

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN EL ÁREA DE DESOVE DE LA MERLUZA, ENTRE LOS VILOS (32°S) Y VALPARAISO (33°), CHILE.(1)

Nelson Silva S.* y Hellmuth A. Sievers C.**

ABSTRACT. Oceanographic characteristics in a hake spawning area between Los Vilos (32°S) and Valparaíso (33°S), Chile.

The distribution of water characteristics for the oceanic area comprised between Los Vilos and Valparaíso, the coast and 30 miles off the coast, based on data collected during two cruises carried out in September 1989 and January 1990, was examined.

In general, the values of temperature, salinity, dissolved oxygen, phosphate, nitrate and silicate, fitted well into the ranges of the normal oceanographic conditions described for this area by previous researchers.

In January 1990 the temperature was somewhat warmer but still in its normal range for the season and geographic zone. In this month, an intensification of the seawater characteristics was detected in salinity and dissolved oxygen extrema of the Equatorial Subsurface Water, in relation to the September 1989 cruise and the available historical data for the region.

No strong upwelling processes were taking place at the time of the cruises. However NOAA-F satellite sea surface temperature images showed that upwelling was taking place in previous days to the September cruise. This was also supported by the daily mean upwelling index computed from the wind data recorded at the Punta Angeles lighthouse.

Evidence was detected that a weak upwelling or an upwelling in its decaying stage was taking place during the September cruise. In January there was no upwelling or it was in its final stage of decay.

(1) Trabajo financiado a través del Proyecto FONDECYT 89/0311.

* Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso.

** Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso.

Key Words: Temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, water masses, upwelling, upwelling index, satellite SST.

INTRODUCCION

La región marítima centrada frente a Papudo ($32^{\circ} 30'S$) ha sido reconocida como una importante zona de desove de la merluza (*Merluccius gayi*), (Avilés et al. 1979). La persistencia a través del tiempo de esta situación tan peculiar llevó a un grupo de investigadores del Instituto de Oceanología, de la Universidad de Valparaíso y de la Escuela de Ciencias del Mar, de la Universidad Católica de Valparaíso, a formular un estudio oceanográfico que cubriera la zona comprendida entre Los Villos ($32^{\circ}S$) y Valparaíso ($33^{\circ}S$) y hasta unas 30 millas de la costa. El objetivo central de dicho proyecto sería el de conocer las causas naturales que hacen que la merluza desove con mayor intensidad en dicha región, buscando establecer una hipótesis que pueda explicar esta situación.

El proyecto se enfocó multidisciplinariamente, programándose observaciones simultáneas de las características físicas y químicas de la columna de agua, medición de corrientes, recolección de muestras de plancton, registro de información meteorológica y recopilación de imágenes de temperatura superficial obtenidas por teledetección

satelital.

El conocimiento oceanográfico propio del área de estudio es muy dispar, ya que de Quintero ($32^{\circ} 46'S$) al sur y en especial frente a Valparaíso existe bastante información, la que en cambio es muy escasa más al norte (Avaria et al. 1989). Dicha información abarca en general los aspectos hidrológicos clásicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes) y el plancton (fito, zoo e ictioplancton). En cuanto a la circulación, sólo se dispone de un conocimiento muy general, derivado de estudios de circulación geostrofica a meso escala que abarcan el área. Mediciones directas de corrientes sólo han sido efectuadas en el interior de las bahías de Valparaíso y Quintero y frente a punta Curaumilla, más al sur.

El presente trabajo entrega los resultados obtenidos del análisis de las condiciones oceanográficas físicas y químicas observadas durante los dos cruces realizados en el proyecto (septiembre 1989 y enero 1990), los cambios experimentados en la estructura de masas de agua y el estudio de procesos de surgencia que ocurren en la zona de estudio.

MATERIAL Y METODOS

La zona de estudio se ubica en la región comprendida entre 32° y 33° S, la costa y aproximadamente 30 millas mar adentro. En esta zona se efectuaron dos cruceros, el primero entre el 8 y 13 de septiembre de 1989 y el segundo, entre el 4 y 9 de enero de 1990.

Cada crucero, realizado con el B/E Tiberíades, constó de tres secciones perpendiculares a la costa ubicadas en 32° 00'S, 32° 30'S y 33° 00'S. En cada sección se realizaron cinco estaciones oceanográficas, ubicadas aproximadamente a 2, 5, 10, 20 y 30 millas de la costa (Fig. 1).

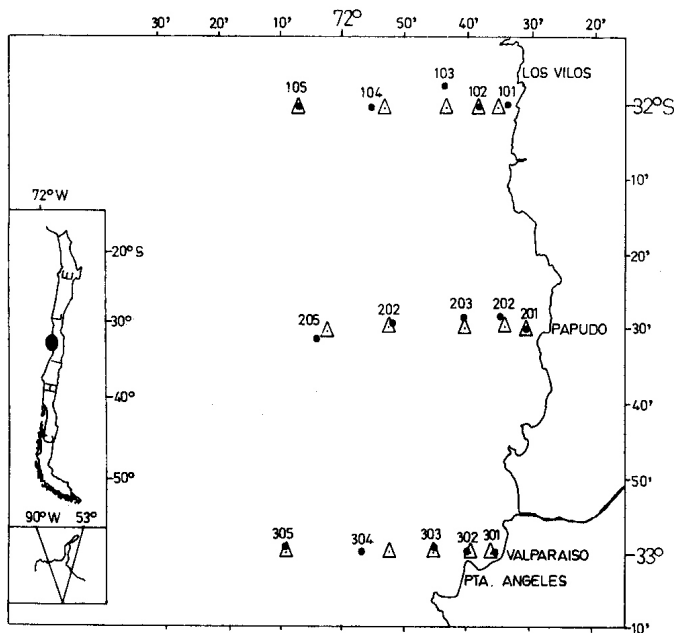


Figura 1.- Posición de las estaciones oceanográficas durante los cruceros realizados en septiembre de 1989 (Δ) y enero de 1990 (•) en la zona Los Vilos-Valparaíso.

En las estaciones oceanográficas se registró la temperatura con termómetros de inversión y batitermógrafo mecánico. Además a profundidades estándar, mediante botellas Niskin, se tomaron muestras de agua para los análisis de salinidad, contenido de oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato.

Las técnicas analíticas empleadas corresponden a los siguientes métodos: a) Salinidad, salinómetro Inductivo Autolab, b) Oxígeno disuelto, método Winkler modificado por Carpenter (1965), y c) Fosfatos, Nitratos y Silicatos, mediante un Sistema Automático de Análisis de Nutrientes de acuerdo a las técnicas de Atlas et al. (1971).

Las muestras de salinidad se almacenaron en botellas herméticas para su posterior análisis en el laboratorio del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. El oxígeno disuelto se fijó a bordo con los reactivos del método Winkler. Los nutrientes fueron fijados con cloruro mercurico, almacenados en hielo y en oscuridad. Las muestras preservadas fueron enviadas diariamente al laboratorio en tierra para su análisis en la Escuela de Ciencias del Mar, en un plazo no mayor de 48 horas.

Las muestras de salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes, se analizaron por estación y en orden secuencial creciente de profundidad con el fin de

asegurar la calidad de la información. La concentración de nitratos corresponde a la suma de nitrato más nitrilo. Por comodidad en la escritura la salinidad se expresará en el texto omitiendo el factor $\cdot 10^3$, como estrictamente debería hacerse de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades.

Para el análisis de las condiciones meteorológicas se registraron los vientos (dirección y magnitud) a bordo del B/E Tiberfades durante la realización de las estaciones oceanográficas. Junto a lo anterior se obtuvieron los registros de las mediciones que se efectúan cada 3 horas en la estación del Faro Punta Angeles en Valparaíso. Con estos registros de viento se calculó el índice de surgencia para los datos puntuales del B/E Tiberfades y el índice promedio diario de surgencia para los datos del faro Punta Angeles (Bakun 1973). Dicho índice entrega una estimación teórica del transporte de la capa de Ekman debido a la coacción del viento. Los valores del índice de surgencia se expresan en m/s por 1000 metros de costa.

Como complemento a la información de la estructura térmica superficial obtenida durante el crucero, el Centro de Estudios Espaciales de la Universidad de Chile aportó las cartas de la temperatura del mar, determinadas por el satélite NOAA-F, correspondientes a los días previos y durante el muestreo.

RESULTADOS

Crucero del 8 al 13 de septiembre 1989

TEMPERATURA.

La distribución de temperatura superficial del mar indica que ésta fluctuó entre 11,5°C y 13,4°C, con los valores más bajos cerca de la costa (Fig. 2).

En cuanto a la estructura vertical de temperatura ésta presentó una termoclina estacional incipiente, con un gradiente del orden de 0,3°C/10 m. Esta débil termoclina, que abarcó las isotermas sobre 11°C, se ubicó sobre los primeros 100 m de profundidad (Fig. 3 a 5). Bajo los 100 m, la temperatura decreció monótonicamente hasta alcanzar temperaturas del orden de 6°C alrededor de los 500 metros.

Las isotermas mayores de 11°C presentaron en las tres secciones, una inclinación ascendente en la zona más próxima a la costa aflorando en la superficie dentro de las 10 millas de ésta. Este ascenso de agua más profunda originó una banda costera de aguas más frías.

Una de las características más notables de la distribución vertical de temperatura, fue la presencia de inversiones térmicas en las estaciones más cercanas a la costa. Estas inversiones se presentaron a profundidades entre 50 y 100 m, afectando temperaturas del orden de 11°C (Fig. 3 a 5).

