

# REVISION SOBRE ASPECTOS OCEANOGRAFICOS FISICOS, QUIMICOS Y PLANCTOLOGICOS DE LA BAHIA DE VALPARAISO Y AREAS ADYACENTES

## REVIEW OF THE OCEANOGRAPHIC, CHEMICAL AND PLANKTOLOGICAL ASPECTS OF THE VALPARAISO BAY AND ADYACENTS AREAS

*Sergio Avaria*<sup>1</sup>, *Sergio Palma*<sup>2</sup>, *Hellmuth Sievers*<sup>1</sup> y *Nelson Silva*<sup>2\*</sup>

### RESUMEN

La región de Valparaíso para la cual se ha preparado este trabajo de revisión, está ubicada en una zona de régimen templado, se caracteriza por sus dos períodos estacionales, el estival (noviembre a marzo) y el invernal (mayo a septiembre). Los vientos predominantes son del S y SW, con alta frecuencia de ocurrencia en primavera. Estos, al generar procesos de surgencia, junto a la influencia de la corriente de Humboldt con sus aguas subantárticas frías, mantienen baja la temperatura media anual tanto del aire como del agua. El ascenso de aguas ecuatoriales subsuperficiales, ricas en micronutrientes, consecuencia de las surgencias, fertilizan la zona fótica del área costera favoreciendo la proliferación del fitoplancton. El máximo anual se mantiene con varios pulsos mayores, alcanzando las mayores abundancias en primavera-verano y principios de otoño. Asociada a estas proliferaciones del fitoplancton, aparecen diversos filtradores que aprovechan la oferta alimenticia.

En verano se produce una estratificación de la columna de agua por la formación de una termoclina estacional. Si esta termoclina permanece por períodos prolongados y no es destruida por fuertes vientos S y SW se reduce drásticamente la disponibilidad de nutrientes, provocando una caída en la abundancia del fitoplancton y un avance en la sucesión de sus poblaciones.

Las lluvias invernales y los deshielos cordilleranos en la época estival diluyen la salinidad superficial. En el segundo caso se producen, también, aumento importante en la concentración de silicato en las cercanías de la desembocadura del río Aconcagua.

Aperiódicamente, la zona es afectada por la ocurrencia del fenómeno El Niño, que junto con afectar las condiciones oceanográficas, altera el clima provocando una intensificación de las lluvias. De estos eventos El Niño 1982-1983 fue el de mayor intensidad causando un hundimiento de las isotermas menores de 14°C y una intensificación en la participación porcentual de las aguas subtropicales y ecuatoriales subsuperficiales en la zona.

La circulación del interior de la bahía es del tipo rotatorio, la que luego de períodos de intensificación de vientos, adquiere un importante componente inercial. Gran parte de la variabilidad de las corrientes de la bahía de Valparaíso se encuentra en la banda semidiurna, lo que está relacionado con el tipo de la marea de la zona. Frente a punta Curaumilla, la circulación está compuesta por un flujo superficial lento hacia el norte y uno subsuperficial más rápido hacia el sur, consecuencia de los procesos de surgencia.

*Palabras claves:* Oceanografía física, surgencia, corrientes, climatología, fenómeno El Niño, masas de agua, oceanografía química, fitoplancton, zooplancton, ictioplancton.

### ABSTRACT

The Valparaíso region, for which this review paper was prepared, is located in a temperate zone characterized mainly by aestival (November to March) and a wintery (May to September) seasons. S and SW winds are predominant with its highest frequency in spring. The combined effects of the upwelling caused by these winds and the advection of colder subantarctic waters carried into the region by the Humboldt Current keeps the annual air and water mean temperature relatively low.

Upwelling of the rich micronutrient Subsurface Equatorial water, fertilizes the photic layer in the coastal zone causing favorable conditions for an intense phytoplankton proliferation. The annual phytoplankton maximum shows

<sup>1</sup>Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile.

<sup>2</sup>Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso.

\*Los autores han sido ordenados alfabéticamente.

several major pulses, reaching its highest abundance in the spring/summertime and at the beginning of autumn. These blooms offer an abundant food availability, for planktophagous organisms.

The summer seasonal thermocline causes a stratification in the water column. If this thermocline is not destroyed by strong S and SW winds and remains for long periods of time, the nutrients will be depleted drastically causing a decay in the phytoplankton abundance and an acceleration in the population succession.

The surface salinity is diluted in winter by rain, and in summer by the increase in freshwater effluents caused by the thawing of the ice from the Andes cordillera. This freshwater is carried into the ocean by the Aconcagua River causing also an important increase in silicate concentration in the surrounding of its mouth.

The aperiodic occurrence of the El Niño phenomenon alters the oceanographic characteristics as well as the climatic conditions. The rain increases heavily. The intense 1982/83 El Niño caused a deepening of the isotherms lower than 14°C and an increase of the mixing proportions of the Subtropical and Equatorial Subsurface waters.

The water in the bay is subjected to a rotatory type of circulation which after persistent periods of strong winds acquires an important inertial component. A major part of the current variability can be related to the semidiurnal component of the tidal regimen of the region.

The currents off Point Curaumilla consist of a slow northwards surface flow and a faster southwards subsurface flow, as a consequence of upwelling processes.

*Key words:* Physical oceanography, upwelling, currents, climatology, El Niño phenomenon, water masses, chemical oceanography, phytoplankton, zooplankton, ichthyoplankton.

## INTRODUCCION

El ecosistema de la costa de Valparaíso y áreas adyacentes está situado en una zona de transición de un régimen subtropical a uno subantártico, asociada al ecosistema de corrientes de Humboldt. Este ecosistema, además de estar sujeto a los procesos oceanográficos que le son propios, recibe la influencia que ejercen las diversas actividades derivadas de la presencia de ciudades (Viña del Mar y Valparaíso).

El carácter costero de estas ciudades hace que una parte importante de las actividades propias del desarrollo económico y social de su población estén relacionadas con el mar. Tal es el caso de las actividades derivadas del turismo, industria, agricultura, transporte marítimo, explotación pesquera, y descargas domésticas e industriales.

De todas estas actividades, resalta la importancia que ha tenido en los últimos 30 años el desarrollo de la pesquería artesanal en la zona. Esta actividad ha estado centrada fundamentalmente en diversos recursos bentodemersales y, más recientemente, en algunos pelágicos.

La búsqueda del conocimiento científico de estos recursos ha motivado la realización de numerosas investigaciones sobre el medio marino costero. Estas se reflejan en gran cantidad de información biooceanográfica obtenida principalmente por el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso y la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso, ubicados en el borde costero de la bahía de Valpa-

raíso, los cuales han favorecido el desarrollo de diversos estudios biológicos, climatológicos y oceanográficos, cuyos resultados han permitido reunir una valiosa información sobre el área.

La realización de un taller sobre "Procesos Oceanográficos y Contaminación en Bahías", organizado por la Pontificia Universidad Católica de Chile sede Talcahuano, ha constituido la oportunidad propicia para efectuar una revisión del trabajo realizado en aguas de la bahía de Valparaíso. En el presente trabajo se revisan los resultados obtenidos en el estudio de problemáticas referidas a la oceanografía física, química y planctológica en el área.

Al respecto, se hace especial énfasis en problemas relacionados con la climatología, la presencia y caracterización de las masas de aguas, circulación costera, como también sobre aspectos concernientes a la taxonomía y ecología del plancton en aguas de la zona central del país. Como resultado del análisis, se presenta una caracterización general del área de estudio y, a la vez, se proponen algunas perspectivas de desarrollo de las investigaciones oceanográficas y planctológicas en la zona.

## ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS E HIDROLÓGICOS

### Climatología

La bahía de Valparaíso y sus zonas adyacentes, entre punta Curaumilla por el sur, y Quintero por el norte, corresponde a una

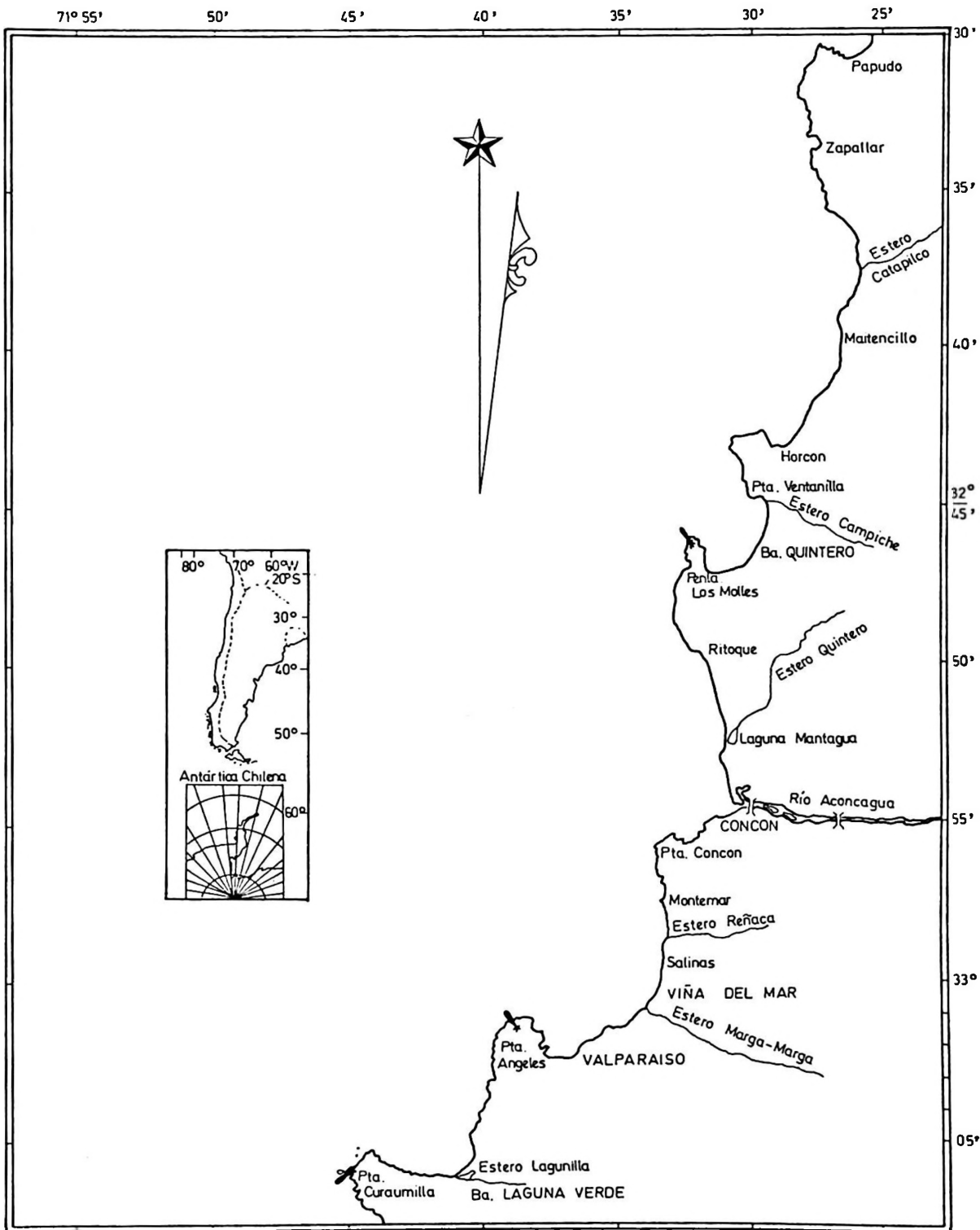


Figura 1

zona de régimen templado. Ella está sometida a cambios estacionales de radiación solar (Hirschmann, 1971; Pizarro, 1973) que influyen en la evolución de las temperaturas medias mensuales del aire y superficial del mar; a la acción de masas de aire provenientes del océano Pacífico Sur, ya sean éstas de características tropicales o polar marítimas (Reyes y Romero, 1977); a la influencia de la corriente de Humboldt con sus aguas frías de origen subantártico y a procesos de surgencia (Gunther, 1936; Brandhorst, 1963 y 1971; Silva, 1973; Sievers y Silva, 1975, 1979 y 1982; Konow, 1976; Fonseca, 1977; Johnson *et al.*, 1980; Silva y Sievers, 1976 y 1981; Fonseca *et al.*, 1988).

Los valores extremos de radiación solar en Valparaíso, máximos en diciembre-enero ( $\sim 550 \text{ cal/cm}^2$ ) y mínimos en junio-julio ( $\sim 150 \text{ cal/cm}^2$ ), son moderados en su manifestación climática por la influencia marítima (Reyes y Romero, 1977). En verano se produce un enfriamiento del aire por el contacto con las aguas templadas superficiales (subantárticas) de la corriente de Humboldt y por el efecto de surgencia costera. En el invierno, cuando la radiación solar incidente es mínima, la temperatura es parcialmente compensada por el contenido calórico del medio oceánico, que entrega calor sensible y calor latente de evaporación a la atmósfera (Reyes y Romero, 1977).

Reyes y Romero (1977) identificaron dos períodos estacionales: el estival, desde noviembre a marzo, con predominio de condiciones sinópticas de buen tiempo, y el invernal, de mayo a septiembre, con predominio de condiciones sinópticas de mal tiempo. Durante la época estival predominan los vientos sur y sudoeste, con frecuencia media superior al 45% para el período 1958-1970. La mayor ocurrencia de vientos del norte fue entre los meses de junio y agosto, con una frecuencia máxima de 15%, período que también coincidió con las mayores precipitaciones. Los períodos de calma ocurrieron con una frecuencia del 18% (Pizarro, 1973). En general, la zona se puede definir como sujeta a un régimen de vientos muy constantes, siendo los más frecuentes los del sector sur con una probabilidad media de ocurrencia superior al 50% (Pizarro, 1973).

Sievers y Silva (1973 y 1979) y Silva (1973) pudieron comprobar lo anterior mediante el análisis de la distribución de la frecuencia de ocurrencia del viento e intensidad promedio y máxima para períodos anuales. La predo-

minancia de los vientos del tercer cuadrante es manifiesta en cada uno de los tres años observados y para todas las épocas, siendo mayor en el período estival. Incluso para noviembre de 1974 la frecuencia del viento sur, registrada en el faro punta Curaumilla, fue del 83% (Sievers y Silva, 1979). Los períodos de calma también presentan altas frecuencias en algunos años, como fue entre septiembre de 1969 y agosto de 1970 (Silva, 1973), oportunidades en que incluso superaron el 40% en el verano y se acercaron mucho a dicho porcentaje en el otoño de 1970.

La intensidad de los vientos guarda similitud con su índice de frecuencia a través del año. Por otra parte, los vientos son generalmente más intensos en torno al mediodía, produciéndose las calmas principalmente en las mañanas.

En cuanto a humedad relativa del aire, ésta es uniformemente alta con valores entre 80 y 85%, siendo mayor en horas de la mañana a través de todo el año (Reyes y Romero, 1977).

Los factores ya indicados, y en especial la corriente de Humboldt con sus aguas frías más los intensos procesos de surgencia, influyen en los bajos valores de temperatura media anual tanto del aire,  $14^\circ\text{C}$ , Reyes y Romero (1977), como superficial del mar,  $13,5^\circ\text{C}$  (Sievers, 1986), observados en Valparaíso. Enfriamientos ocasionales pueden ser atribuidos a turbulencias por viento o ser la manifestación de intercambio de calor sensible y calor latente de evaporación entre el océano y la atmósfera (Reyes y Romero, 1977).

En general, las temperaturas medias anuales del mar más altas coinciden con episodios de El Niño, pero hubo excepciones los años 1963 y 1980. Por otra parte, se aprecia un aumento prácticamente gradual de la temperatura a contar de 1976, en que de una media anual de  $13,5^\circ\text{C}$ , aumentó a  $14,4^\circ\text{C}$  en 1983, año del fenómeno El Niño 1982/83.

Las precipitaciones, en forma de lluvia, se concentran entre mayo y agosto con marcada variabilidad interanual. El promedio de 28 años (1958 a 1985) es de 369,1 mm, en conformidad a los registros obtenidos en el faro punta Angeles (Sievers, 1986). Este autor preparó, para el mismo período, un gráfico combinado de las medias anuales de la temperatura superficial costera del mar, observada diariamente en Montemar, y la pluviosidad anual, registrada en punta Angeles. En

dicho gráfico Sievers (1986) también identificó seis episodios del fenómeno El Niño.

La pluviosidad sigue sólo parcialmente la tendencia de la temperatura, pues no siempre coincide una mayor cantidad de agua caída con un aumento de la temperatura del agua de mar. El año *record* del periodo 1958-1985, con 812 mm de agua caída, coincidió con el fenómeno El Niño 1965, en que la temperatura superficial media anual en Montemar fue de 13,7°C. A su vez, el año más seco, con sólo 100 mm de agua caída, fue 1968. Dicho año fue precedido, a su vez, por el más frío de este período de 28 años, en que la temperatura media anual del agua fue de sólo 12,9°C (Sievers, 1986).

