura superficial diaria y horas de sol, analizadas en un trabajo anterior (Pizarro, 1973). Los estudios taxonómicos del fitoplancton de la bahía fueron iniciados en forma sistemática por Avaria (1965), con una descripción de las especies del área. Estas investigaciones se extendieron al estudio de las poblaciones más características en distintas épocas del año (Avaria, 1971 y 1975; Avaria y Orellana, 1975). La escasez de información sobre el ciclo de los nutrientes y de la hidrología general del área en cuestión ha dificultado la comprensión de los mecanismos que regulan el ciclo del fitoplancton en la bahía.

El objetivo de este trabajo es describir las condiciones físicas y químicas observadas durante los períodos de julio a diciembre de 1967 y desde julio de 1970 hasta junio de 1971. Además, se analizan los procesos que explican la distribución de las variables que se han observado.

*Dirección actual: Centro Nacional Patagónico, Puerto Madryn, República Argentina.
Nota: Trabajo parcialmente financiado por CORFO a través de un convenio con la Universidad de Chile, y realizado en el Departamento de Oceanología, Universidad de Chile, Valparaíso.

MATERIAL Y METODOS

La estación fija donde fueron recolectadas las muestras se denomina estación A y está ubicada en la bahía de Valparaíso en $32^{\circ} 53,2' S$ y $71^{\circ} 35,2' W$. La máxima profundidad registrada en este punto fue de 63 m.

Los primeros muestreos fueron iniciados en julio de 1967 y se continuaron en forma regular hasta diciembre del mismo año. Después de tres años se reinició el trabajo en julio de 1970. Entre julio y octubre de 1970 las muestras fueron solamente superficiales y posteriormente hasta junio de 1971 a las profundidades estandar. La periodicidad de los muestreos era semanal, recolectándose muestras de agua en los siguientes niveles: superficie, 5, 10, 20, 30 y 50 m. La embarcación empleada fue un bote pesquero de 7 m. de eslora equipado con un guinche de mano y contámetro. El muestreo se iniciaba regularmente a las 09.00 horas. Las muestras de agua eran tomadas con botellas Nansen para los análisis químico y con botellas del tipo Van Dorn para las muestras destinadas a los análisis biológicos. Estas muestras fueron recolectadas sólo hasta 30 m. de profundidad.

La fijación del oxígeno disuelto se realizó a bordo de la embarcación. Posteriores ensayos demostraron que, con debidas precauciones no era posible la fijación de las muestras en tierra con resultados similares. Así, este último procedimiento se adoptó desde 1970 en adelante.

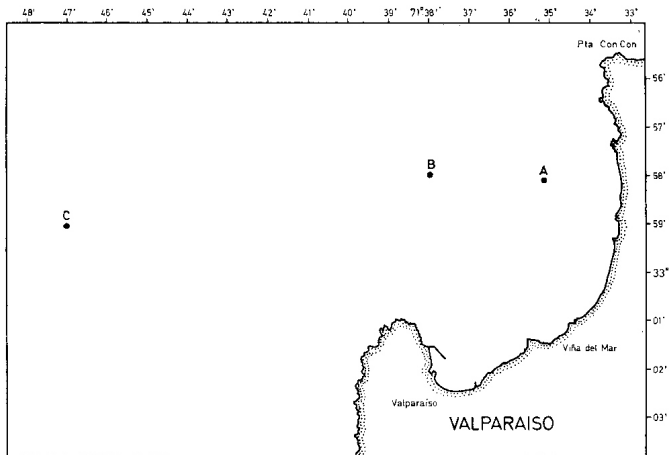


Fig. 1. Croquis de la bahía de Valparaíso mostrando ubicación de las estaciones oceanográficas A, B y C.

En dos oportunidades se efectuaron los muestreos en dos estaciones situadas más afuera, que identificamos como estación B ($32^{\circ} 58' S$; $71^{\circ} 38' W$) y estación C ($32^{\circ} 59' S$; $71^{\circ} 47' W$) (fig. 1). Estos muestreos tuvieron por objeto determinar si la estación A era representativa de las condiciones hidrográficas de la bahía. Dado que la información sobre las condiciones locales no se incrementaba en la medida en que lo hacían las necesidades materiales, sólo se continuó recolectando las muestras de agua en la estación A. Para realizar las estaciones B y C se utilizó el B/0 "Explorador", y a bordo del mismo se hicieron las fijaciones para oxígeno; los otros análisis se llevaron a cabo en la forma descrita más adelante.

Los métodos de análisis químicos utilizados son los descritos en el manual de Strickland y Parson (1968). Algunos comentarios respecto a los análisis químicos merecen ser señalados. Las muestras para los análisis de nutrientes, fosfatos y nitratos, por lo general no se filtraban, salvo en aquellos casos en que la abundancia del plancton vegetal así lo aconsejaba; esto ocurría casi siempre en la temporada de primavera-verano. Para esta operación se empleaban filtros de membrana de nitrato de celulosa, similares a los utilizados en la filtración para determinar la concentración de pigmentos fitoplanctónicos.

Los valores correspondientes a la concentración de nitrato, realmente indican la concentración de nitrato más nitrito. Los posibles errores que ello implicaría no son significativos, puesto que las concentraciones de nitritos son muy bajas (i.e. menores de 1%).

El análisis de oxígeno disuelto se realizó utilizando la técnica de Carpenter (1966), muy adecuada para bajas concentraciones de oxígeno, como las observadas en las aguas subsuperficiales del Pacífico Sur Oriental.

La temperatura in situ se midió con termómetros de inversión protegidos. No se realizó correcciones de índice por cuanto el error introducido por este concepto era despreciable considerando los fines del presente trabajo.

Para determinar la salinidad se utilizó un salinómetro de inducción Autolab. Para los análisis de fosfatos, nitratos y pigmentos se utilizó un espectrofotómetro marca Shimadzu QV 50, con cubeta de 20 mm de camino óptico.

RESULTADOS

I. SALINIDAD, TEMPERATURA Y ESTABILIDAD

La salinidad superficial en la bahía de Valparaíso varía entre $33,50^{\circ}/\text{oo}$ y $35,06^{\circ}/\text{oo}$, observados en julio y diciembre, respectivamente. La media del año es de $34,22^{\circ}/\text{oo}$. Las medias mensuales de las muestras que fueron recolectadas en forma regular durante el período de observaciones oscilan entre un mínimo de $33,88^{\circ}/\text{oo}$ para los meses de junio y agosto y un máximo de $34,79^{\circ}/\text{oo}$ para diciembre.

Los promedios de las salinidades subsuperficiales arrojan, por lo general, pequeñas diferencias con las medias superficiales, pero sin cambio fundamental en el comportamiento general de valores mínimos en invierno y máximos

en verano (tabla 1). Las salinidades del mes de diciembre forman un pico muy notable respecto a los meses anteriores y posteriores. La falta de información de otros años no permite formular ninguna hipótesis respecto a este detalle que puede ser característico del mes, o bien un comportamiento excepcional del año analizado.

La distribución de la temperatura superficial a lo largo del año no muestra diferencia con las características generales descritas en un trabajo anterior (Pizarro, 1973). En la tabla 2 se anotan las medias mensuales observadas y los valores medios de doce años. La máxima se observó en febrero-marzo y las mínimas en septiembre. En este caso también se observa el brusco aumento de temperatura superficial de septiembre a octubre, que es una característica del comportamiento térmico de la bahía asociada al régimen de vientos (Pizarro, op. cit.).

Las temperaturas altas están asociadas a vientos del sector N y NW o bien a períodos de calma, lo que significa una intensificación de la termoclina y por ende una mayor estabilidad de la columna de agua. Los valores mínimos de temperatura superficial ocurren en la época del año en que es mayor la frecuencia de los vientos del sector S y SW, lo que podría indicar que son los afloramientos los factores responsables de la disminución de la temperatura superficial.

En la tabla 3 se indican los máximos gradientes observados en las distintas oportunidades de muestreo y los valores medios por mes. Como es de esperar, los máximos gradientes verticales de temperatura se presentan en verano llegando a un valor medio de $1^{\circ}\text{C}/5\text{m}$. El máximo gradiente vertical medio mensual se observó en el mes de marzo, oportunidad en que también se presentó la máxima temperatura media mensual (tabla 2). A partir de abril los gradientes verticales de temperatura presentan una brusca disminución con un valor promedio de $0,2^{\circ}\text{C}/5\text{m}$ en otoño-invierno. El mínimo mensual corresponde al mes de agosto con $0,1^{\circ}\text{C}/5\text{m}$.

Es interesante hacer notar que la dispersión de los distintos valores del mes con respecto a la media del mismo, son mínimos en los meses de otoño-invierno, lo cual indica que los gradientes bajos de este período del año se deben al enfriamiento de la columna de agua. En la temporada de primavera-verano, también se observa valores individuales tan bajos como los anotados para el invierno que se alternan con otros muy superiores. Los gradientes débiles indican inestabilidad de la columna y pueden asociarse a fenómenos de afloramientos. La dispersión de los gradientes mensuales respecto a los valores medios indican que los fenómenos que dan lugar a la inestabilidad de la columna se alternan con períodos de fuerte estratificación vertical.

En las figs. 2 y 3 se han graficado las variaciones de estabilidad de la columna de agua para los períodos de julio-diciembre 1967, desde noviembre 1970 a marzo de 1971 y durante el otoño de 1971, respectivamente.

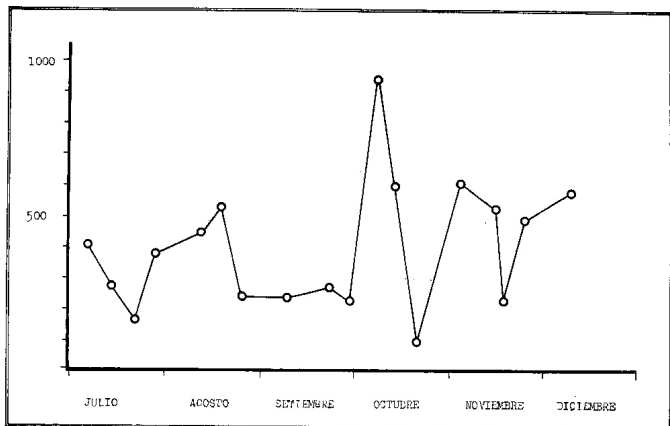


Fig. 2. Variación de la estabilidad ($\times 10^3$) desde julio a diciembre de 1967.

