

LA INVESTIGACION ECOLOGICA DEL FITOPLANCTON MARINO EN CHILE

Sergio Avaria* y Adolfo Alvial**

ABSTRACT. Ecological research on marine phytoplankton in Chile.

The information about the ecology of Chilean waters marine phytoplankton from the point of view of geographical distribution, seasonal changes and community regulation mechanisms is analyzed. The analysis includes a historical review about studies made by foreign scientists during last century and the beginning of this century and a proposal of some perspectives for phytoplankton ecology research development in Chile.

The actual knowledge of geographic distribution is mainly due to the material collected by national and foreign oceanographic expeditions for taxonomical purposes and information extracted from general biogeographical studies and recent taxonomical reviews of genera and families of phytoplankters. Special emphasis to systematic studies of phytoplankton distribution of northern Chile in relation to the "El Niño" 1982-1983 event is given.

Studies about seasonal phytoplankton changes generally has been complementary to taxonomic studies made in bays and fjords of the Chilean coast. The most complete ones have been carried out in Valparaíso Bay. Annual cycles, spring bloom, community regulation mechanisms and other ecological aspects of the phytoplankton of the Valparaíso Bay is discussed. Descriptive studies made in bays of Arica, Antofagasta, San Antonio, Concepción and Magellan Strait are also commented.

* Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile.

** Departamento de Ciencias del Mar, Instituto Profesional de Iquique, Casilla 121, Iquique, Chile.

ANTECEDENTES HISTORICOS

Posiblemente la primera mención sobre la ecología del fitoplancton marino de aguas chilenas aparecida en la literatura científica se deba al naturalista inglés Charles Darwin quien, en su diario de viaje a bordo del H.M.S. "Beagle", escribe sobre las relaciones observadas entre proliferaciones fitoplanctónicas y factores climáticos. Lo hace al informar sobre dos fenómenos de marea roja producidos por ciliados, frente a Concepción (36°40'S) y a Valparaíso (33°01'S) asociándolos con períodos previos de buen tiempo (Darwin 1839). El autor, después de hacer una detallada descripción de la morfología y comportamiento del organismo causante, agrega: "desde hace algunos días atrás el tiempo estaba muy tranquilo y el mar, digámoslo así, rebosaba de criaturas vivientes".

El mismo Darwin, basado en estas observaciones y en otras sobre discoloraciones del agua producidas por cianofíceas planctónicas en la costa de Brasil y por eufáusidos en la costa de Tierra del Fuego, plantea las primeras interrogantes sobre la distribución del plancton en manchones (patchiness) al escribir: "¿A qué se debe que los diferentes cuerpos que constituyen zonas de bordes definidos permanezcan reunidos?. Cuando se trata de crustáceos que se parecen a los camarones, nada tiene de extraordinario porque sus movimientos son tan regulares y tan simultáneos como los de un regimiento de soldados. Más esa reunión no puede atribuirse a un acto voluntario cuando se trata de óvulos o de confervas, ni tampoco es probable esa acción voluntaria en el caso de los infusorios".

El resto de la información sobre el fitoplancton marino de Chile que aparece en la literatura científica del siglo pasado y principios de este siglo, se refiere solamente a aspectos taxonómicos estudiados en base a muestras aisladas colectadas por expediciones científicas extranjeras que tocaron nuestras costas o por naturalistas que visitaron el país.

En el año 1936 se publica una de las contribuciones más importantes de la primera mitad de este siglo al conocimiento oceanográfico del mar chileno, cual es, el trabajo de Günther (1936) sobre la Corriente de Humboldt. En dicho trabajo se entregan los primeros antecedentes ecológicos del fitoplancton marino de Chile, al analizarse su distribución en relación a

la posibilidad de nutrientes y a los procesos de surgencia costera, en el área comprendida entre las proximidades de Arica (19°26'S) y Constitución (35°40'S). El autor menciona que los manchones de fitoplancton producidos por grandes proliferaciones de diatomeas tienen su origen cerca de la costa en las zonas de surgencia e incrementan su tamaño al ser arrastrados hacia el área oceánica. Observó que, por lo general, estas manchas estuvieron restringidas a la zona nerítica, pero frente a Caldera (27°06'S) y a Constitución se detectaron aún hasta más de 30 millas de la costa. Los géneros de diatomeas dominantes frente a Chile entre mayo y agosto de 1931 fueron: *Thalassiosira*, en Arica; *Chaetoceros* y *Corethron*, entre Antofagasta y Constitución, al que se agregó *Synedra* entre Pichidangui (32°00'S) y Constitución. Afuera de la zona de mayor densidad de fitoplancton del norte, entre Arica y Caldera, predominó el género *Planktoniella*.

Se observó una relación directa entre la concentración de fosfato y la biomasa fitoplanctónica. Las medidas volumétricas del fitoplancton sedimentado mostraron que en zonas ricas en fosfato las pescas de fitoplancton fueron mayores que en las zonas pobres en ese nutriente. Las zonas de intensa surgencia costera demostraron, primero, ser excepcionalmente ricas en fosfato, y después, ser capaces de soportar altas biomásas del fitoplancton. En Antofagasta y Constitución se registraron altas concentraciones de fitoplancton asociadas a intensas surgencias, en contraste a Arica y Pichidangui, en que se observó gran pobreza del fitoplancton asociada a bajas concentraciones de fosfato en superficie, debido a largos períodos previos de tiempo calmo. En Caldera también se observó baja concentración del fitoplancton, pero esta vez asociada a alto contenido de fosfato, como consecuencia de una surgencia reciente, que no dió tiempo a la consiguiente proliferación del fitoplancton.

En base a las observaciones anteriores y otras efectuadas en la costa peruana, el autor concluye que la permanencia de centros de surgencia sugiere que éstos configuran lugares persistentemente más fértiles que otras partes de la costa. La condición anterior, junto a la escasez del fitoplancton en cuñas de aguas más cálidas y sus puntos de convergencia con la costa, indicarían que la fertilidad de una localidad está relacionada a su posición respecto a los remolinos anticiclónicos. No obstante, la alta probabilidad de surgencias, aún en esos puntos de convergencia, sugieren que toda la costa es

potencialmente fértil. Después de casi medio siglo, estas conclusiones mantienen aún plena vigencia.

Finalmente Günther, al describir el color de la Corriente, asocia la presencia de "aguajes" o fenómenos de marea roja con incrementos bruscos de la temperatura del agua cerca de la costa. El autor afirma que en condiciones normales, estos cambios de color del agua se presentan en las zonas de convergencia de las cuñas de aguas cálidas con la costa, mientras que en condiciones anormales, se ubican en las zonas de contacto de aguas frías costeras con las aguas cálidas que avanzan hacia el sur durante los eventos de "El Niño". El autor plantea la posibilidad de que las discoloraciones observadas se deban principalmente a la presencia masiva de ciliados del género *Mesodinium*, hipótesis que posteriormente ha sido comprobada por numerosas observaciones de investigadores ecuatorianos, peruanos y chilenos (Veintimilla 1982, Rojas 1979, Avaria 1982). Asimismo, varias observaciones efectuadas en nuestras aguas y en otros mares del mundo, han demostrado que las máximas concentraciones de este ciliado se dan de preferencia en el límite entre las aguas surgentes y las aguas más oligotróficas que las rodean.

En años cercanos a la publicación del trabajo de Günther, aparecen dos importantes trabajos que, si bien tienen un enfoque eminentemente taxonómico, entregan importante información sobre la distribución de diatomeas del plancton marino de nuestras costas, incluyendo algunas consideraciones ecológicas generales sobre determinadas especies. Nos referimos a los trabajos de Hendey (1937) y de Krasske (1941), los cuales no pueden dejar de mencionarse en un análisis histórico de la fitoplanctología chilena.

En 1948, se publica la primera información de un investigador chileno sobre el fitoplancton de nuestras aguas marinas, en una nota científica que apareció en el primer número de la Revista de Biología Marina (Yáñez 1948). En este trabajo se hace el primer intento de caracterizar el ciclo anual del plancton en la bahía de Valparaíso, estableciéndose dos períodos de abundancia, en primavera-verano y en el mes de julio, alternados con dos períodos de escasez, en otoño-principio de invierno y en el mes de agosto. Además se entrega información preliminar sobre composición del fitoplancton de la bahía, afirmándose que está constituido principalmente por nueve géneros de diatomeas presentes comunmente en las muestras de red, encontrándose varios de ellos sólo en determinadas épocas del año.

En 1962 aparece en la literatura científica un nuevo aporte a la ecología fitoplanctónica de nuestras aguas cuando Sylva (1962), relaciona la presencia del dinoflagelado tecado **Prorocentrum micans** Ehrenberg con factores hidrológicos y biológicos controlados durante la Expedición Lou-Marron de la Universidad de Miami al norte de Chile. Del análisis de esos factores el autor concluye que, aproximadamente frente a la latitud de Iquique (20°S), el contacto de aguas oceánicas cálidas oligotróficas del norte, conteniendo el dinoflagelado, con aguas surgentes eutróficas procedentes del sur, crearon condiciones propicias para el crecimiento de **P. micans**. Pescas simultáneas de zooplancton y observaciones de fauna pelágica, permitieron afirmar que las proliferaciones del dinoflagelado fueron el origen de una trama alimentaria integrada por copépodos, larvas zoea, eufáusidos, anchovetas, bonitos, jibias, albacoras y marlines rayados.

Tres años más tarde se publica un trabajo sobre el fitoplancton de la bahía de Valparaíso (Avaria 1965) el cual, aunque tiene una orientación taxonómica, incluye algunas consideraciones ecológicas y datos de distribución geográfica y variación temporal de 68 especies y variedades de diatomeas y silicoflagelados. Este trabajo marca el inicio de la investigación sistemática del fitoplancton del mar chileno que, hacia fines de la década de 1960 y principios de la de 1970, fue seguido por trabajos similares realizados en la bahía de Concepción (Rivera 1969, Hermosilla 1972), San Antonio (Montecino y Lopehandía 1972) y Magallanes (Guzmán y Campodónico 1972) y por otros trabajos taxonómicos basados en el análisis de muestras colectadas por expediciones científicas nacionales (Meyer 1966, Meyer 1970, Avaria 1970, Orellana 1971), todos los cuales contribuyeron a incrementar el inventario de las especies del fitoplancton marino de Chile y a entregar nuevos antecedentes sobre su distribución espacial y temporal.

En los últimos diez años aumentó notablemente el número de publicaciones sobre el fitoplancton marino de nuestras aguas, duplicándose con respecto al de la década inmediatamente anterior, registrándose un total de 79 trabajos publicados en el período 1963-1983. Muchos de ellos entregan valiosa información sobre aspectos ecológicos de esta comunidad vegetal y su análisis nos permitió cumplir con el cometido de informar sobre el estado actual de la investigación sobre la ecología del fitoplancton marino de Chile y proponer algunas ideas sobre perspectivas de desarrollo de esta línea de investigación en nuestro país.