SALINIDAD Y SALES NUTRIENTES.

La salinidad superficial fluctuó entre 34,1 y 34,4 distribuyéndose sus valores más altos hacia el norte y la franja costera del área (Fig. 2). Por su parte las concentraciones superficiales de las sales nutrientes fueron relativamente bajas con valores entre 0,5 μM y 1,3 μM en fosfato, 1 μM y 11 μM en nitrato y 0,1 μM y 2 μM en silicato. La excepción la constituyó la estación en el interior de la bahía de Valparaíso, en que la salinidad fue de 34,0 y el nitrato de sólo de 0,3 μM .

Las isohalinas e isolíneas de nutrientes de la capa superior, entre la superficie y 100 m de profundidad, presentaron una inclinación ascendente en la zona más costera de las secciones llegando en algunas oportunidades a aflorar en superficie, como ocurrió en el caso de las isotermas (Fig. 3 a 5).

La distribución vertical tanto de la salinidad como de las sales nutrientes mostraron la típica distribución de máximos y mínimos propios de la zona. En la capa superficial, hasta 100 m de profundidad en la zona oceánica y 75 m en la zona costera, se observó el mínimo subantártico con valores menores de 34,5 en salinidad, 2,25 μM en fosfato, 25 μM en nitratos y 15 μM en silicatos. Bajo esta capa y hasta unos 400 m de profundidad se encontró el máximo ecuatorial subsuperficial con salinidades entre 34,6 y 34,8, fosfatos entre 2,5 μM y

2,75 μM , nitratos entre 25 μM y 32,5 μM y silicatos entre 20 μM y 25 μM . El mínimo intermedio antártico, a su vez, se ubicó bajo los 400 m con salinidades entre 34,5 y 34,4, fosfatos, nitratos y silicatos menores de 2,5 μM , 32,5 μM y 25 μM respectivamente (Fig. 3 a 5).

OXIGENO DISUELTO

La distribución superficial del oxígeno disuelto osciló entre 4,5 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ y 8,6 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$, con sus dos valores extremos en las estaciones más costeras de la secciones. En general, el área estuvo cubierta en su mayor parte por concentraciones del orden de 6 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ (Fig. 2).

En la estructura vertical se observó una capa superficial bien oxigenada con concentraciones mayores de 5 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ (Fig. 3 a 5). Bajo esta capa, de alrededor de 50 m de espesor, se produjo una rápida disminución del oxígeno a concentraciones menores de 2 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$ dando paso, entre 100 a 300 m de profundidad, a una capa de mínimo contenido de oxígeno disuelto. Las concentraciones en esta capa subsuperficial descendieron, en la sección 2, a menos de 0,5 $\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$. Bajo los 300 m el oxígeno disuelto volvió a aumentar alcanzando un máximo relativo intermedio ($> 4 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$) a unos 600 m de profundidad.

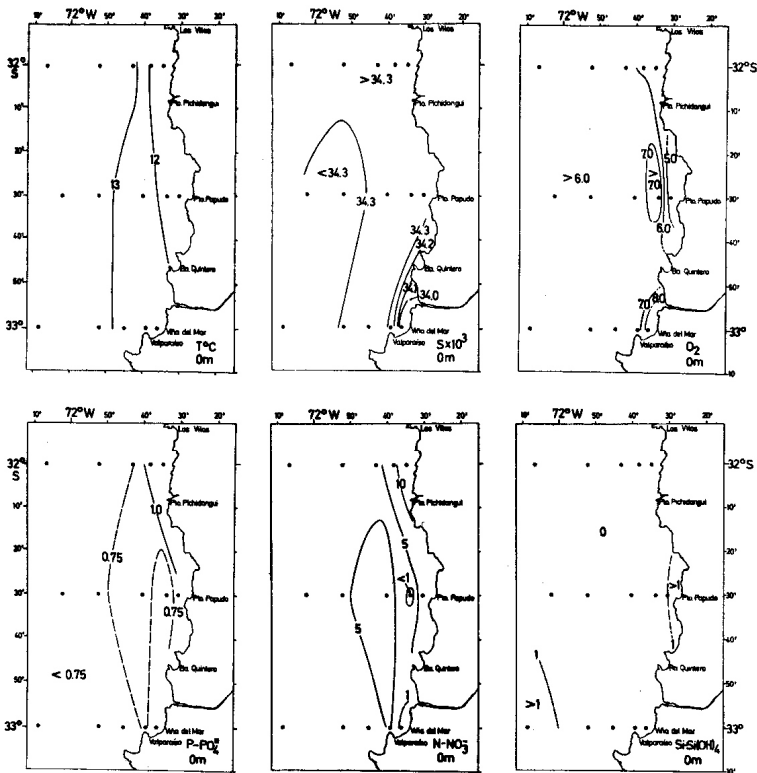


Figura 2.- Distribución de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad ($\times 10^3$), oxígeno disuelto ($\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la superficie del mar durante el crucero de septiembre de 1989.

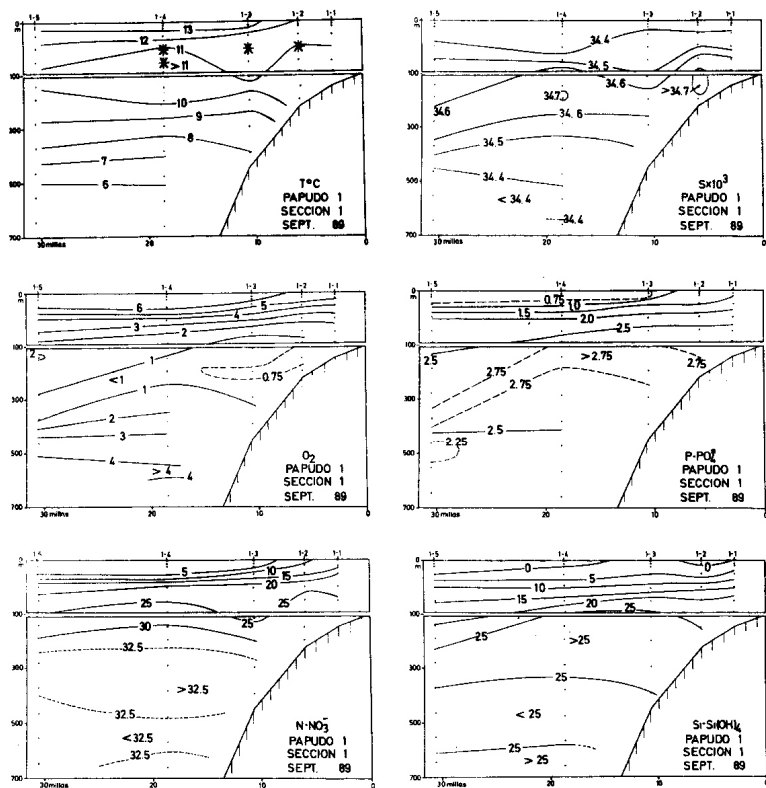


Figura 3.- Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad ($\times 10^3$), oxígeno disuelto (ml l^{-1}), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la sección 1 ($32^{\circ} 00'S$), durante el crucero de septiembre de 1989. El asterisco en la distribución de la temperatura indica zona de inversión térmica

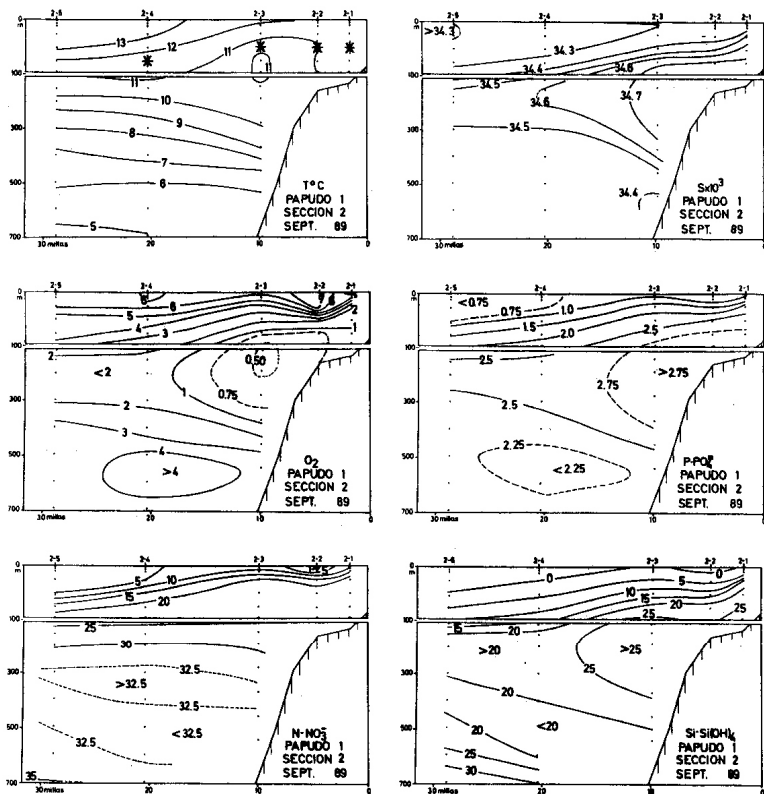


Figura 4.- Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad ($\times 10^3$), oxígeno disuelto ($\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la sección 2 ($32^{\circ} 30' \text{S}$), durante el cruce de septiembre de 1989. El asterisco en la distribución de la temperatura indica zona de inversión térmica