La estabilidad está definida por la expresión:

$$E = \frac{\Delta\sigma_t}{\Delta z} \times 10^{-3}$$

donde $\Delta\sigma_t$ es la diferencia entre el valor de σ_t a 50 m de profundidad y el valor en superficie, Δz es igual a 50 m.

En la fig. 2 se observa que la estabilidad en invierno se mantiene con pequeñas fluctuaciones alrededor del valor de 270. De octubre a diciembre se producen grandes oscilaciones y el valor medio presenta un fuerte incremento con respecto al valor correspondiente al invierno. El valor medio de la estabilidad en primavera es de 560, aumentando en el verano cuando se presentan los valores máximos con una media de 850 (fig. 2), para comenzar a declinar hasta observar un valor de 350 en el otoño (fig. 3).

Las bruscas disminuciones de la estabilidad de las columnas de agua son debidas a los afloramientos; los aumentos indican, por el contrario, el desarrollo de una fuerte termoclina a raíz de la insolación de la temporada primavera-verano. Los vientos del oeste son frecuentes en esta época del año, pero no todos tienen la suficiente fuerza y/o persistencia para romper la estabilidad de la columna de agua. En todo caso, estos vientos mantienen el cielo despejado permitiendo una buena insolación en la capa superficial del mar.

Observando las figuras citadas se pueden deducir las oportunidades en que

se produjeron importantes afloramientos en la zona. En 1967, en la tercera semana de octubre y en la primera mitad de noviembre, se produjeron dos intensos afloramientos (fig. 2).

Durante la segunda temporada de muestreo (fig. 3) se puede notar que la estabilidad comienza a aumentar a fines de octubre después de haberse probablemente producido un afloramiento. Del mes de diciembre no se tienen datos de estabilidad. A fines de enero de 1971 se produjo un afloramiento intenso, que al parecer fue el único de ese verano, ya que en febrero no se observó disminución notable de la estabilidad. A fines de marzo se observó otro afloramiento intenso. Después, entrando al otoño, la situación cambia por la disminución de la frecuencia de los vientos del oeste y con algunas fluctuaciones la estabilidad se mantiene por debajo de 500 hasta la primavera siguiente, cuando el incremento de la radiación solar incidente produce nuevamente el aumento de la estabilidad.

Durante la temporada de otoño-invierno, la estabilidad, como se acaba de ver, es muy baja, siendo suficientes los suaves vientos invernales para producir una buena homogeneización de la columna de agua.

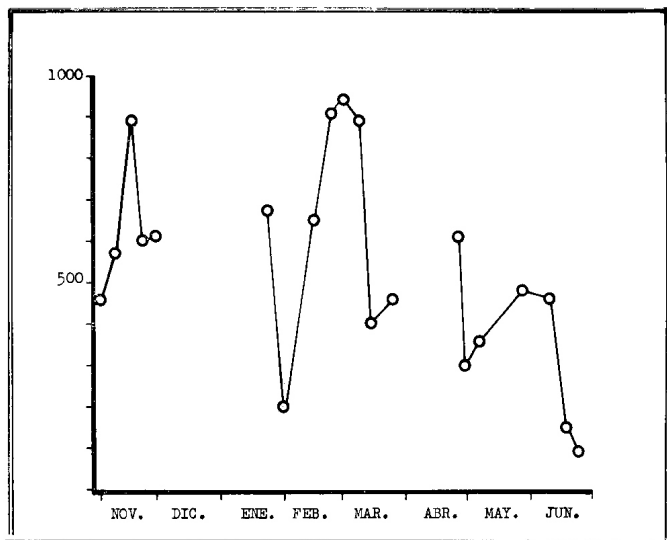


Fig. 3. Variación de la estabilidad (x10⁹) desde noviembre de 1970 a julio de 1971.

La salinidad varía relativamente poco durante el verano y por lo tanto las variaciones de la estabilidad durante esta temporada pueden atribuirse casi exclusivamente a variaciones térmicas. En este caso, los gradientes verticales de temperatura pueden constituir una buena información de la estabilidad de la columna durante los meses de primavera-verano.

2. OXÍGENO DISUELTO.

La distribución vertical de oxígeno varía a lo largo del año fundamentalmente por efectos de factores físicos, circulación, intercambio con la atmósfera y actividad fitoplanctónica. En las figs. 4 a 6 se observa que las máximas concentraciones encontradas fueron algo superiores a 9,0 ml/l, lo que significa, teniendo en cuenta las temperaturas y salinidades normales del área, una sobresaturación de 50% (i. e. 150% de saturación). Este valor excepcional fue observado simultáneamente con la presencia de altas concentraciones de fitoplancton, lo que sumado a adecuadas condiciones de iluminación y concentración de nutrientes, explica la sobresaturación tan elevada. También fueron observadas concentraciones de oxígeno en la superficie, inferiores a 3 ml/l. (fig. 5) en noviembre y fines de diciembre de 1970. Esto fue poco frecuente y relacionado con recientes afloramientos. La intensa actividad biológica y la disolución del oxígeno del aire aumentan rápidamente los valores bajos de oxígeno en la superficie.

Las bajas concentraciones de oxígeno en la superficie están correlacionadas con una pobreza del elemento en toda la columna de agua, lo que coincide con una brusca caída de la estabilidad (comparar figs. 4, 5 y 6 con 2 y 3). Las bajas concentraciones de oxígeno en la superficie son, por lo tanto, índices claros de afloramiento de aguas subsuperficiales.

Los valores medios mensuales de oxígeno superficial se presentan en la tabla 4. La media anual es de 6 ml/l, lo que indica aguas bien oxigenadas en la superficie. Teniendo en cuenta los valores medios de salinidad y temperatura superficiales y los datos de solubilidad del oxígeno en agua de mar (Weiss, 1970), se puede determinar el porcentaje medio de saturación que es 100,8%. Los promedios mensuales de porcentajes de saturación están anotados en la tabla 4. Se observa que en mayo y noviembre las aguas superficiales no están saturadas. Los máximos valores de subsaturación de oxígeno (sobresaturación negativa) se producen en julio, agosto y septiembre; las máximas sobresaturaciones, en enero, febrero y marzo.

Los valores significativos de subsaturación se observan en el invierno con una media de 86% de saturación de oxígeno. Esto coincide con la época de mínima estabilidad de la columna de agua, como se vió anteriormente. La falta de estabilidad de la columna permite una mezcla fácil entre las aguas superficiales con la capa subsuperficial, de 50 o más metros de profundidad, que tiene una concentración muy baja de oxígeno por influencia de la capa de mínimo oxígeno, cuyo núcleo se sitúa a unos 200 metros de profundidad.

El producto de la homogeneización de las aguas superficiales con aguas poco

oxigenadas, da por resultado la no saturación de la capa superficial. Este proceso de homogeneización se ve dificultado a medida que la estabilidad aumenta por el calentamiento del estrato superficial. La saturación de las aguas superficiales que se observa en primavera y la sobresaturación que ocurre en verano son una consecuencia lógica que cabe esperar de estos hechos con una mínima estabilidad.

Es posible que también otros factores físicos puedan contribuir a producir anomalías en la saturación del oxígeno. La solubilidad del oxígeno en el mar depende de la salinidad y de la temperatura, pero como la salinidad varía relativamente poco, es la temperatura superficial del mar la variable que juega el rol más importante en este proceso de intercambio gaseoso entre la atmósfera y el mar. Las altas sobresaturaciones que se presentan en verano son producto de dos factores: el aumento de la temperatura superficial del mar y de la actividad del plancton vegetal. El aumento de temperatura aumenta la estabilidad, dificulta la mezcla vertical y disminuye la solubilidad del oxígeno en el agua de mar; la actividad planctónica, por su parte, al aumentar la concentración de oxígeno contribuye a incrementar el fenómeno de sobresaturación de oxígeno.

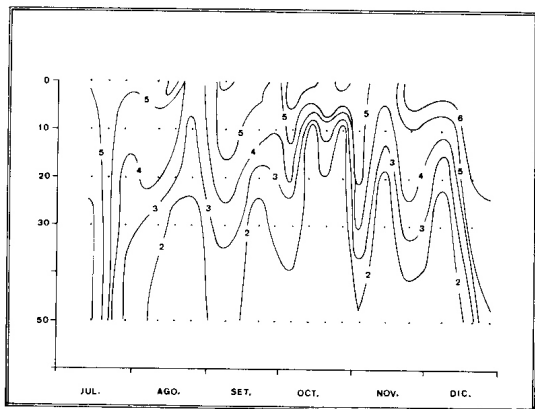


Fig. 4. Distribución vertical de oxígeno (ml NTP/litro) en la estación A desde julio a diciembre de 1970. Profundidad en metros.

La distribución de oxígeno en las capas subsuperficiales refleja en cierta medida el comportamiento de la superficie en aquella época del año en que hay poca estabilidad en la columna del agua. Pero hay mayor diferencia entre las aguas de superficie y las de la capa inferior, cuando la estabilidad de la columna aumenta.

En la tabla 5 se ha anotado para cada uno de los meses del año los valores medios de oxígeno en superficie, los promedios entre 5 y 10 m, y los promedios entre 30 y 50 m. Se indica, además, los gradientes entre estos valores medios. Los máximos gradientes se observan en la capa superficial, especialmente en los meses de verano (medio: 0,314 ml/ x m). Los valores mínimos ocurren también a este nivel entre la superficie y 5-10 m., pero en los meses de otoño. El valor medio del gradiente es de 0,099 ml/l x m. Salvo en los meses de mayo, junio y septiembre, los gradientes verticales "superficiales" (entre superficie y 5-10 m) son inferiores a los "profundos" (entre 5-10 m y 30-50 m).

Estos hechos indican que es muy probable que la capa de mezcla durante enero y febrero esté reducida prácticamente a los primeros 5 a 6 metros de profundidad; también éste es el resultado del desarrollo de fuertes termoclinas en esta época del año a raíz de la intensa radiación solar.

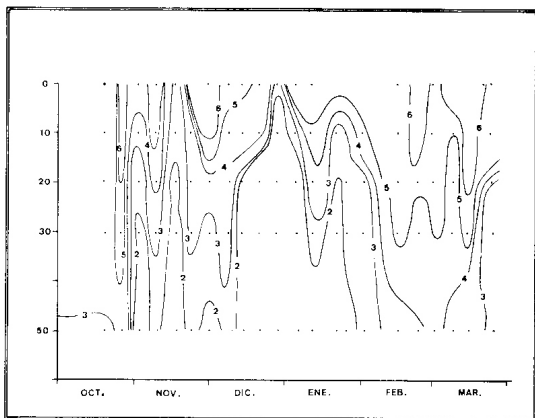


Fig. 5. Distribución vertical de oxígeno (ml NTP/litro) en la estación A desde octubre de 1970 hasta marzo de 1971. Profundidad en metros.

