

## ASPECTOS HIDROGRAFICOS DE LA BAHIA DE COQUIMBO

### HYDROGRAPHIC ASPECTS OF COQUIMBO BAY

---

*Jorge Olivares*

#### RESUMEN

Estudios realizados en la bahía de Coquimbo muestran la presencia de un ciclo estacional de temperatura, caracterizado por la existencia de una termoclina en el periodo de primavera-verano.

La distribución superficial de salinidad y silicato disuelto es afectado por el aporte del río Elqui durante gran parte del periodo de estudio, cuyo caudal se vio aumentado en diciembre de 1978 por los deshielos cordilleranos.

El análisis de refracción de olas efectuado en la bahía, permite caracterizar dos zonas, una en la cual la energía es baja y se ubica en el sur de la bahía y otra con alta energía, la que se encuentra en el sector frente al faro de La Serena.

*Palabras claves: Bahía, hidrografía, refracción de olas, aporte de río.*

#### ABSTRACT

Hydrographic studies in Coquimbo Bay show a seasonal cycle of temperature which is defined by the presence of a thermocline in spring and summer.

Water inflow from the Elqui river affects the distribution of surface water salinity and dissolved silicate. The strongest fresh water impact was at December 1978 due to ice melting in the Andes.

The wave refraction energy analysis allow us to characterize two main areas: one of low energy, in the southern part of the bay and one of high energy, in the northern part and near the La Serena's light house.

*Key words: Bay, hydrography, wave refraction, river inflow.*

#### INTRODUCCION

La bahía de Coquimbo se encuentra ubicada dentro del sistema de bahías de la IV Región de Chile, con una orientación hacia el oeste y una profundidad media de 20 m. Esta bahía recibe diferentes aportes de agua dulce, entre los que se puede considerar a varios esteros pequeños que desembocan en diferentes puntos de ésta, el emisario urbano de La Serena que descarga sus desechos cerca de la línea de rompientes y, finalmente, el aporte más importante, el que recibe del río Elqui, el cual posee un caudal medio de 10 m<sup>3</sup>/s, con un valor observado en el mes de diciembre de 14 m<sup>3</sup>/s (Fuenzalida, 1975).

Los estudios hidrográficos en esta bahía son escasos, Valle *et al.* (1980), realizaron un estudio aplicado a la dispersión de aguas servidas. Olivares (1980) efectúa una comparación entre la bahía de Coquimbo y La Herra-

dura. Berríos *et al.* (1985) realizaron un estudio de refracción de olas en bahías de la IV Región y, finalmente, Olivares (1988) describe la variación temporal de las condiciones hidrográficas de la bahía de Coquimbo.

En este trabajo se utiliza parte de la información aportada por los diversos trabajos mencionados y se destacan algunos aspectos, para que en conjunto a otros estudios del área, permitan de una u otra manera a contribuir a un mejor manejo de algunas especies comerciales, las cuales se están comenzando a cultivar masivamente en la región.

#### MATERIALES Y METODOS

El estudio hidrográfico considera un total de 15 cruceros, con muestras entre superficie y los 40 m de profundidad. Los primeros cruceros consideraron 4 estaciones oceanográficas, adicionándose una quinta en noviembre

de 1978 y realizándose un total de 17 estaciones oceanográficas en diciembre de 1978, las cuales abarcaron toda la bahía. A partir de diciembre de 1978, hasta el fin del estudio, se realizaron un total de 6 estaciones hidrográficas por crucero (Tabla 1).

**Tabla 1**  
Fecha y número de estaciones realizadas

Fecha		Nº de estaciones
19 julio	1978	4
24 agosto	1978	4
27 septiembre	1978	4
2 noviembre	1978	4
29 noviembre	1978	5
12 diciembre	1978	17 (X)
27 diciembre	1978	6
13 marzo	1979	6
17 abril	1979	6
5 junio	1979	6
10 julio	1979	6
22 agosto	1979	6
25 septiembre	1979	6
6 noviembre	1979	6
3 diciembre	1979	6

Para los análisis de salinidad, oxígeno disuelto y silicato, se obtuvieron muestras de agua con botellas Nansen. La salinidad se determinó con un salinómetro de inducción Beckman RS7-C. El análisis de silicato se estableció mediante las técnicas estandarizadas de Strickland y Parsons (1972). El contenido de oxígeno disuelto se determinó mediante el método de Winkler, y la temperatura se registró con termómetros de inversión, los cuales iban adosados a las botellas Nansen.

De las estaciones se han seleccionado dos para un análisis temporal, llamadas A y B en la Figura 1. El criterio para elegir estas estaciones fue su posición con respecto a la desembocadura del río Elqui.

Además se prepararon secciones horizontales superficiales de salinidad y silicato disuelto para diferentes épocas del periodo de muestreo, lo cual nos permitió comparar el efecto de la descarga del río Elqui para diferentes épocas del año. Para el análisis de refracción de olas se usó el informe de Berríos *et al.* (1985), basado en el método indicado por Johnson *et al.* (1948) y desarrollado en US Army Coastal Engineering (1977).

## RESULTADOS

### Condiciones superficiales

#### —Salinidad

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre 34,6 y 28 ( $\times 10^{-3}$ ), detectándose en general los valores más altos hacia el sector norte de la bahía (Figura 2a). Los valores más bajos de salinidad fueron encontrados hacia el sector de la costa y en el verano de 1978, para posteriormente aumentar hacia el verano de 1979.

#### —Silicato

Para silicato disuelto se encontraron las mayores concentraciones hacia el sector de la costa, en la que se alcanzaron concentraciones de hasta 50  $\mu\text{M}$  hacia el verano de 1978 y disminuyendo posteriormente hacia los sectores más alejados de la costa con valores cercanos a 1  $\mu\text{M}$  (Figura 2b).

### Distribución temporal

#### —Temperatura

La variación temporal de temperatura en profundidad presentó una estacionalidad con los mayores valores de temperatura en los meses de primavera-verano, donde se detectó la presencia de una termoclina; en los meses de otoño-invierno se produce un enfriamiento de la columna de agua, lo que provoca la desaparición de la termoclina (Figura 3a).

#### —Oxígeno disuelto

Bajo la capa superficial, el contenido de oxígeno disminuye con la profundidad, experimentando algunas fluctuaciones en su distribución temporal, detectándose en algunas oportunidades ascensos de isolíneas con concentraciones inferiores a 3 ml/l alrededor de los 20 m (Figura 3b).