ASPECTOS ECOLOGICOS ABORDADOS EN LA INVESTIGACION FITOPLANCTONICA EN CHILE

La información existente sobre ecología del fitoplancton marino de Chile se analizó desde tres aspectos principales, a saber: distribución espacial, variación temporal, y mecanismos de regulación de las comunidades.

El análisis incluye algunas Tesis de Grado presentadas a las universidades chilenas en el período 1963-1983 y excluye algunas publicaciones y Tesis sobre pigmentos y producción primaria, tema que será tratado en otra sesión de este Simposio. Asimismo se excluyen del análisis las publicaciones sobre fitoplancton de la Antártica por considerarse que el ecosistema marino antártico, claramente delimitado por el frente polar, debe abordarse como un todo y no como una continuación natural del Pacífico Sur Oriental en lo que se refiere a la zona marítima correspondiente al Territorio Chileno Antártico.

Distribución espacial

Los primeros antecedentes de importancia sobre distribución geográfica del fitoplancton marino de Chile fueron proporcionados por Hendey (1937), quien en base a análisis de muestras verticales de red tomadas por el B/I "William Scoresby" en 16 estaciones situadas entre Arica y Constitución, y en una estación adicional efectuada cerca del Estrecho de Magallanes, citó 35 especies de diatomeas para la costa chilena.

Con anterioridad al trabajo de Hendey, figura en la literatura científica de principios de siglo sólo una referencia al fitoplancton marino de Chile, hecha por Zacharias (1906), quien en un estudio de muestras de plancton de los mares del Hemisferio Sur, citó 10 especies de diatomeas en una muestra tomada en la bahía de Valparaíso, en abril de 1904 y 7 especies de dinoflagelados en otra muestra colectada en la bahía de Antofagasta, en mayo del mismo año. Posiblemente, algunas de las especies de diatomeas descritas en el trabajo de Castracane (1886), provengan de muestras tomadas en algunas de las 12 estaciones que hizo el B/I "Challenger" en aguas chilenas, durante su navegación entre Juan Fernández y Valparaíso y en

nuestros canales australes, pero desgraciadamente el autor no entrega información sobre la situación geográfica en que se colectaron las especies por él determinadas.

Otro aporte importante a la distribución geográfica del fitoplancton marino de Chile lo hizo Krasske (1941) quien determinó 107 especies de diatomeas, de las cuales 45 eran planctónicas, en numerosas muestras neríticas de agua y fango tomadas entre los años 1935 y 1938, entre las latitudes de 33°S y 45°S. El mismo autor encontró 68 formas marinas, de las cuales 50 eran planctónicas, en un muestreo anterior realizado algo más lejos de la costa, entre las latitudes 19°40'S y 42°37'S. De ambos muestreos, Krasske seleccionó 32 especies de diatomeas comunes en el plancton marino de Chile, llamando la atención sobre su extraordinaria abundancia cerca de la costa y la notoria disminución y reemplazo por dinoflagelados en las estaciones más alejadas del litoral, como asimismo, de la presencia de 19 formas de aguas cálidas y sólo una forma antártica en las aguas frías del sur. Así también, hizo notar la presencia de numerosos taxa de agua dulce y enfatizó la importancia de las especies ticopelágicas en el plancton del sur de Chile, sin dar una interpretación a sus observaciones. El mismo autor había citado con anterioridad unas pocas especies planctónicas marinas en un estudio de la flora diatomológica chilena entre Concepción y Aysén (Krasske 1939).

Mención aparte merece la contribución de Günther (1936), quien en un enfoque más ecológico del problema, relacionó la distribución cuantitativa del fitoplancton con condiciones oceanográficas, entregando datos sobre la distribución de los géneros predominantes de diatomeas, en aguas neríticas y oceánicas del área comprendida entre Arica y Constitución, durante el invierno de 1931.

La información acerca de la distribución geográfica antes mencionada fue recopilada por Avaria (1965), quien entregó un cuadro con la distribución conocida a la fecha de las especies más comunes de diatomeas y silicoflagelados a lo largo de la costa de Chile, entre las latitudes 18°S y 56°S, consignando un total de 77 taxa.

Entre 1965 y 1970 se publicaron los primeros resultados de investigaciones fitoplanctónicas efectuadas en base a muestras colectadas por expediciones oceanográficas chilenas que, al igual que los trabajos antes mencionados, proporcionan información sobre distribución geográfica a través de

investigaciones más bien orientadas al conocimiento taxonómico antes que el estudio ecológico del fitoplancton.

En la zona norte y central de Chile se realizaron dos expediciones que incluyeron investigaciones fitoplanctónicas, cubriendo el área entre Arica y Valparaíso hasta 500 millas de la costa. Meyer (1970) dio a conocer la distribución de 42 especies de diatomeas, dinoflagelados, silicoflagelados y heterocontas en base a 43 muestras de agua colectadas durante la Expedición MARCHILE V en el verano de 1967. Por su parte, Orellana (1971), entregó la distribución cuantitativa de 119 especies de fitoplancteres con especial énfasis en el grupo de los dinoflagelados, en base a 165 muestras de red y agua colectadas por la Expedición MARCHILE VII, al término del verano de 1968. Esta información complementó a la entregada por Balech (1962), quien citó 77 especies de diatomeas y dinoflagelados en 4 muestras oceánicas de red, colectadas por la Expedición Downwind, entre Tocopilla ($21^{\circ}50'S$) y Valparaíso ($33^{\circ}01'S$), en el verano de 1957.

En la zona sur del país, Avaria (1970) citó 39 especies de diatomeas y dinoflagelados en 31 muestras de red colectadas por el B/M "Doña Berta" en la zona de los canales, entre Puerto Montt ($41^{\circ}29'S$) y Aysén ($45^{\circ}25'S$). Por su parte, Meyer (1966a, 1966b), cita 14 especies en siete estaciones situadas muy cerca de la costa chilena en un estudio sobre el fitoplancton del Paso de Drake ($56^{\circ}S$), en el verano de los años 1961 y 1962. Al terminar la década de 1960, Hasle (1969), en base a muestras colectadas por la Expedición Antártica del B/I "Brategg", realizada en el verano de 1947, citó 34 especies de diatomeas, dinoflagelados y cocolitofóridos en seis muestras oceánicas de red y agua, tomadas frente a la costa de Tierra del Fuego ($57^{\circ}S$). Más recientemente, Lembeye *et al.* (1978) citaron 64 especies componentes del fitoplancton, en muestras de red y agua colectadas por el B/I "Hero", en 29 estaciones situadas entre la entrada oriental del Estrecho de Magallanes y bahía Gente Grande ($53^{\circ}S$), en abril de 1976.

En el área oceánica comprendida entre las latitudes de $36^{\circ}S$ y $45^{\circ}S$ a lo largo del meridiano $92^{\circ}W$, Uribe *et al.* (1982) analizaron la composición del fitoplancton en relación a un contraflujo de la Deriva del Oeste. Se determinaron 95 especies de diatomeas y dinoflagelados en 11 muestras de plancton colectadas por el B/I "Melville" en el verano de 1979, de las cuales 26 especies conformaron el 90% de la concentración total de células. Estas se agrupan en tres comunidades

distintas: la primera en aguas subantárticas, al sur de una lengua de baja salinidad producto del contraflujo de la Deriva del Oeste, dominada por *Ceratium trichoceros* y otros dinoflagelados; la segunda, dominada por *Rhizosolenia bergonii* y otras diatomeas, ocupa la lengua misma, y la tercera, dominada por dinoflagelados, principalmente *Ceratium furca* y *C. gibberum*, se sitúa en el límite norte de la lengua, en la convergencia subtropical. La presencia de *Nitzschia longissima*, diatomea pennada, generalmente asociada a aguas neríticas someras, entregó evidencia de que el origen de la lengua de baja salinidad corresponde a una mezcla de aguas subantárticas superficiales con aguas costeras de precipitaciones atmosféricas. Este estudio biogeográfico del fitoplancton corroboró la evidencia física de la existencia de un contraflujo de la Deriva del Oeste obtenida en base a análisis de XBT.

Información complementaria sobre la distribución del fitoplancton marino en Chile se puede extraer de algunos trabajos más generales sobre biogeografía y de revisiones taxonómicas recientes de géneros y familias de fitoplancteres.

Los estudios biogeográficos del fitoplancton aportan información interesante sobre distribución de algunas especies de diatomeas en la costa chilena. Entre ellos cabe destacar los trabajos de Hasle (1972, 1976) sobre especies de los géneros *Nitzschia* y *Thalassiosira* y los de Semina (1971, 1972) y Belyaeva (1972, 1975) sobre distribución cuantitativa de especies de los géneros *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia* y *Ethmodiscus*. Existe además un estudio biométrico sobre el dinoflagelado *Ceratium tripos*, basado en muestras colectadas por la Expedición MARCHILE X en el invierno de 1980, que informa sobre la distribución de la especie en el área comprendida entre Arica y Valparaíso, hasta 200 millas de la costa (Uribe 1981).

Entre las revisiones taxonómicas cabe destacar el trabajo de Hasle y Heimdal (1970), quienes describen dos nuevas especies de *Thalassiosira* en aguas de la Corriente de Humboldt y, muy especialmente, el de Rivera (1981), quien en una revisión de las especies del género *Thalassiosira* en la costa chilena, describe una nueva especie y entrega datos sobre la distribución de otras 23, entre las latitudes 18°S y 56°S.

Esta visión general de los estudios sobre distribución geográfica del fitoplancton marino de Chile se puede completar

agregando numerosos trabajos efectuados en áreas restringidas, orientados a estudios taxonómicos o de variaciones temporales del fitoplancton en bahías y fiordos del litoral chileno, o alrededor de islas oceánicas, los cuales entregan listados de especies para cada localidad. Ellos son los trabajos efectuados en Antofagasta (Rodríguez 1982), Valparaíso (Avaria 1965, Muñoz y Avaria 1980, Avaria y Muñoz 1982), San Antonio (Montecino y Lopehandía 1972), Juan Fernández (Hermosilla 1973a), Concepción (Rivera 1969, Hermosilla 1973b, González 1982), Estero Castro en Chiloé (Hermosilla 1970) y Puerto Edén en Magallanes (Guzmán y Campodónico 1972). Finalmente cabe mencionar algunos trabajos efectuados en desembocaduras de ríos o áreas estuarinas que citan especies componentes del fitoplancton marino para la zona de Concepción (Rivera et al. 1973, Rivera y Arcos 1975, Rivera y Valdebenito 1979), Valdivia (Román 1977) y Chiloé (Toro y Winter 1982a, 1982b).

La totalidad de los trabajos mencionados consignan un total aproximado de 495 especies y variedades de fitoplancteres citados para aguas neríticas y oceánicas de Chile, entre Arica y el Cabo de Hornos.