### Masas de agua

Entre la superficie y fondo del mar frente a Valparaíso se distinguen cuatro masas de agua: Subantártica, Ecuatorial Subsuperficial, Antártica Intermedia y Profunda del Pacífico. Los límites entre ellas fueron determinados mediante diagramas T-S, primero por medio de superficies de anomalía termostérica (Silva y Sievers, 1974; Sievers y Silva, 1975 y 1979) y posteriormente mediante diagramas  $\Theta$ -S, para seleccionar las superficies de densidades potenciales (isopicnas) correspondientes (Silva y Sievers, 1981 y Sievers y Silva, 1982). Asimismo, se determinaron las densidades de los núcleos que mejor caracterizan a estas masas de agua (Brandhorst, 1971; Robles *et al.*, 1976; Silva y Sievers, 1981). Otra técnica empleada, con el mismo propósito, fue el estudio cuantitativo de composición porcentual de las masas de agua en base al triángulo de mezcla (Silva y Konow, 1975). Estos autores estudiaron la intrusión, a lo largo de la costa de Perú y Chile, de las distintas masas de agua ya mencionadas. A su vez, Prado y Sievers (1987) detectaron, durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño 1982/83, la advección de aguas más cálidas a la región, la que identificaron como agua Subtropical.

La masa de agua Subantártica se ubica entre la superficie del mar y la isopicna de 26,34 (170 cl/t), aproximadamente a 100 m de profundidad. Esta masa, que es transportada a la zona por la corriente de Humboldt, se caracteriza por temperaturas entre 11 y 18°C, un mínimo superior de salinidad con valores entre 34,0‰ y 34,5‰ y por un contenido de oxígeno disuelto entre 7 y 3 ml/l, el que en primavera y verano supera el 100%

del valor de saturación (Brandhorst, 1963 y 1971; Alarcón y Pineda, 1969; Craddock y Mead, 1970; Silva, 1973; Silva y Konow, 1975; Pizarro, 1976; Sievers y Silva, 1979; Silva y Ramírez, 1983; Prado y Sievers, 1987 y Fonseca *et al.*, 1988). En cuanto a nutrientes, sus concentraciones son normalmente pobres en superficie, aumentando con la profundidad. Sus rangos varían en fosfato entre 0,2 y 2,2  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , nitrato entre 0 y 20  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , nitritos entre 0 y 0,5  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  y silicato entre 0 y 20  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Silva y Konow, 1975; Silva y Ramírez, 1983; Prado y Sievers, 1987 y Fonseca *et al.*, 1988).

Sievers y Silva (1973) y Silva (1973) establecieron la existencia de un ciclo anual de temperatura en esta masa de agua y observaron una gran variabilidad temporal en profundidad de las isolíneas de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno disuelto. Los ascensos de estas isolíneas coinciden, en general, con los vientos del segundo y tercer cuadrante, lo que les permitió asociarlos a procesos de surgencia. A su vez, Alarcón y Pineda (1969) y Robles *et al.* (1976) pudieron observar marcadas fluctuaciones estacionales en periodos de varios años que abarcaron tanto épocas frías como cálidas.

En la zona se forma en primavera y verano una termoclina estacional que alcanza su mayor intensidad en marzo. En el otoño se va debilitando para desaparecer en el invierno, época en que la capa de mezcla alcanza su mayor profundidad (Sievers y Silva, 1973; Silva, 1973). El interior de la bahía se ve afectado por una gran estabilidad de la columna de agua, especialmente en el verano, cuando la picnoclina alcanza, debido a la fuerte radiación solar, su máxima intensidad. En dicha época sólo puede ser destruida ocasionalmente por fuertes vientos del tercer cuadrante. La picnoclina se debilita y desaparece en el otoño e invierno, permitiendo, mediante mezcla turbulenta vertical, la homogeneización de toda la capa (Pizarro, 1976).

La masa de agua Ecuatorial Subsuperficial se ubica entre 100 y 400 m de profundidad y entre las isopicnas de 26,34 (170 cl/t) y 26,97 (110 cl/t). Estas aguas, que son propias de la corriente Subsuperficial Perú-Chile, se caracterizan por temperaturas entre 7 y 11°C, salinidades entre 34,5‰ y 34,9‰ y contenido de oxígeno disuelto con valores entre 3 y 0,25 ml/l (Brandhorst, 1959, 1963 y 1971; Alarcón y Pineda, 1969; Craddock y Mead, 1970; Sievers y Silva, 1973, 1975 y

1979; Silva, 1973; Silva y Sievers, 1974 y Silva y Ramírez, 1983). Estos bajos valores de oxígeno disuelto se atribuyen tanto a la procedencia Ecuatorial Subsuperficial de esta agua como a la descomposición de la abundante materia orgánica en esta capa de agua, especialmente en la época estival. Concentraciones de oxígeno disuelto inferiores a 0,1 ml/l fueron observados en la zona por Silva y Ramírez (1983) durante la ocurrencia de El Niño 1982/83. La concentración de micronutrientes, con excepción de los nitritos (0 a 0,1  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ), es alta en esta agua Ecuatorial Subsuperficial, con nitratos entre 20 y 36  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ; fosfatos entre 2,2 y 3,4  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , y silicatos entre 20 y 25  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Silva y Konow, 1975; Pizarro, 1976; Silva y Ramírez, 1983; Prado y Sievers, 1987).

El núcleo de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial está ubicado entre las superficies isentrópicas de 140 cl/t ( $\sigma_{\theta} = 26,65$ ) y 160 cl/t ( $\sigma_{\theta} = 26,44$ ), superficies que están centradas entre las profundidades de 175 y 200 m (Craddock y Mead, 1970; Brandhorst, 1971; Silva y Konow, 1975 y Sievers y Silva, 1975).

Bajo la termoclina estacional, normalmente entre los 10 y 11°C, tanto en la zona oceánica como costera, existe una zona intermedia donde el gradiente térmico disminuye considerablemente e incluso, en algunas oportunidades, se han producido inversiones de temperatura del orden de 0,3°C (Alarcón y Pineda, 1969; Brandhorst, 1971; Silva y Sievers, 1974; Sievers y Silva, 1975 y 1979). Esta disminución del gradiente y ocasional inversión de temperatura, ha sido atribuida a la penetración de una cuña de agua Ecuatorial Subsuperficial con temperatura más alta proveniente del norte (Alarcón y Pineda, 1969) o, lo que es prácticamente lo mismo, a una intensificación de las características del núcleo de dicha masa de agua (salinidad > 34,5‰ y oxígeno disuelto < 1,0 ml/l) por Silva y Sievers (1974). Fonseca (1985) asoció, a su vez, la inversión térmica de la zona costera de Valparaíso a procesos de surgencia local.

La masa de agua Antártica Intermedia se ubica entre las isopícnas de 26,97 (110 cl/t) y 27,39 (70 cl/t), aproximadamente entre 400 y 1.200 m de profundidad. Se caracteriza por temperaturas que varían entre 4 y 8°C, un mínimo relativo de salinidad entre 34,3‰ y 34,5‰, un máximo relativo de contenido de oxígeno disuelto con valores de 3 a 4 ml/l (Silva y Sievers, 1974 y 1978; Sievers y Silva,

1975; Silva y Konow, 1975; Silva y Ramírez, 1983).

Los rangos en los nutrientes son, en fosfatos, entre 2,2 y 2,6  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ; nitratos, entre 30 y 38  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , y silicatos, entre 25 y 60  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ . El nitrito en esta masa de agua tiene concentraciones iguales a cero o muy cercanas a dicho valor (Silva y Konow, 1975; Silva y Ramírez, 1983).

El núcleo del agua Antártica Intermedia se centra alrededor de la superficie de anomalía termostérica de 90 cl/t ( $\sigma_{\theta} = 27,18$ ), ubicada aproximadamente a 600 m de profundidad, y se caracteriza por mínimos relativos en salinidad y en la concentración de fosfato y nitrato. Estos, a pesar de sus altos valores, aparecen como mínimos, por ser las aguas Ecuatoriales Subsuperficiales de concentraciones aun mayores (Reid, 1973).

Bajo el agua Antártica Intermedia y hasta el fondo se extiende el agua Profunda del Pacífico, con temperaturas que decrecen paulatinamente desde los 4°C, salinidades que aumentan gradualmente de 34,5 a 34,7‰, oxígeno disuelto entre 3 y 4 ml/l, fosfatos entre 2,6 y 3,2  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , nitratos entre 38 y 40  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ , ausencia de nitritos, y silicatos entre 60 y 130  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  (Reid, 1973; Silva y Konow, 1975).

La información sobre metales pesados en el agua de mar es escasa para el área de Valparaíso, disponiéndose sólo de información sobre cadmio, cobre y plomo hasta 1.200 m (De Gregori *et al.*, 1983). El cadmio es el único elemento que presentó un resultado coherente con la distribución de masas de agua, siendo ella similar a la de nitrato y fosfato.

### Surgencia

La surgencia pareciera ser el proceso más importante en la configuración de la distribución espacial de la estructura térmica, de gases disueltos y de compuestos químicos del área costera de Valparaíso.

La surgencia frente a varios puntos de las costas de Chile fue descrita por primera vez por Brandhorst (1963), en base a los datos del crucero AGRIMAR realizado en 1959. En esta descripción Brandhorst (1963) presentó en forma conceptual el modelo de Ekman, indicando el efecto de los vientos del S y SW sobre las aguas superficiales de la zona. Brandhorst (1963) indica que el resultado final del transporte hacia afuera de la costa, es un ascenso de las aguas subsuperficiales frías y ricas en nutrientes, acción que al ferti-

lizar las aguas de la capa fótica, favorece una gran producción de plancton. Asimismo, se refiere a punta Curaumilla como una zona de surgencia debida al efecto del viento sur. Este autor infiere esta conclusión de la observación de una inclinación ascendente de las isolíneas de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto.

Sievers y Silva (1973), y Silva (1973), indican que debido al régimen de vientos frente a la bahía de Valparaíso y la orientación de la costa, la surgencia costera está favorecida en esta zona. Este fenómeno también fue considerado como la explicación al ascenso, hacia la costa, de las isolíneas de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto que observaron dichos autores.

Al analizar la distribución estacional de los vientos en la región, Silva (1973) determina que en el período primavera-verano ocurre la mayor intensificación y frecuencia de los vientos del SW, lo que trae como resultado que la surgencia se presente con mayor frecuencia que en el resto del año. Este autor también pudo observar el efecto del viento norte en la zona, el cual produce un efecto contrario al del viento sur, es decir, un hundimiento de las aguas en la zona costera. En dicha oportunidad se pudo determinar que las aguas de la zona reaccionaron rápidamente al efecto del viento y en menos de 24 horas las aguas cambiaron de condiciones de surgencia a hundimiento.

Silva (1973) indica también que como la surgencia es un proceso temporal y aperiódico, provocado principalmente por el viento, éste puede ocurrir en cualquier estación del año, aun cuando el período primavera-verano es más favorable. Indica además que los episodios de surgencia y hundimiento provocan una gran variabilidad en profundidad en la estructura de masas de agua de la región.

El primer crucero diseñado especialmente para el estudio de la surgencia en las costas de Chile se realizó frente a punta Curaumilla, entre el 1 y 4 de diciembre de 1975 (Fonseca, 1977; Uribe, 1978; Johnson *et al.*, 1980). La distribución superficial de las isothermas muestra una clara desviación hacia el NW de las aguas más frías que surgen frente a punta Curaumilla, ajustándose a lo esperado según el modelo de Ekman (Fonseca, 1977; Johnson *et al.*, 1980).

El área afectada por el proceso de surgencia estudiado fue pequeño, abarcando sólo hasta unas 10 millas de la costa. Por su parte,

el índice de Ekman calculado en esta oportunidad fue de  $-6,02 \cdot 10^8$  gr/cm/día.

Se pudo comprobar que la circulación horizontal, asociada a la zona de surgencia, consiste en un flujo superficial lento hacia el norte (del orden de los 10 cm/seg), geostroficamente desbalanceado, y un flujo subsuperficial sur más intenso (del orden de los 20 cm/seg) sobre la plataforma y talud continental.

Respecto a la circulación perpendicular a la costa se distinguieron dos estados de surgencia (Fonseca, 1977; Johnson *et al.*, 1980). El primero, que correspondería al inicio de la surgencia, está compuesto por dos celdas verticales superpuestas. El segundo, que correspondería a una etapa de madurez del evento, se compone de una celda única. La intensificación de la surgencia provocada por este segundo estado trajo como resultado un aumento significativo del flujo subsuperficial hacia el sur, provocando un mayor ascenso de las aguas en la zona costera. La velocidad vertical estimada fue de 2 m/h, la cual es bastante más alta que las estimadas por Smith *et al.* (1971), para la costa peruana (0,7 m/h).

Sievers y Silva (1979) propusieron, en un intento por definir en forma más objetiva la ocurrencia de un proceso de surgencia en punta Curaumilla, la utilización de una serie de características oceanográficas a modo de índice. La surgencia ocurriría, en conformidad a dicha definición, cuando en el nivel de 50 metros, a una milla de punta Curaumilla, la salinidad alcanza valores iguales o superiores a 34,6‰, asociados a un oxígeno disuelto menor de 2 ml/l y una composición porcentual de agua Ecuatorial Subsuperficial igual o superior a 70%. Basado en esta definición, pudieron determinar que en el estudio de Silva (1973) para el período septiembre de 1969-agosto 1970, dicho proceso ocurrió en cinco oportunidades de 15 observaciones y durante el período marzo 1974-abril 1975, ocurrió sólo en una oportunidad de 11 observaciones. Si bien esta definición empírica no permite establecer la calidad de la surgencia en cuanto a su fase, ella permite tener una especie de índice semicuantitativo, para definir la existencia o no de uno de estos procesos en la región.

Una de las características relevantes que se había observado en la estructura térmica vertical en la zona es la ya mencionada inversión de temperatura en el nivel de los 20 a 80 metros de profundidad (Brandhorst, 1971;

Silva, 1973). Dicha inversión fue asociada por Fonseca (1984) a los procesos de surgencia costera. Según este autor, el agua fría y salina que asciende desde el fondo de la capa de Ekman, se mezcla en la zona adyacente con agua que ocupaba el estrato superior, disminuyendo así su salinidad. Esta agua es arrastrada por el transporte Ekman hacia la zona oceánica y al encontrarse con aguas más cálidas, y por lo tanto menos densas, se hunde, para ubicarse sobre aguas que son levemente más cálidas pero más salinas, por lo cual se produce la inversión térmica antes indicada. Esto está relacionado con el modelo de circulación de doble celda propuesto por Fonseca (1977) y Johnson *et al.* (1980). Fonseca (1984) también efectuó una estimación del efecto del calentamiento solar sobre la formación de dicha inversión térmica concluyendo que dicho efecto no es significativo, por lo cual los procesos de surgencia son considerados como los causantes principales de la mencionada inversión. Es importante mencionar que a nivel oceánico, donde el efecto de surgencia costera no afecta, también se han detectado inversiones térmicas similares a las observadas en la costa (Brandhorst, 1971; Silva y Sievers, 1974; Sievers y Silva, 1975 y 1979).

Sievers y Prado (1984), utilizando el mismo método propuesto por Sievers y Silva (1979) para definir procesos de surgencia frente a punta Curaumilla, estimaron la ocurrencia de surgencia en la zona de la península Los Molles, Quintero. Mediante este método y la observación de la tendencia ascendente de las isolíneas de las características del agua, pudieron comprobar que también es una zona muy activa en estos procesos. Hubo claras evidencias de surgencia en 11 de los 20 cruceros realizados entre el 3 de agosto de 1982 y el 5 de enero de 1984. De éstos, tres ocurrieron en momentos que el régimen oceanográfico se encontraba alterado por el fenómeno El Niño 1982/1983. En estos últimos casos no se cumplieron las condiciones requeridas por el índice, pues el agua Ecuatorial Subsuperficial se encontraba a mayores profundidades que lo normal, por lo que ésta, al encontrarse bajo una capa más gruesa de aguas subtropicales y subantárticas, fue muy poco afectada por el proceso.

Fonseca (1985), mediante la revisión de la información recolectada, realizó un trabajo sobre la variabilidad de las condiciones oceanográficas en la zona frente a Valparaíso, planteando de una manera simple algunas

explicaciones a una serie de fenómenos, incluyendo la surgencia costera de punta Curaumilla. En dicho trabajo se hizo una aproximación teórica al proceso resolviendo algunas ecuaciones básicas de la física del océano que indican que la corriente de chorro costero hacia el ecuador queda explicada por la ecuación geostrofica y la corriente subsuperficial hacia el polo, por la ecuación del viento térmico. Este último es producto del gradiente horizontal de densidad introducido por los episodios de surgencia en la zona. Este autor indica, además, que la surgencia es afectada por el efecto de vorticidad provocado por la conformación de la costa y de allí que, en aquellas con puntas prominentes como Curaumilla, ésta se ve intensificada.