#### —Salinidad

La salinidad presentó sus mayores fluctuaciones en los primeros 10 m, siendo estos cambios más acentuados a comienzos de 1979. En diversas ocasiones se detectaron salinidades superficiales inferiores a 32 ( $\times 10^{-3}$ ), lo cual afectó la capa de agua comprendida entre superficie y los primeros 10 m de profundidad, dando origen a un

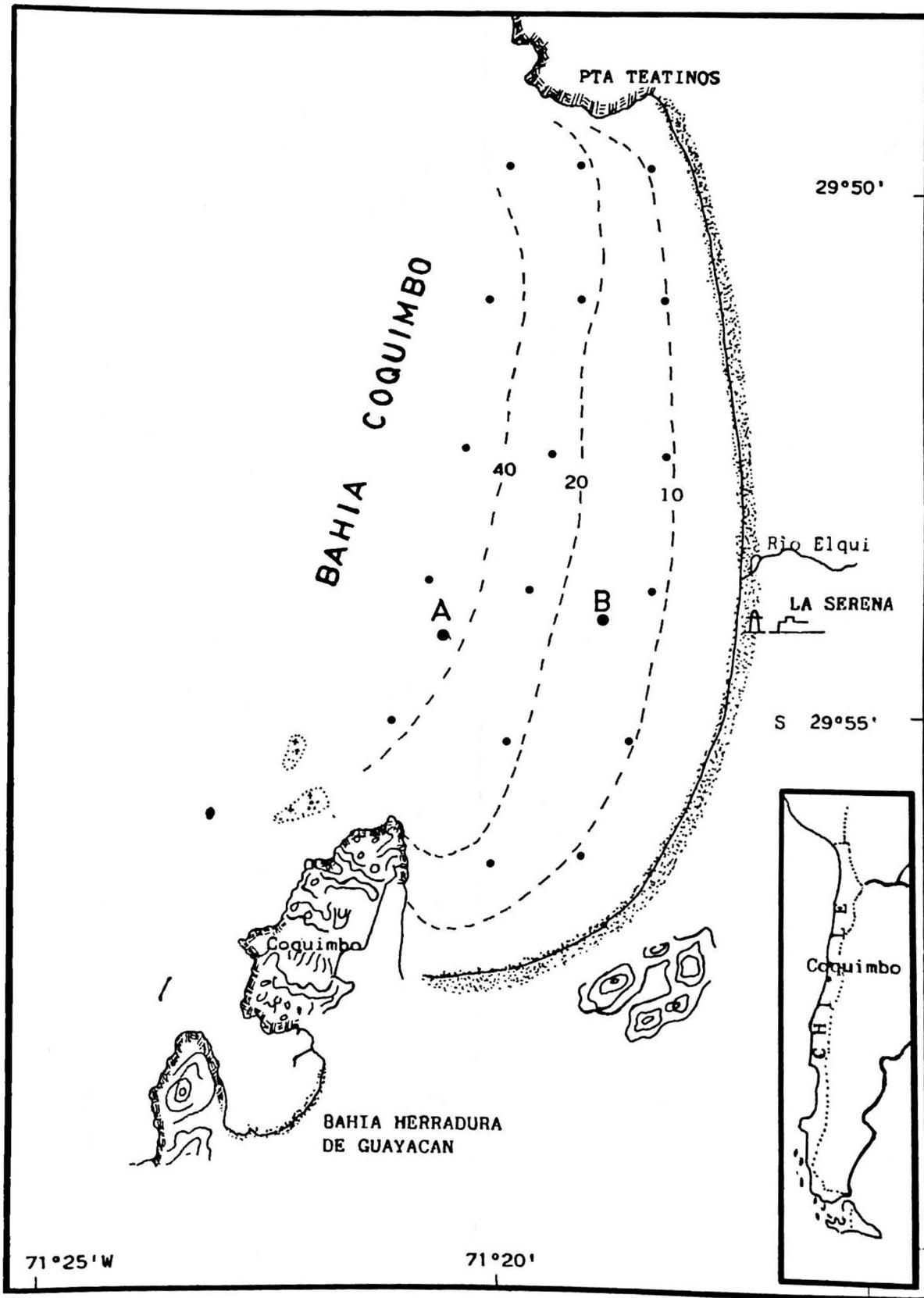


Figura 1. Area de estudio y estaciones hidrográficas estudiadas.