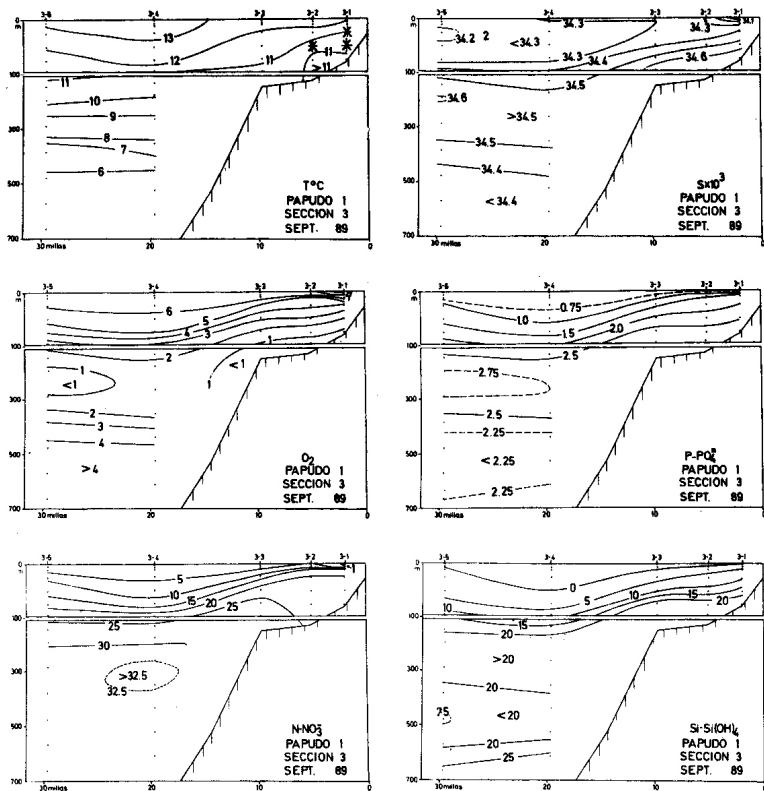


Figura 5.- Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad ($\times 10^3$), oxígeno disuelto ($\text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la sección 3 ($33^{\circ} 00'\text{S}$), durante el crucero de septiembre de 1989. El asterisco en la distribución de la temperatura indica zona de inversión térmica

Crucero del 4 al 9 de enero 1990

TEMPERATURA.

La temperatura de la superficie del mar osciló entre 13,9°C y 18,3°C, con los valores más bajos en la zona costera (Fig. 6).

La estructura térmica vertical presentó un marcada termoclina estacional en los primeros 25 m, en la zona más costera de las secciones, y hasta los 75 m de profundidad en la más oceánica (Fig. 7 a 9). El gradiente vertical promedio de temperatura fue del orden de 2°C/10 m. Bajo la termoclina estacional, la temperatura disminuyó más lentamente para alcanzar valores inferiores a 8 °C a unos 400 metros de profundidad.

SALINIDAD Y SALES NUTRIENTES.

La salinidad superficial fluctuó entre 34,2 y 34,5, con los valores más altos en la zona norte del área de estudio. Las concentraciones superficiales de los nutrientes fueron bajas con valores entre 0,4 µM y 0,8 µM en fosfato, 0 µM y 5 µM en nitrato y 0 µM y 4 µM en silicato (Fig. 6).

El mínimo subantártico de salinidad, con valores menores de 34,5, se ubicó sobre los 75 m de profundidad (Fig. 7 a 9). Los valores más bajos de este mínimo, se encontraron a profundidades del orden de 50 m donde, en algunas oportunidades, fueron menores de 34,3. Las concentraciones de sales nutrientes fueron menores de 2 µM en fosfato, de 22,5 µM en nitrato y de 20 µM en silicato (Fig.

7 a 9). Bajo la capa superficial y hasta los 400 m de profundidad se ubicó el máximo ecuatorial subsuperficial con salinidades entre 34,6 y 34,8, fosfatos entre 2,0 µM y 2,75 µM, nitratos entre 25 µM y 32,5 µM y silicatos entre 25 µM y 30 µM. Debido a la menor profundidad del muestreo en este segundo crucero no se alcanzó a detectar el núcleo del agua intermedia antártica, alcanzándose a observar sólo la porción superior de ella.

OXIGENO DISUELTO

La distribución superficial del contenido de oxígeno disuelto fluctuó entre 5,5 ml·l⁻¹ y 7,8 ml·l⁻¹, con las concentraciones más altas en la zona costera (Fig. 6).

En cuanto a su distribución vertical el oxígeno disuelto alcanzó concentraciones mayores de 5 ml·l⁻¹ en los primeros 15 m de profundidad (Fig. 7 a 9). Bajo esta capa bien oxigenada disminuyó rápidamente, alcanzando valores de 2 ml·l⁻¹ a profundidades entre 75 y 100 m. Esta rápida caída dio origen a la formación de una oxiclina con un gradiente del orden de 1,5 ml·l⁻¹ por cada 10 m. Bajo ésta, el oxígeno disuelto disminuyó aún más hasta formar una capa de mínimo contenido entre 100 y 400 m de profundidad en los que su concentración alcanzó, en algunas ocasiones, valores menores de 0,5 ml·l⁻¹. El contenido de oxígeno disuelto aumentó nuevamente a profundidades mayores a un máximo relativo, con concentraciones superiores a 3 ml·l⁻¹ a 500 m.

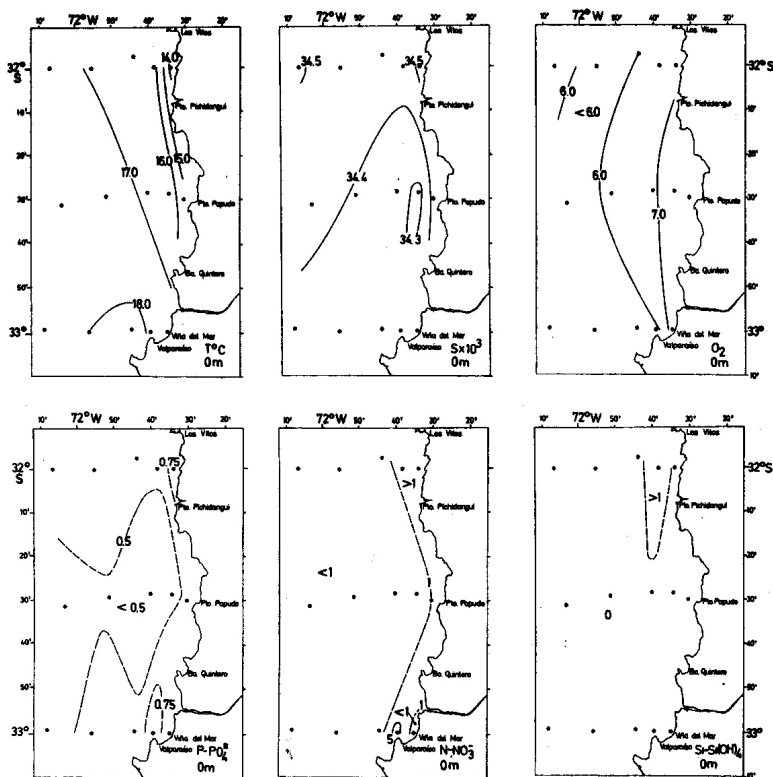


Figura 6.- Distribución superficial de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad ($\times 10^3$), oxígeno disuelto ($\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la superficie del mar durante el crucero de enero de 1990.

DISCUSION

MASAS DE AGUA

El área de estudio, ubicada en la zona de transición entre las regiones subtropical y subantártica, se caracteriza por presentar tres masas de agua en los 800 m superiores. Entre la superficie y alrededor de los 100 m se encuentra una masa de agua con características de tipo subantártico. Bajo ésta y hasta unos 300 m de profundidad se ubica el agua de origen ecuatorial subsuperficial. Entre los 400 m y 800 m se extiende el agua Intermedia antártica (Brandhorst 1971, Silva 1973, Silva y Konow 1975).

Estas masas de agua, especialmente la superficial y la subsuperficial, presentan variabilidades en sus características en diversas escalas de tiempo las cuales son el resultado de una serie de procesos naturales que afectan el área. Dentro del orden de días la surgencia y hundimiento de las aguas son las más importantes. La radiación solar es la más notable en la escala de las variaciones anuales, originando un ciclo térmico que afecta principalmente al agua de origen subantártico, que en la zona se caracteriza por un rango anual de temperatura entre 11 y 18°C (Pizarro 1973, Sievers y Silva 1973, Silva 1973, Prado y Sievers 1987). Fenómenos de menor frecuencia como "El Niño" también provocan alteraciones en la distribución de las características del agua (Silva y Ramírez 1983, Prado y Sievers 1987).

Sievers y Silva (1973, 1979) y Silva (1973), indican que para el mes de septiembre la temperatura superficial del área de estudio es de alrededor de 13°C, situación que está de acuerdo con las cartas de temperatura promedio mensual más amplias de Wyrski (1964) y Reynolds (1982).

La temperatura superficial del mar durante el crucero de septiembre 1989 presentó valores menores de 13°C solamente en la franja de las 15 millas más costeras (Fig. 2). Mar adentro la temperatura superó los 13°C en alrededor de 0,5 °C. Sin embargo al comparar estos datos con la serie de tiempo anual para la temperatura superficial del mar, registrada en Valparaíso (Silva y Rojas 1984, Prado y Sievers 1987), se puede constatar que esta mayor temperatura está dentro del rango de variación de una desviación estándar respecto a la media de septiembre, por lo que esta desviación puede ser considerada como normal.