El estudio más reciente realizado sobre surgencia en la zona de Valparaíso es el de Fonseca *et al.* (1988). En dicho estudio se efectuó una aproximación interdisciplinaria al fenómeno desde el punto de vista físico, químico y biológico, utilizando además imágenes de temperatura superficial obtenidas por satélites artificiales, para determinar el momento de inicio y evolución de una surgencia.

Durante este trabajo fue posible observar la evolución de un par de procesos de surgencias tanto en su fase de inicio como de madurez y relajamiento. Es así como las variables hidrográficas indicaron claramente el establecimiento de las condiciones de surgencia en un período del orden de un día; situación que concuerda con lo observado anteriormente por Silva (1973). Las isolíneas de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y micronutrientes ascendieron en dirección a la costa como resultado de la surgencia. Esta situación de ascenso de las isolíneas permaneció mientras se mantuvo el efecto forzador del viento, para posteriormente volver a su nivel horizontal con el relajamiento o cesación del viento.

En dicho estudio se pudo comprobar el efecto fertilizador que tienen los eventos de surgencia, en el cual las aguas superficiales aumentaron su contenido de micronutrientes entre un 200 a 300% en menos de 24 horas. Dicha situación de aumento de los *stocks* de micronutrientes se mantuvo mientras las condiciones de viento fueron favorables.

#### **Presencia de El Niño en la zona de Valparaíso**

El efecto del fenómeno El Niño sobre las



condiciones oceanográficas frente a la costa de Valparaíso, fue observado por primera vez por Silva y Ramírez (1983), en base a datos registrados frente a la bahía entre 1982 y 1983. En esta información se pudo observar el hundimiento de la isoterma de 12°C, la cual en enero de 1983 descendió hasta 300 m, sobrepasando en más del triple la profundidad media histórica. Este hundimiento fue asociado a la presencia de una onda Kelvin, la que se propagó a lo largo de la costa norte y central de Chile, según lo describieron Silva *et al.* (1983) en base a los datos del crucero MARCHILE XIV-ERFEN V efectuados en diciembre de 1982.

Silva y Ramírez (1983) observaron, además de la profundización de la isoterma de 12°C, un efecto sobre la composición de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial, la cual intensificó sus características respecto al patrón normal conocido en la zona de Valparaíso. Esta masa de agua mostró un mayor espesor y un aumento de su temperatura en alrededor de 1°C. El diagrama T-S del mes de enero de 1983 se parecía bastante a los T-S de las aguas ubicadas a unas 200 millas náuticas más al norte, lo cual demuestra una mayor penetración de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial hacia el sur. El contenido de micronutrientes el fosfato aumentó su concentración, lo cual está en concordancia con dicha penetración hacia el sur. Sin embargo, el nitrato no experimentó tal aumento.

Silva y Ramírez (1983) también encontraron que la anomalía del geopotencial presentó un aumento notable en enero de 1983, con una desviación positiva de más de 20 cm<sup>2</sup>/seg<sup>2</sup> respecto al valor medio de los otros meses del año 1982, y de 17 cm<sup>2</sup>/seg<sup>2</sup> sobre el valor de enero de 1982. Esta intensificación de la anomalía del geopotencial, también reflejó la alteración de la estructura de masa de la columna de agua, lo que a su vez es el resultado de la presencia de El Niño 1982/83.

Prado y Sievers (1987) estudiaron el desarrollo del fenómeno El Niño 1982/83 en el área frente a la península Los Molles, Quintero. El fenómeno se caracterizó por anomalías térmicas positivas (casi 2°C de diferencia a 250 m de profundidad entre 1982 y 1983), bajos contenidos de oxígeno disuelto en toda la columna de agua, concentraciones de nitrato muy bajas en la capa superficial (< 1,0 μmol/dm<sup>3</sup>) y considerable hundimiento de las isolíneas de todas las propiedades investigadas, excepto las del nitrito. Los valores de

salinidad y fosfato de las aguas superficiales se vieron, a su vez, alteradas por la dilución causada por el gran aporte de agua dulce proveniente del río Aconcagua, cuyo caudal fue mayor de lo normal debido al considerable deshielo cordillerano y las abundantes precipitaciones que, en 1982, alcanzaron a 709 mm. La media para Valparaíso de los 25 años previos era de 362 mm (Prado y Sievers, 1987).

A su vez, Prado y Sievers (1987) identificaron, mediante la utilización del triángulo de mezcla con los pares T-S característicos de los tipos de agua determinados por Silva y Konow (1975), que el agua Subtropical aumentó considerablemente su contribución al agua superficial al sobrepasar incluso el 50% de su composición porcentual. Esta intensificación en la presencia del agua Subtropical se vio confirmada también por indicadores biológicos tanto fito como zooplanctónicos, los cuales no habían sido detectados anteriormente en la región y que son propios de aguas cálidas tropicales y subtropicales (Ramorino y Campos, 1984; Avaria y Muñoz, 1984).

Las condiciones oceanográficas normales se reestablecieron a contar de septiembre de 1983 (Prado y Sievers, 1987).

### Hidrología del interior de la bahía de Valparaíso

La hidrología del interior de la bahía de Valparaíso ha sido poco estudiada, contándose sólo con los trabajos de Pizarro (1976), Fonseca y Hickmann (1978) y Sievers (1988), los que presentan información limitada sobre la distribución espacial de las características de sus aguas. En cambio se cuenta con algunas series de tiempo observadas principalmente frente a Montemar por Pizarro (1976), Instituto de Oceanología (1981) y Sievers (1988), las que incluyen períodos anuales de observaciones semanales, quincenales o mensuales.

Pizarro (1976), utilizando observaciones realizadas durante los años 1967, 1970 y 1971 en una estación fija, ubicada frente a Montemar, encontró que la bahía, en la época estival, se caracteriza fundamentalmente por la estabilidad de la columna de agua, por una parte, y el predominio de los vientos del tercer cuadrante, por otra.

La radiación solar, además de constituir la fuente de energía radiante para la fotosíntesis, da lugar a la formación de una picnoclina

que estabiliza la columna de agua y aísla la capa superficial del estrato inferior, pues dificulta la mezcla de las aguas superficiales con las subyacentes. El contenido de oxígeno disuelto en estas aguas puede alcanzar fuertes sobresaturaciones, de hasta 150% (Pizarro, 1976), debido al desarrollo del fitoplankton que se mantiene muy activo mientras no se agoten los nutrientes en la capa fótica.

Los fuertes vientos del S y SW, que favorecen la ocurrencia de procesos de surgencia, destruyen frecuentemente la picnoclina permitiendo, de paso, la fertilización de las aguas de la capa superficial. En cambio en época invernal, al debilitarse e incluso desaparecer la picnoclina por convección vertical y la acción de vientos favorables, se facilitan los procesos de mezcla y se posibilita una homogeneización de la columna de agua.

Las aguas más profundas en la bahía (sobre 50 m) se caracterizan por bajos contenidos de oxígeno disuelto ( $< 1,0 \text{ ml/l}$ ) durante la mayor parte del año, los que son especialmente notorios durante los procesos de surgencia, aumentando en época de invierno (Sievers y Silva, 1973; Pizarro, 1976; Fonseca y Hickmann, 1978; Sievers, 1988). Similarmente, pero presentando una tendencia inversa, se comporta la concentración de salinidad. Esto indica que las aguas más profundas de la bahía tienen un importante componente de aguas ecuatoriales subsuperficiales (Sievers y Silva, 1973; Fonseca y Hickmann, 1978). Asimismo, estas aguas más profundas tienen altas concentraciones de nutrientes con fosfatos sobre  $3 \mu\text{mol/dm}^3$  y nitratos y silicatos sobre  $20 \mu\text{mol/dm}^3$  (Pizarro, 1976; Sievers, 1988).

Una visión cuasisinóptica del interior de la bahía ha sido entregada por Fonseca y Hickmann (1978) y Sievers (1988). Los primeros, en una investigación realizada en marzo de 1975, encontraron durante un período de vientos del SW, con intensidades de hasta 20 nudos, una estructura térmica superficial compleja, con una lengua de agua orientada de SW a NE de mayor temperatura ( $> 14,5^\circ\text{C}$ ) en la parte central de la bahía. A mayor profundidad las temperaturas son más homogéneas. La salinidad y el oxígeno disuelto acusaron, bajo los 10 m, la penetración desde el SW de agua de alta salinidad y contenido relativamente bajo de oxígeno disuelto, agua que interpretaron como Ecuatorial Subsuperficial, transportada al interior de la bahía por efecto de los vientos.

Sievers (1988) pudo observar claramente,

en enero de 1988, la influencia del río Aconcagua sobre las aguas de la bahía de Valparaíso en momentos de abundante deshielo en la zona cordillerana adyacente. La salinidad superficial, en ocasiones hasta 10 m de profundidad, estaba diluida ( $< 32\text{‰}$  frente a punta Concón), extendiéndose las bajas salinidades por toda la bahía. La temperatura y el oxígeno disuelto sufrieron muy pocas alteraciones.

### Corrientes

La amplia bahía de Valparaíso es abierta con su boca hacia el norte, por lo que la circulación del agua en su interior está condicionada por diversos factores. Entre ellos cabe destacar la circulación oceánica próxima, correspondiente al sistema de corrientes Chile-Perú (Humboldt), la onda de marea que se propaga hacia el sur, la protección de los vientos del sur, y la batimetría.

Los estudios de la circulación en la bahía de Valparaíso y zonas costeras adyacentes son relativamente escasos. Uno de los primeros, efectuados antes de la construcción del molo de abrigo, fue el de la Comisión Krauss (1903) mediante el empleo de crucetas de deriva. La comisión concluyó que la circulación obedece a un modelo rotatorio, en que las aguas circulan de norte a sur en la cercanía de la costa y de sur a norte por la boca de la bahía.

Aldayuz y Montaner (1973) hicieron una medición puntual de corrientes al norte de la desembocadura del estero Marga Marga, concordando sus observaciones con un modelo rotatorio, aunque no lo comprobaron. A su vez, Hickmann (1976), utilizando botellas de deriva, encontró que el flujo superficial entre abril y mayo de 1975 fue paralelo a la costa y predominantemente hacia el sur. Entre agosto y octubre, del mismo año, fue hacia el norte.

Un análisis preliminar del efecto del viento registrado en el faro punta Angeles sobre las aguas superficiales fue realizado por Fonseca y Hickmann (1979). No encontraron una relación clara entre el viento y la circulación de la bahía. Fonseca (1981) pudo determinar que los vientos en el interior de la bahía son diferentes a los que se encuentran en mar abierto, y confirmó que los del interior son distintos a los que se registraron en el faro. En cambio, encontró una mejor relación de los vientos registrados en la Universidad Santa María con las mediciones de co-

rientes que realizó con un correntómetro instalado, durante 20 días a 30 m de profundidad, en un punto ubicado a 500 m de la caleta El Membrillo.

Fonseca y Hickmann (1979) también analizaron los efectos de las mareas sobre las mediciones de corrientes que efectuaron con un correntómetro mecánico Ekman a 10 y 25 m de profundidad, en diversos puntos de la bahía. Encontraron que las direcciones de las corrientes son iguales, pero opuestas, en momentos de las estoas. Las mayores intensidades de flujo se registraron, en dirección NNE, durante la baja marea, en aquellas estaciones ubicadas al centro de la bahía.

Los flujos más débiles, en cambio, ocurren en las estaciones próximas a la costa, donde son afectados por la fricción con el fondo. En tres estaciones, ubicadas en el saco de la bahía, donde se efectuaron observaciones tanto a 10 como a 25 m de profundidad, encontraron que en dos de ellas no sólo aumentó la intensidad del flujo a mayor profundidad, sino que, además, su dirección se desvió hacia la derecha. Esto último descartó la posibilidad de que fueran corrientes de deriva.

Fonseca (1981) aplicó un análisis espectral a las series de tiempo de corrientes, viento, presión atmosférica, temperatura del aire y mareas, para evaluar la variabilidad de las corrientes en la bahía. Las velocidades medias estimadas fueron entre 3 y 5 km/día, coincidiendo bastante bien con las corrientes superficiales estimadas, a su vez, con botellas de deriva (Hickmann, 1976), a pesar de encontrarse el correntómetro a 30 m de profundidad. Fonseca (1981) no pudo encontrar una relación clara del efecto del viento sobre las corrientes de la bahía, pues incluso cuando los vientos fueron más intensos las corrientes fueron relativamente débiles. Pudo comprobar también que los vientos presentaron variaciones, principalmente durante el día, lo que atribuye a la variabilidad diurna de la temperatura del aire.

La dirección de las corrientes se distribuyen en todos los intervalos de clase entre 0 y 360°, un índice de que, aun cuando la dirección predominante es NW, la circulación en la bahía es rotatoria. Luego de períodos de intensificación de los vientos la corriente fue de tipo inercial, con duración aproximada de 2 a 3 días, pero con un cierto desfase respecto al máximo en los vientos. Parte de la variabilidad de las corrientes en la bahía de Valparaíso se encuentran en la banda semi-

diurna, derivándose los máximos del efecto de la componente semidiurna de las mareas (Fonseca, 1981).

Corrientes costeras en la bahía fueron determinadas por Vergara y Hickmann (1982) mediante diagramas de refracción de olas tanto para régimen de verano, en que predomina el oleaje del SW, como para el invierno, con períodos de oleajes del N y NW. En la zona estudiada (desembocadura del estero Marga Marga y punta Concón) se observó que la deriva litoral presenta una componente hacia el norte en verano. En invierno, por lo menos para la zona comprendida entre el estero mencionado y punta Osas, la deriva litoral mantiene la misma dirección norte.

## ASPECTOS PLANCTOLOGICOS

### Fitoplancton

La primera mención que se hace en la literatura científica sobre el fitoplancton de la bahía de Valparaíso data de principios de este siglo y se debe a Zacharías (1906), quien en un estudio del plancton de diversos mares y océanos, incluye una lista de 10 especies de diatomeas y menciona una especie de dinoflagelado identificado en una muestra recolectada en la bahía de Valparaíso el 10 de abril de 1904. Con anterioridad, Kützing (1844) había señalado varios taxos de diatomeas para la bahía de Valparaíso, pero sin hacer mención sobre el fitoplancton como tal. Más tarde Krasske (1941), en una publicación sobre el plancton costero de Chile, cita 31 especies de diatomeas para la bahía de Valparaíso, identificadas en muestras recolectadas en diciembre de 1928 y noviembre de 1936. La información sobre el tema en la primera mitad del siglo termina con una nota científica de Yáñez (1950), quien identifica 9 géneros de diatomeas en muestras periódicas de plancton recolectadas en la bahía de Valparaíso entre los años 1945 y 1948.

Los trabajos de Avaria (1965, 1971) marcan el inicio del estudio sistemático del fitoplancton de la bahía de Valparaíso, el que se ha mantenido hasta la fecha. En base a recolecciones periódicas de muestras de red efectuadas en una estación fija, entre julio de 1963 y julio de 1966, se identificaron y describieron 62 especies y 6 variedades de diatomeas y silicoflagelados y se determinaron aspectos globales de las comunidades fitoplanctónicas, sucesión estacional e influencia de la temperatura sobre las especies más co-

munes de la bahía. Por otra parte, se estableció que sólo 21 especies de diatomeas juegan un rol importante en plancton de la bahía (Tabla 1), dominando casi permanentemente a través del año sobre escasos dinoflagelados, cuya aparición está relacionada con incrementos de la temperatura del agua y las caídas de las grandes proliferaciones de diatomeas que ocurren en primavera, verano y principio de otoño.

**Tabla 1**  
**Principales especies de fitoplancton de la bahía de Valparaíso**

<i>Biddulphia longicuris</i>	<i>Coscinodiscus perforatus</i>
<i>Chaetoceros cinctus</i>	<i>Detonula pumila</i>
<i>Chaetoceros compressus</i>	<i>Eucampia cornuta</i>
<i>Chaetoceros constrictus</i>	<i>Lauderia borealis</i>
<i>Chaetoceros debilis</i>	<i>Leptocylindrus danicus</i>
<i>Chaetoceros didymus</i>	<i>Nitzschia pseudoseriata</i>
<i>Chaetoceros radicans</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
<i>Chaetoceros socialis</i>	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>
<i>Chaetoceros teres</i>	<i>Skeletonema costatum</i>
<i>Coscinodiscus janischii</i>	<i>Stephanopyxis turris</i>
	<i>Thalassiosira aestivalis</i>

En 1970 se inician investigaciones sobre aspectos cuantitativos del fitoplancton de la bahía, estudiando dos ciclos anuales, mediante muestreos semanales efectuados entre 1970 y 1973 en la misma estación fija en que se realizaron los estudios cualitativos del fitoplancton (Avaria, 1975; Avaria y Orellana, 1975). Como resultado de estas investigaciones se corroboró que la composición del fitoplancton se caracteriza por un amplio dominio de las diatomeas sobre los demás grupos. La diversidad específica es baja, con valores extremos entre 0,50 y 2,89 bits/cél, siendo los más frecuentes los fluctuantes entre 1 y 2 bits/cél, lo que indica la presencia de un fitoplancton muy productivo que se mantiene en un estado inferior de madurez, con sucesiones de especies que rara vez alcanzan a terminar las primeras etapas de su evolución.