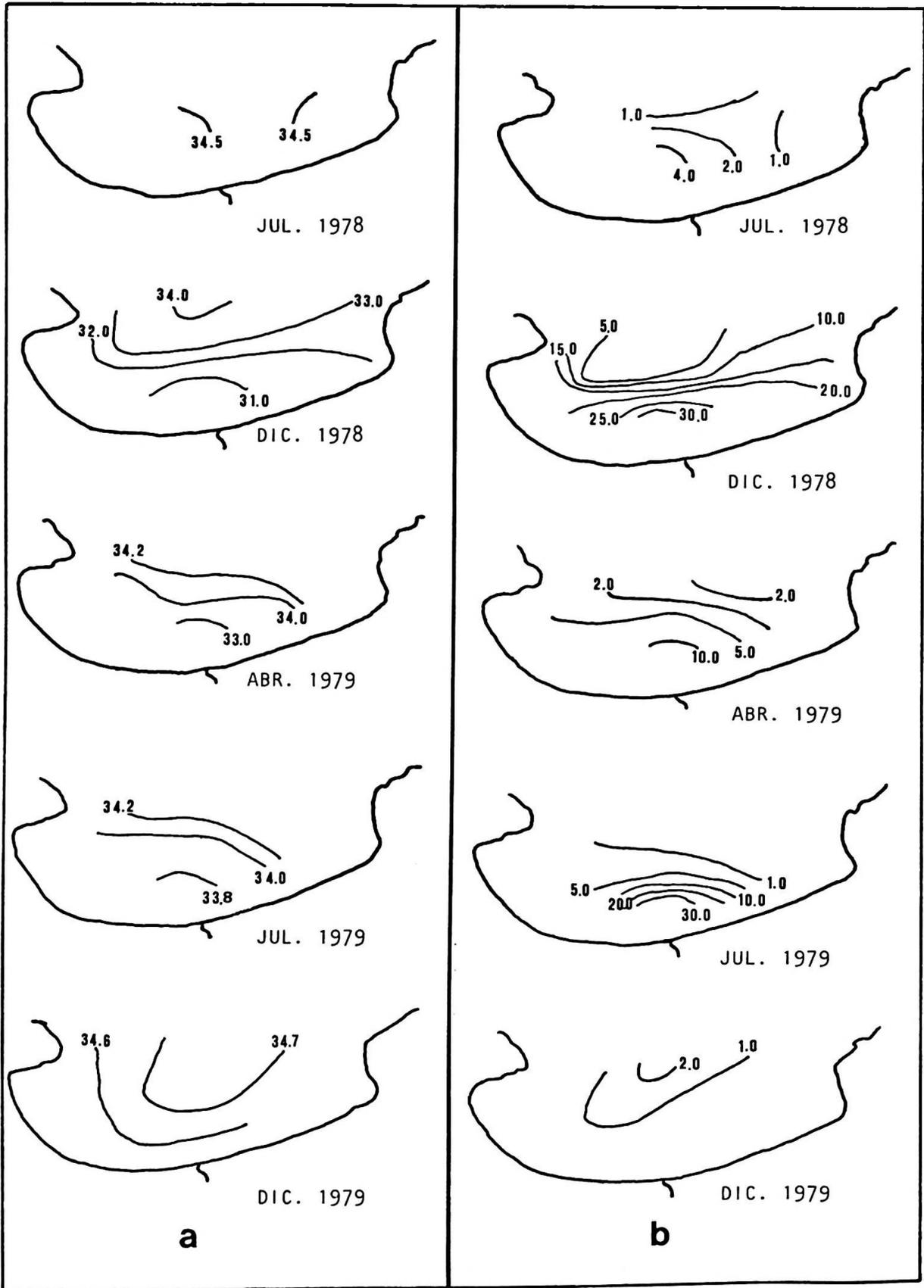


Figura 2. a) Distribución superficial de salinidad.  
 b) Distribución superficial de silicato disuelto.

fuerte gradiente de salinidad (Figura 4). Las más bajas salinidades fueron detectadas en diciembre de 1978, las que registraron valores inferiores a  $28 (\times 10^{-3})$  en estación B y de  $33 (\times 10^{-3})$  en estación A.

En la capa subsuperficial, la salinidad no experimentó grandes fluctuaciones, detectándose en algunas oportunidades ascensos de isolíneas, las cuales a veces se manifestaron en superficie (Figura 4).

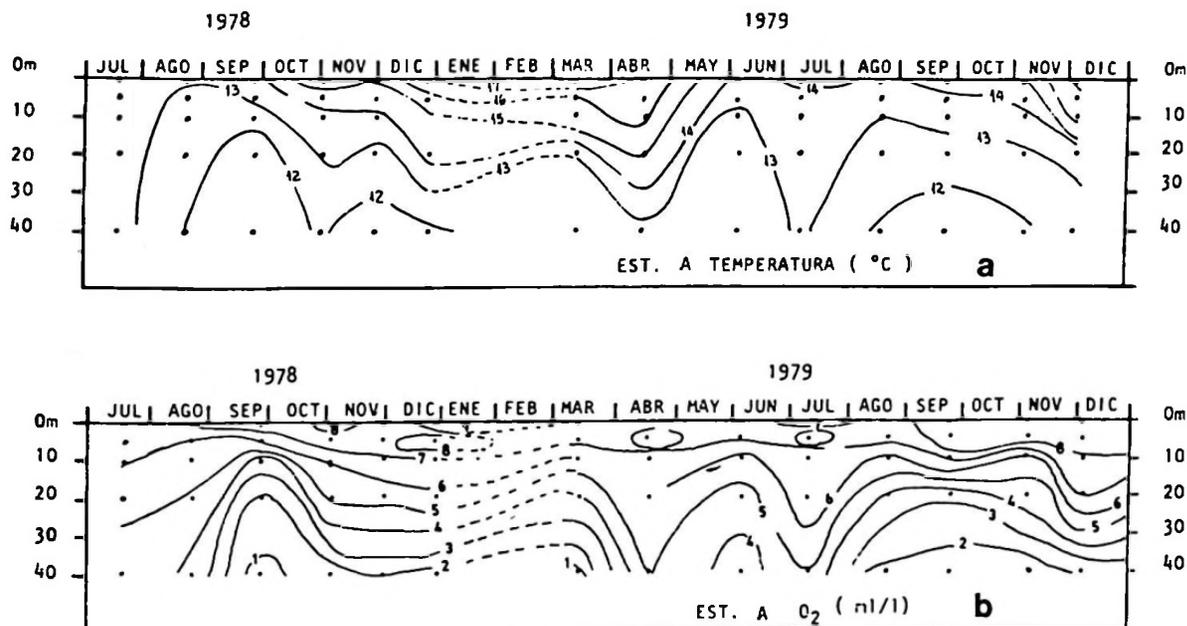


Figura 3. a) Distribución temporal de temperatura y b) Distribución temporal de oxígeno disuelto.

#### —Silicato

La distribución vertical del contenido de silicato disuelto, presentó variaciones tanto en la capa superficial como en la subsuperficial (Figura 5). Las oscilaciones en la capa superficial fluctuaron desde valores cercanos al límite de detección hasta concentraciones superiores a  $50 \mu\text{M}$ , las más altas concentraciones de este compuesto se detectaron hacia diciembre de 1978, fecha en que alcanzó concentraciones superiores a  $10 \mu\text{M}$  y  $20 \mu\text{M}$  en los primeros 5 m de estación A y B, respectivamente.

Bajo los 10 m, la distribución de silicato disuelto fue más o menos homogénea, interrumpido en ocasiones por ascensos de agua con alto contenido de este compuesto, hecho que es coincidente con el ascenso de las isolíneas de salinidad mencionado anteriormente.

#### Refracción de olas

Del análisis de refracción de olas efectuado

en las bahías de la región por Berrios *et al.* (1985), para Coquimbo se tomó como base 5 tipos diferentes de frentes, los cuales son resumidos en la Tabla 2.

#### —Frente norte

Para este frente se puede apreciar una distribución uniforme de ortogonales en la bahía (Figura 6a), con una divergencia en los extremos, es decir, en la zona de inicio de la playa por el sur y el faro de La Serena por el norte, existiendo un sector de playas de aproximadamente 6 km de longitud al noreste de la bahía, sin ser afectado por este frente.

#### —Frente S-63°-O

Este frente nos muestra que su zona de acción está comprendida entre el faro de La Serena y el extremo norte de la bahía, siendo las ortogonales uniformes hasta aproximadamente la mitad del recorrido efectuado, divergiendo hacia el extremo norte (Figura 6b).