En el caso de enero, las series de tiempo de la temperatura superficial del mar observadas en Valparaíso, indican una media del orden de 15 °C, con una desviación estándar de 1 °C (Silva y Rojas 1984, Prado y Sievers 1987). Esta media es inferior en alrededor de 2 °C respecto a la indicada por Wyrski (1964) y 1°C respecto a la indicada por Reynolds (1982) para la misma época. También es menor en 2 °C a los valores observados para este mes por Sievers y Silva (1973, 1979) y Silva (1973).

Las diferencias entre las series de tiempo registradas en la zona costera (Silva y Rojas 1984, Prado y Slevers 1987) y las registradas en zonas más oceánicas (Wyrtek 1964, Reynolds 1982), se deben a que los valores observados en las proximidades de la costa no son buenos indicadores de los valores oceánicos. Lo anterior se debe a que procesos locales, como las surgencias costeras, enfrían las aguas generando las diferencias indicadas. Esta diferencia entre la franja costera y mar adentro se acentúa hacia los meses de verano, ya que el gradiente térmico vertical es mayor y por lo tanto la diferencia térmica costa-oceano es más notable debido a que los episodios de surgencia son también más frecuentes en dicha época.

En el crucero de enero 1990 la temperatura superficial fue mayor de 17°C en casi la mitad del área estudiada (Fig. 6), mientras que en el resto del área la temperatura fue más baja con valores incluso menores de 15°C . Estas temperaturas, en la zona más oceánica, son alrededor de 1°C más altas respecto a las series de las medias históricas, diferencia que aún podría considerarse dentro de una desviación estándar respecto a la media y por lo tanto correspondería también, a pesar de ser levemente más cálida, a una situación normal.

Al comparar, la información obtenida con el B/E Tiberfades en la sección 1 del 8-9 de septiembre con aquella correspondiente de la imagen de satélite del día 8 de septiembre 1989 (Fig. 10), se puede observar que

los valores son bastante similares ($0,5^{\circ}\text{C}$) en dicha sección. Igual situación ocurre al comparar la sección 3 del 12-13 de septiembre con la imagen del 12 de septiembre (Figs. 2 y 10). Esta situación se repite en la sección 3 del 8-9 de enero y la imagen de satélite del 8 de enero 1990 (Fig. 6 y 10). Lo anterior permite indicar que para una misma cobertura espacio-temporal la información del satélite y la observada desde plataformas de superficie, aún cuando presentan algunas diferencias, son comparables. Diferencias similares también han sido observadas anteriormente para esta región oceánica por Aldunate y Slevers (1977).

Las salinidades del agua de origen subantártico fluctuaron durante el crucero de septiembre dentro de los rangos normales ($34,0$ a $34,5$) establecidos para la zona por Slevers y Silva (1973), Silva (1973), y Prado y Slevers (1987), (Figs. 2 a 5). Llama la atención la baja salinidad de $34,0$ en la bahía de Valparaíso, la cual no está asociada a ningún fenómeno pluviométrico mayor como ha sido descrito por Silva (1973) para esta zona. Tampoco se puede relacionar en esta oportunidad, a efectos fluviales del río Aconcagua como ha sido descrito por Prado y Slevers (1987) ya que sus valores asociados de nutrientes, especialmente silicato, no lo indican.

Durante el crucero de enero de 1990 las salinidades del agua de origen subantártico estuvieron dentro del rango anual de variación de $34,0$ a $34,5$ observado por Slevers y Silva (1973), Silva (1973), y Prado

y Sievers (1987), (Figs. 6 a 9). La salinidad de esta masa presentó en este crucero un mínimo en la estructura vertical, centrado alrededor de unos 50 m de profundidad, con valores que llegaron hasta los 34,2 en la sección 3 (Fig. 9). Este tipo de estructura ha sido observada previamente en la zona por Silva (1973), quien para el mes de enero 1970 informa un mínimo similar.

El oxígeno disuelto del agua de origen subantártico (Figs. 2 a 9) se mantuvo dentro de los rangos normales de variación para la zona en ambos cruceros (4 a $7 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$), (Sievers y Silva 1973, Silva 1973, Prado y Sievers 1987). Entre las situaciones puntuales que llaman la atención en la distribución vertical del oxígeno disuelto, para el crucero de septiembre, destacan los altos valores determinados para la estación 2 de la sección 2 en que éstos superaron $7 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ hasta los 50 m de profundidad (Fig. 4). Esta situación fue un tanto atípica con respecto a la distribución vertical de las estaciones colindantes en que el oxígeno disuelto fue más bajo. Este mayor valor está asociado a altas cantidades de clorofila "a" medidas en dicha estación, las que oscilaron entre 8 a 14 mg/m^3 (Avaria y Muñoz 1991). Una situación similar ocurrió en la estación 1 de la sección 2 en que el oxígeno superficial superó los $8 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ y la clorofila "a" osciló entre 8 y 23 mg/m^3 (Avaria y Muñoz 1991).

Para ambos cruceros los compuestos micronutrientes, fosfato y nitrato (Figs. 2 a 9), también se mantuvieron dentro de los rangos normales de

variación del agua de origen subantártico en la zona (0 a $1,5 \mu\text{M}$ de fosfato, 0 a $15 \mu\text{M}$ de nitrato), (Silva y Ramírez 1983, Prado y Sievers 1987). En la capa superficial las concentraciones fueron bajas, característica propia de una zona con alta productividad fitoplanctónica. Bajo los 10 a 20 m de profundidad los nutrientes aumentaron rápidamente duplicando e incluso triplicando su concentración en el borde inferior de esta masa de agua.

El agua ecuatorial subsuperficial se caracteriza en la zona por un máximo relativo en la salinidad (34,5 a 34,8), un mínimo en el contenido de oxígeno disuelto ($0,25$ a $2 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$) y un máximo relativo en la concentración de nutrientes (fosfato entre 2,0 a $2,8 \mu\text{M}$, nitrato entre 20 a $33 \mu\text{M}$, silicato entre 15 a $25 \mu\text{M}$), (Silva y Konow 1975, Silva y Ramírez 1983). Los valores de salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes observados durante los cruceros de septiembre 1989 y enero 1990 (Figs. 3 a 5 y 7 a 9) se mantuvieron, en general, dentro de los rangos antes indicados; sin embargo algunos valores puntuales escaparon a ellos. La salinidad en esta masa de agua sobrepasó los 34,8 en las tres secciones del crucero de enero 1990 (Figs. 3 a 5). Estos altos valores estuvieron asociados a contenidos de oxígeno disuelto menores de $0,5 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$. En general durante el crucero de enero el agua ecuatorial subsuperficial presentó salinidades más altas y oxígeno disuelto más bajos que durante el crucero de septiembre, lo cual indica que se produjo una intensificación de las características del núcleo de esta masa de agua para dicho mes de verano. Salinidades mayores

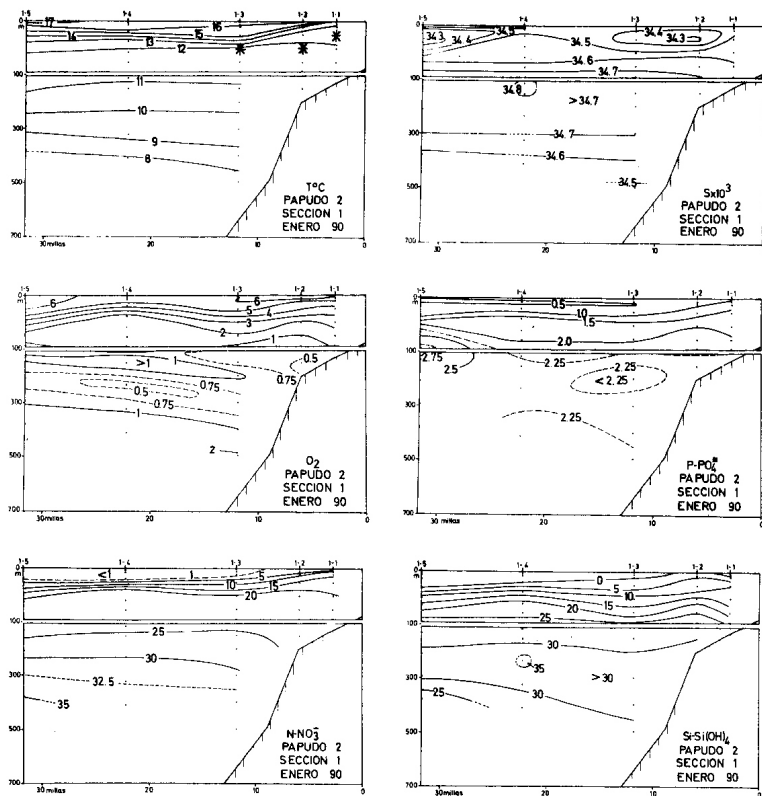


Figura 7.- Distribución vertical de temperatura (°C), salinidad ($\cdot 10^3$), oxígeno disuelto ($\text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la sección 1 (32° 00'S), durante el crucero de enero de 1990. El asterisco en la distribución de la temperatura indica zona de inversión térmica