Los altos contenidos de oxígeno y las sobresaturaciones son el resultado de una intensa actividad orgánica que tiene lugar en esta temporada debido a los afloramientos que se producen con cierta frecuencia y que permiten la renovación de la capa superficial. Dada la gran diferencia entre los gradientes superficiales y los profundos en los meses de verano, es de esperar una capa subsuperficial bien homogénea. En marzo y en abril, la profundidad de la capa de mezcla debe aumentar, como lo indica la disminución del gradiente de oxígeno y la concentración de éste en 5-10 m respecto a las concentraciones estivales (fig. 6).

En invierno, debido al enfriamiento de la superficie, la capa de mezcla se hace más profunda, y la distribución del oxígeno con la profundidad es naturalmente más homogénea, como puede verse en las figs. 4 y 6. En julio y agosto se presentan nuevamente gradientes superficiales relativamente altos. Esto puede ser el resultado de condiciones particulares de esta temporada con vientos del sector N y NW que aportan aguas más cálidas que generan una termoclina que dificulta la homogeneización de la columna de agua (Pizarro, 1973).

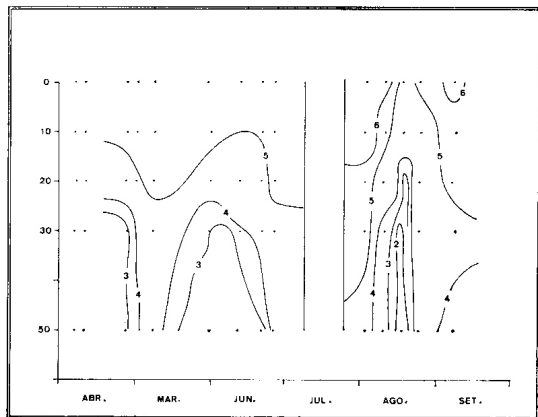


Fig. 6. Distribución vertical de oxígeno (ml NTP/litro) en la estación A desde abril a septiembre de 1971. Profundidad en metros.

El mes de septiembre, con la temperatura mínima en la superficie, indica la mínima estabilidad: la capa de mezcla se extiende hasta casi 30 m. coincidiendo con la aparición de los vientos del W.

Es interesante notar que en este mes y en agosto se presentan las mínimas concentraciones de oxígeno en el nivel de 30-50 m. Estos hechos se discuten más adelante al describir los perfiles verticales.

3. NUTRIENTES: FOSFATOS Y NITRATOS.

El esquema general de la distribución de estos elementos en el mar indica un aumento de la concentración con la profundidad y la latitud. En las áreas costeras, la distribución temporal de los nutrientes está muy vinculada a los procesos biológicos de consumo y a los físicos de renovación. Las capas superficiales son abastecidas de nutrientes, desde las capas profundas, a través de

mecanismos en los cuales juegan un papel fundamental los factores como estabilidad de la columna de agua y los vientos.

El área de la bahía de Valparaíso está, en general, bien abastecida de elementos nutrientes, fosfato y nitrato, a partir de la capa de profundidad media (capa de mínimo de oxígeno) mediante los procesos de afloramiento que ya se discutieron al ocuparnos de la temperatura y oxígeno. Sólo en contadas oportunidades se encontraron muy bajas concentraciones de fosfato, pero nunca inferiores a 0,2 at-ugP/l. Estos períodos de agotamiento no duran más de algunos días, ya que la alta probabilidad de los vientos en primavera-verano, época de gran actividad fitoplanctónica, asegura a través del afloramiento la renovación de nutrientes en la capa fótica.

La concentración media de fosfato y nitrato en la capa de 0 a 5 m de profundidad para los distintos meses del año está indicada en la tabla 6. También se anota en la misma las concentraciones medias correspondientes a 30-50 m. En las figs. 7 a 11 se ha dibujado la distribución vertical de ambos nutrientes en los distintos períodos de muestreo. Las máximas concentraciones en las capas superficiales ocurren en primavera con una concentración media del 1,71 at-ug P/l. y las mínimas en verano con 0,95 at-ug P/l. Las concentraciones medias en la capa de 30-50 m indican las más altas concentraciones de fosfato en primavera y verano. Durante la primavera la media es 2,61 at-ug P/l. Las concentraciones más bajas, en cambio, se presentan en los meses de mayo, junio y julio. La media del otoño es de 2,00 at-ug P/l.

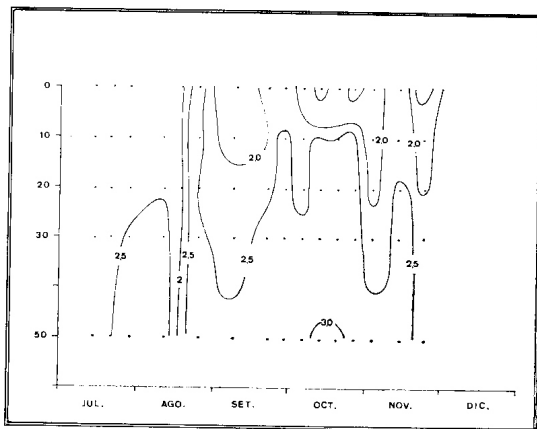


Fig. 7. Distribución vertical de fosfato (at-ug/litro) en la estación A desde julio a septiembre de 1967. Profundidad en metros.

La distribución de fosfato a lo largo del año es muy variable, especialmente en la capa superficial de 0 a 10 m. En los niveles inferiores, como es de suponer, la distribución es más regular. Se pueden distinguir claramente dos períodos: uno que corresponde a concentraciones relativamente altas, entre 2 y 3 at-ug P/l que se presenta entre octubre y enero, y el segundo período, desde febrero hasta abril, con concentraciones inferiores a 2 at-ug P/l.

La distribución anual de nitrato, tanto en la capa superficial como en la subsuperficial debe seguir el mismo comportamiento que el observado para fosfato. Falta información sobre el invierno y la mayor parte de la primavera, pero por el hecho que entre las medias mensuales de fosfato y nitrato en verano y otoño haya una alta correlación ($r = 0,84$), permitiría suponer que la distribución de este nutriente es idéntico al de fosfato durante todo el año. La mínima concentración media de nitrato fue de 3,50 at-ug N/l. observada en marzo en el estrato superficial, coincidiendo con la mínima concentración de fosfato. En los meses de enero y febrero se presentan muy bajas concentraciones de nitrato, inferiores a 1 at-ug N/l. y que al parecer, como lo que se dijo para fosfato, no deben durar mucho tiempo. No obstante es probable que las bajas concentraciones de nitrato tenga en ciertos casos un efecto limitante para la actividad fitoplanctónica.

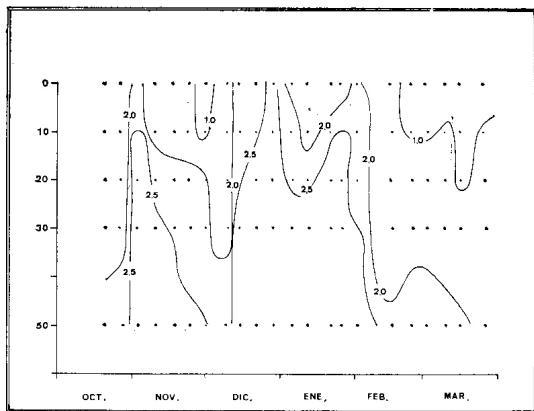


Fig. 8. Distribución vertical de fosfato (at-ug/litro) en la estación A desde octubre de 1970 hasta marzo de 1971. Profundidad en metros.

Hacia el otoño las concentraciones superficiales de nitrato aumentan. El promedio de los tres meses es de 15,47 at-ug N/l., lo que significa un incremento respecto a las concentraciones medias de verano superior al 100%. Las

concentraciones de fosfato también aumentan con respecto a las de verano, pero no en la misma proporción. Falta información sobre las concentraciones de nitrato de primavera, pero es probable que sean algo superiores a las de invierno como sucede con las concentraciones medias de fosfato.

Las concentraciones de nitrato en la capa de 30-50 m, son un 80% superior, en término medio, a su concentración en superficie. En otoño se observan los valores medios máximos, pero es probable que en primavera sea la época de mayor concentración de nitrato en la capa inferior, como parecen indicar los promedios de diciembre y enero.

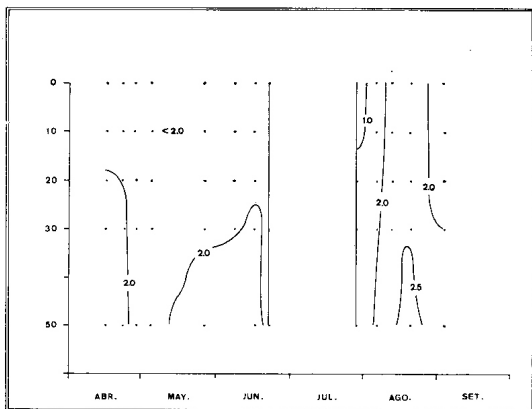


Fig. 9. Distribución vertical de fosfato (at-ugr/litro) en la estación A desde abril a septiembre de 1971.

En la tabla 6 se ha indicado también, bajo la denominación de "gradiente medio de fosfato", la diferencia entre las concentraciones medias a 30-50 m y las correspondientes de la capa superficial, es decir 0-5 m. La distribución de los gradientes a lo largo del año puede explicarse en base a los mecanismos circulatorios que ya fueron discutidos al hablar de la distribución de oxígeno y que explican también la distribución anual de nutrientes.

La mínima diferencia entre las capas "superficiales" y "profundas" ocurre durante la temporada fría, otoño e invierno (figs. 9 y 11). En esta época la estabilidad de la columna de agua es también mínima, lo cual permite una buena homogeneización de toda la columna, o sea, que la capa de mezcla alcanza su máximo espesor. Los máximos gradientes se producen en verano, cuando la estabilidad de la columna es máxima y, por lo tanto, la homogeneización de la misma se encuentra notablemente disminuída. La capa de mezcla se encuentra en estas circunstancias reducida sólo a unos metros de espe-

sor. En estos casos, puede producirse un agotamiento de los nutrientes y sólo los vientos fuertes del sector S y SW, al romper la termoclina, permiten reabastecer la capa superficial. Estos procesos ocurren con cierta frecuencia durante el período de primavera-verano, lo que permite mantener durante toda esta temporada una población fitoplanctónica relativamente importante.