**Tabla 2**  
Frentes analizados y altura de Ola calculada en el veril de 5 m

Frente	Alto inicial (m)	Alto veril 5m	Alto inicial (m)	Alto veril 5 m	Alto inicial (m)	Alto veril 5 m
N	1	0,92	2	1,63	4	3,26
N-35°-O	1	0,99	2	1,99	4	3,97
N-64°-O	1	1,10	2	2,20	4	4,40
O	1	1,08	2	2,14	4	4,28
S-63°-O	1	0,97	2	1,95	4	3,91

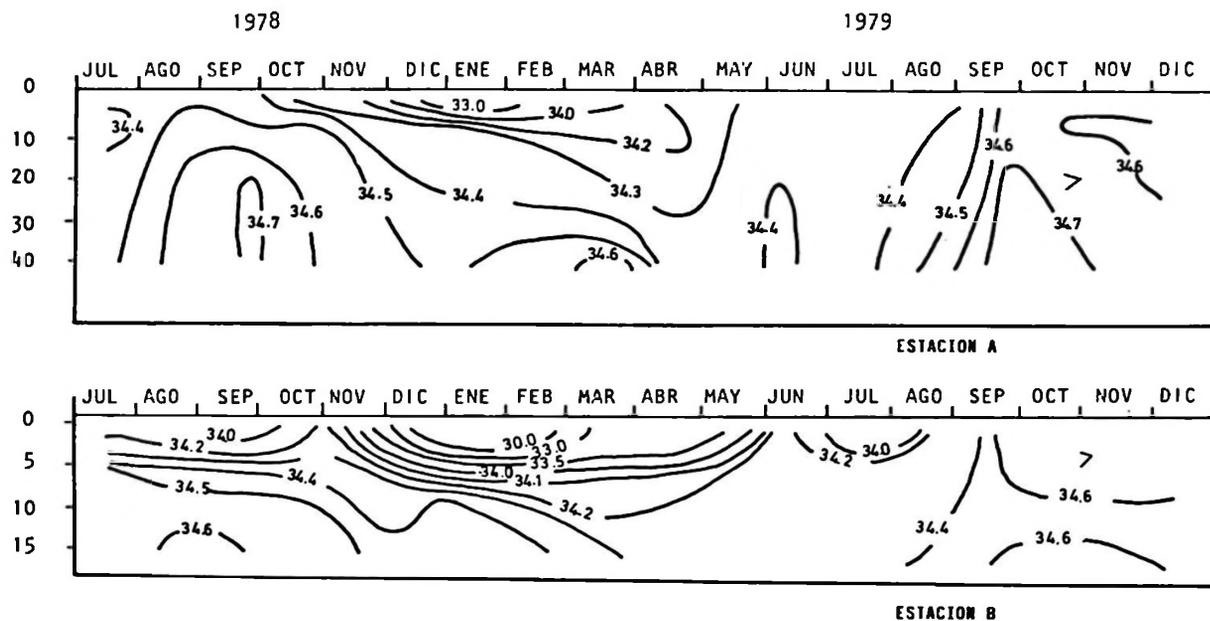


Figura 4. Distribución temporal de salinidad.

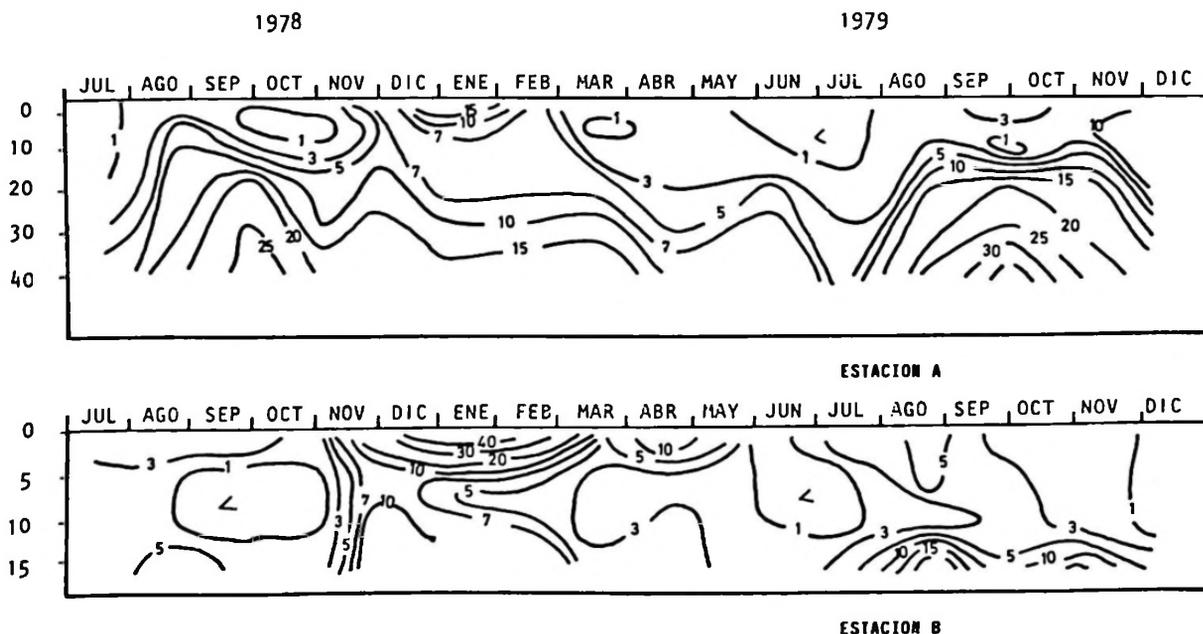


Figura 5. Distribución temporal de silicato disuelto.

—Frente N-64°-O

Este frente posee una zona de incidencia comprendida entre el sector de Peñuelas y punta Teatinos, observándose un comportamiento parejo de las ortogonales al llegar a la costa (Figura 7a).

—Frente oeste

La acción de este frente quedó comprendida entre la zona de Cuatro Esquinas y punta Teatinos, no afectando al sector sur de la bahía (Figura 7b).

—Frente N-35°-O

La incidencia de este frente es homogénea a lo largo de toda la bahía, con una menor acción en el extremo sur de ésta (Figura 8a).