El ciclo anual se caracterizó por un período de gran abundancia fitoplanctónica (octubre-abril) que coincide con la mayor frecuencia e intensidad de los vientos del tercer cuadrante, seguido de otro de baja actividad del fitoplancton (mayo-septiembre) en que predominan las calmas y los vientos de cuarto cuadrante. En el primer período se detecta-

ron varios florecimientos, ocurriendo el primero y de mayor importancia en primavera, y el resto en el verano y otoño. En el segundo período se observó, en general, una extrema pobreza del fitoplancton.

Pizarro (1976) explica que las variaciones cuantitativas del fitoplancton antes descritas son reguladas básicamente por dos factores fundamentales, la estabilidad de la columna de agua y los vientos de tercer cuadrante. El autor sostiene que durante el período de primavera-verano la intensa radiación solar crea una termoclina que se destruye periódicamente, debido al incremento en la frecuencia e intensidad de los vientos del tercer cuadrante, produciendo un proceso de surgencia que mantiene altas concentraciones de nutrientes en la zona eufótica, las que sustentan una alta biomasa fitoplanctónica. Durante el período otoño-invierno, al disminuir la intensidad de la radiación solar, se debilita la termoclina y la acción de vientos más suaves permite el mantenimiento de una columna de agua más homogénea. La pobreza fitoplanctónica del segundo período se debería a que las poblaciones responden más a las variaciones de la intensidad luminosa que a los valores absolutos de ésta. Al comenzar la primavera y aumentar la radiación solar, se producen las primeras proliferaciones fitoplanctónicas, al reunirse las condiciones adecuadas de radiación solar y nutrientes.

Al comparar dos ciclos anuales, Avaria y Orellana (1975) observaron coincidencia respecto a los períodos de abundancia y de pobreza del fitoplancton, con diferencias interanuales en los valores de su biomasa. La distribución vertical fue similar en ambos períodos con máximas concentraciones de células de superficie a 10 metros de profundidad, observándose que los gradientes fueron más acentuados durante las proliferaciones de primavera-verano. Esto último coincide con la hipótesis de Pizarro (1973), quien en base al cálculo y análisis de la distribución media de la radiación solar con la profundidad y datos acerca de las condiciones óptimas de iluminación para la fotosíntesis, estima que la parte fundamental de la producción fitoplanctónica en el período primavera-verano es soportada por los niveles de 5 y 10 metros de profundidad, ya que la fotosíntesis está fuertemente inhibida en la superficie durante la mayor parte del día, y la contribución del nivel de 15 metros de profundidad a la producción total de la columna de agua no es importante.

Un estudio desarrollado por Avaria (1976) sobre un fenómeno de marea roja que abarcó parte importante de la costa central de Chile, contribuyó al esclarecimiento de los mecanismos que regulan las fluctuaciones del fitoplancton en la zona. En base al estudio de la evolución del fenómeno en la bahía de Valparaíso, se pudo establecer que éste coincidió con una disminución de la frecuencia de los vientos del sur y del suroeste y aumento de los vientos del norte y noroeste, intensa radiación solar y estabilidad vertical del agua. Las mayores concentraciones detectadas del organismo causante estuvieron asociadas con incrementos de la temperatura del agua. La desaparición del fenómeno tuvo relación con un cambio de las condiciones hidrológicas, debido a la reanudación del viento del sur y suroeste y a una mezcla vertical turbulenta de la columna de agua.

Investigaciones sobre el fitoplancton y biomasa pigmentaria efectuadas en áreas adyacentes a la bahía de Valparaíso por Ramírez (1975) y Ramírez y Uribe (1976), reafirmaron la eutroficación de las aguas superficiales mediante procesos de surgencia. Por su parte, Uribe (1978) estableció que la surgencia detectada frente a punta Curaumilla resulta favorable por sus características físico-químicas para el desarrollo del fitoplancton, originándose una alta producción primaria. Se observó también que los menores valores de diversidad específica se detectaron en la zona donde el proceso tuvo mayor intensidad y se observó una modificación de la estructura biocenótica conforme a la evolución del proceso surgente.

En base a los antecedentes expuestos anteriormente y a la consideración de estudios hidrológicos efectuados en la bahía y zonas adyacentes (Brandhorst, 1963; Silva, 1973; Fonseca, 1977; Fonseca y Hickmann, 1978 y Sievers y Silva, 1979), Alvial y Avaria (1981, 1982) abordaron el problema de la proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso procurando describir sus fluctuaciones y los factores que la regulan. Estos estudios se basaron en muestras tomadas en la misma estación biooceanográfica utilizada desde 1963, durante la primavera de 1977.

Ambos trabajos aportan nuevos conocimientos a la dinámica del fitoplancton de la bahía, demostrando la importancia que tiene en la limitación de su abundancia la diferencia que se establece entre el espesor de la capa de mezcla aumentada y la zona eufótica,

como también el transporte pasivo de una fracción significativa de las poblaciones a través de una corriente de deriva asociada a los procesos de surgencia. Al disminuir el espesor de la zona eufótica por incrementos del fitoplancton, aumenta la diferencia entre ésta y la capa de mezcla, lo que permite alcanzar un máximo crítico de abundancia, estimado aproximadamente un millón de células por litro en el promedio de la columna de superficie a 30 metros. Esta situación, prevaliente en primavera, se altera por la interrupción o declinación del viento del suroeste, lo que tiene como consecuencia el desarrollo de condiciones de estabilidad, por la radiación solar en aumento. El crecimiento de las poblaciones no encuentra la oposición de la mezcla y se anula el efecto negativo de transporte, pudiéndose alcanzar altos niveles cuantitativos, sobre todo si precedentemente se han producido surgencias que han incrementado las concentraciones de nutrientes en los niveles superficiales. Bajo estas condiciones, el máximo crítico de abundancia es mayor y, consecuentemente, se producen los pulsos más significativos, entre tres y cinco veces superiores a los anteriores. También puede ocurrir que las condiciones de estabilidad se sostengan por un período prolongado, lo cual genera gradientes ambientales que inducen la sucesión de especies, pasando a predominar especies con menores tasas de crecimiento y verificándose una acentuada disminución en la abundancia fitoplanctónica total. Esta situación es menos frecuente y, en general, los períodos de estabilidad serían breves interrupciones entre las fases prolongadas de surgencias. Del análisis de varias primaveras se desprende que el inicio de la proliferación ocurrirá tanto más temprano, cuanto mayores sean los valores de intensidad de radiación solar precedentes.

Correspondientemente con el comportamiento meteorológico e hidrológico que regula la dinámica de las comunidades, el hábitat sufre modificaciones que determinan los rangos y condiciones características aproximadas para cada comunidad. En condiciones de surgencia dominan especies pequeñas y de alto cociente superficie/volumen, las cuales presentan adaptaciones particulares al ambiente y corresponden a especies r-estrategas, que canalizan toda la materia y energía posible hacia la reproducción, presentando una relación inversa entre la tasa máxima de crecimiento y el tamaño. Estas especies, de gran potencial biótico, alcanzan

altos niveles en condiciones favorables, y su alto valor del cociente superficie/volumen representa una mayor fricción entre la célula y el agua, con retardo de la decantación e incremento en la tasa de absorción relativa de nutrientes. La carencia de organoides locomotores, como flagelos, se ve compensada, en parte, por el aumento de la superficie relativa, por la abundante secreción de mucilago que aumenta la viscosidad del entorno celular, por las formas comunes de las colonias estructuradas en cadenas y por el desarrollo de proyecciones valvares que favorecen la presencia pasiva de las células en los niveles superficiales. Tanto el flujo ascendente implícito en la surgencia como la mezcla vertical, son también factores determinantes para la flotabilidad pasiva de estas células.

El óptimo aprovechamiento que hacen estas especies *r*-estratega de los nutrientes abundantes, y las adaptaciones particulares que presentan frente a un hábitat inestable, permite que sean dominantes durante las surgencias y que respondan canalizando los beneficios obtenidos del ambiente hacia una alta tasa reproductiva. Por esta razón, la etapa inicial de la sucesión fitoplanctónica puede ser considerada como el extremo cuantitativo del *continuum*, en el cual las especies basan su permanencia en la productividad. En tal sentido, un centro de surgencia activo presentará característicamente especies *r*-estrategas y sólo una interrupción del proceso, acompañada de una estabilización creciente de la columna de agua, posibilitará el desarrollo de la sucesión y la manifestación del extremo cualitativo del *continuum* *r*-K.

La estabilidad sostenida, considerada como el factor determinante de la sucesión fitoplanctónica, es desfavorable para las especies *r*-estrategas. Estas acaban por desaparecer de la zona eufótica, debido a la interrupción de la surgencia, lo que implica reducción de los nutrientes y aumento de la decantación. Frente a esto, sólo persisten aquellas especies con menores requerimientos nutritivos y capaces de vencer el hundimiento, tales como los dinoflagelados, que dominan en etapas más avanzadas de la sucesión. Otro factor que induce cambios considerables en la composición del fitoplancton de la bahía de Valparaíso, se debe a la acción de viento intenso del norte, el que junto con inhibir la surgencia, ocasiona una penetración de aguas oceánicas superficiales e ingresan poblaciones fitoplanctónicas de tipo oceánico. Aunque po-

co frecuente en primavera-verano, dicha circunstancia es especialmente significativa en el periodo de otoño-invierno.

Avaria y Muñoz (1982) confirmaron la interrelación entre las variables hidrológicas y las fluctuaciones de la biomasa del fitoplancton consignada en Alvial y Avaria (1982). No obstante, en esta investigación se precisa que el incremento del fitoplancton sigue con un retardo de aproximadamente 15 días a la mezcla registrada en los 30 primeros metros de la columna. Es interesante destacar que en este estudio se trabajó en seis estaciones situadas en el área norte de la bahía de Valparaíso, lo que permitió verificar que en dicha área no existen grandes variaciones espaciales, por efecto de una distribución de tipo agrupada del fitoplancton, demostrando que la información obtenida anteriormente en base a muestreos periódicos intensivos en una estación fija, es proyectable a toda esa área.

Cabe mencionar que durante el desarrollo de las investigaciones sobre el fitoplancton de la bahía de Valparaíso, iniciadas en 1963, se han estudiado ocho fenómenos de marea roja ocurridos en 1968 (Avaria, 1970), 1975 (Avaria, 1976), 1979 (Avaria y Muñoz, 1982), 1981 (Muñoz y Avaria, 1983), 1983, 1985 y 1987 (no publicado).

Los organismos responsables de los intensos cambios de coloración del agua de mar fueron el protozoo ciliado *Mesodinium rubrum* y los dinoflagelados tecados *Prorocentrum micans*, *P. gracile* y *Scrippsiella trochoidea*. Todos los fenómenos han sido inocuos y no han tenido consecuencias negativas en la economía costera de Valparaíso ni en la salud de sus habitantes. Estos se presentan a fin del verano y principio de otoño, siendo de aparición y desaparición súbita. Son aperiódicos y se relacionan con anomalías térmicas positivas de aguas estratificadas, intensa insolación y escasa actividad eólica (Avaria y Muñoz, 1986).

Por otra parte, investigaciones realizadas en un área adyacente a la bahía, situada frente a la península de Los Molles, Quintero (32°45'S), entre julio de 1982 y enero de 1984, entregaron antecedentes sobre los efectos de "El Niño" 1982/83 sobre el fitoplancton del área (Avaria et al., 1988).

Las alteraciones más notables registradas durante la presencia del fenómeno, se manifestaron en cambios en el ciclo anual característico del área, reflejados en una disminución de los valores de densidad de células y

biomasa fitoplanctónica en el período primavera-verano, acortamiento de siete a cuatro meses de ese período de gran abundancia fitoplanctónica y alta frecuencia de numerosas especies de diatomeas y de dinoflagelados de aguas cálidas en el plancton nerítico. El valor promedio del índice de diversidad de especies en primavera fue notoriamente superior al registrado en el mismo período de años normales, debido a la mezcla de especies típicas del área con especies de aguas cálidas, y a los estados más avanzados que experimentaron las sucesiones en 1982 con respecto a años normales. Los valores de densidad de células y de biomasa mostraron grandes diferencias en los períodos previos y posteriores al evento.

La analogía entre los valores de densidad de células y biomasa fitoplanctónica registrados en la bahía de Valparaíso durante "El Niño" 1982/83, con los registrados durante "El Niño" 1972/73 y su comparación con la información existente sobre cuatro años normales, permitió plantear un esquema hipotético del ciclo anual del fitoplancton del área en condiciones normales y en condiciones "El Niño", caracterizándose este último por el acortamiento del período de abundancia del fitoplancton y una disminución aproximada del 50% en los valores de densidad de células y de biomasa medida en concentraciones de clorofila.

La información entregada en este último trabajo publicado sobre el fitoplancton de la bahía de Valparaíso es la primera evidencia que se tiene del efecto de "El Niño" en el fitoplancton marino de la zona central de Chile. Con anterioridad a 1982 se pensaba que la influencia del fenómeno no era importante al sur de Antofagasta (23°S), y prácticamente todas las investigaciones se centraron frente a Perú y en la zona norte de Chile (Avaria y Muñoz, 1987).

Resumiendo, de la revisión de los trabajos anteriormente citados, puede concluirse que las fluctuaciones del fitoplancton en la bahía de Valparaíso son básicamente reguladas por los procesos de surgencia costera, los que a su vez dependen de la actividad de los vientos del tercer cuadrante. El período primavera-verano se caracteriza por la manifestación de surgencias sucesivas que originan una proliferación de tipo intermitente y en la cual los pulsos de mayor abundancia fitoplanctónica son coincidentes con los breves períodos de estabilidad que median entre las fases de surgencias. El desencadenamiento

de esta proliferación normalmente acontece entre septiembre y octubre, como respuesta al aumento de la radiación solar y a la mayor frecuencia e intensidad de vientos del tercer cuadrante que provocan las surgencias que proveen de nutrientes a las aguas superficiales. En otoño-invierno la menor abundancia fitoplanctónica obedecería a la escasa o nula manifestación de afloramientos y a la disminución de la radiación solar, todo ello sumado a la mayor ocurrencia de vientos de cuarto cuadrante que ocasionan la penetración de aguas oceánicas superficiales que arrastran consigo comunidades que no alcanzan altos niveles de abundancia. La composición del fitoplancton difiere entre los períodos antes señalados, predominando en primavera-verano las especies de diatomeas pequeñas con alto cociente superficie/volumen celular y altas tasas de división, a diferencia de período otoño-invierno, cuando éstas tienen una menor incidencia, dando paso a las especies de diatomeas más grandes y dinoflagelados, de menor cociente superficie/volumen celular y menores tasas de división. No obstante esta diferenciación general, es dable observar con frecuencia sucesiones rápidas de comunidades, correspondientes con un gradiente del tipo r-K, en el cual se manifiesta el extremo cuantitativo en condiciones de surgencia, y el cualitativo durante el desarrollo de una estabilización creciente.

### Zooplancton

El zooplancton marino constituye una comunidad de extraordinaria complejidad, caracterizada por la alta heterogeneidad de sus componentes, derivada de la presencia de adultos y larvas de diversos invertebrados y vertebrados marinos, que varían enormemente en dimensiones, consistencia corporal, régimen de alimentación, capacidad de locomoción, permanencia planctónica, distribución en tiempo y espacio, etcétera.

Este alto grado de complejidad, unido a la necesidad de utilizar diferentes metodologías de muestreo para cada taxa, ha causado un estudio lento y fraccionado de los distintos componentes del zooplancton. Todo esto se refleja en la bibliografía disponible, aparentemente vasta, pero que ha centrado sus esfuerzos en la identificación y descripción de sus componentes, así como en aspectos asociados a su distribución espacio-temporal en períodos cortos de tiempo. Todo lo anterior ha significado una carencia de estudios integrados sobre la dinámica de las poblacio-

nes zooplanctónicas en el ecosistema marino y sus relaciones con la hidrología de las aguas de la zona de Valparaíso, y del país en general.

En base a lo anterior, a continuación se expone brevemente la información disponible acerca de los distintos grupos zooplanctónicos presentes en aguas de la zona de Valparaíso y áreas adyacentes.