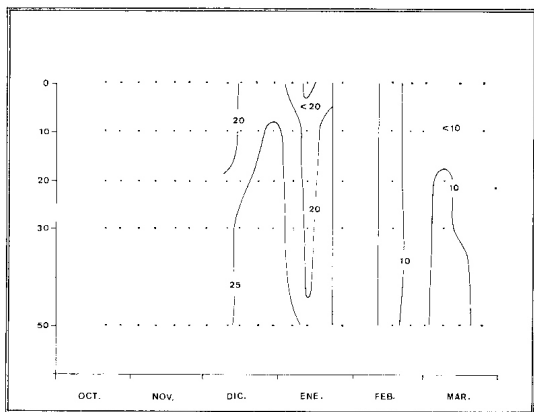


Fig. 10. Distribución vertical de nitrato (at-ugr/litro) en la estación A desde octubre de 1970 hasta marzo de 1971. Profundidad en metros.

Los afloramientos, que tienen lugar preferentemente en verano, explican las altas concentraciones medias de nutrientes en la capa 30-50 m. con respecto a las concentraciones en esta misma capa en la temporada de otoño e invierno. En verano la capa de mínimo oxígeno, que también tiene un alto contenido de nutrientes, está más cerca de la costa, precisamente por efecto de los vientos del sur que, además de los afloramientos, producen un elevamiento de la capa de mínimo oxígeno. Al analizar los perfiles verticales se volverá sobre este punto.

En otoño e invierno hay una adecuada concentración de nutrientes en la capa superficial; no obstante, la actividad fitoplanctónica es muy escasa (figs. 7, 9 y 11). Recién a fines del invierno, en los meses de agosto o septiembre, comienza a manifestarse la actividad vegetal coincidiendo con un intenso aumento de la radiación solar que, sobre una capa de agua bien provista de nutrientes, origina un fuerte desarrollo vegetal.

En los periodos de muestreo se han presentado ocasiones en que se observó concentraciones de fosfato sumamente bajas, pero en ningún momento una falta total de este elemento. La concentración de nitrato en cambio ha llegado

a veces a niveles lo suficientemente bajos para detener la actividad vegetal, pero estas condiciones son por lo general de poca duración.

Otro aspecto interesante en la distribución de fosfato y nitrato en el mar, es la relación entre ambos elementos. Esta ha sido estudiada con el objeto de determinar un índice de disponibilidad de nutrientes en el medio. Esta relación está sujeta a variaciones relativamente amplias y, al parecer, las mismas dependen de la concentración de nitrato en el medio. Esto podría considerarse índice de ciertas relaciones o condiciones ambientales respecto a los organismos fitoplanctónicos.

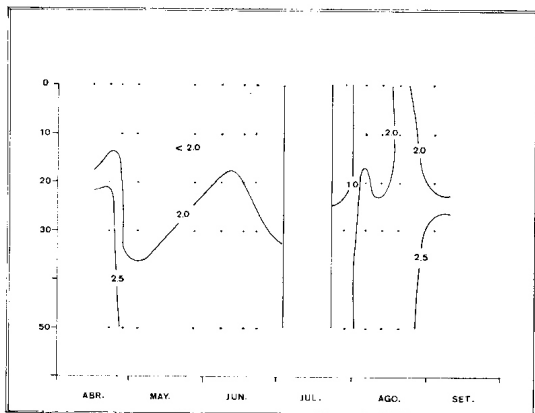


Fig. 11. Distribución vertical de nitrato (at-ugr/litro) en la estación A desde abril a septiembre de 1971. Profundidad en metros.

En las tablas 7 a 10, que indican los valores de las variables químicas en la bahía, se han consignado también los valores de la relación Nitrógeno/Fósforo (N/P en átomos) a lo largo del año. Durante el verano la relación N/P llega a valores mínimos en superficie, especialmente cuando se presenta una fuerte termoclina. En estos casos, la relación puede llegar a valores tan bajos como 2:1 o aún menores cuando la concentración de nitrógeno es casi nula. Pero al contrario, valores muy altos se han observado ocasionalmente cuando la capa superficial estaba casi agotada de fosfato. Los valores medios de la relación para los meses de verano se indican en la tabla 6; éstos oscilan entre 5,04:1 y 7,81:1 para N:P, pero se incrementan en más de un 50% en los meses de otoño, llegando a 11,7:1. Ketchum et al. (1958), encontraron en New England, que la relación N:P era variable entre 5:1 en verano y 10:1 en invierno en las aguas superficiales costeras; sobre la plataforma continental, va-

riable entre 1,2:1 a 7,1:1 y en las aguas más profundas, entre 11,1:1 a 14,1:1. Estos valores de la relación N/P coinciden con los que se han observado en el área de Valparaíso. En general, son normales las variaciones en la relación N/P en aguas superficiales en temporadas de fuerte actividad orgánica.

4. ANÁLISIS DE PERFILES VERTICALES.

En dos oportunidades, el 22 de octubre y el 7 de diciembre de 1967 se muestrearon 3 estaciones oceanográficas: A, B y C, ubicadas a 2, 7 y 14 millas de la costa, respectivamente, sobre un mismo paralelo. Los datos de temperatura, salinidad, oxígeno y fósforo se indican en las tablas 7 a 10. En las figs. 12, 13 y 14 se indican la distribución vertical de las variables, temperatura, salinidad y oxígeno; las figs. *a* corresponden al perfil del 22 de octubre y las *b* al 7 de diciembre.

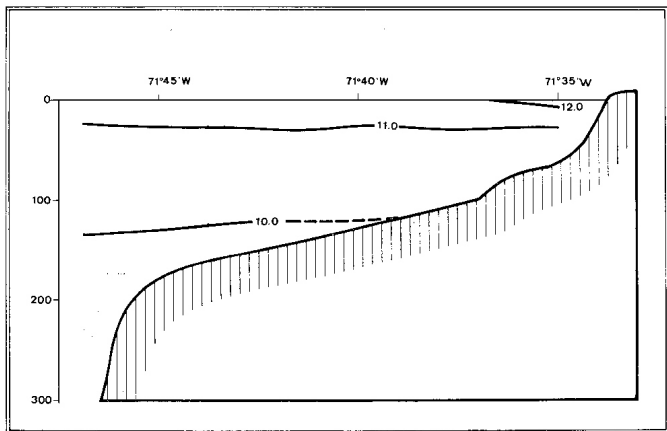


Fig. 12a. Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo de un perfil E-W en la bahía de Valparaíso en octubre de 1967.

Las condiciones observadas en octubre corresponden a comienzos de la primavera y las del 7 de diciembre a fines de la misma estación. En lo que respecta a la temperatura las diferencias no son muy grandes. En ambos casos se observa un aumento de temperatura superficial hacia la costa, lo que da origen a un fuerte gradiente vertical sobre la misma. Este hecho es más notable en diciembre, mes en el cual se nota una diferencia de $1,8^{\circ}\text{C}$ entre la temperatura superficial de la estación A y las de B y C. En octubre la diferencia es menor, $0,9^{\circ}\text{C}$.

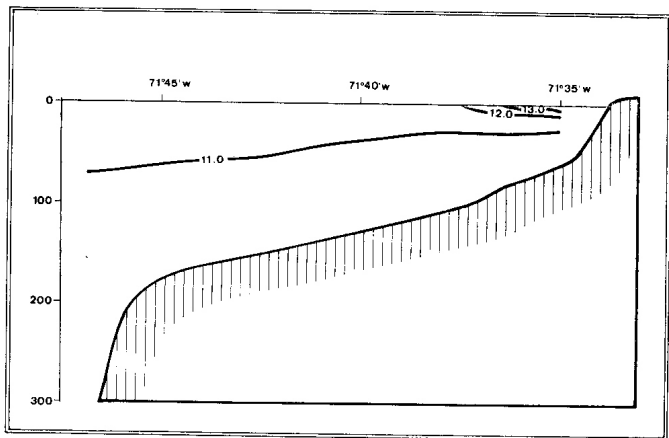


Fig. 12b. Distribución vertical de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a lo largo de un perfil E-W en la bahía de Valparaíso en diciembre de 1967.

En el mes de octubre, la isolínea de 10°C se sitúa a unos 130 m de profundidad, en cambio en diciembre esta está algo más profunda, unos 200 m.

Las figs. 13a y 13b, muestran la distribución de salinidad. La salinidad superficial en los dos periodos no presenta diferencia entre los valores costeros y los de la estación C. En la estación B, en octubre se observó $34,33\text{‰}$ de salinidad. El máximo se observa en la estación cercana a la costa coincidiendo con la alta temperatura, lo que hace pensar que el aumento de salinidad tiene origen en la evaporación.

En los dos perfiles (figs. 13a y 13b), se observa un aumento del contenido de sales con la profundidad hasta un máximo de $34,61\text{‰}$ en octubre y de $34,71\text{‰}$ en diciembre. En la estación C es posible notar la disminución de la salinidad por debajo de los 100-150 m, nivel al cual se sitúan los máximos de salinidad. En diciembre, se citan valores de salinidad máximos, superiores a los observados en la estación C.

En la estación A (fig. 13b), se encuentra $34,71\text{‰}$ de salinidad a 30 m. En la estación B, el máximo de salinidad está a 75 metros, con $34,68\text{‰}$. En general el esquema es igual al mes de octubre, sólo con salinidad más alta. El máximo de salinidad se corresponde con una temperatura de 10°C , lo que significa una densidad de 26,50 para las aguas de máxima salinidad. A este nivel de densidad se extiende hacia el sur la corriente de mínimo oxígeno (Corriente de Gunther).

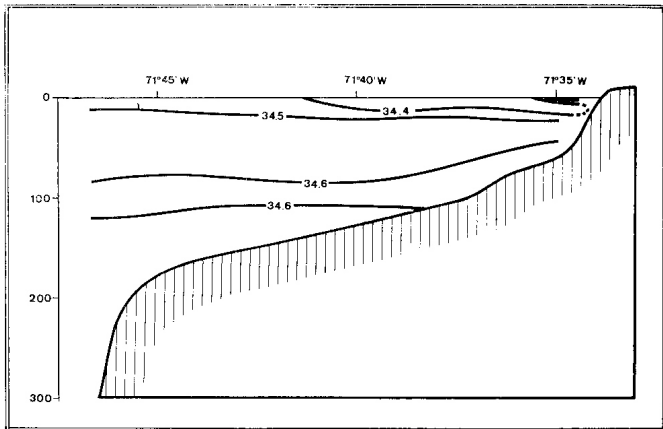


Fig. 13a. Distribución vertical de salinidad (‰) a lo largo de un perfil E-W en la bahía de Valparaíso en octubre de 1967.