**Coefficientes de refracción**

Los coeficientes de refracción correspondientes a los diferentes frentes son resumidos en un solo esquema, y fueron adaptados de Berríos *et al.* (1985). En la Figura 8b se puede apreciar que el primer frente analizado presentó una concentración de los coefi-

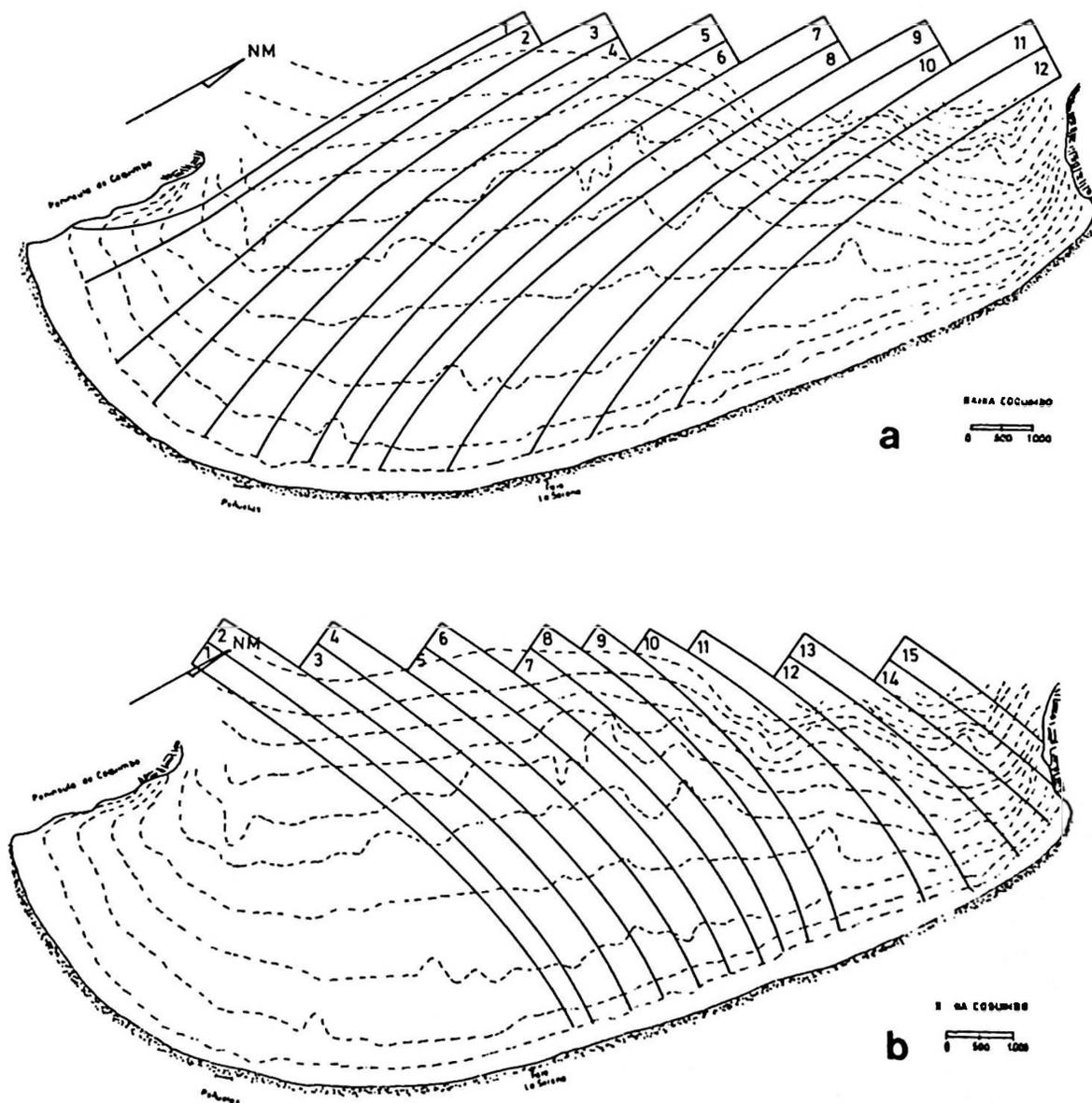


Figura 6. a) Diagrama de refracción correspondiente al frente norte y b) Diagrama de refracción correspondiente al frente S-63°-O.