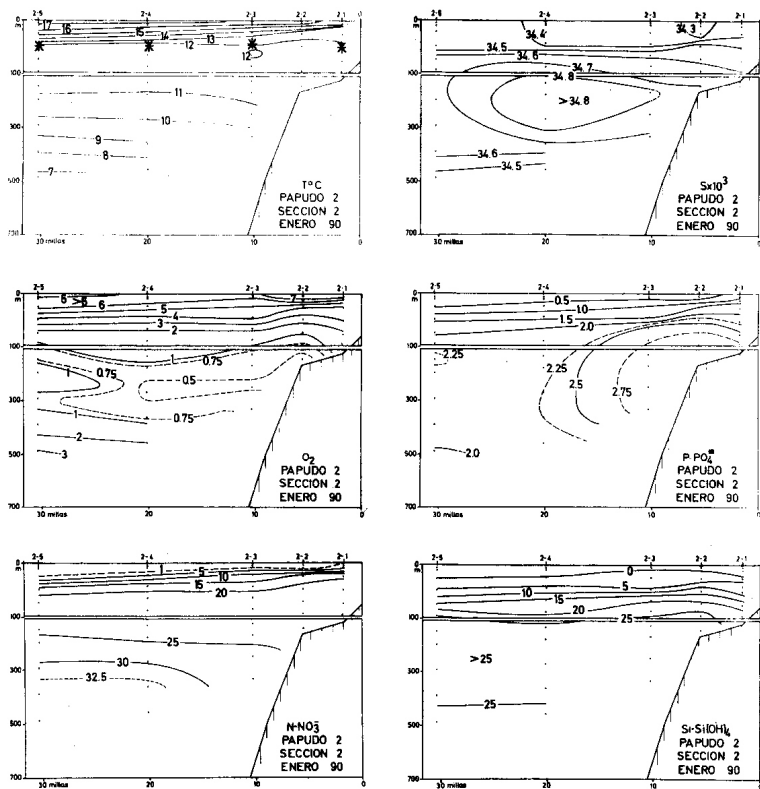


Figura 8.- Distribución vertical de temperatura (°C), salinidad ($\times 10^3$), oxígeno disuelto ($\text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la sección 2 (32° 30' S), durante el crucero de enero de 1990. El asterisco en la distribución de la temperatura indica zona de inversión térmica

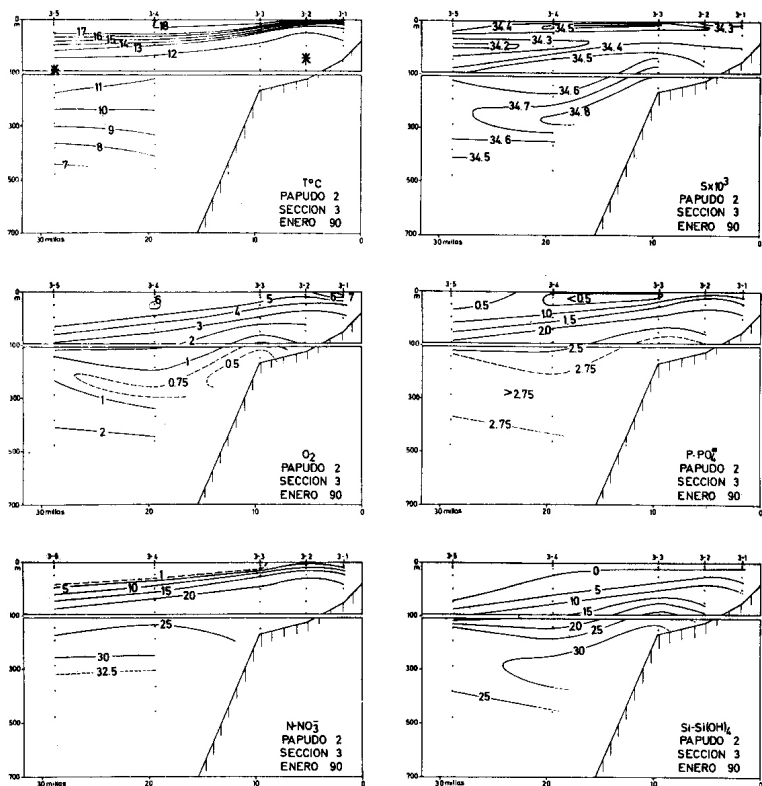


Figura 9.- Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad ($\times 10^3$), oxígeno disuelto ($\text{ml} \cdot \text{l}^{-1}$), fosfato (μM), nitrato (μM) y silicato (μM), en la sección 3 ($33^{\circ} 00' \text{S}$), durante el crucero de enero de 1990.

El asterisco en la distribución de la temperatura indica zona de inversión térmica

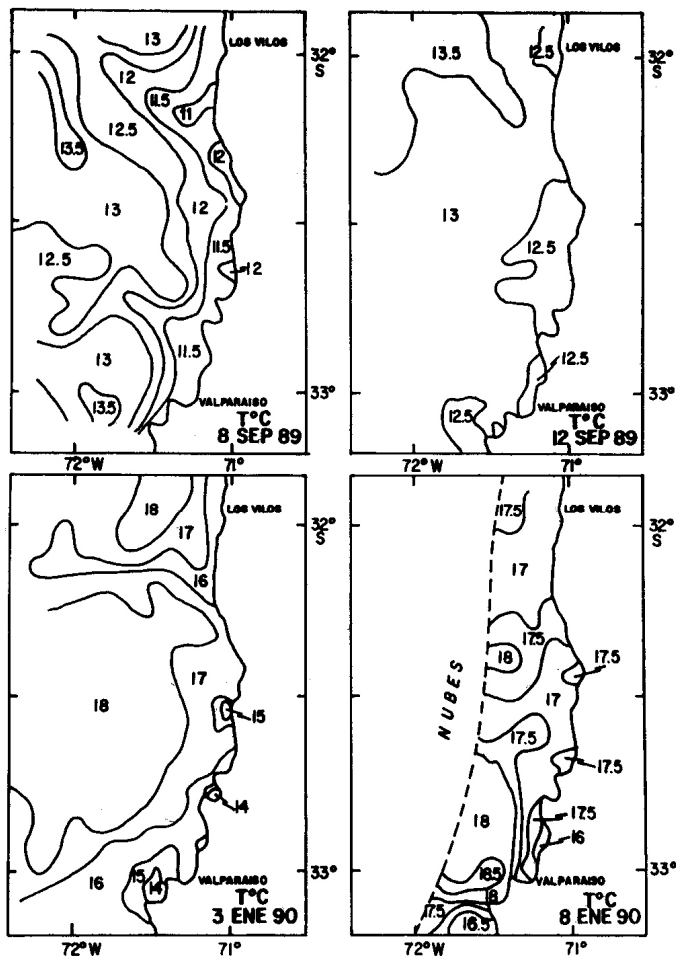


Figura 10.- Temperatura superficial del mar obtenida en base a imágenes del satélite NOAA-F para los días previos y durante los cruces de septiembre de 1989 y enero de 1990.

de 34,8 no son extrañas para la zona, pero son poco frecuentes. Silva (1973), Sievers y Silva (1979) y Prado y Sievers (1987), describen este tipo de valores para el área, sin embargo la frecuencia con que aparecen es relativamente escasa.

El núcleo de la masa de agua ecuatorial subsuperficial se encuentra a profundidades del orden de 200 m en esta zona (Silva y Konow 1975, Sievers y Silva 1979). Sin embargo la profundidad de dicho núcleo es variable en la zona costera ya que la surgencia hace que éste ascienda hacia la superficie. Aún cuando los episodios de surgencia sean muy intensos el núcleo de esta masa no aflora en superficie, haciéndolo sólo la porción superior de ella. Es en estos casos cuando se observan, en la costa de la región de Valparaíso, salinidades mayores de 34,6, oxígenos menores de $3 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$, fosfatos, nitratos y silicatos mayores de $2 \mu\text{M}$, $20 \mu\text{M}$ y $10 \mu\text{M}$ respectivamente (Silva y Ramírez 1983, Fonseca et al. 1988).

El agua intermedia antártica sólo fue observada en el crucero de septiembre 1990, en que el muestreo alcanzó hasta los 600 m de profundidad. Esta masa se caracteriza en la zona por un mínimo relativo en salinidad (entre 34,3 a 34,4), un máximo relativo en oxígeno disuelto (entre 3 a $4 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$), un mínimo relativo en nutrientes (fosfato entre 2,0 a $2,5 \mu\text{M}$, nitrato entre 30 a $32 \mu\text{M}$, silicato entre 15 a $25 \mu\text{M}$), (Silva y Konow 1975, Silva y Ramírez 1983). Las características de esta masa de agua se mantuvieron dentro del

rango normal (Figs. 3 a 5), lo cual era de esperar debido a la menor variabilidad que presentan las aguas a estas profundidades.

SURGENCIA

El proceso de surgencia, debido a la acción del viento, produce alteraciones en la distribución espacial de las masas de agua subantártica y ecuatorial subsuperficial en la zona que se manifiestan en forma de una banda superficial costera de bajas temperaturas y bajo contenido de oxígeno disuelto, junto con altos valores de salinidad (Brandhorst 1971, Silva 1973, Fonseca 1977, Sievers y Silva 1979). Fonseca et al. (1988), en un estudio multidisciplinario observaron dos episodios intensos de surgencia en punta Curaumilla, en octubre de 1986 y enero de 1987.