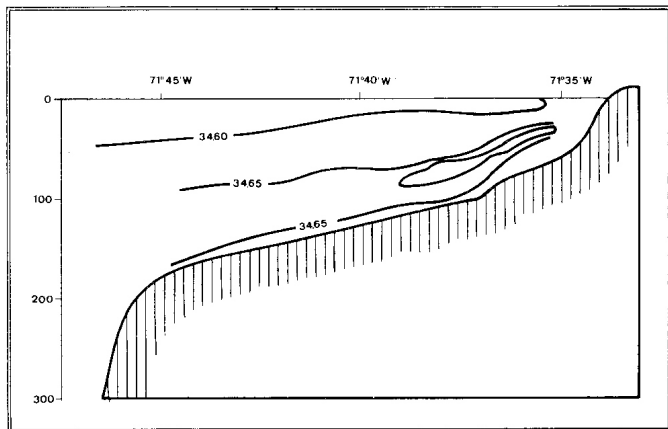


Fig. 13b. Distribución vertical de salinidad (‰) a lo largo de un perfil E-W en la bahía de Valparaíso en diciembre de 1967.

En las figs. 14a y 14b se ha dibujado la distribución de oxígeno. En la fig. 14a, que corresponde al mes de octubre, el mínimo de oxígeno se presenta en la estación C a 150 m de profundidad, con una concentración de 0,57 ml/l. Hacia abajo la concentración aumenta: se midió 0,79 ml/l a 200 m de profundidad. En la fig. 14b que corresponde a las condiciones observadas en el mes de diciembre, el mínimo de oxígeno se presenta a 100 m en la estación B con 0,38 ml/l. En diciembre, la concentración superficial en la estación A, es muy alta: 9,40 ml/l. Es uno de los valores más altos observados en todo el muestreo. Hacia afuera las concentraciones superficiales disminuyen hasta una concentración de 4,17 ml/l. en la estación C. La situación superficial en el mes de octubre es más homogénea, aunque también los valores máximos de oxígeno se sitúan cerca de la costa. La diferencia entre la situación en la distribución de oxígeno de diciembre con respecto a la de octubre indica que en el primer caso la influencia de la capa de mínimo oxígeno es más notable, como puede deducirse de la profundidad de la isolínea de 0,5 ml/l.

La distribución de las variables oceanográficas observadas en las figs. b, que corresponden al muestreo de diciembre de 1967, indican una situación que puede ser atribuida a un reciente afloramiento de aguas subsuperficiales. Una concentración de oxígeno superior a 9 ml/l, significa una sobresaturación de 65% teniendo en cuenta las condiciones medias de temperatura y salinidad de esta área. Sólo una fuerte actividad de los organismos fitoplanctónicos pueden producir una concentración de oxígeno tan alta, la cual a su vez ha sido

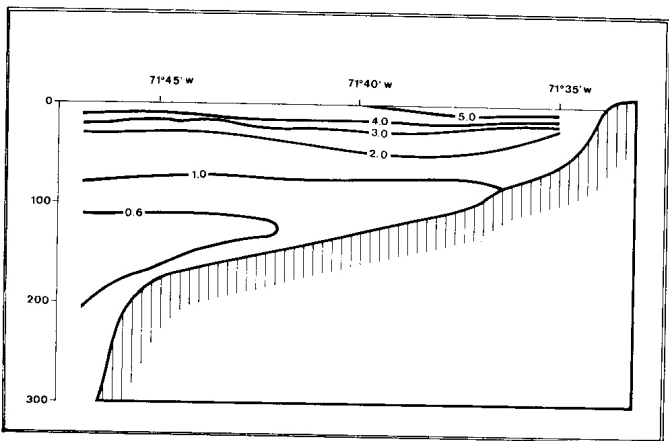


Fig. 14a. Distribución vertical de oxígeno (ml NTP) a lo largo de un perfil E-W en la bahía de Valparaíso en octubre de 1967.

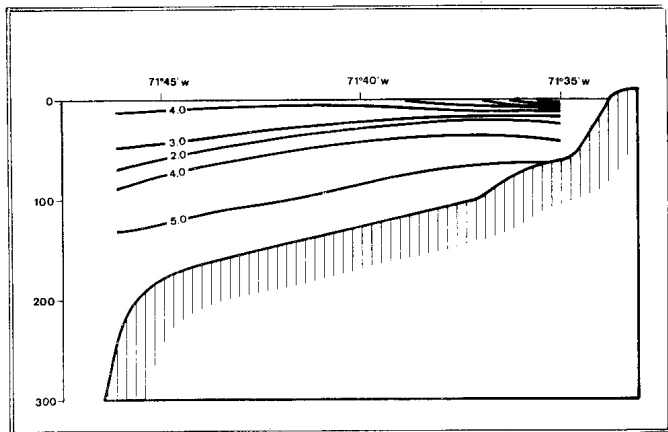


Fig. 14b. Distribución vertical de oxígeno (ml NTP) a lo largo de un perfil E-W en la bahía de Valparaíso en diciembre de 1967.

iniciada por un fuerte aporte de nutrientes a la capa superficial. La baja concentración de oxígeno a profundidad de 50 m también ayuda a mantener la hipótesis del afloramiento reciente, seguido de un período de calma que facilitó la mantención de las condiciones de desequilibrio que involucra la sobresaturación que se observa. Las aguas de máxima salinidad coinciden con el mínimo de oxígeno y corresponden a una densidad de 26,50 (σ_t), o sea, que coincide también con la densidad del núcleo de las aguas de mínimo oxígeno.

En el perfil realizado frente a Punta Curaumilla (lat. 33° 06' S), durante la expedición AGRIMAR el 19 de marzo de 1959 (Brandhorst, 1963) se observaron condiciones oceanográficas que contribuyen a explicar las condiciones que se analizan en la bahía de Valparaíso. En las figs. 8b y 7b (Brandhorst, op. cit.), la capa de contenido de oxígeno inferior a 0,5 ml/l se sitúa a 200-300 metros de profundidad coincidiendo con el máximo de salinidad. En el perfil realizado en octubre (fig. 3a), el máximo de salinidad y mínimo de oxígeno se sitúan más arriba a unos 150 m y esta misma capa, en diciembre, se encuentra sobre la plataforma continental alrededor de los 100 m de profundidad. Las condiciones observadas en Punta Curaumilla pueden ser asimiladas al invierno; en cambio, durante la primavera y el verano, la capa de mínimo oxígeno está más cercana a la costa haciendo sentir su influencia hasta profundidades relativamente bajas, a menos de 100 m en algunos casos. Esto es debido indudablemente al efecto de los vientos del SW, los cuales

producen afloramientos frecuentes que mantienen las aguas pobres de oxígeno sobre el talud y aún sobre la plataforma.

Estos hechos explican las concentraciones de oxígeno tan bajas a 50 m de profundidad en la estación A durante la temporada de primavera-verano (figs. 4 y 5). Estas aguas de la capa de mínimo oxígeno son ricas en nutrientes y aportan estos elementos a la zona fótica, manteniendo así una fuerte actividad orgánica. Al llegar el invierno, los vientos predominantes son los del sector N y NW, que amontonan aguas de mar abierto sobre la costa, lo cual obliga a que las aguas del mínimo de oxígeno se alejen de la costa y se hundan.

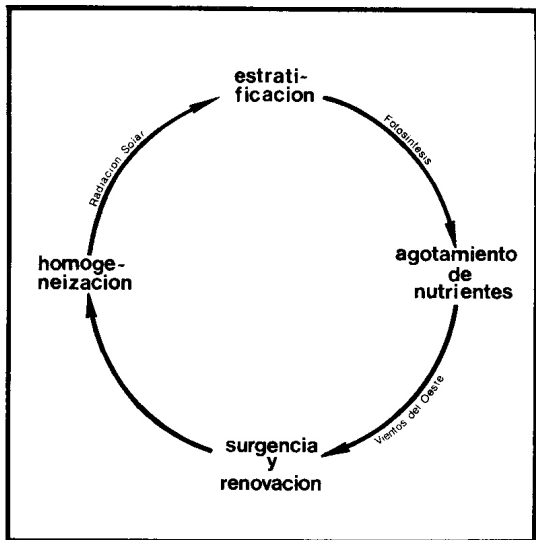
DISCUSION Y CONCLUSIONES

Desde el punto de vista físico la bahía de Valparaíso está afectada fundamentalmente por dos factores: estabilidad de la columna de agua y predominio de los vientos del oeste. La radiación solar, además de constituir la fuente de energía radiante para el proceso de fotosíntesis, tiene otro rol importante en la caracterización del ambiente de la bahía. Al calentar el estrato superficial, la radiación solar da lugar a la aparición de una pycnoclina que estabiliza la columna de agua. Los vientos del oeste, por su parte, tienden a destruir esta pycnoclina mezclando el estrato superficial con las capas subyacentes. La influencia de estos dos factores, estabilidad y vientos del oeste, regula la actividad vegetal al controlar la disponibilidad de nutrientes en la capa fótica.

A fines de agosto comienza el incremento de la radiación solar proveyendo energía para la fotosíntesis y calentando la capa superficial; al mismo tiempo comienza también a aumentar la frecuencia de los vientos del sector oeste que predominan durante la temporada de primavera-verano. A fines de invierno la capa superficial del mar contiene una buena provisión de nutrientes, lo que permite, con adecuada radiación solar, un brusco comienzo de la actividad vegetal: los "bloom" de primavera (Avaria, 1971). Al mismo tiempo, la radiación solar genera una pycnoclina que en cierta medida aísla la capa superficial de la subyacente que, por no tener consumo, mantiene la concentración de nutrientes que tenía la columna de agua a fines de invierno. En estas condiciones la actividad vegetal continúa hasta que los nutrientes en la capa superficial se agotan. Los vientos del oeste, rompen la pycnoclina, permitiendo así la homogeneización del estrato superficial con la capa subyacente más rica en nutrientes, lo que posibilita el reinicio de la actividad vegetal. Se produce así una secuencia de acontecimientos que constituye un ciclo que se representa en el esquema de la página siguiente.

Este ciclo se mantiene, dada la alta probabilidad de vientos del oeste, durante todo el período de primavera-verano. A fines de marzo disminuye la frecuencia de los vientos del oeste, lo que dificulta la surgencia, la renovación y la posterior homogeneización de las capas superficiales. Al disminuir la radiación solar, la actividad orgánica se reduce también considerablemente.