### Medusas

Los antecedentes sobre medusas de las aguas de la costa central del país proceden del trabajo de Kramp (1966), que analiza los ejemplares recolectados en la Expedición "Marchile I" y muestras de la bahía de Valparaíso, así como también del trabajo efectuado por Fagetti (1973), quien estudia las medusas procedentes de diversos cruceros oceanográficos. De estos trabajos se deduce que el número de medusas identificadas para aguas chilenas alcanza a alrededor de 80 especies, de las cuales se citan 20 especies provenientes de muestras planctónicas obtenidas esporádicamente en la bahía de Valparaíso, como *Bougainvillia fulva*, *Dipurena ophiogaster*, *Ectopleura dumortieri*, *Euphysa aurata*, *Halitholus intermedius*, *Leuckartiara octona*, *Sarsia eximia*, *Aequorea coerulescens*, *Phialella quadrata*, *Phialidium simplex*, *Gossea brachymera*, *Proboscicytella mutabilis* y *Pelagia noctiluca*. De estas especies, *Bougainvillia fulva* y *Phialella quadrata* fueron las medusas que se presentaron en mayor abundancia.

Por otra parte, datos correspondientes al estudio de un ciclo anual efectuado en esta misma zona entre mayo 1974 y junio 1975 (Palma, 1985), indican la presencia de a lo menos 6 especies más, que son *Aglaura hemistoma*, *Obelia* spp., *Sminthea eurigaster*, *Liriope tetraphylla*, *Botrynema brucei* y *Solmundella bitentaculata*. De esta manera, el número de medusas registradas en aguas de la zona se eleva a 26 especies. En esta ocasión, las especies predominantes fueron *Obelia* spp., *Phialidium* spp., y *Liriope tetraphylla*. La distribución temporal de medusas presentó un máximo anual en verano, y otro de menor importancia en otoño, con mínimos en invierno. La mayor parte de los ejemplares se capturó en las aguas superficiales de todas las estaciones muestreadas (0-50 m), determinándose que la mayor abundancia se encontró en las estaciones oceanográficas situadas en la zona costera.

En el estudio de dos eventos de surgencia

ocurridos en verano 1986 y primavera 1987, frente a punta Curaumilla (Fonseca et al., 1988), se encontró durante el desarrollo del evento de primavera un incremento en la cantidad de medusas en la capa superficial asociado a la intensidad del viento, seguido de un brusco descenso en el período de relajación del citado proceso.

### Sifonóforos

Los estudios de sifonóforos en aguas chilenas son bastante escasos, habiéndose registrado hasta el momento sólo la presencia de 26 especies. La mayor parte de las especies citadas corresponden a organismos recolectados en aguas de la zona 1986 de Valparaíso (Palma, 1973, 1977, 1984, 1986), donde se ha identificado 22 especies de sifonóforos: *Agalma elegans*, *Cordagalma cordiformis*, *Nanomia bijuga*, *Pyrostephos vanhoeffeni*, *Athorybia rosacea*, *Amphicaryon acaule*, *Rosacea cymbiformis*, *Rosacea plicata*, *Praya dubia*, *Sulculeolaria quadrivalvis*, *S. chuni*, *Dyphyes dispar*, *Lensia conoidea*, *L. hotspur*, *L. hardy*, *Muggiaea atlantica*, *Chelophyes appendiculata*, *Eudoxoides spiralis*, *Sphaeronectes gracilis*, *S. gamulini*, *Abylopsis tetragona* y *Bassia bassensis*. De las especies mencionadas, *Muggiaea atlantica* y *Sphaeronectes gracilis* destacan por su frecuencia y abundancia en aguas de la región de Valparaíso.

La distribución temporal de los sifonóforos en aguas de la zona (Palma, 1977), presenta máximos de abundancia en primavera y verano, con mínimos en invierno, presentando una buena correlación con los valores de temperatura superficial ( $r=0,83$ ,  $P<1\%$ ). Las mayores densidades de organismos se registraron en las estaciones costeras. En esta oportunidad, el patrón de distribución temporal y espacial de los sifonóforos respondió básicamente a los cambios estacionales experimentados por *Muggiaea atlantica*, la cual se detectó formando densas agregaciones. Por lo tanto, la gran abundancia de esta especie influyó notoriamente sobre los cálculos de diversidad específica estimados para este taxa, obteniéndose los máximos valores de diversidad durante el período invernal y los mínimos en verano.

Estudios posteriores realizados en la zona durante un ciclo anual (Palma, 1985), confirman la presencia constante y abundante de *M. atlantica* y *Sphaeronectes gracilis* en aguas de la zona, registrándose además por primera vez en aguas chilenas la presencia de *Sphaeronectes gamulini*, *Nanomia bijuga* y *Pyrostephos*



*vanhoeffeni* (Palma, 1984, 1986). La distribución estacional fue similar a la registrada anteriormente, es decir, con máximos en primavera y verano, detectándose que la casi totalidad de los organismos se capturó en las aguas superficiales de las estaciones de muestreo (0-50 m de profundidad), con una mayor abundancia en la zona costera.

Por otra parte, los sifonóforos también son afectados en su distribución espacial por procesos de surgencia ocurridos en esta área. En efecto, Fonseca *et al.* (1988) demuestran el efecto positivo de estos procesos sobre la abundancia de estos organismos, particularmente en verano de 1986, cuando se observó un incremento en la densidad de organismos en función del tiempo de desarrollo de este fenómeno, como también un desplazamiento de ellos hacia el noroeste de la zona de estudio.

#### Ctenóforos

Son organismos planctónicos carnívoros de escasa diversidad en aguas templadas, de los cuales se ha registrado la presencia de sólo dos especies para aguas costeras y oceánicas de la costa chilena: *Pleurobrachia pileus* y *Beroe cucumis* (Fagetti y Fisher, 1964; Palma, 1971).

Estudios realizados sobre los ctenóforos de la costa de Valparaíso (Palma, 1971; Palma y Meruane, 1975), indican que *Pleurobrachia pileus* es el ctenóforo más abundante y frecuente en las muestras de plancton, mientras que *Beroe cucumis* es de aparición ocasional. *P. pileus* presentó una distribución temporal con dos máximos anuales de similar abundancia en primavera y verano, y mínimos el resto del año. Durante el período estival, se detectaron agregaciones de hasta 3.000 ind./1.000 m<sup>3</sup>, concentraciones que pueden afectar la sobrevivencia de huevos y larvas de otros organismos marinos. El análisis de tallas de *P. pileus* presentó una distribución unimodal centrada en los 5 mm, con valores comprendidos entre 2 y 21 mm de longitud, determinándose una correlación alta entre la longitud corporal y la temperatura superficial del mar ( $r=0,81$ ), y nula con relación a la salinidad superficial ( $r=0,01$ ); en consecuencia, los ejemplares de mayor tamaño se registraron a fines de primavera y verano, mientras que los menores se obtuvieron a fines de invierno. Su distribución geográfica en el área mostró una preferencia por las estaciones situadas sobre la plataforma continental, con una pobreza en el área oceánica.

Estudios efectuados en la zona de Valparaíso durante un ciclo anual (Palma, 1985), indican la presencia de *P. pileus* y *B. cucumis*, acompañadas de dos especies no registradas anteriormente para aguas chilenas, como *Mnemiopsis* sp. y *Beroe gracilis*. Cabe señalar que, en esta ocasión, *Mnemiopsis* sp. fue el ctenóforo más abundante en la zona muestreada. La distribución temporal de estos organismos presentó valores altos en primavera y verano, con un máximo anual registrado a fines de otoño. La mayor parte de los organismos se capturó en las aguas superficiales de la zona nerítica.

En el estudio de surgencia efectuado frente a punta Curaumilla (Fonseca *et al.*, 1988), se observó un incremento de ctenóforos asociados a la mayor intensidad del viento durante el proceso efectuado en primavera 1987, como también un desplazamiento de los organismos hacia el área oceánica.

#### Moluscos pterópodos

Fagetti y Fischer (1964), analizando el plancton de la Expedición "Marchile I", indican la distribución y abundancia de los moluscos pterópodos recolectados entre Coquimbo y Chiloé, señalando una escasa abundancia de estos organismos frente a la costa de Valparaíso. De los antecedentes bibliográficos existentes, se desprende que la fauna de pterópodos para aguas chilenas está compuesta por 21 especies.

Campos y Ramorino (1984) en sus análisis del plancton de la zona de Quintero, recolectado entre julio 1982 y enero 1984, determinaron la presencia de tres especies registradas anteriormente para aguas chilenas: *Creseis virgula f. virgula*, *Hyalocylis striata* y *Cavolinia* sp., agregando por primera vez para Chile la presencia de *Limacina trochiformis*, *Desmopterus pacificus* y *Peraclis apicifulva*. La distribución estacional presentó máximos de abundancia entre noviembre de 1982 y marzo de 1983, habiéndose capturado en una oportunidad la cantidad de 254.088 ind./1.000 m<sup>3</sup>. A pesar que *L. trochiformis* no había sido citada previamente para aguas chilenas, fue la especie más abundante del plancton, seguida de *Creseis virgula f. virgula*. La distribución vertical de los pterópodos mostró la mayor abundancia en la capa superficial, comprendida entre 0 y 50 m de profundidad.

#### Moluscos heterópodos

Los trabajos referentes a los heterópodos de

aguas chilenas son muy escasos. Así, los primeros registros se remontan a los trabajos de Fagetti (1958), y Fagetti y Fischer (1964), quienes citan para aguas chilenas la presencia de *Pterotrachea coronata* y *Firoloida desmaresti*. De éstas, *F. desmaresti* ha sido registrada frecuentemente en pescas periódicas superficiales efectuadas en la bahía de Valparaíso (Fagetti, 1958).

Posteriormente, Fagetti (1968), analizando el material colectado por la Expedición del R/V "Anton Bruun" Crucero 13, señaló la presencia de *Pterotrachea scutata* y *Cardiopoda richardi* para aguas oceánicas situadas frente a Valparaíso.

Recientemente, Campos y Ramorino (1984), frente a la costa de Quintero, encontraron únicamente la presencia de *Atlanta lesueuri*, con máxima abundancia entre diciembre 1982 y marzo 1983. A pesar que fue capturada en aguas epipelágicas de 0 a 200 m de profundidad, sus mayores densidades se registraron en el estrato superficial comprendido entre 0 y 25 m de profundidad.

Con relación al comportamiento de los moluscos pterópodos y heterópodos durante los procesos de surgencia, Fonseca et al. (1988) encontraron que estos organismos son muy sensibles a este tipo de procesos, detectándose un incremento de sus poblaciones así como un transporte de las mismas hacia el noroeste del área de estudio, en función del tiempo de desarrollo de estos fenómenos oceanográficos.

### Quetognatos

Después de los copépodos, los quetognatos son los organismos más abundantes en las muestras de plancton. Su importancia en el ciclo alimenticio de diversas especies pelágicas, su amplia distribución geográfica y su utilidad como posibles indicadores de masas de agua, constituyen los incentivos principales para el estudio de estos organismos.

Los primeros registros de quetognatos para aguas de la zona de Valparaíso se remontan al estudio de Fagetti (1958), quien, basada en diversas muestras obtenidas esporádicamente en el área de Valparaíso, encontró que la mayor abundancia y frecuencia de quetognatos ocurrió en invierno y principios de primavera, disminuyendo progresivamente hasta casi desaparecer en verano. Las especies responsables de estos cambios estacionales fueron *Sagitta inflata*, *S. minima*, *S. serratodentata*, *S. lyra*, *S. bipunctata*, *Eukrohnia*

*hamata*, *Pterosagitta draco* y *Krohnitta subtilis*. La especie más abundante durante todo el año fue *Sagitta inflata*, seguida por *S. serratodentata* y *S. minima*. Años más tarde (Fagetti, 1968), agrega la presencia de *Sagitta bierii* para aguas de la zona de Valparaíso.

Posteriormente, Alcázar (1984), en muestras recolectadas frente a Quintero (1982-1984), indica que la mayor abundancia de quetognatos se registró en primavera y verano, confirmando para aguas de la región la presencia de *Sagitta inflata*, *S. bierii*, *S. minima*, *S. pacifica*, *Eukrohnia hamata*, *Krohnitta pacifica* y *K. subtilis*, ya registradas previamente para aguas chilenas por Fagetti (1958). De acuerdo a datos anteriores obtenidos en la zona, *S. inflata* y *S. bierii* fueron las especies más abundantes. Estos autores destacan la abundancia de *E. hamata* y *K. subtilis* entre junio y octubre 1983, cuando sus concentraciones fueron superiores a las de *S. bierii*, de ahí el interés de considerar con atención la presencia de estas especies en aguas de la zona. En particular de *Eukrohnia hamata*, cuya presencia en aguas superficiales puede estar asociada a procesos de afloramiento, dada su distribución mesopelágica en aguas templadas.

Por otra parte, Palma (1985) encontró las mismas especies citadas para la zona por Alcázar (1984), señalando también que *S. inflata* y *S. bierii* fueron las especies dominantes. Los máximos estacionales de abundancia se registraron en verano y otoño, cabe señalar que el máximo estival coincide con lo encontrado por Alcázar (1984), pero difiere de los máximos señalados por Fagetti (1958). Además se determinó una marcada preferencia de los quetognatos por las aguas neríticas, así como una distribución vertical definida, que mostró que la mayor cantidad de organismos fue determinada en las aguas superficiales comprendidas entre 0 y 50 m de profundidad.

Durante los procesos de surgencias estudiados frente a punta Curaumilla (Fonseca et al., 1988), se observó que a pesar de no registrarse un incremento notorio en la abundancia de quetognatos por efecto de los ascensos de agua, éstos experimentaron un transporte de sus poblaciones hacia el noroeste del área analizada.

### Ostrácodos

La mayoría de los ostrácodos son bentónicos, salvo los Halocypriformes que son de vida

pelágica y que se distribuyen preferentemente en aguas profundas. Son más abundantes en aguas tropicales y subtropicales, quizás por su escasez en aguas templadas, la mayor parte de los antecedentes sobre ostrácodos de aguas chilenas se encuentran en los resultados de expediciones extranjeras.

No obstante lo anterior, existe un estudio más detallado sobre los ostrácodos planctónicos de la zona de Valparaíso efectuado por Mujica (1979), quien analiza taxonómica y ecológicamente los ejemplares recolectados entre mayo 1974 y junio 1975. En este estudio se identificaron 9 especies de ostrácodos, que fueron *Archiconchoecia striata*, *Halocypris brevisrostris*, *Orthoconchoecia haddonii*, *O. striola*, *Metaconchoecia rotundata*, *M. skogsbergi*, *Paraconchoecia caudata*, *Conchoecia magna* y *Conchoecetta giesbrechti*. Las especies más abundantes fueron *Metaconchoecia rotundata*, *Conchoecia magna* y *Conchoecetta giesbrechti*. La distribución temporal de los ostrácodos mostró dos períodos anuales de abundancia —otoño e invierno—, con mínimos en primavera y verano. Esta distribución temporal estuvo muy ligada a la distribución vertical de estos organismos en la zona, la cual presentó grandes diferencias de abundancia entre los estratos superficial (0-50 m) y profundo (50-100 m). En efecto, el 81% de los ejemplares se recolectó en el estrato profundo, por lo tanto la distribución estacional reflejó básicamente las fluctuaciones de los individuos capturados entre 50 y 100 m de profundidad; consecuentemente, los mayores valores de diversidad específica fueron obtenidos en ese mismo estrato. Cabe señalar que si se hubiera considerado únicamente los individuos recolectados en la capa superficial, los máximos de abundancia se habrían registrado en primavera y verano.

Con relación a la distribución longitudinal de estos organismos en la zona, se pudo determinar que la mayor cantidad de ejemplares se capturó en aguas oceánicas. Por otra parte, los valores más elevados de diversidad específica fueron determinados para las estaciones localizadas en la zona nerítica.

Durante un estudio de surgencia efectuado en la zona (Fonseca *et al.*, 1988), se detectó que en verano 1986 este proceso tuvo una marcada influencia sobre la abundancia de los ostrácodos, detectándose un notorio incremento de su abundancia en toda la zona costera.

### Copépodos

Los copépodos constituyen sin lugar a dudas el grupo más abundante y diverso del zooplancton marino. De hecho, en el catastro de los copépodos marinos de aguas chilenas, Fagetti (1962) señala la presencia de 206 especies, de las cuales sólo nueve corresponden a la zona de Valparaíso: *Calanus chilensis*, *C. propingus*, *Calanoides patagoniensis*, *Eucalanus elongatus*, *Rhincalanus nasutus*, *Clausocalanus furcatus*, *Centropages brachiatus*, *Acartia tonsa* y *Sapphirina gemma*.

A pesar del importantísimo rol que cumplen estos organismos en la transferencia energética entre los productores primarios y consumidores secundarios, es preciso señalar la falta de estudios biológicos y ecológicos de este grupo en aguas de la zona, indudablemente uno de los factores que más parece influir en esta carencia, es la complejidad y diversidad específica, siendo un taxa poco atractivo para estudios de corta duración. Reflejo de esta carencia lo constituye el único antecedente concreto para aguas de la bahía de Valparaíso, que se encuentra en la nota de Yáñez (1958), quien señala la presencia de ejemplares machos y hembras de *Rhincalanus nasutus* en la época de primavera, agregando evidencias sobre su migración nictemeral, puesto que durante el día los organismos se encuentran debajo de los 40 ó 50 m de profundidad, mientras que durante la noche se ubican en aguas superficiales.