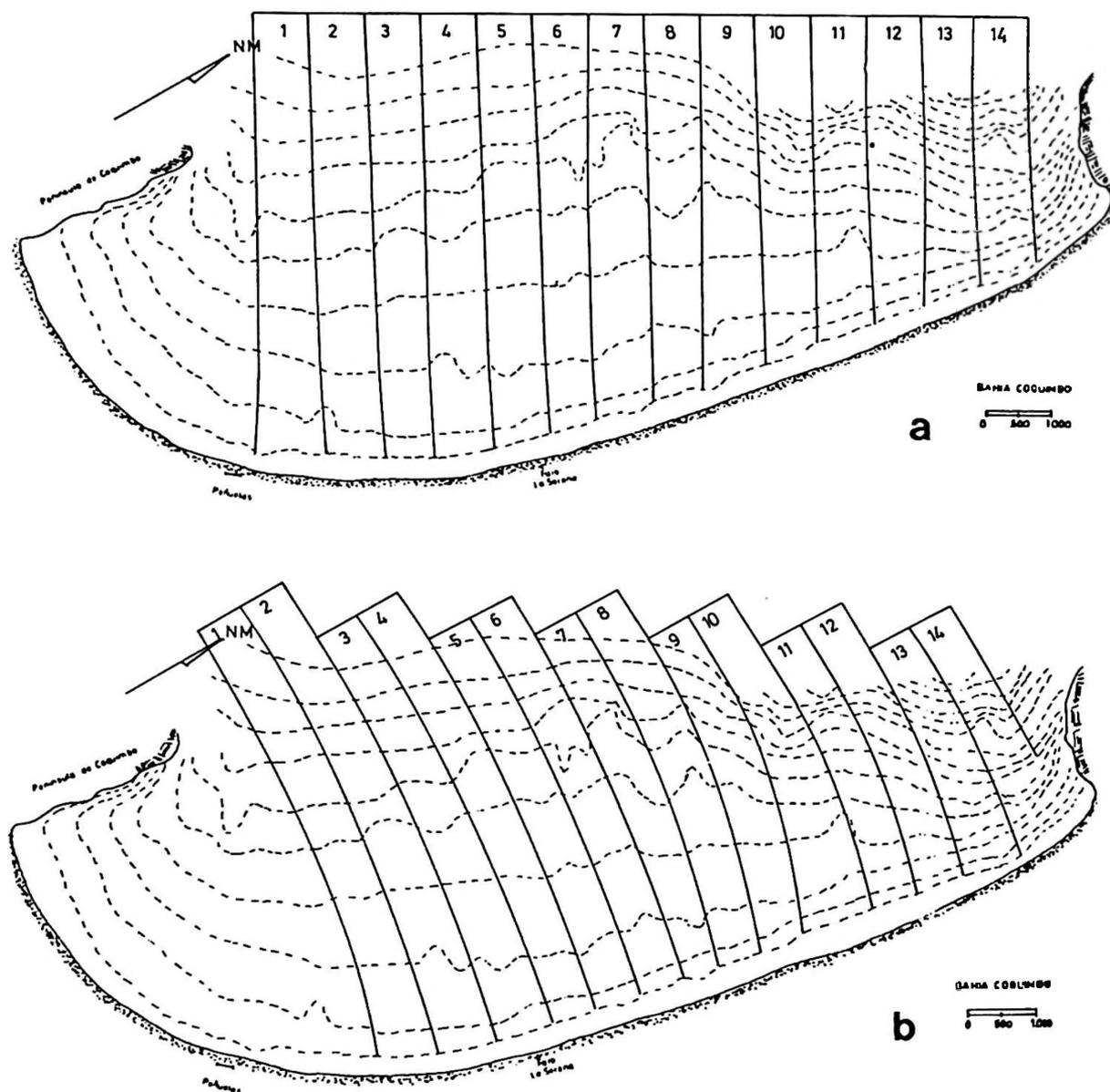


Figura 7. a) Diagrama de refracción correspondiente al frente N-64°-O y  
b) Diagrama de refracción correspondiente al frente Oeste.

cientes de refracción en el centro de la bahía, disminuyendo hacia los extremos de ésta; para el frente proveniente del S-63°-O se pudo distinguir dos zonas, en las cuales se concentran los coeficientes de refracción: una frente al faro de La Serena y otro en un sector comprendido entre el faro y punta Teatinos; los coeficientes de refracción del frente proveniente el N-64°-O se presentaron repartidos en forma pareja en toda la bahía, con excepción del área comprendida entre Peñuelas y el puerto de Coquimbo, lugar que no es perturbado por este frente.

Para el frente proveniente del oeste, se puede apreciar que los coeficientes de refracción muestran claramente una zona de baja concentración, la que se ubica en la sección intermedia entre el faro de La Serena y punta Teatinos; finalmente, se presentó la incidencia que posee el frente proveniente del N-35°-O, el cual posee su mayor concentración de coeficientes de refracción frente al sector del faro de La Serena, disminuyendo estos valores hacia el sector del puerto de Coquimbo y hacia punta Teatinos.

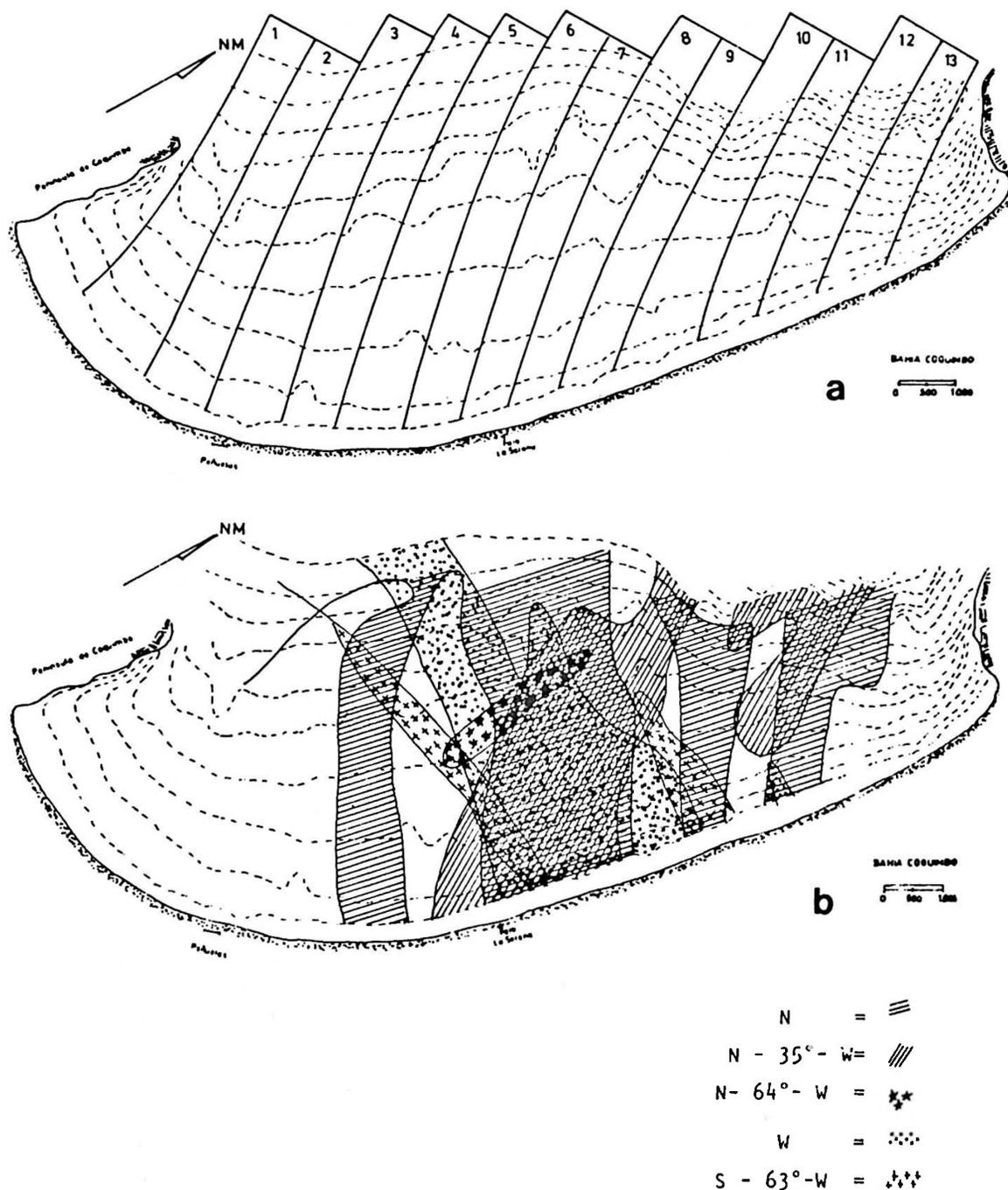


Figura 8. a) Diagrama de refracción correspondiente al frente N-35°-O y b) Coeficientes de refracción correspondiente a los 5 frentes de olas analizadas.

**DISCUSION**

En general, la variación estacional de temperatura detectada en la bahía está relacionada con los cambios que experimenta el océano en estas latitudes (Wyrcki, 1964), y son semejantes a los descritos para la bahía La Herradura por Olivares (1980) en la misma época

ca y, posteriormente, por Moraga y Olivares (1987) y Olivares (1988).