Los resultados obtenidos confirmaron que al producirse una surgencia intensa en la zona, el transporte Ekman provoca el ascenso de aguas subsuperficiales dando origen a la formación de una franja costera de baja temperatura y contenido de oxígeno disuelto, pero de alta salinidad y altas concentraciones de fosfato, nitrato y silicato, lo cual constituye el "patrón clásico" de distribución superficial de las variables oceanográficas en la zona. En dichas oportunidades los valores extremos superficiales alcanzados en el crucero de enero de 1986 fueron $< 12^\circ\text{C}$ en temperatura, 34,3 en salinidad, $< 4,0 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ en oxígeno disuelto, $> 2,0 \mu\text{M}$ en fosfato, $> 20 \mu\text{M}$ en nitrato y $> 10 \mu\text{M}$ en silicato y en el de

octubre de 1987 de $< 12^{\circ}\text{C}$ en temperatura, $> 34,5$ en salinidad, $< 3,5 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ en oxígeno disuelto, $> 2,5 \mu\text{M}$ en fosfato, $> 20 \mu\text{M}$ en nitrato y $15 \mu\text{M}$ en silicato.

En cuanto a la distribución vertical es ampliamente conocido que la surgencia se manifiesta por un levantamiento hacia la costa de las isolíneas de las distintas características, las cuales pueden aflorar en la franja costera, dependiendo de la intensidad de ésta.

Durante los cuatro días anteriores al crucero de septiembre de 1989 la situación climatológica registrada en punta Angeles, correspondió con un período de vientos fuertes con componente sur, que llegaron a superar los 20 nudos en las tardes (Fig. 11). Estos vientos dieron origen a un episodio de surgencia en la zona que pudo ser deducido del ascenso de las isolíneas hacia la costa durante una parte del crucero (Figs. 3 a 5). Los índices promedio diario de surgencia correspondientes a los días 4 a 8 de septiembre indican que se alcanzaron valores de alrededor de $500 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m}$ (Fig. 12). Posteriormente, entre el 9 y 12 de septiembre, el viento disminuyó notablemente lo cual provocó una caída en el índice promedio diario de surgencia, pasando éste a valores negativos el día 13 (Fig. 12). Esta situación de disminución de los vientos del tercer cuadrante e inversión a vientos del norte provocó un relajamiento del proceso de surgencia.

Los cálculos del índice de surgencia en base a datos puntuales de vientos registrados a bordo del

B/E Tiberíades, también mostraron una tendencia similar a la del índice promedio diario de surgencia determinado con los datos del faro Punta Angeles (Fig. 12). Evidentemente no existe un calce absoluto entre los valores de ambos índices debido a las diferentes posiciones geográficas de la medición y al tiempo que ellas involucran, promedio diario de ocho mediciones v/s medición instantánea.

Características propias de la surgencia se manifestaron en la superficie de las dos secciones de más al norte (Los Vilos y Papudo) quedando definida por la presencia de una delgada banda costera, de unas tres a cinco millas de ancho, con aguas relativamente frías ($< 12^{\circ}\text{C}$) y ricas en nitratos ($> 5 \mu\text{M}$) y fosfatos ($> 1 \mu\text{M}$), (Figs. 2 y 6). En cambio las características de salinidad, oxígeno disuelto y silicato superficiales no se ajustaron al "patrón clásico", propio de la surgencia en esta zona, ya que en este caso el oxígeno disuelto mantuvo un contenido alto ($> 5 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$) con un 90 a 100 o/o del valor de saturación y el silicato presentó concentraciones superficiales próximas a cero (Figs. 2 y 6). Las causas de esta anomalía pueden relacionarse con la presencia de grandes concentraciones de diatomeas, detectadas por Avaria y Muñoz (1991) en el mismo crucero. Esta gran biomasa de diatomeas explicaría el alto contenido de oxígeno y las bajas concentraciones de silicato encontradas.

En el caso de la sección de Valparaíso la distribución de las variables oceanográficas no muestran

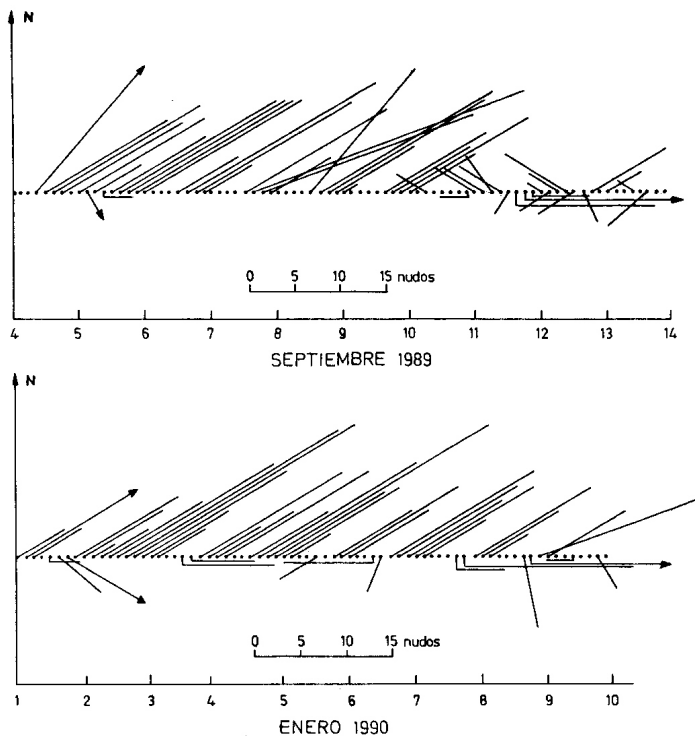


Figura 11.- Dirección y magnitud del viento durante los días 4 al 13 de septiembre de 1989 y 1 al 9 de enero de 1990, observados cada tres horas en el faro Punta Angeles (Valparaíso).

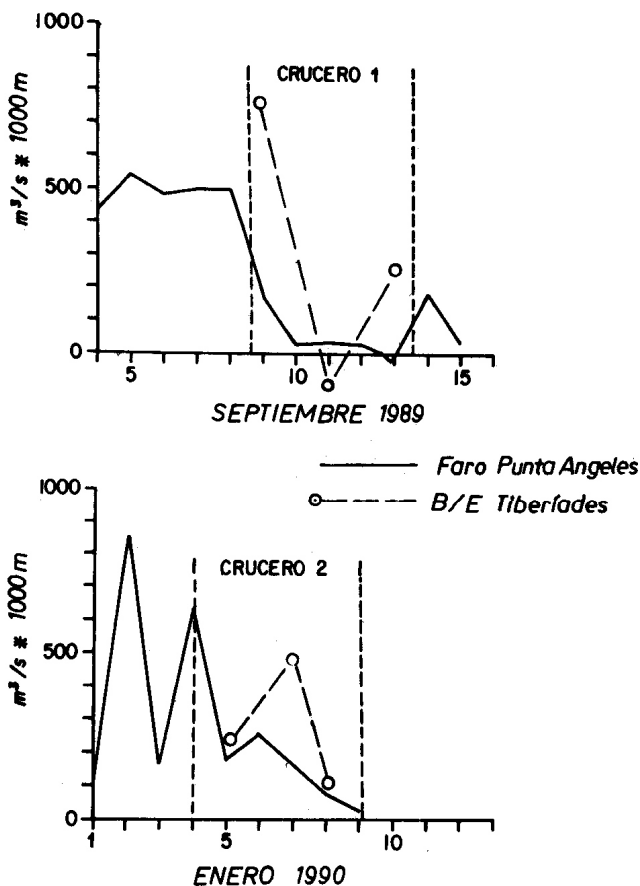


Figura 12.- Índices promedio diario de surgencia ($m^3/s \cdot 1000m$), calculados en base a los datos de vientos cada tres horas registrados en el Faro Punta Angeles, e índice en base a datos de vientos registrados en el B/E Tiberfades en septiembre de 1989 y enero de 1990.

evidencias, en superficie, de un episodio de surgencia. Es así como se aprecian aguas costeras superficiales relativamente más cálidas y de alto contenido de oxígeno disuelto, alcanzando valores de sobresaturación próximos al 130 o/o en la estación al interior de la bahía donde a su vez los nutrientes son bajos (Fig. 2).

Las isotermas sobre los 200 m mostraron en su distribución vertical una inclinación ascendente hacia la superficie en la zona costera, lo cual es el resultado del efecto de surgencia antes indicado (Figs. 3 a 5). La inclinación ascendente de las isotermas es notoria en las 20 millas más costeras.

Junto con el ascenso de las isotermas también se detectaron inversiones térmicas en las tres secciones. Estas inversiones, que ocurren ocasionalmente en la zona, han sido descritas anteriormente por Sievers y Silva (1979) y han sido interpretadas como un efecto de los procesos de surgencia sobre la estructura térmica vertical (Fonseca 1984). Según este último autor el ascenso hacia la superficie de aguas subsuperficiales frías y salinas, es decir de mayor densidad, se hundirían bajo las aguas externas comparativamente más cálidas y menos densas y al ser transportadas mar adentro, en dirección general noroeste debido al efecto Ekman, generarían la inversión térmica indicada.

Las inversiones térmicas detectadas oscilaron entre 0,03°C y 0,70°C ubicándose entre 50 m y 75 m, aumentando en profundidad desde la costa hacia mar adentro hasta 20 millas en

las secciones del norte y 5 millas en la sección del sur (Figs. 3 a 5). En este caso de septiembre la distribución de inversiones térmicas estuvo asociada, en general, a una capa con densidades (expresada como σ_t) entre 26,3 a 26,5, la cual corresponde a la parte superior del agua ecuatorial subsuperficial. Esta distribución de las inversiones térmicas es consecuente con lo propuesto por Fonseca (1984).