En diciembre de 1980 se iniciaron, en el marco del Programa ERFEN-CHILE, una serie de investigaciones sistemáticas sobre el fitoplancton marino del norte de Chile con el objeto de conocer su composición, distribución y biomasa en relación a condiciones oceanográficas consideradas normales o típicas, para constatar posteriormente los cambios que experimentan las variables mencionadas bajo condiciones anómalas producidas por ocurrencias del fenómeno de "El Niño".

Los primeros resultados publicados permitieron entregar un conocimiento general del comportamiento del fitoplancton del norte de Chile en relación a condiciones oceanográficas consideradas normales.

Avaria et al. (1982) analizan 189 muestras de red y agua colectadas en diciembre de 1980 durante la Expedición MARCHILE XI-ERFEN II que cubrió el área comprendida entre Arica (18°28'S) y Los Vilos (31°30'S) hasta 200 millas de la costa. Los autores identificaron 143 especies pertenecientes a diferentes grupos taxonómicos, de las cuales 62 se citaban por primera vez para el área de estudio. Se apreció que en el área nerítica existe amplia dominancia de diatomeas con una variación latitudinal marcada de las especies predominantes, mientras que en el área oceánica dominan los dinoflagelados. Las

especies neríticas más comunes fueron: *Nitzschia pseudoseriata*, *Chaetoceros compressus*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia imbricata* var. *shrubslei*, *Ceratium tripos* f. *tripodioides* y *Diplopsalis lenticula*, y las oceánicas fueron: *Ceratium gibberum* var. *dispar*, *C. contortum* var. *karstenii*, *C. contrarium*, *Dinophysis rapa*, *Chaetoceros dadayi* y *Ch. coarctatus*. La mayor densidad del fitoplancton se concentra en los primeros 10 metros de profundidad de una franja costera de aproximadamente 15 millas de ancho, donde se registraron valores de densidad de células superiores a 100 cél/ml y de biomasa sobre los 10 g/m², la que contrasta con una zona de baja producción, afuera de las 40 millas, con valores inferiores a 10 cél/ml y 1 g/m². De Antofagasta al norte, las máximas concentraciones de fitoplancton estuvieron asociadas con aguas ecuatoriales subsuperficiales y las menores concentraciones con aguas subtropicales.

Avaria y Muñoz (1983) corroboran y complementan la información anterior al analizar 97 muestras de red y agua colectadas en mayo de 1981 por la Expedición MARCHILE XII-ERFEN III efectuada en el área comprendida entre Arica (18°28'S) y Chañaral (26°20'S) hasta 200 millas de la costa. Los autores citaron 43 nuevas especies para el área de estudio y entregan una distribución cuantitativa del fitoplancton similar a la descrita para diciembre de 1980, agregando que no existen diferencias notables entre el fitoplancton de primavera y el de otoño, observándose cierta similitud en la composición específica y distribución de la biomasa en ambos período con cambios en las especies dominantes y una leve superioridad de los valores de densidad de células y biomasa registrados en primavera con respecto a los de otoño. Además de las especies que fueron comunes en diciembre de 1980, se presentaron en gran frecuencia y cantidad: *Rhizosolenia alata* f. *indica* y *Ceratium fusus* v. *seta*, en el área nerítica, y *Rhizosolenia castracanei* y *Ceratocorys horrida*, en el área oceánica.

La presencia de uno de los fenómenos de "El Niño" más intenso del presente siglo en diciembre de 1982, permitió apreciar los cambios producidos en la composición y biomasa del fitoplancton del norte de Chile por efectos de dicho fenómeno oceanográfico.

Resultados preliminares del análisis de muestras colectadas por la Expedición MARCHILE XIV-ERFEN V, en diciembre de 1982, cubriendo la zona entre Arica a Chañaral hasta 180 millas de

la costa, permitió apreciar una gran diferencia en la composición de especies y distribución del fitoplancton con respecto a lo observado en las Expediciones MARCHILE-ERFEN inmediatamente anteriores (CPPS 1983).

El fitoplancton se caracterizó por el predominio de las diatomeas cerca de la costa y de los dinoflagelados en el área oceánica pero, a diferencia de lo observado en los cruces efectuados en 1980 y 1981, la dominancia de diatomeas se restringió a una zona extremadamente nerítica y la densidad del fitoplancton fue notoriamente inferior a la registrada con anterioridad.

Exceptuando Arica, donde en estaciones muy costeras dominaron diatomeas y dinoflagelados típicamente neríticos, como: *Nitzschia pseudoseriata*, *Chaetoceros compressus*, *Detonula pumila*, *Diplopsalis lenticula* y *D. minor*, en las estaciones costeras desde Iquique a Antofagasta se registró alta frecuencia de dinoflagelados de aguas cálidas que en los cruces anteriores se encontraron en muestras tomadas afuera de las 40 millas de la costa. Entre éstos destacaron: *Pyrophacus steinii*, *Ceratium gibberum* var. *dispar*, *C. vultur*, *Ceratocorys horrida*, *Pyrocistis fusiformis* y *Dissodinium gerbaultii*.

Frente a Tocopilla y Antofagasta estos dinoflagelados oceánicos fueron francamente dominantes en el fitoplancton nerítico y diatomeas típicamente oceánicas, como: *Ethmodiscus gazellae*, *Chaetoceros coarctatus* y *Planktoniella sol*, se acercaron en gran cantidad hasta 10 millas de la costa.

Frente a Chañaral se recuperó el fitoplancton característico de condiciones normales, observándose el predominio de pocas diatomeas proliferantes en la costa y la dominancia de gran diversidad de dinoflagelados en el área oceánica. También frente a Chañaral se observó una normalización en las condiciones oceanográficas registradas en diciembre de 1982, las que presentaron anomalías al norte de Chañaral manifestadas por un calentamiento del agua con una desviación de 3°C sobre la media de verano, coincidente con una mayor cobertura de la zona por salinidades típicamente subtropicales (Com. pers. Prof. N. Silva, Universidad Católica de Valparaíso).

Los antecedentes expuestos permiten afirmar que la estructura del fitoplancton del norte de Chile en diciembre de 1982 no fue normal para la época del año ni para el área de estudio,

evidenciándose como factores más indicativos de esta anomalía la menor densidad del fitoplancton, la dominancia de diatomeas restringida a una franja costera de sólo dos o tres millas de ancho y la abundancia y amplia distribución de especies de diatomeas y de dinoflagelados de aguas cálidas en el plancton nerítico, entre las que sobresalen *Pyrophacus steinii* y *Ethmodiscus gazellae*, considerados como eventuales indicadores de la presencia de "El Niño" en el norte de Chile.

El seguimiento de la distribución de las especies más frecuentes de diatomeas y dinoflagelados de aguas cálidas, mediante muestreos realizados entre Arica y Chañaral en febrero-marzo, mayo-junio y agosto-septiembre de 1983, complementados con estudios del ciclo anual del fitoplancton en estaciones seleccionadas en el área, nos permitirá afinar la elección de elementos del fitoplancton como indicadores biológicos de "El Niño" en la costa chilena. Además, todas las investigaciones sobre el fitoplancton marino realizadas en el marco del Programa ERFEN-CHILE, contribuirán al incremento del conocimiento sobre la distribución espacial del fitoplancton, dando un enfoque más ecológico al que tuvieron estas investigaciones en Chile hasta el año 1980.

Variaciones temporales

Las investigaciones sobre variaciones temporales del fitoplancton marino de Chile, han sido generalmente complementarias a estudios de carácter más bien taxonómico realizados en algunas bahías de nuestro litoral. Estas investigaciones se limitan a describir variaciones estacionales en la abundancia relativa de las principales especies, agregando una apreciación cualitativa de las variaciones que experimenta el total del fitoplancton en el tiempo, sin entrar a explicar los factores causales de tales variaciones. Los estudios se han realizado en las bahías de Arica, Antofagasta, Valparaíso, San Antonio, Concepción y en el Estrecho de Magallanes, siendo los más completos los efectuados en la bahía de Valparaíso, donde además de los estudios taxonómicos, se han realizado investigaciones ecológicas sobre el fitoplancton del área.

El problema de la variación del fitoplancton en el tiempo es abordado en forma sistemática en la bahía de Valparaíso a

partir de 1963, al iniciarse una serie de investigaciones que perseguían obtener un conocimiento ecológico general del fitoplancton en la bahía y, en especial, sobre su evolución cuantitativa a lo largo del año.

El primer trabajo efectuado por Avaria (1965) inició el inventario de las especies de diatomeas y silicoflagelados de la zona y consideró los cambios cualitativos del fitoplancton a través del año. Este primer estudio se basó en colectas, mediante arrastre superficial de red, inicialmente quincenales y, posteriormente semanales, realizadas entre julio de 1963 y julio de 1964, en una estación fija situada a dos millas de la costa frente a la playa de Reñaca ($32^{\circ}58'S$; $71^{\circ}35'W$).

A fin de obtener una visión general de las variaciones de las diferentes especies, el autor realizó recuentos relativos en cada oportunidad que se efectuaban tomas de muestras, utilizando una escala para calificar la frecuencia de las especies en las muestras analizadas.

Como resultado de este trabajo, se identificaron y describieron 60 especies y 5 variedades de diatomeas y dos especies y una variedad de silicoflagelados. Se observó en general, que el fitoplancton de la bahía es muy abundante, con predominio de diatomeas y escasa cantidad de dinoflagelados y silicoflagelados. El ciclo anual fue caracterizado, consignándose dos períodos de abundancia fitoplanctónica: un período largo de septiembre a mayo y uno corto durante la segunda quincena de julio; alternados con dos períodos de pobreza: uno largo, de mayo a mediados de julio, y uno corto, durante agosto y principios de septiembre.

El fitoplancton de verano se describió como muy rico, homogéneo y con abundantes especies que se presentan en masa. El fitoplancton de invierno fue calificado como muy pobre, heterogéneo y, a menudo, con presencia de especies ticipelágicas. En primavera y otoño se observó un fitoplancton de transición.

Las especies más comunes, que se distinguieron por su frecuencia y abundancia a través de todo el año, fueron: *Skeletonema costatum*, *Biddulphia longicruris*, *Nitzschia pseudoseriata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Detonula pumila* y *Thalassiosira aestivalis*.

Las especies más características del verano fueron: *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros didymus* y

Dictyocha fibula; y en invierno: *Biddulphia longicruris* y *Dictyocha speculum*.

Continuando los estudios iniciados en 1963, con posterioridad, se analizaron dos ciclos anuales, considerados entre julio de 1964 y julio de 1966, basados en muestras colectadas semanalmente en la misma estación fija antes citada (Avaria 1971).