La homogeneización de las capas superficiales que tienen lugar durante el



período otoño-invierno se realiza a través de otro mecanismo más simple: al enfriarse el estrato superficial, la pycnoclina desaparece, permitiendo mediante una mezcla turbulenta vertical, la homogeneización de toda la capa. Estas condiciones se mantienen hasta que el aumento de la radiación solar a fines del invierno produce la estratificación, comenzando nuevamente el ciclo indicado más arriba.

Conviene recalcar que durante el verano, cuando la estratificación de la columna de agua es muy fuerte, hacen falta vientos de intensidad relativamente alta para romper la termoclina; es así que entonces se observa uno o dos grandes afloramientos durante el verano a pesar de la frecuencia de los vientos. No siempre éstos llegan a tener la intensidad suficiente para romper la fuerte estratificación vertical producida por varios días de intensa radiación solar.

En el verano hay una fuerte sobresaturación de oxígeno en la capa superficial debido a la actividad biológica (fotosíntesis); la fuerte pycnoclina impide la transferencia de oxígeno por turbulencia hacia las capas inferiores menos oxigenadas y el equilibrio se establece transfiriendo oxígeno del mar a la atmósfera. En invierno el descenso de temperatura facilita la mezcla, lo que permite una transferencia del oxígeno superficial a la capa subyacente. La

subsaturación de la capa superficial indica por lo tanto una tendencia al pasaje del oxígeno del aire al mar.

En la zona costera por debajo de las aguas superficiales se encuentran las aguas de la capa de mínimo oxígeno (CMO), caracterizada además por una alta concentración de nutrientes (nitratos y fosfatos), que aporta a la capa superficial mediante los afloramientos producidos por los vientos del SW. En consecuencia, las aguas de la CMO, constituyen la fuente de nutrientes de las aguas superficiales de la plataforma continental chilena.

En verano el efecto de los vientos del SW hace remontar el núcleo de la CMO, produciendo notables concentraciones menores ($0,5 \text{ ml O}_2/\text{l}$) a profundidades inferiores a 100 metros. Es así como una gran parte del fondo de la bahía de Valparaíso queda cubierta por aguas de muy bajo tenor de oxígeno en esta época del año. Es probable que este hecho tenga profunda influencia en la distribución de las comunidades bentónicas en el fondo de la bahía. Durante el invierno, el núcleo de la CMO se hunde y sus efectos sobre el fondo (la isolínea de $0,5 \text{ ml/l}$) se manifiestan por debajo de los 180 m de profundidad. Por lo tanto, hay un área del fondo de la bahía que está sometida a una variación cíclica de la concentración de oxígeno.

Aún cuando el esquema del comportamiento de la bahía es bastante claro, llama la atención que durante el otoño (abril y mayo) a pesar de que existen o se presentan concentraciones adecuadas de nutrientes en superficie y la radiación solar tiene una intensidad similar a la de fines de invierno, julio y agosto, la actividad fitoplanctónica es más pobre. Es posible que la actividad de los organismos fitoplanctónicos dependa más bien de las variaciones de las concentraciones de los nutrientes y de la intensidad de la luz que de los valores absolutos de estos factores. Lo que desencadenaría el "bloom" a fines de invierno, dependería más bien de un cierto valor de la derivada de radiación respecto al tiempo, que del valor absoluto de la misma. Una derivada negativa de la intensidad de la radiación respecto al tiempo ($dI/dt < 0$) no permite mantener una actividad fitoplanctónica notable, aunque los valores momentáneos de los parámetros que la regulan sean adecuados.

RESUMEN

Se analiza la distribución temporal de las variables físicas y químicas en la bahía de Valparaíso en base a observaciones realizadas en los años 1967, 1970 y 1971.

La actividad del fitoplancton está regulada en la bahía de Valparaíso, por dos factores fundamentales: la estabilidad de la columna de agua y los vientos del oeste.

La fuerte radiación solar, especialmente en los meses de verano, desarrolla una pycnoclina que aísla la capa superficial del estrato inferior. La actividad del fitoplancton en la capa superficial produce una disminución de los ele-

mentos nutrientes y si éstos no son reemplazados por el aporte desde las capas inferiores, dada la fuerte estabilidad vertical, pueden llegar a agotarse, deteniendo la actividad vegetal. El aporte de nutrientes desde las capas inferiores se produce mediante procesos turbulentos cuando los vientos del oeste son suficientemente intensos para alejar las aguas superficiales y romper la estabilidad de la columna, permitiendo así el aporte a la superficie de aguas ricas en nutrientes. Este proceso de afloramiento ocurre con cierta frecuencia en la temporada de primavera-verano, cuando las situaciones meteorológicas crean condiciones adecuadas para la presencia de vientos del oeste relativamente fuertes. De esta manera se mantiene en las aguas superficiales concentraciones de nutrientes que permiten una actividad vegetal relativamente alta, que se manifiesta además por las altas concentraciones de oxígeno disuelto.

En otoño, al disminuir la intensidad de la radiación solar se debilita la intensidad de la termoclina y por consiguiente disminuye también la estabilidad de la columna de agua. El efecto de vientos más suaves permite el mantenimiento de una columna de agua homogénea. Esta característica se acentúa en los meses de invierno.

Quando comienza la primavera y aumenta la radiación solar, se producen los primeros florecimientos del fitoplancton al reunirse las condiciones adecuadas de radiación solar y nutrientes. Dado que en otoño existen condiciones de iluminación y de concentraciones de nutrientes adecuadas para el desarrollo de una actividad vegetal similar a la de comienzo de primavera, sin que ello ocurra, se podría suponer que las poblaciones planctónicas respondan más a las variaciones de la intensidad luminosa que a los valores absolutos de ésta. En ese caso, el gradiente positivo de la intensidad luminosa respecto al tiempo podría ser el factor desencadenante.

LITERATURA CITADA

- AVARIA, S. Diatomeas y silicoflagelados de la bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, 12: 61-119.
- AVARIA, S. Variaciones mensuales del fitoplancton de la bahía de Valparaíso, entre julio de 1963 y julio de 1966. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, 14 (3): 15-43.
- AVARIA, S. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. II. Fitoplancton 1970-1971. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, 15 (2): 131-148.
- AVARIA, S. y E. ORELLANA. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. 1975 III. Fitoplancton 1972-73. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, 15 (3): 207-226.
- BRANDHORST, W. Descripción de las condiciones oceanográficas en las aguas costeras entre Valparaíso y el Golfo de Arauco con especial referencia al contenido de oxígeno y su relación con la pesca. Resultados de la expedición AGRIMAR 1959. Ministerio de Agricultura, Dirección de Agricultura y Pesca, pp. 3-55, Santiago.
- CARPENTER, J. H. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved Oxygen 1966 Method. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 141-143.

M. Pizarro Ecología fitoplancton Valparaíso. Condiciones físicas y químicas 59

- KETCHUM, B. H., R. F. VACCARO and N. CORWIN. The annual cycle Phosphorus and Nitrogen 1958 in New England coastal waters. *J. Mar. Res.*, 17: 282-301.
- PIZARRO, M. J. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. I. La temperatura superficial y la radiación solar. *Rev. Biol. Mar. Dep. Oceanol. Univ. Chile*, 15 (1): 77-105.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. PARSON. A practical Handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Board. Can.*, 167:1-311.
- WEISS, R. F. The Solubility of Nitrogen, Oxygen and Argon in Water and Sea water. 1970 *Deep-Sea Res.*, 17:721-735.

Tabla 1. Salinidades medias (g/kg) en superficie y en la capa de 0 a 50 m. de profundidad en la estación A.

NIVEL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Superficie	34,23	34,24	34,22	--	--	33,88	34,05	34,04	34,39	34,39	34,31	34,69
0 a 50 m.	34,42	34,25	34,18	--	--	--	--	--	--	34,46	34,41	34,70

Tabla 2. Temperatura media ($^{\circ}$ C) mensual del mar en superficie en la estación A. Los datos de la curva media anual corresponden a Pizarro, 1973.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
En la estación A	13,1	14,4	14,9	12,2	12,7	12,2	11,7	11,6	11,6	13,3	13,2	13,5
En curva media anual	14,2	14,2	13,7	12,9	12,6	12,6	12,2	12,0	11,7	12,0	12,7	13,4

Tabla 3. Máximos gradientes verticales de temperatura observados durante cada mes y los correspondientes valores medios (última línea). El gradiente se expresa en grados centígrados por 5 metros.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
0,9	0,8	1,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,8	0,5	1,2
0,6	0,3	2,4	0,2	0,4	0,2	0,2	0,1	0,3	0,7	0,7	0,5
1,6	1,3	0,5			0,1	0,2	0,1	0,1	0,8	0,8	0,7
1,5		0,7							1,1	1,4	1,0
									0,7	0,9	1,0
										1,0	0,8
										1,4	0,5
										1,3	
1,1	0,8	1,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,8	1,0	0,8

Tabla 4. Concentración de oxígeno, en mililitros/litro, porcentaje de saturación de oxígeno (S %) y sobresaturación (Ss %). Valores medios mensuales en superficie en la estación A.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
O ₂	6,72	7,55	6,65	6,43	5,83	5,84	5,23	5,16	5,05	5,62	5,61	6,32
S %	113	132	116	106	98	96	87	86	84	94	94	107
Ss %	13	32	16	6	-2	-4	-13	-14	-16	-6	-6	-7

Tabla 5. Concentraciones medias de oxígeno, en mililitros/litro, a tres niveles de profundidad y los gradientes entre los niveles.

NIVEL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
0 m	6,72	7,55	6,65	6,43	5,83	5,84	5,23	5,16	5,05	5,62	5,61	6,23
Grad. x 10 ⁻³	389	364	199	228	15	55	185	153	17	103	125	243
5-10 m	3,80	4,87	5,16	5,72	5,72	5,43	3,84	4,01	4,92	4,82	4,67	4,42
Grad. x 10 ⁻³	66	48	36	67	60	79	24	85	112	69	93	93
30-50 m	1,67	3,30	4,00	3,55	3,78	2,88	3,07	1,26	1,29	2,59	1,64	1,41

Tabla 6. Concentraciones medias de fósforo de fosfato (at-ug P./litro) y nitrógeno de nitrato (at-ug N/litro) para dos niveles de profundidad en la bahía de Valparaíso.