La distribución vertical de la salinidad, oxígeno disuelto, fosfato, nitrato y silicato, también mostró el ascenso de aguas en los 200 m superiores y dentro de las 20 millas más costeras. Sin embargo, su ascenso no fue muy marcado y en general las aguas subsuperficiales no irrumpieron en superficie, con la excepción de la sección de Los Vilos donde el efecto de la surgencia fue más notorio (Figs. 3 a 5). Lo más probable es que esta situación corresponda a una fase de decaimiento y sea el remanente de un episodio de surgencia que se desarrolló los días previos al crucero, cuando las condiciones del viento eran más favorables. Esta hipótesis explicaría las diferencias de comportamiento en la distribución de las variables oceanográficas observadas en la superficie del mar en este crucero. Es así como las dos secciones del norte acusaron evidencias de surgencia en las aguas superficiales, no ocurriendo lo mismo en la sección del sur. Esta situación es consecuente con la disminución de la intensidad del viento con componente sur e incluso con el cambio de dirección experimentada el día 13 de septiembre.

En enero de 1990 la situación meteorológica también correspondió a un período de vientos con componente sur durante dos de los tres días anteriores al inicio del crucero. Estos vientos fueron más variables, en cuanto a su intensidad, que en el caso del crucero de septiembre, llegando a superar en varias ocasiones los 25 nudos en las tardes (Fig. 11). Esto se ve reflejado en el índice de surgencia diario, el cual presentó valores variables con un máximo de alrededor de 850 $\text{m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m}$ el 2 de enero (Fig. 12). El primer día de muestreo los vientos fueron bastante intensos, con un índice de surgencia diario de 630 $\text{m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m}$. Hacia la tarde del segundo día el viento disminuyó provocando una caída del índice, situación que se mantuvo hasta el término del crucero (Fig. 11). Como consecuencia de estos vientos tan variables aparentemente no se dieron las condiciones apropiadas para que se desarrollara una surgencia, ya que no se observaron indicios de un episodio de esta naturaleza en la superficie. La sección de Los Vilos constituye la excepción ya que en ella se pudo observar una temperatura superficial relativamente baja ($< 14^\circ\text{C}$) en las proximidades de la costa, lo que sería un indicio de un afloramiento menor de aguas más frías.

En esta oportunidad los índices de surgencia, calculados en base a los datos puntuales de vientos, observados a bordo del B/E Tiberfades, también muestran una tendencia similar al índice de promedio diario calculado con los datos de Punta Angeles. Al

igual que en el caso anterior, los valores de ambos índices no caen exactamente, mostrando sólo tendencias similares (Fig. 12).

Las otras características del agua no indican la ocurrencia de un episodio de surgencia en la zona. El oxígeno disuelto se mantuvo alto y los nutrientes bajos en la franja costera (Fig. 6). Por su parte la salinidad no presentó valores comparativamente más altos respecto a las estaciones vecinas, lo cual también es un indicio de la ausencia de uno de estos episodios.

La distribución vertical de la temperatura indicó que dentro de las 15 millas más costeras se produjo un ascenso hacia la costa de las isotermas asociadas a la termoclina, aflorando sólo algunas de ellas en la sección de más al norte (Figs. 7 a 9). En las otras secciones las isotermas subsuperficiales no alcanzaron hasta la superficie, indicando un episodio que no alcanzó a desarrollarse o que se encontraba al final de su fase de decaimiento. Según Avaria y Muñoz (1991) la composición del fitoplancton colectado en esta oportunidad indicaría la ausencia de un episodio de surgencia los días anteriores a este crucero de enero.

Al igual que en septiembre en esta ocasión también se presentaron inversiones térmicas, aunque de menor magnitud. Ellas oscilaron entre $0,03^\circ\text{C}$ y $0,20^\circ\text{C}$ ubicándose en un nivel próximo a los 50 m de profundidad (Figs. 7 a 9). En esta oportunidad las inversiones estuvieron asociadas a aguas con densidades entre 26,1 y 26,4, las

cuales son algo más bajas que las del crucero de invierno debido a las mayores temperaturas de la época de verano. En septiembre estas ocurrieron a una temperatura media de $11,05^{\circ}\text{C}$ y en el caso de enero a $11,72^{\circ}\text{C}$. De aquí que se puede inferir que las inversiones térmicas en la zona se producirían, esencialmente, en los mismos niveles de densidad y por lo tanto comprometiendo al mismo cuerpo de agua.

Las distribuciones verticales de la salinidad muestran un moderado ascenso de aguas subsuperficiales en las tres secciones, aunque sin aflorar en superficie (Figs. 7 a 9). Por su parte las isolíneas de oxígeno, fosfato, nitrato y silicato indican ascensos moderados de aguas subsuperficiales en algunas de las secciones. En general las isolíneas de nutrientes no llegan a aflorar en la zona costera, por lo que se puede concluir que en el período en que se realizó dicho crucero de verano, prácticamente no hubo surgencia.

A modo de estimación comparativa de la intensidad de los episodios de surgencia observados durante los cruceros de septiembre 1989 y enero 1990 se contrastaron estos resultados con los obtenidos por Fonseca et al. (1988), para los cuales se calculó el índice de surgencia (Fig. 13). Es importante tener en cuenta que este índice sólo entrega una estimación teórica simple de la capacidad de transporte de la capa Ekman hacia afuera de la costa debido a la acción del viento sobre la capa superficial y, por lo tanto, constituye un estimador grueso de la capacidad

potencial de generación de surgencia. Teniendo en mente esta limitante se compararon los índices de surgencia entre ambos períodos. Los valores promedio diario del índice de surgencia de los cruceros de septiembre 1989 y enero 1990 fueron menores que los calculados para los cruceros de octubre 1986 y enero 1987 (Figs. 12 y 13). Todos ellos fueron calculados en base a datos de la misma estación en el faro Punta Angeles, lo que indicaría que la capacidad teórica de generación de surgencia en los cruceros de este estudio fue menor que la observada durante octubre de 1986 y enero de 1987. De hecho el muestreo del trabajo de Fonseca et al. (1988) fue programado especialmente para el estudio de la surgencia en punta Curaumilla y por lo tanto se trabajó en condiciones de vientos fuertes (> 20 nudos). Los índices de surgencia promedio diario calculados para septiembre de 1986 y enero de 1987, en los días de realización de los cruceros, llegaron a valores máximos de $1200 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000\text{m}$ y $1000 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000\text{m}$ respectivamente, mientras que durante los cruceros de septiembre 1989 y enero 1990 estos índices sólo alcanzaron valores máximos de $170 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000\text{m}$ y $250 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000\text{m}$, respectivamente (Figs. 12 y 13).

A su vez Arcos y Navarro (1986) efectuaron un estudio de dos series anuales del índice de surgencia frente a Talcahuano, zona que es conocida por ser afectada frecuentemente por intensos vientos con componente sur ("surazos"). Estos autores muestran que en esa zona los índices promedio diario suelen superar los 400

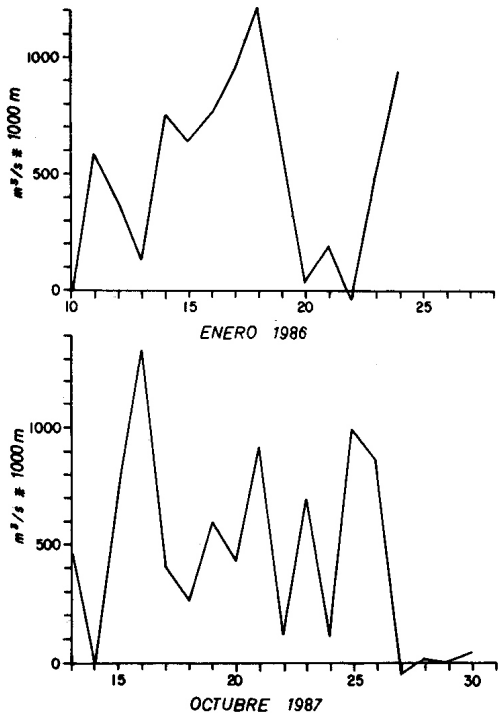


Figura 13.- Indices promedio diario de surgencia ($m^3/s \cdot 1000m$), calculados en base a los datos de vientos cada tres horas registrados en el Faro Punta Angeles, en noviembre de 1986 y enero de 1987.

$m^3/s \cdot 1000$ m durante los meses de octubre a febrero, que es cuando ocurren los vientos del sur más intensos y por lo tanto la situación es más propicia para la surgencia. Arcos et al. (1987), en un estudio de variabilidad de clorofila asociada a episodios de surgencia en la zona de Concepción, también muestran que episodios de surgencia se desarrollan cuando el índice promedio diario supera los $400 m^3/s \cdot 1000m$ durante varios días.

Del análisis de las condiciones observadas por Arcos y Navarro (1986), Arcos et al. (1987) y Fonseca et al. (1988), además de las observaciones del presente trabajo se puede especular, en una primera aproximación, que índices promedio diario superiores a unos $400 m^3/s \cdot 1000m$ podrían ser indicativos de condiciones potenciales de surgencia. Junto con lo anterior, los vientos forzadores de surgencia deberían tener cierta permanencia en el tiempo, considerando que tres a cuatro días consecutivos con índices promedio diarios de surgencia superiores $400 m^3/s \cdot 1000m$ serían adecuados para generar estos episodios. Ahora bien, en la medida que los valores de este índice son más altos mayor será la intensidad de la surgencia, como ocurrió en las observaciones de septiembre de 1986 de Fonseca et al. (1988) (Fig. 13).