En este nuevo trabajo se expusieron los resultados de ambos ciclos y se comparó cada uno con el período 1963-64, a fin de alcanzar un panorama general de las variaciones del fitoplancton durante tres años consecutivos. No obstante, por no contarse con datos suficientes sobre las variables abióticas que afectan al fitoplancton, el trabajo mantuvo la línea descriptiva del inicial, sin pretender la determinación de factores causales de los cambios observados en éste. Como resultado de este estudio, se determinaron aspectos globales de las comunidades fitoplanctónicas, sucesión estacional e influencia de la temperatura sobre las especies más comunes en la bahía.

Se pudo establecer que, en general, el ciclo anual corresponde al ciclo característico de los mares templados, aún cuando hay variaciones entre los tres períodos analizados.

Se identificó un incremento o proliferación de primavera que se inicia entre septiembre y octubre y que conduce a un máximo de abundancia en los meses de verano, probablemente asociado a procesos de surgencia costera. El florecimiento de otoño se presenta en abril o mayo seguido del largo período de pobreza característico de invierno. Este ciclo definido por la abundancia relativa, claramente importa una simplificación respecto del determinado en el primer trabajo.

Por otra parte, se estableció que de las 81 especies y variedades de diatomeas y silicoflagelados identificadas, sólo 21 juegan un rol importante en el fitoplancton de la bahía, siendo las más características: *Biddulphia longicruris*, *Skeletonema costatum*, *Detonula pumila* y *Chaetoceros debilis*. En los tres años se repitió una clara sucesión de poblaciones, constatándose una etapa en la que dominan especies grandes, relativamente abundantes, tales como *Biddulphia longicruris*, *Corethron criophilum*, *Chaetoceros decipiens* y *Thalassiosira aestivalis*; en la siguiente, dominan las especies pequeñas muy abundantes, del género *Chaetoceros*, tales como: *C. socialis*, *C. cinctus*, *C. compressus* y una población de dinoflagelados

que se manifiesta al decaer las especies del género indicado. La tercera etapa se caracteriza por la presencia de diatomeas grandes presentes en forma muy abundante, tales como: *Detonula pumila*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia pseudoseriata* y *Thalassiosira aestivalis*.

Se determinó que la aparición de los dinoflagelados estuvo relacionada con el aumento brusco de la temperatura del agua, y que la presencia de especies presentes en forma masiva, ocurre en primavera, principios de verano y, en menor grado, en parte del otoño.

La aparición de las mismas especies en las mismas épocas de los diferentes años analizados, permitió establecer dos tipos de comunidades en el fitoplancton: una comunidad otoño-invierno, caracterizada por un fitoplancton pobre en cantidad, pero rico en variedad de especies, dominado por *Biddulphia longicruris*, *Biddulphia longicruris* var. *hyalina*, *Chaetoceros constrictus*, *C. convolutus* y *C. criophilus*; y una comunidad primavera-verano, caracterizada por un fitoplancton muy abundante con poca variedad de especies, algunas de ellas presentes en forma masiva, y dominado por *Detonula pumila*, *Thalassiosira aestivalis*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros debilis* y *C. socialis*.

Con posterioridad se inician los estudios cuantitativos del fitoplancton en la bahía de Valparaíso al analizarse el período comprendido entre octubre de 1970 y octubre de 1971 (Avaria 1975). Las tomas de muestras semanales se efectuaron en la misma estación considerada anteriormente, en superficie y a las profundidades de 5, 10, 20 y 30 metros. En los análisis cuantitativos se utilizó el recuento de células por especie, empleándose el método de Utermöhl (1958). Asimismo, se incorporó el análisis de la concentración de clorofila "a", siguiendo a Strickland y Parsons (1968). El ciclo anual se caracterizó por un período de gran abundancia fitoplanctónica (noviembre-abril) que coincide con la mayor frecuencia e intensidad de los vientos del tercer cuadrante, seguido de otro de baja actividad del fitoplancton (mayo-octubre) en que predominan las calmas y los vientos del cuarto cuadrante. En el primer período se detectaron varios florecimientos, ocurriendo el primero y de mayor importancia en primavera, y el resto en el verano y otoño. En el segundo período se observa en general una extrema pobreza del fitoplancton.

La composición del fitoplancton se caracterizó por un amplio

dominio de las diatomeas sobre los demás grupos, destacándose las especies: **Detonula pumila**, **Chaetoceros debilis**, **Thalassiosira aestivalis** y **Climacodium biconcavus**.

La diversidad específica fue baja en general, 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.

Habiéndose estudiado por primera vez la distribución vertical del fitoplancton en la capa de superficie a 30 metros, se observó que ella es relativamente uniforme a través del año, concentrándose la mayor densidad de células entre superficie y 10 metros, notándose marcados gradientes sólo durante las grandes proliferaciones de primavera-verano. La profundidad de compensación, estimada a partir de mediciones con disco de Sechii, varía entre un mínimo de 5 metros, durante el florecimiento primaveral, y un máximo de 47 metros, en el período invernal, con un promedio anual de 21 metros.

Un nuevo estudio, esta vez del período 1972-73, incorporó un análisis de vientos basado en tres registros diarios en la escala de Beaufort (Avaria & Orellana 1975). En este caso, se observaron también las dos fases del ciclo antes determinadas. La primera, de fines de abril a principios de octubre, caracterizada por una baja actividad fitoplanctónica y asociada con calmas y vientos del cuarto cuadrante. La segunda, de principios de octubre a fines de abril, se caracterizó por altas concentraciones de fitoplancton con fuertes pulsos en primavera, verano y otoño, coincidentemente con el predominio de vientos del tercer cuadrante.

Junto con la coincidencia observada en las fluctuaciones cuantitativas respecto de los ciclos analizados en los años anteriores, se corroboró el predominio de las especies **Detonula pumila**, **Leptocylindrus danicus** y algunas especies pequeñas del género **Chaetoceros**. Entre los dinoflagelados destacaron **Ceratium furca**, **C. tripos** y **Diplopsalis lenticula**. El fitoplancton de primavera-verano fue homogéneo, y más heterogéneo el de otoño-invierno. El índice de diversidad específica arrojó los más altos valores en el último período indicado, oscilando a través del año en el rango de 0.6 a 3.3 bits/cél. En este ciclo se verificó una distribución

vertical muy similar al período anterior, observándose también coincidencias en las variaciones de la profundidad de compensación.

Al comparar y resumir los ciclos 1970-71 y 1972-73, analizados cuantitativamente, se observó coincidencia respecto a los períodos de actividad fitoplanctónica. El primero de alta actividad, con una duración de 7 meses, en primavera-verano y otro de baja actividad, durante 5 meses, en otoño-invierno, con diferencias interanuales en los valores de biomasa fitoplanctónica. La distribución vertical es similar en ambos períodos con máximas concentraciones de células de superficie a 10 metros de profundidad, observándose que los gradientes son más acentuados durante los florecimientos de primavera-verano.

Con el fin de precisar las características y los factores que regulan la proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso, se desarrolló con posterioridad, un estudio acerca de la dinámica de las comunidades fitoplanctónicas en relación con algunas variables meteorológicas y oceanográficas. En un primer trabajo, se estableció el comportamiento de dichas variables (Alvial & Avaria 1981), a objeto de relacionarlo, en un segundo estudio, con las fluctuaciones observadas en el fitoplancton (Alvial & Avaria 1982); todo ello, en el período comprendido entre el 1º de septiembre y el 29 de diciembre de 1977. Ambos estudios contribuyeron fundamentalmente al esclarecimiento de los mecanismos de regulación de las fluctuaciones del fitoplancton en el área.

Como resultado de estas investigaciones, se concluyó que las fluctuaciones cuantitativas del fitoplancton en el tiempo tuvieron carácter oscilatorio, estableciéndose seis pulsos fitoplanctónicos, tres de los cuales se consideraron principales en razón de su magnitud. Estos pulsos se relacionaron con períodos breves de estabilidad en la columna de agua, en tanto los pulsos menores se asociaron con períodos de inestabilidad. La declinación más drástica en la abundancia fitoplanctónica se relacionó con un período prolongado de estabilidad. En base a estas observaciones se concluyó que la regulación cuantitativa de las poblaciones es ejercida indirectamente por el viento y directamente por la estabilidad de la columna de agua.

No nos detendremos en el análisis de los factores y mecanismos de regulación, por cuanto serán tratados con mayor detalle más adelante.

Por otra parte, tanto los resultados del análisis factorial de correspondencias aplicado, así como los bajos valores de diversidad específica obtenidos, permitieron establecer el predominio en el tiempo y en la columna de agua de una "comunidad de surgencia", lo cual fue concordante con la prevalescencia de las condiciones de afloramiento. Esta comunidad fue detectada en períodos de surgencia intermitente, siendo su presencia correspondiente con condiciones de inestabilidad y con lapsos relativamente cortos de estabilidad, que no alcanzan a modificar significativamente el habitat para su sustitución. Sin embargo, el sostenimiento de condiciones de estabilidad en la columna, estimuló una rápida sucesión fitoplanctónica, observándose que la comunidad de surgencia fue gradualmente avanzando hasta la consolidación de una comunidad de dinoflagelados. Se observó también que, otro factor que indujo modificaciones significativas en la composición fitoplanctónica derivó de la acción de viento intenso del Norte, el que junto con interrumpir la surgencia, implicó una penetración de aguas oceánicas superficiales con predominio de especies del género *Rhizosolenia* que constituyeron lo que se denominó una "comunidad oceánica".

De acuerdo con las características de las comunidades en la sucesión y con las modificaciones ambientales que la estimulan, se determinó que ésta es correspondiente con un gradiente r-k, en el cual se manifiesta el extremo cuantitativo en condiciones de inestabilidad o surgencia, y el cualitativo, durante el desarrollo de una estabilización creciente.

Las mayores densidades de células se observaron entre superficie y 10 metros, concentrándose como promedio en esa zona un 80% del fitoplancton total de la columna que alcanza hasta 30 metros.

En los períodos de afloramientos se registró un alto porcentaje de células en los niveles superficiales, lo que se modifica en condiciones de estabilidad de la columna, para dar paso a una distribución más homogénea en sus inicios, o aún con máximos a 20 y 30 metros al sostenerse la estabilidad por algún tiempo. Los dinoflagelados predominantes en este último caso, por su movilidad, superan la decantación progresiva y se desplazan en la columna en busca de condiciones óptimas para su desarrollo. El predominio de los afloramientos en primavera, posibilita un esquema de distribución con tan altas concentraciones entre superficie y 10 metros; más aún si se considera que en la mayor parte del tiempo dominan

ampliamente las diatomeas. La acción conjunta de los procesos frecuentes de surgencias y mezclas proveen a la zona eufótica no sólo de células, sino también de nutrientes, lo que hace que las condiciones sean óptimas para una alta producción en esta zona, ordinariamente restringida en primavera.