Recientemente, estudios efectuados por Fonseca *et al.* (1988) muestran que durante los procesos de surgencia analizados frente punta Curaumilla, se encontró en verano 1986 un mantenimiento de la abundancia a través del transcurso del evento, mientras que en primavera 1987 se registró en toda la zona costera una disminución de copépodos por efecto del ascenso de aguas frías a las capas superficiales.

### Anfípodos

Los anfípodos planctónicos están representados por los anfípodos hipóridos, los cuales se caracterizan por su escasa abundancia en las colectas de plancton, lo cual contribuye más aún a la escasa información que se tiene de ellos en aguas chilenas.

Para aguas de la zona de Valparaíso, se cuenta con el trabajo de Meruane (1979), quien estudia taxonómica y ecológicamente los anfípodos recolectados durante un ciclo anual (mayo 1974-junio 1975). En este tra-

bajo se indica que la fauna de anfípodos en aguas de la región, está compuesta por las siguientes 14 especies: *Scina borealis*, *S. latifrons*, *Vibilia armata*, *Hyperia gaudichaudii*, *Hyperietta stephenseni*, *Lestrigonus schizogeneios*, *L. crucipes*, *Parathemisto gracilipes*, *Phronimopsis spinifera*, *Phronima sedentaria*, *Primno macropa*, *Eupronoe maculata*, *Tryphana malmi* y *Streetsia porcella*. De las cuales *Hyperietta stephenseni* es la especie más frecuente y abundante a través de todo el año. La distribución temporal de los anfípodos indica un máximo secundario en otoño, con un mínimo en invierno. El máximo de abundancia correspondiente al periodo estival, coincide con los valores más altos de diversidad específica, dado que concurre la mayor parte de las especies identificadas. Solamente los valores de temperatura superficial muestran una buena correlación con el ciclo estacional de abundancia.

Con relación a la distribución geográfica de los anfípodos en el área, se puede decir que la mayor parte de los ejemplares capturados se encontró en aguas neríticas. En cuanto a su distribución vertical, el 70% de los ejemplares se capturó en las aguas superficiales comprendidas entre 0 y 50 m de profundidad. Esta distribución demostró diferencias significativas entre la composición de ambos estratos, detectándose especies típicas de superficie y de profundidad, respectivamente.

De acuerdo al estudio de surgencia costera efectuado en la zona (Fonseca et al., 1988), no se pudo determinar la influencia de estos procesos sobre los anfípodos pelágicos, dada el escaso número de ejemplares capturados en los cruceros realizados.

#### *Eufáusidos*

Los eufáusidos constituyen uno de los grupos planctónicos que mayor atención ha recibido por su importancia en las cadenas tróficas marinas. Esto se refleja en que diversos organismos nectónicos, como peces y mamíferos, centran su alimentación en estos organismos, especialmente en aguas antárticas, donde incluso se realiza la explotación comercial de estos crustáceos.

Para la costa central del país, los únicos antecedentes disponibles se encuentran en el trabajo de Antezana (1970), quien analiza los eufáusidos recolectados en la Expedición "Marchile I", señalando la presencia de 14 especies entre Coquimbo y Chiloé, pero no indica cuáles son las especies presentes en

aguas de la zona de Valparaíso. En todo caso, parece indudable que la especie más abundante en aguas de esta zona es *Euphausia mucronata*, que es de particular interés oceanográfico por su endemismo en la corriente Perú-Chile, donde se presenta con bastante frecuencia y abundancia y formando densos enjambres, siendo también asociada a la capa subsuperficial de mínimo oxígeno y a áreas de surgencia costera (Antezana, 1981). Con relación a esta misma especie, Melo y Antezana (1980), basados en el análisis de ejemplares mantenidos en ambientes controlados y provenientes de muestras planctónicas de aguas de la región, establecen diferentes relaciones alométricas para estimar el crecimiento de *E. mucronata*, destinadas a facilitar la identificación de sus estados de desarrollo en las muestras de plancton.

#### *Salpas*

Las salpas son organismos herbívoros de gran capacidad de filtración, que tienen la particularidad de presentarse formando densas agregaciones en extensas áreas marinas, especialmente en aguas oceánicas.

Los datos disponibles para la zona provienen del trabajo de Fagetti (1959), quien en su estudio sobre las salpas de las costas norte y central de Chile, analiza una serie de muestras planctónicas obtenidas frente a la bahía de Valparaíso. En ellas encontró la presencia de *Thalia democratica*, *Pegea confoederata* e *Ilheia magalhanica*, de las cuales *T. democratica* fue la especie más común y abundante, siendo recolectada durante todo el año, especialmente a fines de primavera y de otoño, periodos en que se detecta la mayor proliferación de fitoplancton en esta zona.

En el estudio de un ciclo anual de plancton en la zona (mayo 1974-junio 1975), Palma (1985) encontró sólo la presencia de *Thalia democratica* y *Pegea confoederata*. *P. confoederata* se recolectó abundantemente en una sola muestra a principios de diciembre, mientras que *T. democratica* se presentó con bastante frecuencia y abundancia desde principios de primavera a mediados de verano, alcanzando a principios de diciembre una densidad media de casi 400 individuos/m<sup>3</sup>, estando ausente del plancton todo el resto del año. Al igual que la mayor parte de los organismos zooplanctónicos estudiados en aguas de la zona, esta especie se distribuyó fundamentalmente en las aguas superficiales comprendidas entre 0 y 50 m de profundidad. Sin em-

bargo, al considerar su distribución geográfica en esta área, se la encontró principalmente en las estaciones oceánicas.

A pesar de todos los antecedentes expuestos, durante el estudio de dos eventos de surgencia efectuados en verano 1986 y primavera 1987 frente a punta Curaumilla (Fonseca *et al.*, 1988), la presencia de salpas fue registrada en una sola ocasión y con escaso número de ejemplares.

### Ictioplancton

El conocimiento del ictioplancton de aguas chilenas comprende los estudios realizados en ambientes controlados destinados a conocer el ciclo vital de las primeras etapas de vida en el desarrollo de los peces, así como en el comportamiento de sus larvas planctónicas en aguas oceánicas.

En la actualidad, mediante estudios sistemáticos efectuados en ambientes controlados, se ha logrado conocer y caracterizar morfológicamente las distintas fases del desarrollo embrionario y larval de las especies de peces más frecuentes en aguas de la zona de Valparaíso (Tabla 2).

Los estudios en condiciones de laboratorio han permitido también conocer algunos aspectos fisiológicos de las larvas de peces, como es el caso de la determinación de incidencia alimentaria, régimen alimenticio y tasa de evacuación intestinal de las larvas de *Sardinops sagax*, cuyos resultados muestran una incidencia alimentaria bastante elevada, que alcanza al 84% después del mediodía, así como la ingestión preferente de huevos de

invertebrados, dinoflagelados tecados y nauplios de crustáceos (Herrera y Balbontín, 1983).

Entre los estudios destinados a conocer la presencia y distribución del ictioplancton en aguas de la zona, está el trabajo de Palma (1976), quien, analizando el meroplancton recolectado entre diciembre 1969 y noviembre 1970, encontró que la mayor abundancia de huevos y larvas de peces se encontró entre julio y septiembre, con mínimos en verano y otoño, con una distribución preferencial por la zona nerítica. Además, determinó que la mayor intensidad del desove de *Engraulis ringens* en la zona, se registró en julio y agosto en las estaciones más pegadas a la costa.

Por otra parte, Balbontín y Orellana (1984), basados en el ictioplancton recolectado entre julio 1982 y enero 1984, identificaron la presencia de 36 especies de peces. La mayor abundancia se encontró en la estación más costera, con un predominio de larvas de *Sardinops sagax*, *Engraulis ringens* y *Merluccius gayi*, mientras que en la estación oceánica se encontró un predominio de las especies mencionadas, acompañadas de manera importante por larvas de *Stomiatidae* y *Myctophidae*, particularmente de *Hygophum bruuni*, lo cual determinó una mayor diversidad de especies en la estación oceánica. En relación a la distribución vertical del ictioplancton, constataron que el mayor porcentaje de huevos y larvas se capturó en los primeros 50 m de profundidad.

En base al estudio de procesos de surgencia en la zona (Fonseca *et al.*, 1988), se obser-

**Tabla 2**  
Desarrollo embrionario y larval de los peces más frecuentes en aguas de la zona, con su correspondiente referencia bibliográfica

Especies	Referencias bibliográficas
<i>Prolatilus jugularis</i>	Fischer, 1958a
<i>Engraulis ringens</i>	Fischer, 1958a; Orellana y Balbontín, 1983
<i>Merluccius gayi</i>	Fischer, 1959
<i>Hypsoblennius sordidus</i>	Balbontín y Pérez, 1979
<i>Normanichtys crockeri</i>	Balbontín y Pérez, 1980
<i>Tripterygion chilensis</i>	Pérez, 1979
<i>Sicyases sanguineus</i>	Pérez, 1981
<i>Gobiesox marmoratus</i>	Pérez, 1981
<i>Hygophum bruuni</i>	Balbontín y Orellana, 1983
<i>Ethmidium maculata</i>	Orellana y Balbontín, 1983
<i>Clupea (Strangomera) bentincki</i>	Orellana y Balbontín, 1983
<i>Sardinops sagax musica</i>	Orellana y Balbontín, 1983

vó tanto en verano 1986 como octubre 1987, un decremento de huevos y larvas hacia fines de ambos procesos, mostrando una sensibilidad al descenso de las temperaturas superficiales. Sin embargo, cabe destacar que en ambas ocasiones, el día de viento más intenso produjo un aumento de la densidad del ictioplancton en el área costera.

#### *Larvas de crustáceos decápodos*

Al igual que en el caso del ictioplancton, el estudio de las larvas de decápodos se ha orientado, en primer lugar, al conocimiento del desarrollo larval de los decápodos en condiciones de laboratorio, destinado a identificar los distintos estados larvarios presentes en las muestras de plancton y, en segundo lugar, al estudio de la presencia y distribución de larvas en aguas de la zona de Valparaíso.

Los estudios referidos al desarrollo larval de los crustáceos decápodos más comunes en aguas de la zona, son los siguientes: *Cyclograpsus cinereus* (Costlow y Fagetti, 1967); *Homalaspis plana* (Fagetti, 1970); *Acanthocycclus gayi* (Fagetti y Campodónico, 1970); *Pleuroncodes monodon* (Fagetti y Campodónico, 1971a), *Taliepus dentatus* (Fagetti y Campodónico, 1971b); *Libidoclea granaria* (Fagetti, 1969a) y *Pisoides edwardsi* (Fagetti, 1969b).

En lo que concierne a la distribución temporal y espacial de larvas crustáceos decápodos, Palma (1976) determinó la distribución estacional con un máximo anual en primavera, centrado en octubre, y dos máximos de menor importancia en verano e invierno, registrándose en otoño el mínimo anual. El máximo primaveral fue debido a la presencia de larvas de *Brachyura*, *Calhanassidae*, *Paguridae* y *Galatheididae*. Por otra parte, la mayor abundancia larvaria se registró en la zona nerítica, por las mayores disponibilidades alimenticias existentes en esta época del año. Esta preferencia de las larvas por el área costera, fue similar a lo detectado para el ictioplancton en este mismo estudio.

Posteriormente, Palma (1980), analizando el meroplancton de decápodos recolectados durante un ciclo anual efectuado entre mayo 1974 y junio 1975, señala la presencia de larvas durante el año, indicando nuevamente un máximo anual en primavera, centrado en octubre, donde se capturó la mayor *Hippidae*, *Galatheididae* y *Paguridae*, es decir, casi los mismos grupos responsables del máximo primaveral registrado en 1969-1970 (Palma,

1976). La mayor parte de los organismos se registró en la zona nerítica cercana a punta Curaumilla, con una disminución hacia el área oceánica. En lo que concierne a la distribución vertical de las larvas, se detectó que la mayor abundancia se registró en la capa superficial comprendida entre 0 y 50 m de profundidad.

En el análisis de eventos de surgencia en la zona (Fonseca et al., 1988), se obtuvo resultados contradictorios, puesto que en verano 1986 se observó un incremento de larvas de crustáceos con el desarrollo del proceso, mientras que en octubre 1987 se observó una caída en la densidad de larvas como resultado del ascenso de aguas frías en el área costera.

#### CARACTERIZACION GENERAL DE LA ZONA

Las aguas superficiales de la bahía de Valparaíso y áreas adyacentes se caracterizan, en general, por corresponder a una zona de transición entre un régimen subantártico y uno subtropical, con predominancia del primero. Son aguas templadas de salinidades relativamente bajas, bien oxigenadas y con cierta pobreza en sales nutrientes. Bajo éstas, las aguas son de características ecuatoriales subsuperficiales con salinidades más altas, bajo contenido de oxígeno y alta concentración de micronutrientes. En las aguas intermedias, que son de origen antártico, se produce una disminución relativa en la salinidad y en la concentración de los micronutrientes, y un aumento en el contenido de oxígeno disuelto. Las aguas más profundas son, a su vez, nuevamente más salinas, menos oxigenadas y más ricas en sales nutrientes.

Los vientos del segundo y tercer cuadrante, especialmente los del SW que son predominantes, junto con la orientación norte-sur de la costa, favorecen la ocurrencia de procesos de surgencia, los que provocan en la zona costera el ascenso de las aguas subsuperficiales frías, ricas en micronutrientes, pero pobres en oxígeno disuelto. Como la surgencia es un proceso que ocurre en forma temporal y aperiódica, provocado principalmente por el viento, ésta se puede producir en cualquier época del año. Sin embargo, el período más favorable, debido a la mayor frecuencia de los vientos del S y SW, es el de primavera-verano. Por otra parte, el hundimiento de las aguas costeras, debido a la acción de los vientos del norte y los procesos de surgencia, son

los causantes de la gran variabilidad en las distribuciones espaciales y temporales de las características hidrológicas en la zona.

Las lluvias se concentran en el período invernal, con una marcada variabilidad interanual. El aumento del caudal de esteros, río Aconcagua y el escurrimiento costero, consecuencia de estas lluvias, como asimismo los deshielos cordilleranos que aumentan considerablemente el caudal del río en la época estival, diluyen la salinidad superficial de la bahía y zonas adyacentes. En períodos de deshielo se han registrado también importantes aumentos en las concentraciones de nitratos y silicatos en las aguas próximas a la desembocadura del Aconcagua.

En la zona externa de la bahía y en especial frente a punta Curaumilla, la circulación del agua está compuesta por dos flujos: uno superficial hacia el norte, poco profundo y lento, y otro subsuperficial, más rápido, hacia el sur. Ambas son el resultado de eventos de surgencia en esta zona.

La circulación del interior de la bahía se ajusta a un modelo rotatorio en que las aguas circulan de norte a sur, en la cercanía de la costa, y de sur a norte, por la boca de ella. Simultáneamente la circulación presenta componentes de tipo inercial, debido a la acción pulsante de los vientos. Además, las mareas contribuyen a la variabilidad de las corrientes de la bahía en la banda semidiurna del espectro de frecuencia.

La bahía de Valparaíso, debido a su latitud, está sujeta a cambios anuales de radiación solar, lo que se refleja en un ciclo anual de temperatura tanto en el aire como en el agua de la capa superficial del mar. En el verano se registran altas temperaturas y la formación de una termoclina, produciéndose un aumento de la estabilidad vertical y una disminución de la profundidad de la capa de mezcla. En invierno bajan las temperaturas superficiales y desaparece la termoclina estacional, dando paso a una estructura vertical casi homotermal y de baja estabilidad, produciéndose al mismo tiempo un aumento en profundidad de la capa de mezcla.

El régimen térmico de la bahía influye notoriamente sobre el ciclo anual del plancton, el cual se caracteriza por la presencia de un máximo de abundancia en primavera-verano y principios de otoño, y un mínimo a fines de otoño y durante el invierno. La proliferación del período primavera-verano está sustentada por diatomeas pequeñas, con al-

tas tasas de división y fuertes requerimientos nutricionales, correspondiente a especies r-estrategas, tales como: *Detonula pumila*, *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus danicus* y especies pequeñas del género *Chaetoceros* (*C. debilis*, *C. compressus*, *C. socialis*, *C. constrictus* y *C. radicans*).

El máximo anual se mantiene con varios pulsos mayores, debido al incremento de nutrientes aportados por procesos de surgencia que se manifiestan frecuentemente en la zona frente a punta Curaumilla y península Los Molles (Quintero), principalmente. Asociada a estas proliferaciones de diatomeas aparecen en el plancton diversos filtradores que aprovechan la oferta alimenticia, tales como: copépodos, apendicularias, salpas (particularmente *Thalia democratica*) y una gran diversidad de larvas de crustáceos decápodos, moluscos y peces.