Mes	Concentración Media				Gradiente Medio de P-PO ₄	N/P
	0-5 m		30-50 m			
	P-PO ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	N-NO ₃		
ENE	1,41	9,91	2,79	24,80	1,38	7,86
FEB	1,02	5,50	2,08	10,50	1,06	5,04
MAR	0,42	3,50	1,56	11,10	1,14	7,81
ABR	1,40	17,40	2,07	25,00	0,67	12,25
MAY	1,28	13,90	1,97	21,60	0,79	10,86
JUN	1,38	15,12	1,97	23,60	0,59	12,08
JUL	1,24	—	1,69	—	0,45	—
AGO	1,61	—	2,36	—	0,75	—
SET	2,07	—	2,69	—	0,62	—
OCT	1,36	—	2,67	—	1,31	—
NOV	2,00	—	2,52	—	0,52	—
DIC	1,77	20,00	2,63	28,60	0,86	11,08
MEDIA	1,81	12,19	2,26	—	..	—

Tabla 7. Condiciones oceanográficas observadas en la estación A en invierno.

Fecha	Prof. m	Temp. °C	Sal. ‰	Oxíg. ml/l	P-PO ₄ at-ug/l	N-NO ₃ at-ug/l	N/P
14 JUL 67	0	12,00	34,24	5,19	—	—	—
	5	11,70	34,21	3,71	—	—	—
	10	11,60	34,26	4,21	—	—	—
	20	11,60	34,34	3,93	—	—	—
	30	11,50	34,47	2,13	—	—	—
21 JUL 67	50	11,50	34,25	5,19	—	—	—
	0	12,10	34,11	5,49	1,07	—	—
	5	12,10	34,13	5,43	1,00	—	—
	10	12,10	34,19	5,10	1,14	—	—
	20	11,80	34,21	5,11	1,28	—	—
28 JUL 67	30	11,90	—	5,10	1,20	—	—
	50	11,70	34,25	5,07	1,33	—	—
	0	11,70	34,07	5,37	1,47	—	—
	5	11,70	34,10	5,27	1,44	—	—
	10	11,70	34,23	4,77	1,51	—	—
	20	11,30	34,30	3,72	1,77	—	—
	30	11,30	34,36	3,36	2,08	—	—
	50	11,20	34,45	2,37	2,16	—	—

Tabla 7 (cont.)

<i>Fecha</i>	<i>Prof.</i> <i>m</i>	<i>Temp.</i> <i>°C</i>	<i>Sal.</i> <i>‰</i>	<i>Oxig.</i> <i>ml/l</i>	<i>P-PO₄</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N-NO₃</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N/P</i>
11 AGO 67	0	11,70	34,17	5,67	1,43	—	—
	5	11,60	34,18	5,66	1,41	—	—
	10	11,60	34,26	4,65	1,59	—	—
	20	11,20	34,25	4,27	1,77	—	—
	30	11,20	34,44	2,18	2,28	—	—
	50	11,00	34,57	1,48	2,70	—	—
18 AGO 67	0	11,40	33,96	6,57	0,53	—	—
	5	11,30	34,38	4,41	1,12	—	—
	10	11,20	34,44	4,10	1,34	—	—
	20	11,20	34,49	3,09	1,55	—	—
	30	11,00	34,55	1,28	1,85	—	—
	50	11,10	34,57	1,01	1,74	—	—
25 AGO 67	0	10,50	34,43	3,39	2,62	—	—
	5	10,50	34,49	2,89	2,57	—	—
	10	10,80	34,59	2,34	2,67	—	—
	20	10,30	34,34	3,64	2,48	—	—
	30	10,20	34,62	1,10	2,80	—	—
	50	9,90	34,61	0,53	2,80	—	—
8 SEP 67	0	11,80	34,35	6,41	1,10	—	—
	5	11,30	34,45	6,11	1,81	—	—
	10	11,30	34,49	5,88	1,57	—	—
	20	11,10	34,52	4,81	2,08	—	—
	30	10,90	34,54	3,26	2,41	—	—
	50	10,80	34,42	2,68	2,62	—	—
22 SET 67	0	12,20	34,57	5,11	2,28	—	—
	5	12,10	34,38	5,19	2,16	—	—
	10	12,00	34,38	4,79	1,96	—	—
	20	11,40	34,50	2,56	2,26	—	—
	30	11,00	34,57	1,22	2,78	—	—
	50	10,90	34,61	1,15	2,94	—	—
29 SEP 67	0	11,30	34,00	4,79	2,49	—	—
	5	11,30	34,47	4,62	2,58	—	—
	10	11,20	34,51	4,06	2,58	—	—
	20	11,20	34,63	3,05	2,66	—	—
	30	11,20	34,57	2,38	2,66	—	—
	50	10,80	34,57	1,56	2,75	—	—

Tabla 8. Condiciones oceanográficas observadas en la estación A en primavera.

<i>Fecha</i>	<i>Prof. m</i>	<i>Temp. °C</i>	<i>Sal. %</i>	<i>Oxig. ml/l</i>	<i>F-PO₄ at-ug/l</i>	<i>N-NO₃ at ug/l</i>	<i>N/P</i>
6 OCT 67	0	14,00	34,25	6,31	1,85	—	—
	5	12,40	34,40	6,42	1,37	—	—
	10	11,60	34,44	5,72	2,20	—	—
	20	11,40	34,42	4,32	1,92	—	—
	30	11,00	34,51	2,84	2,66	—	—
	50	10,40	34,58	0,90	2,98	—	—
13 OCT 67	0	13,10	34,45	7,86	0,75	—	—
	5	11,00	34,53	2,44	2,62	—	—
	10	10,70	34,58	1,39	2,89	—	—
	20	10,60	34,70	0,99	2,98	—	—
	30	10,50	34,57	0,88	2,89	—	—
	50	10,40	34,56	1,15	3,03	—	—
20 OCT 67	0	10,80	34,51	5,91	1,55	—	—
	5	11,40	34,55	4,74	1,90	—	—
	10	11,40	34,63	3,29	2,45	—	—
	20	10,90	34,54	2,06	2,75	—	—
	30	10,60	34,60	1,20	2,62	—	—
	50	10,50	34,56	0,60	3,03	—	—
27 OCT 67	0	—	34,55	9,42	0,54	—	—
	5	—	34,60	9,47	0,51	—	—
	10	—	34,57	1,77	2,84	—	—
	20	—	34,57	1,76	2,89	—	—
	30	—	34,58	1,79	2,89	—	—
	50	—	34,57	1,16	2,80	—	—
3 NOV 67	0	13,00	34,42	5,61	1,36	—	—
	5	12,70	34,43	5,64	1,48	—	—
	10	12,70	34,43	5,73	1,77	—	—
	20	11,70	34,46	5,63	1,68	—	—
	30	11,10	34,46	4,70	2,36	—	—
	50	10,20	34,54	2,00	2,57	—	—
14 NOV 67	0	12,80	34,43	4,42	2,14	—	—
	5	12,10	34,48	3,89	2,15	—	—
	10	11,60	34,48	3,20	2,25	—	—
	20	11,00	34,57	1,72	2,68	—	—
	30	10,70	34,57	1,39	2,62	—	—
	50	10,60	34,57	0,67	2,98	—	—
17 NOV 67	0	12,40	34,44	4,91	2,08	—	—
	5	12,40	34,46	4,63	2,08	—	—
	10	11,60	34,50	3,59	2,51	—	—
	20	11,30	34,57	2,42	2,51	—	—
	30	11,10	34,60	2,29	2,62	—	—
	50	11,70	34,58	1,90	2,62	—	—

Tabla 8 (cont.)

<i>Fecha</i>	<i>Prof. m</i>	<i>Temp. °C</i>	<i>Sal. ‰</i>	<i>Oxig. ml/l</i>	<i>P-PO₄ at-ug/l</i>	<i>N-NO₃ at-ug/l</i>	<i>N/P</i>
24 NOV 67	0	13,00	34,57	9,08	0,91	—	—
	5	11,60	34,58	6,68	0,97	—	—
	10	11,70	34,58	4,99	1,39	—	—
	20	12,90	34,58	4,17	1,96	—	—
	30	11,20	34,61	3,70	2,28	—	—
	50	10,60	34,62	1,22	2,77	—	—
27 OCT 70	0	14,50	34,34	6,48	1,22	—	—
	5	13,80	34,26	6,68	1,30	—	—
	10	13,65	—	6,28	1,32	—	—
	20	13,40	34,37	6,15	1,48	—	—
	30	12,90	34,46	5,84	1,60	—	—
	50	12,10	34,55	4,83	2,25	—	—
3 NOV 70	0	12,40	34,40	4,58	2,47	—	—
	5	11,70	34,42	4,00	3,30	—	—
	10	10,80	43,37	3,14	2,75	—	—
	20	10,70	34,54	2,63	2,67	—	—
	30	—	34,55	1,74	3,00	—	—
	50	10,60	34,56	1,70	2,54	—	—
10 NOV 70	0	13,30	33,66	6,36	1,44	—	—
	5	13,10	34,27	5,88	1,90	—	—
	10	12,10	34,31	5,40	1,98	—	—
	20	12,00	34,32	4,67	2,11	—	—
	30	11,10	34,37	3,29	2,59	—	—
	50	11,30	34,56	2,73	2,75	—	—
18 NOV 70	0	13,40	34,35	2,83	—	—	—
	5	13,40	34,41	3,05	—	—	—
	10	13,00	34,49	2,56	—	—	—
	20	10,20	34,72	1,68	—	—	—
	30	—	34,66	1,83	—	—	—
	50	—	34,64	1,23	—	—	—
24 NOV 70	0	13,50	34,39	7,09	—	—	—
	5	12,80	34,48	6,73	—	—	—
	10	11,50	34,41	3,50	—	—	—
	20	11,30	34,43	3,24	—	—	—
	30	11,25	34,43	3,30	—	—	—
	50	11,10	34,56	2,07	—	—	—
1 DIC 70	0	13,46	34,42	8,62	0,52	—	—
	5	12,79	34,45	7,52	0,45	—	—
	10	12,10	34,47	7,03	0,81	—	—
	20	11,55	34,51	3,78	2,11	—	—
	30	—	34,53	2,70	2,38	—	—
	50	10,91	34,57	1,45	2,61	—	—

Tabla 8 (cont.)