Avaria & Muñoz (1982), trabajando en seis estaciones situadas en el área norte de la bahía de Valparaíso durante 1979, analizan la estructura del fitoplancton enfatizando la incidencia de las diferentes especies en la biomasa total del área y discuten la relación existente entre las proliferaciones fitoplanctónicas y el comportamiento de algunas variables abióticas. Es interesante destacar que este estudio, por primera vez, permitió verificar que en el área norte de la bahía no existen grandes variaciones espaciales, por efecto de una distribución de tipo agrupada o en parches del fitoplancton, demostrando que la información obtenida anteriormente en base a muestreos periódicos intensivos en una estación fija, es proyectable a toda esa área.

Como resultado de esta investigación, se observó una respuesta de incremento del fitoplancton a la mezcla vertical registrada en los primeros 30 metros de la columna de agua, con un retardo de aproximadamente quince días, con la sola excepción de una proliferación monoespecífica de un dinoflagelado causante de marea roja, asociada a un hundimiento de las isolíneas y fuerte estratificación térmica.

En general, la relación fitoplancton-variables abióticas reforzó los resultados obtenidos en investigaciones anteriores sobre el ciclo anual (Avaria 1975, Avaria & Orellana 1975), sin aportar mayores antecedentes sobre el particular que los ya discutidos en Alvial & Avaria (1981, 1982).

En esta investigación se observó una clara sucesión de especies a lo largo del año, dominando: *Chaetoceros socialis*, *Leptocylindrus danicus* y *Detonula pumila*, en el período primavera-verano, y *Chaetoceros compressus*, *Rhizosolenia delicatula* y *Prorocentrum micans*, en el período de otoño-invierno.

Se estableció que durante todo el año los máximos valores de densidad celular se encuentran generalmente entre 5 y 10 metros de profundidad debido a la influencia de las turbulencias predominantes que favorecen el mantenimiento de las poblaciones fitoplanctónicas en las zonas más superficiales. Sólo escapó de este esquema general, la gran proliferación

de *Prorocentrum micans*, que aconteció con altos valores en superficie. En este último caso influyó la hora del muestreo, cerca del mediodía que permitió encontrar altas concentraciones del dinoflagelado en los primeros metros de la columna de agua, debido a migraciones nictimerales condicionadas por su fototactismo positivo.

En base a todos los antecedentes analizados sobre el problema de las variaciones temporales del fitoplancton en la bahía de Valparaíso, puede concluirse que el ciclo anual corresponde al esquema general de fluctuación característico de los mares templados, modificado durante primavera-verano debido a la mayor frecuencia de los procesos de surgencia, observándose considerables diferencias interanuales respecto a los valores absolutos de abundancia.

Dicho ciclo, se caracteriza por presentar básicamente dos períodos, uno de alta producción, correspondiente a primavera-verano, y que se extiende por aproximadamente siete meses, asociado a surgencias intermitentes e intensificación de los vientos del tercer cuadrante, presentándose un fitoplancton homogéneo y con claro predominio de especies de diatomeas pequeñas; y otro de baja producción, correspondiente a otoño-invierno, con una extensión de aproximadamente cinco meses, asociado a una mayor estabilidad en la columna de agua, calmas y vientos del cuarto cuadrante, y en el cual el fitoplancton presenta mayor diversidad y son más significativas las especies de diatomeas grandes y los dinoflagelados.

Respecto de la distribución vertical, se puede establecer que la mayor concentración de células se registra, en general, entre superficie y 10 metros, acentuándose en los períodos de afloramientos de primavera-verano. Este esquema se modifica como consecuencia de un proceso de estabilización sostenida y en condiciones que dominan los dinoflagelados, los cuales se desplazan en la columna en procura de condiciones óptimas para su desarrollo.

Se concluye asimismo que es posible verificar sucesiones de comunidades rápidas, consecuentes con cambios ambientales que implican una estabilización creciente de la columna de agua luego de períodos de afloramientos intensos.

En general el fitoplancton presenta un amplio dominio de las diatomeas, siendo especialmente significativas por su persistencia y contribución cuantitativa: *Detonula pumila*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia pseudoseriata*,

Chaetoceros debilis, Thalassiosira aestivalis, y Chaetoceros socialis.

Además de los trabajos publicados sobre las variaciones temporales del fitoplancton de la bahía de Valparaíso, existen en la literatura científica nacional varios trabajos efectuados en otras áreas neríticas restringidas de la costa chilena que aportan un conocimiento valioso sobre el tema.

Pinto et al. (1978) estudiaron las variaciones de la biomasa planctónica en la bahía de Arica ($18^{\circ}29'S$; $70^{\circ}19'W$), entre mayo y octubre de 1977, en base a muestras colectadas en dos estaciones visitadas quincenalmente, exceptuando el mes de julio. El fitoplancton, constituido por 9 géneros de diatomeas y tres de dinoflagelados, estuvo ampliamente dominado por el género *Nitzschia* representado mayoritariamente por la especie *N. pseudoseriata*. Durante el mes de junio alcanzó además importancia el género *Gymnodinium* debido a una proliferación de *G. splendens*, especie causante de un fenómeno de marea roja de corta duración. La biomasa fitoplanctónica fue muy baja entre mayo y principios de septiembre, con valores inferiores a 0.2 mg/l, y alcanzó un máximo de 0.8 mg/l a fin de septiembre, al empezar la proliferación de primavera de 1977.

Rodríguez (1982), en un estudio taxonómico del fitoplancton de la bahía de Mejillones del Sur ($23^{\circ}05'S$; $70^{\circ}30'W$), efectuado en base a muestras verticales de red, colectadas mensualmente en tres estaciones, durante los períodos de mayo a diciembre de 1966 y de junio a julio de 1967, determinó que el fitoplancton del área muestra un predominio de las diatomeas sobre los demás grupos, los cuales estuvieron escasamente representados. Durante el otoño la cantidad y diversidad de especies fue muy baja, aumentando progresivamente en invierno para alcanzar su máxima expresión en primavera. No existen datos del verano. Las diatomeas más importantes, debido a su continua permanencia en el plancton fueron: *Cerataulina pelagica*, *Corethron criophilum*, *Nitzschia closterium* y especies pequeñas del género *Chaetoceros*. Entre los dinoflagelados destacaron *Prorocentrum micans* y *Ceratium furca*, especies que parecen ser endémicas en la bahía.

Montecino y Lopehandía (1972) aportan información interesante sobre el ciclo anual del fitoplancton de la bahía de San Antonio ($33^{\circ}34'S$; $71^{\circ}37'W$), en un estudio de las diatomeas predominantes del área, basado en muestras colectadas mensualmente mediante arrastres horizontales y verticales de red,

desde noviembre de 1967 a diciembre de 1968, en una estación fija situada en el centro de la bahía. Los autores observaron que durante el período invernal el fitoplancton fue muy escaso incrementándose notablemente en el período septiembre-enero. La composición de especies y su variación temporal es similar a la de la bahía de Valparaíso, destacándose en San Antonio la alta frecuencia de *Skeletonema costatum*, de *Nitzschia pseudoseriata* y de especies pequeñas del género *Chaetoceros*, en primavera; *Eucampia cornuta*, *Chaetoceros teres* y otras especies grandes del género *Chaetoceros*, en verano, y *Chaetoceros convolutus* y *Corethron criophilum*, en otoño-invierno. La diatomea *Skeletonema costatum* se distinguió por su presencia en el plancton durante todo el año.

Rivera (1969) en un estudio taxonómico sobre las diatomeas de la bahía de Concepción ($36^{\circ}40'S$; $73^{\circ}02'W$), entrega el primer aporte al conocimiento del ciclo anual del fitoplancton del área, determinando 93 especies y variedades de diatomeas, entre las cuales solamente 17 juegan un rol importante en la bahía, debido a su continuidad de permanencia en el plancton y gran abundancia durante el período primavera-verano. Otras 30 especies y variedades tienen una incidencia secundaria por sus apariciones esporádicas y en baja concentración durante el período estudiado. En un análisis cuantitativo aproximado de la densidad del fitoplancton, basado en promedios mensuales de volumen sedimentado en probeta, se observaron dos períodos de abundancia: el primero de agosto a diciembre, con valores entre 30 y 60 cc, y el segundo entre enero y marzo, con un valor máximo de 112,6 cc en febrero. Ambos períodos se alternan con otros dos de pobreza: el primero en diciembre con valores de 18.1 cc y el segundo entre marzo y agosto con valores inferiores a 8.8 cc por arrastre de red.

En el mismo período anterior, Hermosilla (1972), en un estudio sobre la variación estacional de dinoflagelados y tintfnidos de la bahía de Concepción, observó que los dinoflagelados nunca llegaron a dominar en el fitoplancton de la bahía. Estos presentan su mayor frecuencia y diversidad en verano, cuando la temperatura del agua alcanza sus máximos valores, distinguiéndose por su abundancia las especies *Protoperidinium claudicans* y *P. conicum*.

González (1982), complementa la información sobre variaciones estacionales del fitoplancton marino de la zona de Concepción, analizando las fluctuaciones cualitativas del fitoplancton de bahía Coliumo ($36^{\circ}32'S$; $72^{\circ}57'W$), durante el

período otoño-invierno de 1981. El autor observó una gran diversidad de especies de las cuales muy pocas alcanzan significatividad en términos de abundancia o biomasa, determinando que *Skeletonema costatum* es la especie representada con mayor frecuencia en las muestras. Asimismo observó un amplio predominio de las diatomeas sobre los dinoflagelados, con una marcada influencia de especies de agua dulce en la composición del fitoplancton de la bahía.

Más al sur de Concepción no se han realizado estudios sobre ciclos anuales del fitoplancton marino, pero existe un trabajo de Guzmán y Campodónico (1972) que describe la variación del fitoplancton de red en Puerto Edén, Magallanes (49°08'S; 74°27'W), en base a muestras colectadas diariamente entre el 26 de marzo y el 2 de abril de 1981. Durante el mencionado período el fitoplancton no experimentó variaciones notables, caracterizándose por su alta densidad y la dominancia de *Thalassiosira aestivalis* y *Coscinodiscus perforatus* sobre otras 51 especies de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados. Los valores de diversidad oscilaron entre 2,59 y 3,07 bits por célula, considerados normales para áreas neríticas de relativa productividad.

Mecanismos de regulación de las comunidades

El trabajo de Avaria (1971) marcó el término de la fase de investigaciones descriptivas sobre la fluctuación del fitoplancton en la bahía de Valparaíso, al destacar que la información obtenida serviría de base para iniciar estudios cuantitativos en relación a los factores primarios que actúan directamente sobre el fitoplancton de la zona. En efecto, en la segunda mitad de 1967 se inició un estudio tendiente a conocer las condiciones físicas y químicas de las aguas de la bahía de Valparaíso desde el punto de vista de la ecología fitoplanctónica. Pizarro (1973) estudió la distribución anual de la temperatura superficial del mar en base a registros diarios de 11 años, y la distribución anual de la radiación solar en base a 10 años de registros, estimándola a partir de las horas de sol. Como resultado de esta investigación, se asociaron las anomalías de temperatura superficial negativas con supuestos afloramientos inducidos por vientos del sur y suroeste, en tanto las anomalías positivas de la temperatura se relacionaron con períodos de calmas y vientos del norte y noroeste,

suponiéndose que estos últimos producen la acumulación de aguas superficiales oceánicas en la costa. Asimismo, se observó que entre fines de agosto y principios de septiembre se produce un brusco aumento en la frecuencia de los vientos del suroeste, que ocasiona el afloramiento y despeja el cielo de nubes, estimándose que esta última circunstancia aumenta, además, las horas efectivas del sol. Se señaló que estos hechos podrían ser los responsables de la proliferación de primavera del fitoplancton, detectada en los estudios anteriores.