En verano, la estratificación de la columna de agua se ve interrumpida frecuentemente por vientos del SW que destruyen la termoclina en la zona costera. Durante los períodos de estratificación más prolongada, se reduce drásticamente la disponibilidad de nutrientes provocando una caída en la abundancia de fitoplancton y la aparición de diatomeas de gran tamaño como *Chaetoceros lorenzianus*, *C. pelagica* y *Biddulphia longicruris*, asociada de una alta frecuencia de dinoflagelados, entre las que destacan *Ceratium tripos*, *C. furca*, *C. azoricum*, *Diplopsalis lenticula*, *Protoperidinium pellucidum* y *P. oceanicum*.

En el período de verano hacen su aparición diversos organismos del macrozooplancton carnívoro, como medusas, sifonóforos, ctenóforos y quetognatos, de las cuales algunas especies pueden aparecer formando densas agregaciones, como *Pleurobrachia pileus*, *Muggiaea atlantica*, *Phialidium* spp. y *Sagitta enflata*, que se nutren principalmente de distintos estadios de desarrollo de copépodos y larvas de diversos invertebrados que abundan en la zona en dicha época del año.

A principios de otoño, cuando la temperatura del agua es aún elevada, el mar está calmo, hay largos períodos de insolación y la columna de agua se mantiene estable, pueden ocurrir fenómenos de marea roja producidos por *Prorocentrum micans*, *P. gracile* y *Scrippsiella trochoidea*, o *Mesodinium rubrum*, los que afectan las aguas de la bahía desde pocos días hasta algunas semanas.

A fines de otoño e invierno se produce el mínimo anual en la abundancia de plancton,

pues aunque existe una disponibilidad relativa de nutrientes, se registra un período de baja insolación y cuasi homotermia vertical ya mencionada, que disminuye la estabilidad de la columna de agua con el consiguiente aumento de la profundidad de la capa de mezcla que excede la zona eufótica, causando una caída en la abundancia de las poblaciones de fito y zooplancton en la zona.

## **ALGUNAS PERSPECTIVAS DE DESARROLLO**

### **Investigaciones oceanográficas físicas y químicas**

Del análisis de la información efectuado anteriormente, se puede deducir que la mayor parte del trabajo oceanográfico físico y químico realizado en la bahía de Valparaíso ha sido del tipo descriptivo. Indudablemente estas investigaciones corresponden a una fase fundamental del conocimiento y aún resta por continuarlo en algunas áreas deficitarias, como ser contaminación, sedimentación, transporte litoral, circulación costera, olas, etcétera.

Las series de tiempo, que son fundamentales para el estudio de la variabilidad de largo período y que permiten estudiar los cambios en el clima meteorológico y oceánico, deben ser continuadas sin interrupciones. Mediante ellas se pueden conocer y cuantificar fenómenos anómalos de corta y mediana duración, como las mareas rojas, el fenómeno "El Niño", ciclos de períodos cálidos y fríos, variaciones en el nivel del mar, y otros, los que además de ser importantes por sí mismos, son útiles en la comprensión de las variaciones que puede experimentar la biota del área.

El estudio de la contaminación urbana, industrial y aquella causada por el transporte y uso del petróleo, debe ser continuada en forma permanente, mediante un sistema de monitoreo adecuado.

Un estudio más completo sobre la circulación es necesario para conocer el tiempo de residencia del agua en la zona bajo diferentes condiciones tanto de viento como de mareas y brava de mar, a fin de establecer los modelos necesarios para predecir su comportamiento.

El conocimiento de la circulación permitirá también evaluar el real impacto de la contaminación, ya que ella posibilitará la estimación del tiempo de residencia de los contami-

nantes, como asimismo de la efectividad de su dispersión por mecanismos naturales.

El proceso productivo del área en sus niveles tróficos primarios debe ser estudiado más a fondo, a fin de establecer la interrelación entre elementos micronutrientes y la productividad primaria del área. Es evidente que los fenómenos de surgencia tienen un efecto fertilizador, pero aún no se ha cuantificado su real influencia ni se ha establecido si los micronutrientes llegan a ser limitantes para la productividad del área.

La surgencia es uno de los procesos que ha sido estudiado con mayor intensidad en la zona de la bahía de Valparaíso. Sin embargo, aún no se ha establecido en forma definitiva si el mecanismo propuesto por algunos autores es el único que gobierna el sistema o si hay otras alternativas. En este fenómeno aún resta por efectuar mucho trabajo, especialmente en lo referente a circulación tanto horizontal como vertical y su efecto en la estabilidad de la columna de agua en la zona costera.

El efecto de río Aconcagua, esteros y escurrimiento costero requiere de una mayor evaluación tanto en lo que es su aporte de agua dulce como de sedimentos, contaminantes y sustancias disueltas. El estero Marga-Marga es una fuente con alta carga de materia orgánica y agua anóxicas y, ocasionalmente, sulfurosas, el que durante los períodos de apertura de la barra por mecanismos naturales o antropogénicos vierte su contenido a la bahía. Su efecto debe ser cuantificado. A su vez, el río Aconcagua, durante los períodos de deshielo, provoca una notoria dilución de las aguas de la bahía y transporta compuestos fertilizantes y controladores de plagas utilizados en la agricultura. Su efecto sobre la zona costera es poco conocido y debe ser estudiado.

### **Investigaciones planctológicas**

De los antecedentes expuestos se puede observar que la mayor parte de los estudios realizados en fito y zooplancton corresponden a una fase descriptiva del ecosistema, es decir, nos indican cuáles son los componentes de los primeros niveles tróficos, cuáles son las especies dominantes de cada grupo y cuál es su distribución espacio-temporal.

Sin embargo, existe un paso fundamental a dilucidar sobre el cual poco o nada se ha avanzado, como es el funcionamiento y dinámica del ecosistema, es decir, a qué velocidad ocurren los distintos procesos biooceanográ-



ficos, cómo interactúan los diferentes organismos en el ecosistema, con qué velocidad ocurren sus procesos biológicos y ecológicos, así como la influencia del ambiente sobre estos procesos.

En este campo de acción, se puede identificar una serie de interrogantes a resolver en los estudios futuros del plancton en la zona.

En general, se ha puesto poco énfasis en la necesidad de efectuar estudios sobre las fluctuaciones del plancton a microescala espacio-temporal, de los cuales pueden surgir interesantes elementos para aclarar factores y fenómenos ignorados en la regulación de las poblaciones planctónicas, particularmente de la dinámica de la sucesión, que en el caso de fitoplancton son de particular interés por sus efectos sobre la producción primaria.

Si bien es cierto que las últimas investigaciones ecológicas han incorporado variables meteorológicas e hidrológicas, intentando establecer relaciones más precisas entre las variaciones del plancton y el ambiente, es preciso insistir en esta tendencia, propiciando trabajos interdisciplinarios y mejorando las técnicas de obtención de información sobre el ambiente en las áreas de estudio.

Una buena base informativa acerca de las fluctuaciones espacio-temporales del plancton en la zona, debiera dar lugar a la obtención de series de tiempo que permitan conocer y estimar la tasa de cambio de la estructura de las comunidades planctónicas, para la formulación de modelos conceptuales que constituyan el punto de partida de modelos matemáticos que sinteticen la información y generen hipótesis que orienten las futuras investigaciones en esta zona. En tal sentido, para facilitar las investigaciones futuras sobre el fitoplancton de la bahía de Valparaíso, se ha desarrollado, a partir de 1985, una Unidad de Programas (Software) en BASIC Avanzado, concatenados para el almacenamiento, búsqueda y cálculo de información fitoplanctónica reunida desde 1983 a la fecha (Avaria y Lillo, 1988). Por otra parte, desde 1986 a la fecha se encuentra en desarrollo un programa permanente de vigilancia biooceanográfica en la bahía. El programa incluye colectas semanales de red y de agua para análisis cuali y cuantitativo del fitoplancton, en dos estaciones fijas situadas a 1 y 5 millas de la costa frente a la playa Reñaca, conservándose la situación de la estación más costera, donde se han obtenido muestras de fitoplancton desde 1963. Este programa permitirá también incrementar la valiosa colec-

ción de datos, reunida durante 25 años, para realizar estudios de series de tiempo.

También deben estimularse los esfuerzos para integrar información dispersa y fragmentaria en modelos que representen la realidad con un alto grado de aproximación, o cuando menos, detecten aquellos aspectos que todavía es necesario profundizar.

Las relaciones trofodinámicas de las comunidades planctónicas es otro aspecto que requiere especial atención, debiéndose efectuar trabajos de laboratorio tendientes a estimar los efectos de la predación, otorgándole importancia a la acción del zooplancton herbívoro y carnívoro, ictioplancton y peces planctófagos de alta incidencia ecológica. Tales estudios deben estar dirigidos fundamentalmente a determinar, entre otros, los efectos de la presión selectiva de la predación, tasas de ingestión, eficiencia y transferencia energética.

Las proliferaciones fitoplanctónicas encierran aún muchas interrogantes desde el punto de vista de los factores que determinan la estructura de las comunidades y su carácter casi monoespecífico. Asimismo, esfuerzos de esta naturaleza deben estar vinculados a la solución de problemas de competencia, efectos de metabolitos externos, habilidad para aprovechar las condiciones favorables de algunas especies, y la interpretación funcional de muchos caracteres morfológicos de las células y colonias. En este mismo sentido, la complementación de estudios de campo con técnicas de cultivo es indispensable para acercarse a una cabal comprensión de los mecanismos que inciden en el origen y dinámica de los fenómenos de marea roja que afectan nuestro litoral.

En cuanto a la interrelación fitozooplancton, el desarrollo de metodologías adecuadas de muestreo simultáneo, que consideren las migraciones nictemerales y la distribución agrupada, permitirán iniciar esfuerzos que pueden arrojar nuevos elementos para comprender mejor la dinámica de ambos grupos en el ecosistema marino.

Otro de los aspectos que merece especial atención en el futuro, es la realización de investigaciones en el campo de la fisiología, que posibiliten una mejor comprensión de los factores abióticos que regulan el crecimiento de las poblaciones y los mecanismos a través de los cuales éstos se manifiestan. Simultáneamente, es necesario asumir el estudio de las adaptaciones al ambiente y las es-

trategias evolutivas de las especies de mayor significancia en hábitat determinados.

Prácticamente no se han hecho estudios de productividad primaria en la bahía de Valparaíso, salvo algunas determinaciones aisladas, sin continuidad en el tiempo, utilizando la técnica del carbono 14. Esta técnica da resultados que discrepan de otros métodos de evaluación cuando los nutrientes son limitados, la intensidad luminosa superior a la saturación, y las bacterias y materia orgánica en solución son muy abundantes. Tomando en consideración estos aspectos, se deberían iniciar determinaciones de productividad primaria, teniendo en cuenta especialmente la función de las fracciones de distinto tamaño de los productores primarios planctónicos, con especial énfasis del papel que juegan los elementos del nanoplancton y del picoplancton. Por otra parte, es importante conocer la disponibilidad de la producción primaria neta para la trama alimentaria y sus flujos hacia los niveles tróficos superiores. Asimismo, el consumo selectivo que hace el zooplancton del fitoplancton, la sucesión de poblaciones y los factores que determinan la composición de especies de una comunidad son elementos básicos para comprender las funciones de la producción primaria en los ecosistemas.

La acción futura en los casos que ha logrado reunirse una base de datos suficientes, debería dirigirse a efectuar esfuerzos de síntesis, más que a la suma inorgánica de nuevos estudios descriptivos, que pueden llegar a constituir verdaderas repeticiones con la consiguiente pérdida de recursos y esfuerzos.

Todo lo anterior, supone el trabajo conjunto de biólogos marinos, oceanógrafos, matemáticos y programadores, frente al cual es preciso reconocer y emprender, en el corto plazo, una acción de acercamiento y de forjamiento de las condiciones mismas para un intercambio y cooperación que rendirá sus frutos en el mediano plazo.

Finalmente, en la revisión se ha detectado la necesidad de utilizar nuevas técnicas que permitan clasificar, comprimir y resumir la información obtenida. En tal sentido, la incorporación de técnicas estadísticas apropiadas favorecerá la cuantificación de los fenómenos observados y posibilitará la confirmación de numerosas estimaciones que requieren de una sustentación de esta índole. Especial relevancia alcanza lo expuesto cuando se

trata de establecer relaciones entre variables físicas, químicas y biológicas, que en ocasiones aparecen a primera vista un tanto subjetivas.

Los distintos aspectos mencionados deberían conducir a una comprensión de los procesos que ocurren en los ecosistemas costeros, que constituyen la principal zona de interacción entre los procesos oceánicos naturales (surgencias, "El Niño", mareas rojas) y aquellos derivados de la actividad humana en la zona costera, como aquellos relacionados con la extracción de recursos, transporte marítimo, evacuación de desechos y actividades recreativas. Tal conocimiento debe llevar a una futura predicción que permita conocer los efectos a corto, mediano y largo plazo de las perturbaciones a que es sometido el ecosistema, cualquiera sea la naturaleza de éstas.

## LITERATURA CITADA

- ALARCÓN, E. y J. PINEDA. 1969. Descripción oceanográfica estacional de las aguas frente a Valparaíso. *Boletín Científico, Instituto de Fomento Pesquero, Chile, 11*: 31 pp.
- ALCÁZAR, F. 1984. Quetognatos. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y biooceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32°45'S), en relación al fenómeno "El Niño". Informe Final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- ALDAYUZ, R. y R. MONTANER. 1973. Levantamiento hidrográfico de corrientes marinas, bahía de Valparaíso, sector muelle población Vergara. Manuscrito no publicado.
- ALVIAL, A. y S. AVARIA. 1981. Proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso. I. Condiciones meteorológicas y oceanográficas. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 17*(2): 197-227.
- ALVIAL, A. y S. AVARIA. 1982. Proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso. II. Dinámica de las comunidades. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso 18*(1): 1-52.
- ANTEZANA, T. 1970. Eufáusidos de la costa de Chile. Su rol en la economía del mar. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14*(2): 19-27.
- ANTEZANA, T. 1981. Zoogeography of Euphausiids of the South Eastern Pacific Ocean. Mem. Seminario Indicadores Biológicos del Plancton, UNESCO, 5-23.
- AVARIA, S. 1965. Diatomeas y silicoflagelados de la bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso 12*(1): 61-119.
- AVARIA, S. 1970. Observación de un fenómeno de marea roja en la bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14*(1): 1-5.
- AVARIA, S. 1971. Variaciones mensuales cualitativas del fitoplancton de la bahía de Valparaíso de julio 1963 a julio de 1966. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14*(3): 15-43.
- AVARIA, S. 1975. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. II. Fitoplancton 1970-71. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 15*(2): 131-148.