De gran utilidad para el estudio de surgencia son también las imágenes de temperatura superficiales observadas con satélites. Al respecto Fonseca y Farías (1987) utilizaron la información térmica del satélite NOAA-F para efectuar un análisis

de la distribución de las aguas frías surgentes en la franja costera de Chile. Entre las zonas consideradas estuvo la de Los Vilos a Valparaíso, zona ya reconocida anteriormente por su alta frecuencia de episodios de surgencia (Brandhorst 1963, Silva 1973, Fonseca 1977, Johnson et al. 1980, Slevers y Silva 1979, Fonseca et al. 1988).

Fonseca y Farías (1987) analizaron específicamente imágenes relacionadas con dos episodios de surgencia ocurridos entre noviembre y diciembre de 1984 en la zona Valparaíso-San Antonio. Estos autores muestran como en la medida que se intensifican los vientos del sur, y por lo tanto aumenta el valor del índice de surgencia diario, las aguas de la zona costera se van enfriando como consecuencia del afloramiento de aguas subsuperficiales. En ambos casos el índice de surgencia superó los $400 m^3/s \cdot 1000m$ y la permanencia de vientos intensos fue de más de tres días.

Al analizar la distribución de la temperatura superficial correspondiente al cruce de septiembre de 1989, en base a los datos del satélite, se puede observar que la carta del 8 de septiembre muestra una típica situación de surgencia, con bandas de agua más frías ($< 12^\circ C$) a lo largo de la costa entre Los Vilos y Valparaíso (Fig. 10). Dicho enfriamiento superficial es coincidente con un índice promedio diario de surgencia de alrededor de $500 m^3/s \cdot 1000 m$ registrado durante los días 4 a 8 de dicho mes (Fig. 11). El día 12 de septiembre, en cambio, la imagen del satélite ya no muestra condiciones de surgencia

observándose sólo una banda térmica de unos 13°C frente a Papudo. Esta situación coincide también con una disminución del índice de surgencia, durante esos días, a valores menores de $250 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m}$ (Fig. 12).

En el caso del crucero de enero de 1990, la imagen del satélite del 3 de enero muestra sólo algunos indicios de surgencia frente a Papudo y al sur de Valparaíso definidos por temperaturas menores de 15°C (Fig. 10). A principios de enero se registraron fluctuaciones del índice promedio diario de surgencia, los que el 2 y 4 superaron los $500 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m}$ situación considerada como favorable para la ocurrencia de un proceso de surgencia. Sin embargo los bajos valores de este índice los días 1, 3 y 5 ($< 200 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m}$) no favorecieron el desarrollo de un episodio de surgencia. Esto se debe a que la permanencia de los vientos intensos no fue lo suficientemente

prolongada en el tiempo para desarrollar tal proceso (Fig. 12). La carta del 7 de enero, ya no muestra indicios de surgencia en superficie, situación que está de acuerdo con los bajos índices promedio diario entre el 5 y 9 de enero en que fueron menores de $250 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ m}$.

De lo anterior se puede deducir que la situación de surgencia en los cruceros de septiembre 1989 y enero 1990 parecen corresponder a episodios de poca intensidad o en su fase de decaimiento, en el primer caso, y en su fase final o ausencia, en el segundo. El hecho de que las variables como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes no presentaran valores tan extremos en el nivel superficial, en comparación con otros episodios descritos en la zona (Silva 1973, Fonseca 1977, Sievers y Silva 1979, Fonseca y Farías 1987 y Fonseca et al. 1988), permiten establecer tales conclusiones.

AGRADECIMIENTOS Los autores desean expresar su agradecimiento a:

FONDECYT por el financiamiento del Proyecto 89/0311 "Caracterización de las condiciones hidrológicas y biológicas en un área de desove de la merluza", del cual este trabajo es parte.

Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), por permitir efectuar los análisis de salinidad de las muestras en su salinómetro inductivo.

Servicio Meteorológico de la Armada de Chile por proporcionar y autorizar el uso de la información de los vientos registrados en el faro Punta Angeles.

Capitán y tripulación del B/E Tiberíades por su cooperación abordo durante los cruceros.

Dr. Roberto Prado F. por sus valiosas sugerencias y comentarios al presente trabajo.

Los técnicos muestreadores señores Juan Soto y Victor Villanueva de la Universidad de Valparaíso y Noé Cáceres y Reinaldo Rehhoff de la Universidad Católica de Valparaíso, por su dedicado trabajo en la recolección de datos y muestras.

Personal técnico y ayudantes del Instituto de Oceanología y de la Escuela de Ciencias del Mar, que cooperaron en los análisis, procesamiento de la información y confección de gráficos y dibujos necesarios

BIBLIOGRAFIA

- ARCOS, D. F. y N. NAVARRO 1986.- Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37°S). Invest. Pesq. (Chile) 33: 91-98
- ARCOS, D. F., S. P. NUÑEZ, L. CASTRO y N. NAVARRO 1987.- Variabilidad vertical de clorofila "a" en un área de surgencia frente a Chile central. Invest. Pesq. (Chile) 34: 47-55
- ALDUNATE H., R. y H. A. SIEVERS C. 1977.- Comparación de temperaturas superficiales del mar obtenidas por sensores remotos y observaciones desde buques (septiembre y noviembre de 1975). Cienc. y Tec. del Mar 3: 43-56
- ATLAS, E.L., S.W. HAGER, L.I. GORDON y P.K. PARK 1971.- A practical manual for the use of the Technicon Autoanalyzer in seawater nutrient analyses. Revised: O.S.U. Technical report 215. Reference 71-22. 49 pp.
- AVARIA P., S., S. PALMA G., H. A. SIEVERS C. y N. SILVA S. 1989.- Revisión sobre aspectos oceanográficos físicos, químicos y planctológicos de la bahía de Valparaíso y áreas adyacentes. Biología Pesquera, 18: 65-94
- AVARIA P., S. y P. MUÑOZ S. 1991.- Caracterización del fitoplancton de un área de desove de la merluza, frente a la costa central de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 26 (1): 161-190

- AVILES, S., M. AGUAYO, F. INOSTROZA y J. CAÑON 1979.- Merluza común *Merluccius gayi* (Guichenot). En: Estado actual de las principales pesquerías nacionales. Bases para un desarrollo pesquero. Vol. 1 (peces). Corporación de Fomento de la Producción (AP-79-18). Inst. Fom. Pesq. Chile, 90 pp.
- BAKUN, A. 1973.- Coastal upwelling indices, West coast of North America, 1946-1971. Dep. Commer. NOAA Tech. Rep. NMFS-SSRF-671, 133 pp.
- BRANDHORST, W. 1963.- Descripción de las condiciones oceanográficas de las aguas costeras entre Valparaíso y 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. Santiago, Chile. 55 pp..
- BRANDHORST, W. 1971.- Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14(3): 45-84.
- CARPENTER, J.H. 1965.- The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. Limnol. Oceanogr., 10: 141-143.
- FONSECA, I. 1977.- Proceso de surgencia en Punta Curaumilla con especial referencia a la circulación. Tesis Escuela de Pesquerías y Alimentos. Universidad Católica de Valparaíso. 90 pp..
- FONSECA, I. 1984.- Inversión térmica costera y su relación con los eventos de surgencia. Biología Pesquera. 13: 15-22.
- FONSECA I. y M. FARIAS. 1987.- Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Inv. Pesq. (Chile) 34: 33-46.
- FONSECA F., I., M.A. BARBIERI B., S. PALMA G., M.I. TOLEDO y N. SILVA S. 1988.- Eventos de surgencia en la zona de Valparaíso y sus efectos en el ecosistema marino. Informe Final del Proyecto FONDECYT 1170/85
- PIZARRO, C.M. 1973.- Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. I. La temperatura superficial y la radiación solar. Rev. Biol. Mar. Univ. Chile. Valparaíso. 15(1): 77-105
- PRADO, R. y H.A. SIEVERS C. 1987.- Distribución de características físicas y químicas frente a la península Los Molles, Chile (32°45'S) y su relación con el fenómeno "El Niño" 1982/1983. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 23(1): 31-75.
- REYNOLDS, R. 1982.- A monthly climatology of the sea surface temperature. Technical report NWS 31 National Meteorological Center, NOAA

- SIEVERS, H. A. y N. SILVA S. 1973.- Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno frente a la bahía de Valparaíso. *Inv. Mar.* 4(1): 1-16.
- SIEVERS, H. A. y N. SILVA S. 1979.- Variación temporal de las condiciones oceanográficas frente a punta Curaumilla, Valparaíso, Chile. (Mayo de 1974 - Abril de 1975). *Inv. Mar. Valparaíso*: 3-20.
- SILVA S., N. 1973.- Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (Septiembre de 1969 - Agosto de 1970). *Inv. Mar.* 4(3): 89-112.
- SILVA S., N. y D. KONOW H. 1975.- Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Crucero 3-4. Julio-Agosto 1974. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 3: 63-75
- SILVA S., N. y B. RAMIREZ R. 1983.- Vigilancia de la variación espacio temporal de las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas frente a la bahía de Valparaíso. *Estud. Doc. Univ. Católica de Valparaíso*, 10/83: 175 pp
- SILVA S., N. y R. ROJAS R. 1984.- Presencia del fenómeno "El Niño" 1982/1983 frente a la costa norte de Chile. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, (15): 121-14
- WYRTKI, K. 1964.- The thermal structure of the Eastern Pacific Ocean. *Ergänzungsheft Reihe A(80) Nr 6 zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift*. 84 pp