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; se estimó la distribución teórica de esta última, concluyéndose que la parte fundamental de la producción fitoplanctónica es soportada por los niveles de 5 y 10 metros de profundidad.

Los trabajos de Avaria (1975) y Avaria & Orellana (1975) corroboraron posteriormente, en el estudio de dos ciclos anuales, la correspondencia entre una baja actividad fitoplanctónica y el predominio de calmas y vientos del cuarto cuadrante, durante otoño-invierno; y la relación entre grandes florecimientos con el predominio de vientos del tercer cuadrante, durante el período de primavera-verano. En estas investigaciones, se demostró también que las máximas concentraciones de células se ubican en 5 y 10 metros de profundidad.

Ramírez (1975) detectó, en un estudio sobre las variaciones estacionales de los pigmentos fitoplanctónicos analizados frente a Valparaíso, un enriquecimiento de las aguas superficiales por condiciones de surgencia, el cual produce un activo crecimiento de las poblaciones del fitoplancton, las que alcanzan su máximo desarrollo a mediados de septiembre. Con posterioridad, Ramírez & Uribe (1976) determinaron frente a Punta Curaumilla, zona adyacente a la bahía de Valparaíso, un ascenso de aguas ricas en fosfato, lo que motivó una alta producción primaria entre superficie y 20 metros de profundidad.

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 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.

Continuando con las investigaciones dirigidas a conocer las condiciones físicas y químicas de las aguas de la bahía de Valparaíso, Pizarro (1976), analizando salinidad, temperatura, estabilidad, oxígeno disuelto y concentración de fosfato y nitratos, concluyó que la actividad del fitoplancton en esta zona es regulada básicamente por dos factores fundamentales, la estabilidad de la columna de agua y los vientos del oeste. Por otro lado, señaló que la intensa radiación solar, especialmente en los meses de verano, desarrolla una pycnoclina que aísla la capa superficial del estrato inferior. En base a estos elementos, y no obstante no disponer de registros simultáneos del fitoplancton, el autor propuso un primer esquema de regulación para explicar las variaciones cuantitativas de éste en la bahía. Pizarro sostuvo que la actividad del fitoplancton en la capa superficial produce una disminución de los elementos nutrientes y, si éstos no son reemplazados en virtud de procesos de afloramientos, dada la fuerte estabilidad vertical, pueden llegar a agotarse, deteniéndose la actividad vegetal. Agregó que en el período primavera-verano, este proceso ocurre con cierta frecuencia en vista de que se presentan vientos favorables a las surgencias, las que posibilitan, a su vez, la renovación de nutrientes en las aguas superficiales, sostenedoras de una alta actividad vegetal, que se expresa además, por las altas concentraciones de oxígeno disuelto. Según este autor, en otoño, al disminuir la intensidad de la radiación solar, se debilitaría la termoclina y, en consecuencia, disminuiría la estabilidad de la columna de agua. El efecto de vientos más suaves permitiría el mantenimiento de una columna de agua homogénea. Esta característica se acentuaría en los meses de invierno. Explicó además que cuando comienza la primavera y aumenta la radiación solar, se producen las primeras proliferaciones fitoplanctónicas, al reunirse las condiciones adecuadas de radiación solar y nutrientes.

Un estudio sobre climatología e interacción océano-atmósfera en la bahía de Valparaíso, desarrollado por Reyes & Romero (1977), entregó interesante información para la precisión de los mecanismos de regulación del fitoplancton en la bahía de Valparaíso. En base al análisis de observaciones meteorológicas y de temperatura superficial efectuadas en la bahía de Valparaíso durante 13 años consecutivos, desde 1958 a 1970, se destacó la interrelación entre algunas variables hidrológicas y meteorológicas. Se estableció que la radiación solar incidente influye en la evolución que siguen las temperaturas medias mensuales del aire y de la superficie del mar. Se observó un cierto retardo o inercia térmica del mar con respecto a las variaciones de la energía solar. Se reiteró que los enfriamientos ocasionales de las aguas son atribuibles a los afloramientos de aguas subsuperficiales, los cuales se observan con mayor frecuencia desde septiembre hasta marzo, en coincidencia con el ascenso de las isolíneas de salinidad, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, así como en relación al aumento del viento del suroeste. Climatológicamente se consignaron dos períodos estacionales en la bahía. La época estival, desde noviembre a marzo, en la cual los vientos del suroeste adquieren su mayor frecuencia media, y la época invernal, de mayo a septiembre, que coincide con una mayor importancia relativa del viento del norte.

En un trabajo desarrollado por Uribe (1978) se 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 su 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 & Hickmann 1978 y Sievers & Silva 1979), Alvia & Avaria (1981, 1982) abordaron el problema de la proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso procurando describir las fluctuaciones fitoplanctónicas y los factores que las regulan. Estos estudios se basaron en 17 tomas de muestras en la misma estación bio-oceanográfica utilizada desde 1963, entre el 1º de septiembre y el 29 de diciembre de 1977, con una periodicidad aproximada de 7 días.

Las características del fitoplancton predominante corroboraron desde el punto de vista biológico, la existencia de procesos de surgencia en el área. En base a las observaciones, se concluyó que la regulación cuantitativa de las poblaciones es ejercida indirectamente por el viento y directamente por la estabilidad de la columna de agua. Como resultado de ambos estudios, se postuló el mecanismo de regulación que pasa a exponerse.

La intensificación del viento del suroeste provoca surgencias y mezcla, lo que genera condiciones de inestabilidad en la columna que, simultáneamente, favorecen la renovación de nutrientes en los niveles superficiales y limitan el crecimiento de las poblaciones. La abundancia fitoplanctónica es limitada por la gran diferencia que se establece entre el espesor de la capa de mezcla aumentada y la zona eufótica, la cual afecta negativamente a la producción, como también por el transporte pasivo de una fracción significativa de las poblaciones a través de una corriente de derivada asociada a la surgencia. Bajo estas condiciones el incremento fitoplanctónico disminuye el espesor de la zona eufótica, aumentando la diferencia entre ésta y la capa de mezcla y alcanzándose rápidamente un máximo crítico de abundancia, estimado en aproximadamente un millón de células por litro en el promedio de la columna de superficie a 30 metros. Esta situación, claramente prevaleciente a través de la primavera, puede alterarse como consecuencia de la interrupción o declinación del viento del suroeste. En tales circunstancias, se interrumpe la surgencia y la mezcla y se desarrollan condiciones de estabilidad favorecidas por la radiación 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 desarrollado afloramientos 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. Un nuevo período de intensificación del viento del suroeste pone fin a esta situación, reiniciándose el ciclo con las características descritas y conformándose una proliferación primaveral con carácter intermitente. Sin embargo, también puede ocurrir que las condiciones de estabilidad se sostengan por un período prolongado, lo cual genera gradientes ambientales que inducen la sucesión de comunidades, pasando a

predominar especies con menores tasas de crecimiento y verificándose una acentuada disminución en la abundancia fitoplanctónica total, favorecida por la decantación de las especies previamente dominantes. Esta situación es menos frecuente y, en general, los períodos de estabilidad serían breves interrupciones entre las fases prolongadas de afloramiento. Alvia! (1980) formula y discute las bases para la modelación matemática de este mecanismo de regulación y representa el sistema a través de un diagrama de flujo que integra las variables involucradas.

La fluctuación de los nutrientes observada no permite suponer un efecto regulador de éstos sobre las poblaciones, y menos explicar por "agotamiento" la caída de los pulsos fitoplanctónicos, como había sido propuesto por Pizarro (1976).

Del análisis de varias primaveras se desprende que la iniciación de la proliferación ocurrirá tanto más temprano, cuanto mayores sean los valores de intensidad de radiación solar precedentes. Altos valores en agosto, superiores a 230 cal/cm²/día, permiten la iniciación de la proliferación en septiembre, en 1977. Conjuntamente, la intensificación del viento del suroeste, entre fines de agosto y comienzos de septiembre, provoca las surgencias que proveen de nutrientes a los niveles superficiales.

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 el hábitat se caracteriza por mezcla vertical turbulenta y afloramientos de aguas subsuperficiales, que proveen a la zona eufótica de nutrientes en altas concentraciones. Las especies pequeñas y de alto cociente superficie/volumen que caracterizan el fitoplancton bajo estas condiciones, presentan adaptaciones particulares al ambiente y corresponden a especies r - estrategias, 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 mucílago que aumenta la viscosidad del entorno celular, por las formas comunes de colonia 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* - estrategias de los nutrientes abundantes, y las adaptaciones particulares que presentan frente a un hábitat inestable, permite que sean dominantes durante los afloramientos 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.

Por lo expuesto, se concluye, en general, que un centro de surgencia activo presentará característicamente *r* - estrategias 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*". Precisamente, en la rápida sucesión observada por Alvial & Avaria (1982), la prolongación de la interrupción del viento suroeste en diciembre determinó una interrupción de la surgencia, estabilizándose la columna de agua con un notorio calentamiento de los estratos superiores. Consecuentemente se produjo una reducción de las concentraciones de nutrientes y se observó un predominio de los dinoflagelados en el fitoplancton. Las especies dominantes vencen la resistencia ambiental, derivada de la disminución de los nutrientes disponibles y del favorecimiento de la decantación como consecuencia de la estabilización, a través de adaptaciones tales como la motilidad. Esta capacidad de desplazamiento y la condición de heterotrofia facultativa en muchos de ellos, les permiten optimizar el aprovechamiento de los recursos escasos, anteponiendo a la resistencia ambiental una estrategia basada en la eficiencia. En este caso, proporcionalmente, los requerimientos de nutrientes por célula son menores y el ambiente se encuentra saturado con organismos, variando poco el tamaño de las poblaciones.

La estabilidad sostenida, considerada como el factor determinante de la sucesión fitoplanctónica, es desfavorable

para las comunidades jóvenes o para las especies *r* - estrategias. Estas últimas 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 podrán persistir aquellas especies con menores requerimientos nutritivos y capaces de vencer la decantación, a saber, los dinoflagelados, que dominan en las últimas etapas de la sucesión. Las condiciones de afloramiento o de estabilidad breve de la columna de agua, si bien permiten el desarrollo de las especies características de las primeras etapas de la sucesión, no resultan drásticamente excluyentes para las especies de las etapas avanzadas y es posible detectar a algunas de éstas, aún cuando cuantitativamente minimizadas por el amplio predominio de las diatomeas. Hay, sin embargo, otro factor que induce cambios considerables en la composición del fitoplancton de la bahía de Valparaíso, y éste corresponde a la acción de viento intenso del norte, el que junto con interrumpir la surgencia, ocasiona una penetración de aguas oceánicas superficiales e ingresan comunidades fitoplanctónicas de tipo oceánico. Aunque poco frecuente en primavera-verano, dicha circunstancia es especialmente significativa en el período de otoño-invierno.