- AVARIA, S. 1976. Marea Roja en la costa central de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 16(1): 95-111.
- AVARIA, S. y P. MUÑOZ. 1984. Fitoplancton. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y biooceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32° 45'S), en relación al fenómeno "El Niño". Informe Final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- AVARIA, S. y A. ALVIAL. 1985. La investigación ecológica del fitoplancton marino de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso 21: 61-106.
- AVARIA, S. y P. MUÑOZ. 1982. Producción actual, biomasa y composición específica del fitoplancton de la bahía de Valparaíso en 1979. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 18(2): 129-157.
- AVARIA, S. y P. MUÑOZ. 1986. Estudios sobre el fitoplancton marino del norte de Chile colectado por la Expedición MAR-CHILE XVI-ERFEN VII. Informe Final presentado al CONA, abril 1986, 27 pp., 39 figs., 5 tablas.
- AVARIA, S. y P. MUÑOZ. 1987. Effects of "El Niño" 1982-1983 on the marine phytoplankton of northern Chile. J. Geophys. Res. 91(C 13): 14369-14382.
- AVARIA, S. y E. ORELLANA. 1975. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. III. Fitoplancton 1972-73. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 15(3): 207-226.
- AVARIA, S. y G. LILLO. 1988. Unidad de Programas en Básic para el almacenamiento, búsqueda y cálculo de la información sobre fitoplancton marino de Chile analizado en el Instituto de Oceanología. Publicaciones Ocasionales, Instituto de Oceanología 4: 1-73.
- AVARIA, S., P. MUÑOZ y M. BRAUN. 1988. El fitoplancton frente a península Los Molles, Valparaíso, Chile (32° 45'S), y su relación con "El Niño" 1982-1983. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 24(1): 1-35.
- BALBONTÍN, F. y M. GARRETÓN. 1977. Desove y primeras fases de desarrollo de la sardina española, *Sardinops sagax musica*, en Valparaíso. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 16(2): 171-181.
- BALBONTÍN, F. y M.C. ORELLANA. 1983. Descripción de las larvas del pez linterna *Hygophum bruuni* del área de Valparaíso, Chile (Pisces: Myctophidae). Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 19(2): 205-216.
- BALBONTÍN, F. y R. PÉREZ. 1979. Modalidad de postura, huevos y estados larvales de *Hysoblennius sordidus* (Bennett) en la bahía de Valparaíso (Blenniidae: Perciformes). Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 16(3): 311-318.
- BALBONTÍN, F. y R. PÉREZ. 1980. Descripción de los estados larvales de *Normanichthys crockeri* Clark (Perciformes: Normanichthyidae) del área de Valparaíso, Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 17(1): 81-95.
- BALBONTÍN, F. y M.C. ORELLANA. 1984. Ictioplancton. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y biooceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32°45'S), en relación al fenómeno "El Niño". Informe Final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- BRANDHORST, W. 1959. Factores oceanográficos que influyen en la pesca de la merluza. Agricultura y Ganadería, Santiago, 5: 18-19.
- BRANDHORST, W. 1963. 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). Ministerio de Agricultura, Dirección de Agricultura y Pesca, Santiago, Chile, 55 pp.
- BRANDHORST, W. 1971. Condiciones oceanográficas estacionales frente a la costa de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14(3): 45-84.
- CAMPOS, B. y L. RAMORINO. 1984. Moluscos. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y biooceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32°45'S), en relación al fenómeno "El Niño". Informe Final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- COMISIÓN KRAUSS. 1903. Mediciones de corrientes con flotadores de superficie, sector comprendido entre punta Gruesa y punta Angeles. Manuscrito no publicado.
- COSTLOW, J. and E. FAGETTI. 1967. The larval development of the crab, *Cyclograpsus cinereus* Dana, under laboratory conditions. Pacific Sci., 21(2): 166-177.
- CRADDOCK, J.E. and G.W. MEAD. 1970. Midwater Fishes from the Eastern South Pacific Ocean. Anton Bruun Report N° 3, contribution N° 2109, W.H.O.I. Woods Hole, Massachusetts, 46 pp.
- DE GREGORI, I., D. DELGADO, H. PINOCHET y N. SILVA. 1983. Relación entre algunos metales pesados con nutrientes en agua de mar. Bol. Soc. Chil. de Química. 27(11):123-125.
- FAGETTI, E. 1958a. Investigaciones sobre quetognatos colectados especialmente frente a la costa central y norte de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 8: 25-82.
- FAGETTI, E. 1958b. Dos especies de moluscos planctónicos (Heteropoda) encontrados frente a la costa de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 8: 143-148.
- FAGETTI, E. 1959. Salpas colectadas frente a las costas central y norte de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 9: 201-228.
- FAGETTI, E. 1962. Catálogo de los copépodos planctónicos chilenos. Gayana, Zool., 4: 1-59.
- FAGETTI, E. 1968a. Quetognatos de la Expedición MAR-CHILE I con observaciones acerca del posible valor de algunas especies como indicadores de las masas de agua frente a Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 13(2): 85-171.
- FAGETTI, E. 1968b. Nueva localidad para dos especies de moluscos heterópodos, *Pterotrachea scutata* Gegenbaur 1855 y *Cardiapoda richardi* Vayssiere 1904, encontrados por primera vez en el Pacífico Sur Oriental frente a Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 13(3): 287-291.
- FAGETTI, E. 1969a. Larval development of the spider crab *Pisoides edwardsi* (Decapoda, Brachyura) under laboratory conditions. Mar. Biol., 4(2): 160-168.
- FAGETTI, E. 1969b. The larval development of the spider crab *Libidoclea granaria* H. Milne-Edwards and Lucas under laboratory conditions (Decapoda, Brachyura: Majidae, Pisinae). Crustaceana, 17(2): 131-140.
- FAGETTI, E. 1970. Desarrollo larval en el laboratorio de *Homalaspis plana* (Milne-Edwards). (Crustacea Brachyura: Xanthidae). Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14(2): 29-49.
- FAGETTI, E. 1972. Bathymetric distribution of chaetognaths in the South Eastern Pacific Ocean. Mar. Biol., 17: 7-29.
- FAGETTI, E. 1973. Medusas de aguas chilenas. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 15(1): 31-75.
- FAGETTI, E. e I. CAMPODÓNICO. 1970. Desarrollo larval en el laboratorio de *Acanthocyclus gayi* Milne-Edwards et Lucas. (Crustacea Brachyura: Atelecyclidae, Acanthocyclinae). Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14(2): 63-78.
- FAGETTI, E. and I. CAMPODÓNICO. 1971a. Larval deve-

- lopment of the red crab *Pleuroncodes monodon* (Decapoda Anomura: Galatheididae) under laboratory conditions. *Mar. Biol.*, 8(1): 70-81.
- FAGETTI, E. e I. CAMPODÓNICO. 1971b. Desarrollo larval en el laboratorio de *Taliepus dentatus* (Milne-Edwards) (Crustacea Brachyura: Majidae, Acantho-nychinae). *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 14(3): 1-14.
- FAGETTI, E. y W. FISCHER. 1964. Resultados cuantitativos del zooplancton colectado frente a la costa chilena por la Expedición "Marchile I". Montemar, 4: 137-200.
- FISCHER, W. 1958a. Primeras fases del desarrollo del blanquillo (*Prolatilus jugularis*). *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 8(1-3): 3-24.
- FISCHER, W. 1958b. Huevos, crías y primeras prelarvas de la anchoveta (*Engraulis ringens*) Jenyns. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 8(1-3): 11-124.
- FISCHER, W. 1959. Huevos, crías y prelarvas de la merluza (*Merluccius gayi*) Guichenot. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 9(1-3): 229-249.
- FONSECA, T. 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, T. 1981. Variabilidad de las corrientes en la bahía de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 9(1-2): 39-60.
- FONSECA, T. 1984. Inversión térmica costera y su relación con los eventos de surgencia. *Biología Pesquera*, 13: 15-22.
- FONSECA, T. 1985. Física de las aguas costeras de la zona central de Chile. *Tralka*, 2(4): 337-354.
- FONSECA, T. y V. HICKMANN. 1978. Contribución al conocimiento de las condiciones oceanográficas de la bahía de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 6(5): 73-86.
- FONSECA, T. y V. HICKMANN. 1979. Nota sobre la circulación de la bahía de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 7(1): 47-53.
- FONSECA, T., M.A. BARBIERI, H. OLGUÍN, S. PALMA, N. SILVA y M. TOLEDO. 1988. Eventos de surgencia en la zona de Valparaíso y sus efectos en el ecosistema marino. Informe Final FONDECYT. 1180/85, 137 pp.
- GÜNTHER, E.R. 1936. A report on oceanographical investigations in the Peru Coastal Current. *Discovery Rep.*, 13: 107-276.
- HERRERA, G. y F. BALBONTÍN. 1983. Tasa de evacuación intestinal e incidencia de alimentación en larvas de *Sardinops sagax musica*. (Pisces, Clupeiformes). *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 19(2): 113-132.
- HICKMANN, F. 1976. Corrientes superficiales de la bahía de Valparaíso y zona adyacente, determinadas por el sistema de botellas de deriva. Tesis Escuela de Pesquerías y Alimentos, Universidad Católica de Valparaíso, 126 pp.
- HIRSCHMANN, R. 1971. Desplazamiento estacional del máximo de radiación solar sobre América del Sur. *Rev. de Est. del Pacífico*, 3: 71-83.
- JOHNSON, D.R., 1980. The Gunther Undercurrent and upwelling along the north and central coast of Chile. Manuscrito no publicado.
- JOHNSON, D.R., T. FONSECA and H. SIEVERS, 1980. Upwelling in the Humboldt Coastal Current near Valparaíso, Chile. *J. Mar. Res.*, 38(1): 1-16.
- KRASSKE, G. 1941. Die Kieselalgen des chilenischen Küstenplanktons. (Aus dem südchilenischen Küstengebiet, Beitrag 9). *Archiv für Hydrobiologie*, 38: 260-287.
- KONOW, D. 1976. Variaciones estacionales del transporte de volumen y velocidad geostrófica entre Valparaíso (71° 40'W) y los 78°W. Tesis Escuela de Pesquerías y Alimentos. Universidad Católica de Valparaíso, 130 pp.
- KUETZING, F.I. 1844. Die Kieselalgen Bacillarien oder Diatomee. Nordhausen, 152 pp., 30 Tab.
- MELO, C. y T. ANTEZANA. 1980. Allometric larval relations of *Euphausia mucronata* Sars, 1985. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 17(1): 135-148.
- MERUANE, J. 1979. Contribución a la taxonomía y ecología de los anfipodos hipóridos encontrados frente a punta de Curaumilla, Valparaíso. Tesis Inst. Biología. Universidad Católica de Valparaíso, 85 pp.
- MUJICA, A. 1979. Contribución a la taxonomía y ecología de los ostracodos planctónicos de la zona de Valparaíso. Tesis Inst. Biología. Universidad Católica de Valparaíso, 69 pp.
- MUNOZ, P. y S. AVARIA, 1983. *Scrippsiella trochoidea*, nuevo organismo causante de Marea Roja en la bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 19(1): 63-78.
- PALMA, S. 1971. Descripción de *Pleurobrachia pileus* y *Beroe cucumis* (Ctenophora), encontrados frente a la costa de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 2(3): 41-56.
- PALMA, S. 1973. Contribución al estudio de los sifonóforos encontrados frente a la costa de Valparaíso. I. Taxonomía. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 4(2): 17-88.
- PALMA, S. 1976. Meroplankton de la región de Valparaíso. *Cienc. y Tec. del Mar.*, CONA 2: 99-116.
- PALMA, S. 1977. Contribución al estudio de los sifonóforos encontrados frente a la costa de Valparaíso. Aspectos ecológicos. *Mem. 2 Simp. Latinoam. Oceanogr. Biol.*, Cumana, Venezuela, 24-28 noviembre 1975. Vol. 2: 119-133.
- PALMA, S. 1980. Larvas de crustáceos decápodos capturadas frente a la costa de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 8(1-2): 129-144.
- PALMA, S. 1984. *Sphaeronectes gamulini* Carre, 1966 (Siphonophora), colectado frente a la costa de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 12: 83-86.
- PALMA, S. 1985. Estudio del ciclo anual del macroplankton de la región de Valparaíso. Resumen V Jornadas de Ciencias del Mar, Coquimbo (no publicado).
- PALMA, S. 1986. Sifonóforos sifonectes capturados frente a la costa de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 14: 69-78.
- PALMA, S. y J. MERUANE. 1975. Aspectos ecológicos y crecimiento de *Pleurobrachia pileus* (Ctenophora) en la región de Valparaíso. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 6(2): 25-40.
- PÉREZ, R. 1979. Desarrollo postembrionario de *Tripterygion chilensis* Cancino en la bahía de Valparaíso (Tripterygiidae: perciformes). *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 16(3): 319-329.
- PÉREZ, R. 1981. Desarrollo embrionario y larval de los pejesapos *Sicyases sanguineus* y *Gobiesox marmoratus* en la bahía de Valparaíso, Chile, con notas sobre su reproducción (Gobiesocidae: Pisces). *Invest. Mar.*, Valparaíso, 9(1-2): 1-23.
- PRADO, R. y H.A. SIEVERS. 1987. Distribución de características físicas y químicas frente a la península de Los Molles, Chile (32° 45'S), y su relación con el fenómeno "El Niño" 1982/83. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 23(1): 31-75.
- PIZARRO, M. 1973. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. I. La temperatura superficial y la radiación solar. *Rev. Biol. Mar.*, Valparaíso, 15(1): 77-105.

- PIZARRO, M. 1976. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. IV. Condiciones físicas y químicas del ambiente. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*, 16(1): 35-69.
- RAMÍREZ R. 1975. Variaciones estacionales de los pigmentos fitoplanctónicos frente a Valparaíso. *Invest. Mar., Valparaíso*, 6(1): 1-24.
- RAMÍREZ, B. y E. URIBE. 1976. Estudio biooceanográfico al sur de la bahía de Valparaíso. Fitoplancton y productividad primaria. Memorias. III Simposio Latinoamericano de Oceanografía Biológica.
- REID, J.L. Jr. 1973. The shallow salinity minima of the Pacific Ocean. *Deep Sea Res.*, 20(1): 51-68.
- REYES, E. y H. ROMERO, 1977. Climatología e interacción océano-atmósfera en la bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*, 16(2): 125-159.
- ROBLES, F. E. ALARCÓN y A. ULLOA. 1976. Las masas de agua en la región norte de Chile y sus variaciones en un período frío (1967) y en períodos cálidos (1969, 1971-1973). Reunión de trabajo sobre el fenómeno conocido como "El Niño", Guayaquil, Ecuador, 4-12 de diciembre de 1974. *FAO Inf. Pesca*, 185: 94-196.
- SIEVERS, H.A. 1986. Temperatura superficial y pluviosidad en la Región de Valparaíso, Chile. Comisión Permanente del Pacífico Sur, Boletín ERFEN, 19: 27-28.
- SIEVERS, H.A. 1988. Oceanografía. En: Programa de investigación, vigilancia y control de la contaminación marina por hidrocarburos de petróleo en el Pacífico Sudeste y su efecto en las comunidades y ecosistemas marinos; 5-44. CONPACSE-FASE I; Informe de Avance N° 3, Doc.: IOUV/3/ agosto 1988, 192 pp.
- SIEVERS, H.A. y R. PRADO. 1984. Oceanografía. En: Vigilancia de variaciones climatológicas y biooceanográficas en la zona de Quintero, Chile (32° 45'S), en relación al fenómeno "El Niño", 27-56, 33 figuras y 22 tablas. Informe Final (L. Ramorino M., Coordinador). Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, 473 pp.
- SIEVERS, H.A. y N. SILVA, 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno frente a la bahía de Valparaíso (mayo de 1968 - abril de 1969). *Invest. Mar., Valparaíso*, 4(1): 1-16.
- SIEVERS, H.A. y N. SILVA. 1975. Masas de agua y circulación en el océano Pacífico Sudoriental. Latitudes 18°S - 33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE VIII). *Cienc. y Tec. del Mar. CONA 1*: 7-67.
- SIEVERS, H.A. y N. SILVA. 1979. Variación temporal de las condiciones oceanográficas frente a punta Curaumilla, Valparaíso, Chile (mayo de 1974 - abril de 1975). *Invest. Mar., Valparaíso* 7(1): 3-20.
- SIEVERS, H.A. y N. SILVA. 1982. Masas de agua y circulación geostrofica frente a la costa de Chile entre latitudes 18°S y 33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE VII). *Cienc. y Tec. del Mar., CONA 6*: 61-99.
- SILVA, N. 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (septiembre de 1969 - agosto de 1970). *Invest. Mar., Valparaíso*, 4(3): 89-112.
- SILVA, N. y B. RAMÍREZ. 1983. Vigilancia de la variación espacio-temporal de las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas frente a la bahía de Valparaíso. Estudios y Documentos, Universidad Católica de Valparaíso. 10/83, 175 pp.
- SILVA, N. y H.A. SIEVERS. 1974. Masas de agua, velocidad geostrofica y transporte de volumen entre Valparaíso e isla Róbinson Crusoe (océano Pacífico Sudoriental). *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 2: 103-120.
- SILVA, N. y D. KONOW. 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, N. y H.A. SIEVERS. 1981. Masas de agua y circulación en la región de la Rama Costera de la corriente de Humboldt. Latitudes 18°S - 33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE X - ERFEN 1). *Cienc. y Tec. del Mar, CONA 5*: 5-50.
- SILVA, N., y R. ROJAS and T. FONSECA. 1983. Observations of the 1982/83 "El Niño" off northern Chile. *Tropical Ocean Atmosphere Newsletter*, 22: 5-6.
- SMITH, R., y C. MOOERS and D. ENFIELD. 1971. Mesoscale studies of the physical oceanography in two coastal upwelling regions Oregon and Peru. *Fertility of the Sea*. Ed. J.D. Costlow: 513-535.
- URIBE, E. 1978. Estudio de las comunidades fitoplanctónicas durante un proceso de surgencia frente a punta Curaumilla-Valparaíso. Tesis Instituto de Biología. Universidad Católica de Valparaíso.
- VANHOEFFEN, E. 1913. Die craspedoten Medusen des "Vettor Pisani". *Zoologica*, Stuttgart, 67: 1-34.
- VERGARA, H. y V. HICKMANN, 1982. Fluctuación anual de la morfología y granulometría de playa Las Salinas, Viña del Mar, V Región. Presentado al III Congreso Geológico Chileno, Concepción, Chile: C 115 - C 131.
- YAÑEZ, P. 1948. Información preliminar sobre el ciclo anual del plancton superficial en la bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*, 1(1): 57-59.
- YAÑEZ, P. 1958. Sobre la presencia de *Rhincalanus nasutus* Giesbrecht (Copepoda Calanoida) en la Bahía de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*, 1(1-3): 133-142.
- ZACHARÍAS, O. 1906. Ueber Periodizität, Variation und Verbreitung verschiedener Planktonwesen in südlichen Meeren. *Archiv für Hydrobiologie und Planktonkunde*, 1: 498-575.