La distribución superficial de temperatura presentó un mayor calentamiento permanente hacia el sector sur de la bahía, este hecho estaría asociado principalmente a la protección orográfica que presenta este sec-

tor a los vientos SO predominantes en la zona (Alfsen, 1979).

El contenido de oxígeno disuelto en superficie es generalmente alto, encontrándose durante casi todo el período de estudio valores de saturación superiores al 100%, hecho que es debido principalmente al efecto del viento y al oleaje; sin embargo, en algunas oportunidades fueron detectados valores de saturación superiores al 120% (Figura 3b), lo cual es debido quizás al aumento del proceso fotosintético, como el observado para la misma época en la bahía La Herradura (Olivares, 1980).

Las bajas salinidades superficiales y altos valores de silicato disuelto encontrados en la bahía de Coquimbo durante el período de observación, se deben principalmente al efecto de la descarga del río Elqui, el cual posee una variación estacional y en ciclos de más largo plazo (Valle *et al.*, 1980). Sus efectos se comienzan a manifestar a inicios de primavera y en el período de los deshielos cordilleranos, época en la que el río aumenta su caudal, manifestándose en esta oportunidad el mayor efecto en diciembre de 1978 (Figura 9a), fecha en que el río alcanzó su mayor descarga (valores aportados por la Dirección General de Aguas IV Región). El efecto fue mayor en las estaciones más costeras, y en general sobre los 10 m para ambas estaciones estudiadas (Figuras 4, 5).

Un análisis de correlación lineal entre los valores superficiales de salinidad y silicato disuelto tomados durante el muestreo presentaron un coeficiente de correlación de  $-0,94$  ( $p < 0,001$ ). La ecuación de regresión entre estos valores superficiales son mostrados en la Figura 9b, la cual nos indica que para una salinidad esperada de  $0 (\times 10^{-3})$ , el valor de silicato sería de  $267,2 \mu\text{M}$  (en un intervalo de confianza sobre 95%), concentraciones que serían semejantes a los valores reportados por Olivares (1980) para la desembocadura del río Elqui, donde la salinidad es inferior a  $5 (\times 10^{-3})$ .

Con el análisis de refracción de olas de los diferentes frentes estudiados, se puede apreciar una zona, la que no es afectada directamente por estos frentes, y correspondería al sector comprendido entre unos 3 km al sur del faro de La Serena y la península de Coquimbo. Esto se debe principalmente a la orientación de la bahía y a la protección natural de la península de Coquimbo, la cual im-

pide una acción directa de los vientos SO predominantes en la zona (Alfsen, 1979); debido a su grado de exposición, el lugar más favorable es donde se ubica el puerto de Coquimbo, sector en que aun con frentes desfavorables, la energía que llega es baja, en cambio la zona más expuesta es la ubicada entre unos 3 km al sur del faro de La Serena y punta Teatinos, concentrándose la mayor energía entre el faro y unos 2,5 km al norte de éste (Berríos *et al.*, 1985).

Al analizar las alturas promedio de olas en el veril de 5 m resumidas en la Tabla 2, se puede apreciar que el frente de mayor desventaja es el N-64°-0, en el que se encuentran los máximos valores de altura de olas, esto es debido principalmente a que el grado de exposición de la bahía es en esa dirección.

Con lo anteriormente expuesto, se podría deducir que en caso de temporales, los cuales generalmente provienen del norte, la zona más afectada sería el sector frente al faro de La Serena, hecho que quedó demostrado en el temporal de 1987 que afectó a la zona, pues provocó un socavamiento de las bases del faro y motivó posteriormente a levantar unas defensas a modo de protección a nuevos frentes de mal tiempo.

## CONCLUSIONES

En el período de estudio se observó una variación estacional de temperatura, caracterizado por la presencia de una temoclina en el período primavera-verano, y la desaparición de ésta en el período otoño-invierno.

La concentración superficial de oxígeno disuelto fue superior al 100% de saturación durante todo el período de estudio.

La distribución y variación temporal de silicato disuelto y salinidad, son afectados en las capas superiores por la descarga del río Elqui, cuyo caudal se ve aumentado en la época de los deshielos cordilleranos.

La descarga del río Elqui provoca la existencia de una relación lineal inversa entre los valores superficiales de salinidad y silicato disuelto.

Debido a su grado de exposición, los frentes de olas con mayor desventaja son los provenientes del cuadrante noreste, siendo la zona más protegida el sector del puerto de Coquimbo y el más expuesto y con mayor desventaja el lugar comprendido entre el faro de La Serena y punta Teatinos.