Avaria & Muñoz (1982) corroboran en su estudio de la producción actual, biomasa y composición específica del fitoplancton de la bahía de Valparaíso en 1979, la interrelación entre las variables hidrológicas y las fluctuaciones de la biomasa del fitoplancton consignadas en Alvial & 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 vertical registrada en los 30 primeros metros de la columna.

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 afloramientos costeros, los que a su vez dependen de la actividad del viento del tercer cuadrante. El período primavera-verano se caracteriza por la manifestación de surgencias sucesivas que originan una proliferación del 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 agosto y septiembre como respuesta al aumento de la radiación solar y a la mayor

frecuencia e intensidad del viento del tercer cuadrante que provoca 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, en general, entre los dos 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 a los 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 inestabilidad o surgencia, y el cualitativo, durante el desarrollo de una estabilización creciente.

ALGUNAS PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE ECOLOGIA FITOPLANCTONICA EN CHILE

Al iniciar el tratamiento de este punto es imprescindible dejar claramente establecido que en la formulación de las perspectivas de desarrollo de las investigaciones sobre ecología fitoplanctónica en Chile es imposible, o al menos muy difícil, obviar la apreciación particular, y por tanto subjetiva, de los autores. En consecuencia, este capítulo no pretende sino constituir una base de discusión que, a no dudarlo, será enriquecida con el aporte de los especialistas en el tema.

A los efectos de sistematizar el tratamiento de las diversas materias que cabe contemplar dentro de las perspectivas de desarrollo de la investigación ecológica, habida consideración de la labor desarrollada hasta el presente, hemos decidido abordar los siguientes aspectos:

- 1º Hacia un efectivo conocimiento ecológico del fitoplancton frente a las costas de Chile.
- 2º Apreciación sobre líneas de investigación no iniciadas en el país.
- 3º Reforzamiento y consolidación de las líneas de investigación ya iniciadas.
- 4º Incorporación de nuevas metodologías.
- 5º Visualización de acciones de coordinación e intercambio permanentes a nivel nacional.

Al abordarse cada uno de los puntos antes referidos, se hará mención de los aspectos no incorporados aún en la investigación nacional, y en algunos casos se sugerirán líneas o programas que, a nuestro juicio, se observan altamente probables y factibles desde el punto de vista de su desarrollo, o necesarios, en virtud de las etapas o niveles que se han alcanzado hasta el presente.

Hacia un efectivo conocimiento ecológico del fitoplancton frente a las costas de Chile.

Aún cuando en los últimos años se ha verificado un notable incremento de la investigación en ecología fitoplanctónica en el país, no hay duda que los estudios efectuados han estado fundamentalmente concentrados sólo en algunas pocas zonas geográficas de nuestro mar territorial, desconociéndose las características del fitoplancton y los mecanismos de regulación en vastas zonas del mismo. El desarrollo de trabajos encaminados a dilucidar la dinámica del fitoplancton a lo largo de nuestras costas, con un enfoque y metodología básicamente comunes, posibilitarían la conformación de un cuadro general acerca de la potencialidad productiva de las diferentes regiones y sobre la incidencia diversa de los factores ambientales prevalecientes en ellas.

Un mejor conocimiento del fitoplancton desde el punto de vista ecológico frente a nuestras costas, en consecuencia, la iniciación de estudios en zonas escasa o nulamente investigadas, con énfasis en la relación del fitoplancton y el ambiente, sobre la base de una metodología esencialmente común. Para concretar lo señalado, podría estudiarse la posibilidad de llevar a cabo programas de monitoreo periódicos permanentes

en estaciones costeras fijas a lo largo del territorio, y la implementación de operaciones de muestreos simultáneos en cortes frente a diferentes puntos de la costa, los que de acuerdo a la ubicación de los actuales centros de investigación, podrían ser: Arica, Iquique, Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, Concepción, Valdivia y Punta Arenas.

Al margen de lo indicado, debería procurarse regularidad en la realización de cruceros bio-oceanográficos estacionales que aportan interesante información sobre la distribución geográfica de las especies fitoplanctónicas y su relación con las masas de agua y fenómenos hidrológicos de gran escala. En tal sentido, como plan de acción inmediata, sería muy importante contar con la cooperación de las instituciones nacionales que operan barcos de investigación, en la obtención de muestras de fitoplancton. Para ello las universidades deben proporcionar una metodología de muestreo sencilla que permita obtener las muestras de plancton, sin alterar la planificación dada a los cruceros en función de los objetivos propios de las investigaciones que desarrollan esas instituciones.

Sin perjuicio de que en el futuro se lleve a cabo un esfuerzo coordinado como el que se ha señalado, en el corto plazo debería intentarse la elaboración de un atlas del fitoplancton del mar chileno sobre la base de los antecedentes dispersos existentes, que consigne los taxa identificados y determinados a la fecha, exponiendo sus características morfológicas, distribución y aspectos generales de su biología. El atlas referido apoyaría significativamente a los trabajos ecológicos venideros y favorecería, a no dudarlo, la interpretación de las observaciones fitoplanctónicas en función de cambios dinámicos que tienen lugar frente a nuestras costas.

Apreciación sobre líneas de investigación no iniciadas en el país.

Dentro de los aspectos que merecen especial atención en el futuro, se encuentra 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 expresan. Simultáneamente es necesario asumir el estudio de las adaptaciones al ambiente y las estrategias evolutivas de las especies de mayor significancia en hábitats determinados,

procurando una clara interrelación entre los resultados empíricos y las observaciones de terreno.

Las relaciones trofo-dinámicas del fitoplancton es otro de los aspectos que requiere de una especial atención, debiéndose realizar trabajos de laboratorio tendientes a aclarar los efectos del pastoreo, otorgándole importancia a la acción del zooplancton herbívoro, ictioplancton y peces plantófagos de alta incidencia ecológica. Tales estudios deben estar fundamentalmente dirigidos a determinar los efectos de la presión selectiva del pastoreo, tasas de ingestión, eficiencia y transferencia de energía, entre otros.

Las proliferaciones fitoplanctónicas encierran aún muchas interrogantes desde el punto de vista de los factores que determinan la particular estructura de las comunidades y su carácter casi mono-específico. Numerosas cuestiones vinculadas con competencia, efectos de metabolitos externos, habilidad diferencial para aprovechar las condiciones favorables por algunas especies, y la interpretación funcional de muchos caracteres morfológicos de las células y colonias, deben ser considerados dentro de esfuerzos como éste. En el 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 fitoplancton-zooplancton, el desarrollo de metodologías adecuadas de muestreo simultáneo, que consideren las migraciones nictimerales y la frecuente distribución de tipo agrupada, permitirá iniciar esfuerzos en este campo, casi ignorado hasta la fecha, y que puede arrojar importantes elementos para comprender mejor la dinámica de ambos grupos.

Por otro lado, se ha puesto en general poco énfasis en la necesidad de efectuar estudios sobre las fluctuaciones del fitoplancton a microescala espacio-temporal, de los cuales pueden surgir interesantes elementos para aclarar factores y fenómenos ignorados en la regulación del fitoplancton.

Reforzamiento y consolidación de las líneas de investigación ya iniciadas.

Si bien es cierto que las últimas investigaciones ecológicas han incorporado variables meteorológicas e hidrológicas, intentando establecer relaciones más precisas entre las variaciones del fitoplancton y el ambiente, todavía es necesario insistir en la necesidad de sostener e incrementar esta tendencia, a cuyo efecto debe propiciarse el trabajo interdisciplinario y la elección cuidadosa de más y mejor información sobre el ambiente en las áreas de estudio.

Sólo algunos trabajos han abordado el problema de la distribución espacial y sin un procesamiento estadístico adecuado de la información para precisar el modelo de distribución observado. Consiguientemente, debiera insistirse en este tipo de estudios a objeto de establecer los modelos de distribución bajo diferentes condiciones, y los factores que los determinan.

Por otra parte, el problema de la sucesión de comunidades en el fitoplancton requiere de un tratamiento más exhaustivo, orientado, tanto a caracterizar mejor las etapas de la sucesión desde el punto de vista estructural y funcional, como los gradientes ambientales que las determinan.

Una buena base informativa acerca de las modificaciones cuantitativas y cualitativas del fitoplancton en las zonas mejor estudiadas y de los factores que la regulan, debiera dar lugar, en una próxima fase, a la formulación de modelos conceptuales que constituyan el punto de partida de modelos matemáticos que sintetizen la información y generen hipótesis que orienten las futuras investigaciones en esas zonas. En general, deben estimularse los esfuerzos para integrar información dispersa y fragmentaria en modelos que, en el hecho, representen la realidad con un alto grado de aproximación, o cuando menos, detecten aquellos aspectos que todavía es necesario profundizar. Un intento en tal sentido fue llevado a cabo por Alvial (1980) al tratar los mecanismos de regulación del fitoplancton de primavera en la bahía de Valparaíso.

La acción del futuro, en los casos que ha logrado reunirse una base de datos suficientes, pareciera más lógicamente dirigida a efectuar esfuerzos de síntesis antes que a la suma inorgánica de nuevos estudios descriptivos que en la práctica pueden llegar a constituir verdaderas repeticiones con la

consiguiente pérdida de recursos y esfuerzos.

Todo lo anterior, supone el trabajo conjunto entre biólogos, 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 mínimas para un intercambio y cooperación que rendirá sus frutos en el mediano plazo.

Incorporación de nuevas metodologías

En los estudios encaminados a describir y explicar la fluctuación del fitoplancton sobre períodos dados de tiempo, se hace imprescindible enfatizar el previo detenimiento en el análisis y decisión de las estrategias adecuadas de muestreo, conforme a los objetivos de los trabajos. Debe tenerse presente la frecuencia de cambio en el tiempo en las variables a observar a objeto de establecer la periodicidad adecuada de las tomas de muestras y registros, así como los cambios que son dables de esperar en el espacio. Normalmente el conocimiento previo de las características físicas del ambiente, esto es, de los eventos meteorológicos e hidrológicos que intervienen, contribuye en alto grado a la definición de una estrategia adecuada para efectuar una reconstrucción bastante aproximada de la dinámica del fitoplancton del lugar. Sin embargo, no es frecuente que se disponga de antecedentes que posibiliten tal acción, y de ordinario debe operarse sobre la base de supuestos que son en definitiva los que determinan la estrategia a seguir. En todo caso, es necesario hacer hincapié en que los diseños o estrategias de muestreos deben ser congruentes con los objetivos de las investigaciones respecto de su cobertura espacio-temporal, hecho que debe estar claramente reflejado en las conclusiones. En definitiva, la explicación de los fenómenos observados dependerá en alto grado de la densidad de datos de que se disponga, en razón de lo cual, un detenido análisis previo acerca de la fijación de estaciones y de la periodicidad de muestreos y registros en base a las características del ambiente y consideraciones estadísticas, posibilitará una explicación satisfactoria de las observaciones de terreno, a la vez que optimizará el uso de los recursos en función de los objetivos del estudio.