<i>Fecha</i>	<i>Prof.</i> <i>m</i>	<i>Temp.</i> <i>°C</i>	<i>Sal.</i> <i>‰</i>	<i>Oxig.</i> <i>ml/l</i>	<i>P-PO₄</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N-NO₃</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N/P</i>
10 DIC 70	0	14,30	—	5,88	1,11	11,39	10,27
	5	—	—	5,69	1,11	12,52	11,28
	10	13,70	34,26	4,84	1,34	19,05	14,25
	20	11,70	—	3,81	1,61	24,81	14,41
	30	11,45	—	3,56	1,78	23,95	13,45
	50	11,25	34,44	2,62	2,08	24,82	12,37
15 DIC 70	0	14,50	34,90	5,13	2,24	21,30	9,79
	5	13,50	—	4,97	2,47	22,90	10,63
	10	12,60	—	4,64	2,30	25,80	9,86
	20	12,40	—	1,87	2,76	27,20	11,22
	30	11,05	—	0,73	2,86	30,40	10,78
	50	10,90	—	0,99	2,95	28,90	9,79
22 DIC 70	0	13,25	35,06	4,63	2,27	21,90	9,67
	5	13,10	35,03	4,63	2,27	25,10	10,00
	10	12,60	34,90	3,10	2,40	24,00	11,66
	20	11,10	34,78	0,94	2,78	30,00	10,79
	30	11,00	34,67	0,69	2,83	30,80	10,88
	50	10,90	35,10	0,44	2,87	29,10	10,15
29 DIC 70	0	11,65	—	2,83	2,65	23,30	8,80
	5	11,50	—	2,36	2,62	23,10	8,82
	10	10,95	—	0,48	3,08	30,20	9,98
	20	10,90	—	0,35	2,97	30,40	10,23
	30	10,85	—	0,28	2,93	31,50	10,75
	50	10,75	—	0,24	2,99	29,60	9,88

Tabla 9. Condiciones oceanográficas observadas en la estación A en verano.

<i>Fecha</i>	<i>Prof.</i> <i>m</i>	<i>Temp.</i> <i>°C</i>	<i>Sal.</i> <i>‰</i>	<i>Oxig.</i> <i>ml/l</i>	<i>P-PO₄</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N-NO₃</i> <i>at ug/l</i>	<i>N/P</i>
6 ENE 71	0	12,65	—	6,03	1,15	5,50	4,94
	5	11,60	—	3,31	1,95	17,20	8,82
	10	11,45	—	2,60	2,24	21,10	10,82
	20	11,25	—	1,67	2,45	25,40	9,98
	30	10,95	—	0,53	2,86	26,40	9,23
	50	10,95	—	0,29	2,94	29,20	9,93
12 ENE 71	0	13,50	—	7,34	0,95	2,60	2,74
	5	13,12	—	6,93	1,20	4,60	3,82
	10	12,45	—	4,26	1,63	11,60	7,12
	20	11,90	—	3,83	2,17	17,40	8,02
	30	11,70	—	2,92	2,59	17,80	6,87
	50	11,30	—	1,28	2,97	21,80	7,34

Tabla 9 (cont.)

<i>Fecha</i>	<i>Prof.</i> <i>m</i>	<i>Temp.</i> <i>°C</i>	<i>Sal.</i> <i>‰</i>	<i>Oxig.</i> <i>ml/l</i>	<i>P-PO₄</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N-NO₃</i> <i>at ug/l</i>	<i>N/P</i>
22 ENE 71	0	13,00	34,23	5,48	1,49	13,10	5,51
	5	12,70	34,45	5,34	1,58	12,70	8,04
	10	11,30	34,51	2,03	2,38	23,89	15,96
	20	10,90	34,36	1,65	2,73	25,00	9,16
	30	10,80	34,48	1,45	2,58	29,60	11,47
	50	10,75	34,50	1,00	2,79	27,20	9,74
26 ENE 71	0	13,10	—	8,05	0,66	0,75	1,11
	5	11,60	—	2,40	2,37	22,82	9,64
	10	11,20	—	2,62	2,53	22,23	8,78
	20	11,18	—	2,56	2,53	20,81	8,22
	30	11,10	—	3,40	2,71	24,72	9,12
	50	10,95	—	1,34	2,89	22,04	7,63
2 FEB 71	0	13,80	34,47	7,64	1,93	—	—
	5	13,00	34,44	5,51	1,56	—	—
	10	12,50	34,25	4,48	2,16	—	—
	20	11,40	34,41	2,75	2,32	—	—
	30	11,45	34,47	2,11	2,63	—	—
	50	11,40	34,14	2,09	2,63	—	—
16 FEB 71	0	14,00	34,24	5,41	1,17	12,00	10,26
	5	13,80	34,27	6,05	0,92	7,30	7,34
	10	13,45	34,25	5,39	1,24	12,40	10,00
	20	13,10	34,25	4,80	1,35	16,40	12,15
	30	12,70	34,28	5,31	1,37	11,50	8,39
	50	11,10	34,34	3,31	2,00	20,40	10,20
24 FEB 71	0	15,60	34,24	9,60	0,28	0,30	1,07
	5	15,42	34,24	8,34	0,28	2,30	8,22
	10	15,15	34,23	7,47	0,74	1,50	4,93
	20	12,55	34,28	5,06	1,38	1,70	1,32
	30	11,70	34,24	4,15	1,83	2,00	1,09
	50	11,30	34,28	3,36	2,04	8,20	4,04
2 MAR 71	0	17,05	34,26	5,58	0,63	2,70	4,29
	5	17,00	34,26	5,54	0,02	2,70	135,0
	10	15,98	34,25	5,75	0,78	5,40	6,92
	20	16,00	34,25	5,65	1,37	7,30	5,33
	30	13,40	34,17	4,98	1,26	6,90	5,48
	50	11,90	34,05	4,82	—	—	—
10 MAR 71	0	16,50	34,21	8,41	0,45	0,50	1,11
	5	14,10	34,16	5,47	0,12	6,30	5,25
	10	12,82	34,16	4,99	1,42	5,30	3,76
	20	12,50	34,09	4,87	1,43	13,20	9,22
	30	12,12	34,10	4,81	1,53	14,60	9,54
	50	12,10	34,18	3,65	2,30	7,70	3,09

Tabla 9 (cont.)

<i>Fecha</i>	<i>Prof.</i> <i>m</i>	<i>Temp.</i> °C	<i>Sal.</i> ‰	<i>Oxíg.</i> ml/l	<i>F-PO₄</i> at-ug/l	<i>N-NO₃</i> at ug/l	<i>N/P</i>
16 MAR 71	0	13,50	34,09	7,16	0,64	4,10	6,41
	5	13,00	34,11	7,05	0,62	2,30	3,71
	10	12,50	34,09	6,46	0,77	6,40	8,31
	20	12,50	34,04	6,29	0,89	6,90	7,75
	30	12,20	34,10	5,51	1,24	9,10	7,34
	50	12,00	34,24	3,29	2,03	21,40	10,40
26 MAR 71	0	12,60	34,14	5,46	0,49	4,40	8,98
	5	12,50	34,14	5,25	0,44	5,30	12,05
	10	12,40	34,13	5,29	1,12	6,20	5,54
	20	11,00	34,31	3,04	1,12	10,20	9,11
	30	11,00	34,31	2,59	1,23	8,50	6,51
	50	10,95	34,35	2,36	1,35	9,80	7,26

Tabla 10. Condiciones oceanográficas observadas en la estación A en otoño.

<i>Fecha</i>	<i>Prof.</i> <i>m</i>	<i>Temp.</i> °C	<i>Sal.</i> ‰	<i>Oxíg.</i> ml/l	<i>F-PO₄</i> at-ug/l	<i>N-NO₃</i> at ug/l	<i>N/P</i>
23 ABR 71	0	12,15	33,82	5,85	1,53	16,30	10,65
	5	12,05	33,85	5,76	1,46	18,70	12,80
	10	11,85	—	5,68	1,51	17,30	11,46
	20	11,35	34,07	4,15	1,92	22,50	11,72
	30	11,20	34,13	2,96	2,29	26,80	11,70
	50	11,10	34,34	2,56	2,56	29,50	11,67
27 ABR 71	0	12,20	34,09	6,02	1,32	16,40	12,34
	5	12,10	34,17	5,74	1,29	18,20	14,12
	10	12,00	34,18	5,72	1,34	18,60	13,88
	20	11,55	34,21	5,04	1,57	20,20	12,86
	30	11,40	34,23	4,65	1,63	20,70	12,70
	50	11,30	34,28	4,11	1,81	23,10	12,02
4 MAY 71	0	12,55	34,02	5,95	1,36	15,60	11,44
	5	12,35	34,10	5,87	1,27	15,80	12,45
	10	12,20	34,13	—	1,33	16,00	12,03
	20	12,00	34,15	5,53	1,41	17,80	12,63
	30	11,40	34,18	4,65	1,65	18,40	11,15
	50	11,30	34,27	4,05	1,96	23,70	12,12
27 MAY 71	0	12,65	34,13	5,71	1,21	12,20	10,08
	5	12,60	34,08	5,68	1,31	12,20	9,31
	10	12,25	34,13	5,01	1,81	14,00	7,74
	20	11,50	34,18	4,37	1,70	19,20	11,30

Tabla 10 (cont.)

<i>Fecha</i>	<i>Prof.</i> <i>m</i>	<i>Temp.</i> <i>°C</i>	<i>Sal.</i> <i>‰</i>	<i>Oxig.</i> <i>ml/l</i>	<i>F-PO_t</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N-NO₃</i> <i>at-ug/l</i>	<i>N/P</i>
8 JUN 71	30	11,15	34,26	3,73	1,98	20,80	10,50
	50	11,05	34,38	2,70	2,30	24,90	10,83
	0	12,40	34,21	5,52	1,24	13,20	10,65
	5	12,35	34,21	5,64	1,24	10,50	8,47
	10	12,15	34,23	5,10	1,36	15,80	11,62
	20	11,60	34,26	4,40	1,55	20,00	12,90
17 JUN 71	30	11,25	34,28	4,00	1,76	21,10	11,98
	50	11,10	34,41	2,84	2,10	23,10	11,00
	0	11,50	34,21	5,67	1,50	18,30	—
	5	12,00	34,23	5,40	1,49	18,60	—
	10	12,00	34,23	5,58	1,48	18,70	—
	20	12,00	34,27	4,82	1,78	20,00	—
22 JUN 71	30	11,70	34,29	4,24	2,30	23,40	—
	50	11,50	34,41	2,43	2,30	27,10	—
	0	11,50	34,03	5,87	1,42	—	—
	5	11,50	34,17	5,52	1,42	—	—
	10	11,50	34,16	5,44	1,37	—	—
	20	12,00	34,18	5,24	1,43	—	—
	30	12,00	34,22	4,80	1,58	—	—
	50	12,00	34,27	4,28	1,79	—	—