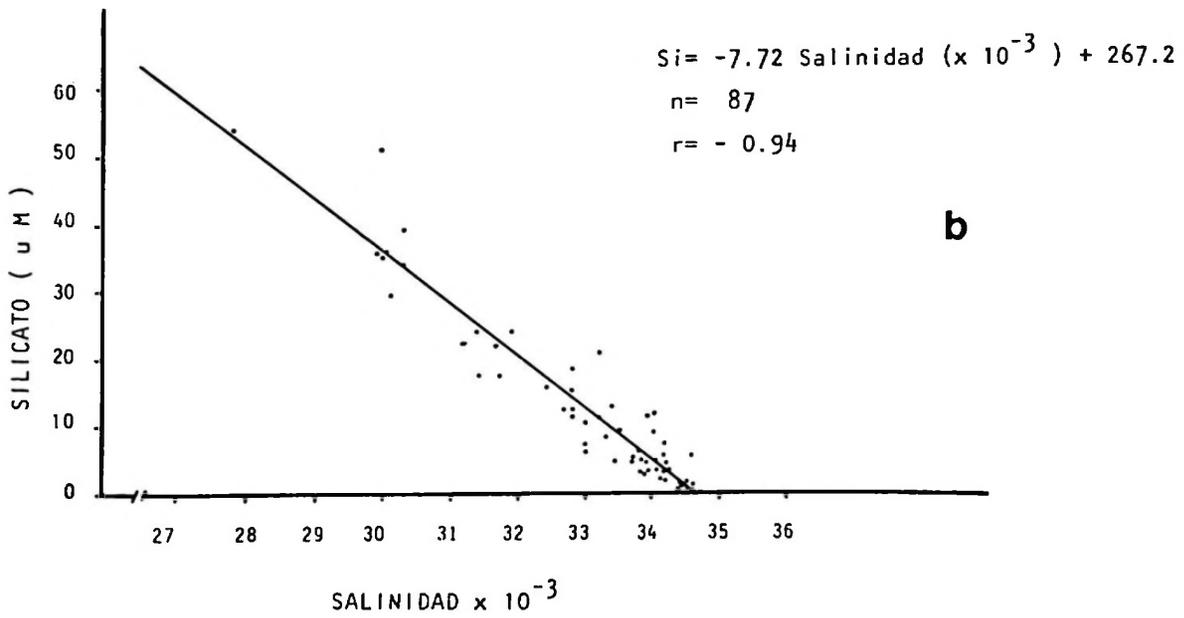
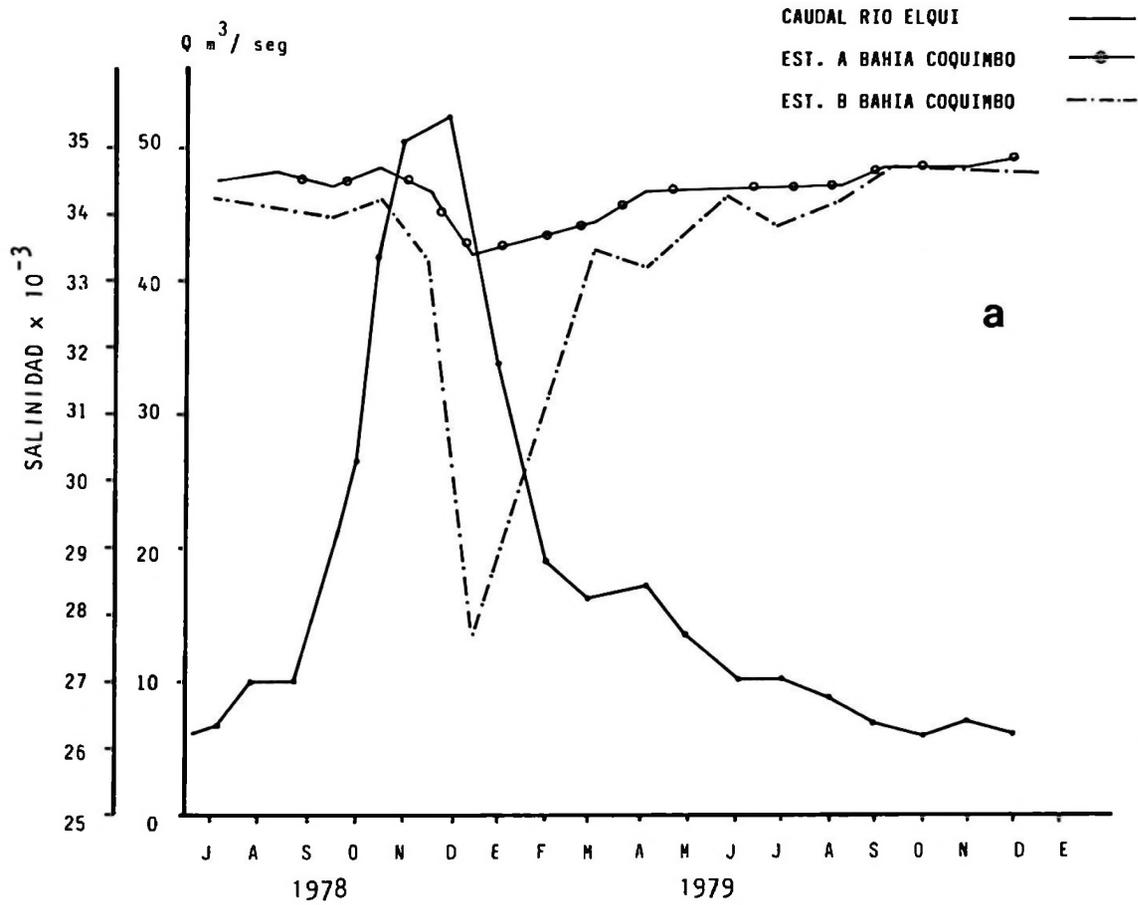


Figura 9. a) Caudal del río Elqui y salinidad superficial de estaciones A y B y b) Ecuación de regresión y relación de salinidad superficial-silicato disuelto.

**LITERATURA CITADA**

- ALFSEN, S.J. 1979. Descripción oceanográfica de la bahía La Herradura de Guayacán. Serie Oceanografía e Ingeniería. Publ. Ocasional. Centro Investigaciones Submarinas. Universidad del Norte, Coquimbo. 1: 1-64.
- BERRÍOS, M., A. PACHECO y J. OLIVARES, 1985. Análisis de Refracción de Olas en Sistemas de Bahías de la IV Región. Informe Final Depto. de Biología Marina. Universidad del Norte Sede Coquimbo. 76 pp.
- FUENZALIDA, P. H. 1975. Geografía Económica de Chile. Clima Corporación de Fomento de la Producción (Texto refundido), pp. 98-152.
- GILBERT, W., W. PAULEY and K. PARK. 1968. Carpenters oxygen solubility tables and nomograph for seawater as a function of temperature and salinity. Oregon State University. Data Report N° 29, Reference 68-3.
- JOHNSON, J. W., M. P. O'BRIEN and J.D. ISAACS, 1948. Graphical Construction of wave Refraction. US. Naval Oceanographic Office USA.
- MORAGA, J. y J. OLIVARES. 1987. Proyecto de Investigación "Re poblamiento de Recursos Bentónicos Area Piloto IV Región". Subproyecto Oceanografía Fisi-co-Química. Convenio CORFO-IFOP-Universidad del Norte. Informe Final. Departamento de Investigaciones Marinas. Sede Coquimbo, 64 pp.
- OLIVARES, J. 1980. Distribución y Variación de Compuestos Micronutrientes y Pigmentos Fotosintéticos en las bahías de Coquimbo y La Herradura de Guayacán. Tesis para optar al título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso. 72 pp.
- OLIVARES, J. 1988. Hidrografía de la bahía de Coquimbo (Chile). Resúmenes VIII Jornadas de Ciencias del Mar. Universidad Católica de Chile, Sede Talcahuano, 84.
- U.S. ARMY COASTAL ENGINEERING. Research Center 1977. Shore Protection Manual Volume I, II, III. Department of the Army Corps of Engineers.
- VALLE, J.C., J. OLIVARES, A. PACHECO y M. BERRÍOS. 1980. Disposición final de aguas servidas para las bahías de Coquimbo y La Serena, IV Región. SER-PLAC IV Región, Chile.
- STRICKLAND, J.A.M. and T.R. PARSONS. 1972. A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Canada 176: 311 pp.
- WYRTKI, K. 1964. The thermal structure of the eastern Pacific Ocean. Dtsh. Hydrogr. Z.A. 6, 84 pp.