Pero no sólo se hace necesario un mayor rigor en los diseños de las tomas de muestras, sino también en las técnicas de

procesamiento de datos que permitan clasificar, comparar y resumir la información obtenida. En tal sentido, la incorporación de técnicas estadísticas apropiadas favorecerá la cuantificación de los fenómenos observados y posibilitará la corroboración de numerosas estimaciones que requieren de una sustentación de esta índole. Especial relevancia alcanza lo expuesto, cuando se trata de establecer interrelaciones entre variables bióticas y abióticas que, en ocasiones, aparecen a primera vista, un tanto subjetivas.

La aplicación de regresiones múltiples y de métodos multifactoriales tiene un espectro amplísimo de aplicación en ecología planctónica, especialmente en lo que se refiere a la determinación de factores reguladores y en el establecimiento de asociaciones y comunidades que suelen estar enmascaradas en el conjunto de las observaciones.

Otra cuestión que normalmente se omite consignar en los estudios, es el margen de error que introduce la aplicación de los diversos métodos. Si bien el dato es a veces poco deseable por los propios autores, en buena medida el darlo a conocer, puede tener la virtud de estimular ajustes o modificaciones que conlleven a una disminución del mismo y, por otra parte, permite fijar el verdadero alcance de los resultados y de las conclusiones obtenidas.

En el último tiempo se ha desarrollado y difundido bastante el uso de sensores remotos en la investigación del fitoplancton, especialmente para la estimación de biomasa sobre extensas zonas de los océanos. Dicha metodología, junto con entregar información sobre amplias zonas geográficas, tiene la ventaja de entregar simultáneamente una visión acerca de fenómenos meteorológicos e hidrológicos que están directa o indirectamente vinculados con la distribución del fitoplancton. En Chile, la extensión del mar territorial, la presencia de numerosos afloramientos a lo largo de la costa, así como la ocurrencia aperiódica del fenómeno de "El Niño", hace aconsejable utilizar esta herramienta, previo estudio de la factibilidad de su empleo y de la capacitación de investigadores en la materia.

Como se analizó previamente, el desarrollo de modelos matemáticos sobre la ecología del fitoplancton tiene la gran ventaja de sintetizar e integrar información dispersa y contribuir a la mejor descripción y comprensión de la dinámica de las comunidades. Este intento, cuando se efectúa, con pleno

reconocimiento de sus limitaciones, es de indudable beneficio y refuerza las hipótesis de trabajo que por esta vía adquieren mayor claridad.

En general, varios de los aspectos metodológicos enfocados en este punto demandan el desarrollo de programas de perfeccionamiento de los investigadores, especialmente en las áreas de las matemáticas, la estadística y la computación. Tanto en los objetivos como en la orientación de dichos programas se debe cautelar que se entreguen las herramientas necesarias para que los especialistas alcancen los conocimientos básicos para acceder al trabajo multidisciplinario. No se trata de hacer de los fitoplanctólogos matemáticos, estadísticos o programadores, cuestión que, aunque de perogrullo, suele distorsionar, muchas veces, el loable propósito del perfeccionamiento en estas disciplinas.

Se reconoce el importante esfuerzo realizado por entidades especializadas de organismos internacionales, vinculadas a las ciencias del mar, en la estandarización de metodologías de trabajo que posibiliten la comparación e intercambio de resultados de investigaciones similares que se realizan en diferentes lugares. En tal sentido cabe destacar la encomiable labor de la UNESCO que permitió entregar a la comunidad científica internacional dedicada al estudio del fitoplancton, publicaciones tan importantes como "Determinación de pigmentos fotosintéticos en el agua de mar" y "Manual de Fitoplancton", entre otras, las cuales deberían ser consideradas por los especialistas chilenos al planificar sus investigaciones.

Visualización de acciones de coordinación e intercambio permanentes a nivel nacional

En el futuro debe estimularse el intercambio de información acerca de investigaciones realizadas en el área a nivel nacional. A ese efecto, se propone la elaboración de un directorio que incluya la totalidad de los investigadores, y la puesta al día en el intercambio de publicaciones científicas e informes realizados por cada uno de ellos en el país.

Por otro lado, se estima importante el intercambio regular de fichas sobre separados y textos disponibles en cada laboratorio, para completar la bibliografía de consulta en cada centro.

En virtud del beneficio que importan las oportunidades de encuentro como el presente simposio, se estima conveniente mantener la continuidad del mismo, y llevarlo a cabo con una periodicidad no superior a dos años, rotándose las sedes entre los diversos centros de investigación del país.

Como se desprende de algunos de los comentarios de este capítulo, se prevee a futuro la necesidad de efectuar perfeccionamiento en diversas materias, especialmente en lo que dice relación con estandarización de métodos y capacitación en matemáticas y estadísticas. Para ello se estima indispensable que en el corto plazo se planifiquen cursos de entrenamiento en aquellos centros mejor capacitados en los distintos temas, para llevarlos a cabo en el más breve plazo.

Finalmente, en lo relativo a la investigación de problemas que implican una gran cobertura espacial, debe procurarse la cooperación y la coordinación de acciones entre los diversos laboratorios, a través de convenios u otros instrumentos que posibiliten dicho propósito.

RESUMEN

Se analiza la información existente sobre la ecología del fitoplancton marino de Chile desde tres aspectos principales: distribución espacial, variaciones temporales y mecanismos de regulación de las comunidades. El análisis incluye una revisión histórica de las investigaciones sobre el tema realizadas durante el siglo pasado y primera mitad de este siglo y un planteamiento general sobre algunas perspectivas de desarrollo de las investigaciones sobre ecología fitoplanctónica en Chile.

El conocimiento que se tiene en la actualidad sobre distribución espacial se basa principalmente en el acopio de resultados de análisis de muestras de fitoplancton colectadas por expediciones oceanográficas nacionales y extranjeras a lo largo de la costa de Chile y en información extraída de trabajos generales sobre biogeografía y de revisiones taxonómicas recientes de géneros y familias de fitoplancteres que entregan datos sobre distribución de algunas especies en el mar chileno. Se da especial énfasis al aporte efectuado por una serie de investigaciones sistemáticas, realizadas entre 1980 y 1983

en el marco del Programa ERFEN-CHILE, sobre composición, distribución y biomasa del fitoplancton del norte de Chile en relación a condiciones oceanográficas normales y con aquellas producidas por la ocurrencia del fenómeno de "El Niño".

Las investigaciones sobre variaciones temporales del fitoplancton, han sido generalmente complementarias a estudios taxonómicos realizados en algunas bahías del litoral, limitándose a describir fluctuaciones estacionales de abundancia relativa de las especies principales y del fitoplancton como conjunto, sin analizar los factores causales de tales variaciones. Estos trabajos se han realizado en las bahías de Arica, Antofagasta, San Antonio, Concepción, en el Estrecho de Magallanes y en la bahía de Valparaíso, siendo los más completos los efectuados en esta última zona, donde además de los estudios taxonómicos, se han realizado investigaciones ecológicas. Se exponen cronológicamente los estudios efectuados en esa área, los cuales condujeron a la caracterización del ciclo anual y en particular, de la proliferación de primavera del fitoplancton. Se describen también los trabajos desarrollados en las otras zonas antes indicadas.

El estudio de los mecanismos de regulación de las fluctuaciones temporales del fitoplancton ha sido abordado fundamentalmente en la bahía de Valparaíso, por lo que se presentan las diferentes investigaciones que han contribuido a su aclaración, concluyéndose en una síntesis acerca de los principales factores identificados que intervienen directa o indirectamente en la regulación.

Finalmente se tratan algunas perspectivas de desarrollo de las investigaciones sobre ecología fitoplanctónica en Chile, enfatizándose las demandas de un efectivo conocimiento ecológico del fitoplancton frente a las costas del país. una apreciación sobre líneas de investigación no iniciadas y en desarrollo, la incorporación de nuevas metodologías y se proponen algunas acciones de coordinación e intercambio permanente a nivel nacional.

LITERATURA CITADA

- Alvial, A. 1980. Estudio ecológico de la proliferación de primavera del fitoplancton de la bahía de Valparaíso. Tesis para optar al Grado de Licenciado en Biología, Universidad de Chile-Valparaíso. 153 pp. + 12 anexos.
- Alvial, A. & S. Avaria. 1981. Proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso. I. Condiciones meteorológicas y oceanográficas. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 17 (2): 197-227.
- Alvial, A. & S. Avaria. 1982. Proliferación de primavera del fitoplancton en la Bahía de Valparaíso. II. Dinámica de las comunidades. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 18 (1): 1-56.
- Avaria, S. 1965. Diatomeas y silicoflagelados de la bahía de Valparaíso. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 12: 61-120.
- Avaria, S. 1970. Fitoplancton de la Expedición del B.M. "Doña Berta" en la zona Puerto Montt-Aysén. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 14 (2): 1-17.
- Avaria, S. 1971. Variaciones mensuales cualitativas del fitoplancton de la bahía de Valparaíso de julio 1963 a julio 1966. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 14 (3): 15-43.
- Avaria, S. 1975. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. II. Fitoplancton 1970-71. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 15 (2): 131-148.
- Avaria, S. 1976. Marea roja en la costa central de Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 16 (1): 95-111.
- Avaria, S. 1982. Fenómenos de marea roja en el mar chileno. *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA* 6: 117-127.
- Avaria, S. & E. Orellana. 1975. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. III. Fitoplancton 1972-73. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 15 (3): 207-226.
- Avaria, S. & P. Muñoz. 1982. Producción actual, biomasa y composición específica del fitoplancton de la bahía de Valparaíso en 1979. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 18 (2): 129-157.
- Avaria, S. & P. Muñoz. 1983. Composición y biomasa del fitoplancton marino del norte de Chile en mayo de 1981. (Operación Oceanográfica MARCHILE XII-ERFEN III). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA* 7 (en prensa).
- Avaria, S.; Muñoz, P. & E. Uribe. 1982. Composición y biomasa del fitoplancton marino del norte de Chile en diciembre de 1980 (Operación Oceanográfica MARCHILE XI-ERFEN II). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA* 6: 5-36.
- Balech, E. 1962. Tintinnoidea y Dinoflagellata del Pacífico, según material de las expediciones NORPAC y DOWNWIND del Instituto Scripps de Oceanografía. *Revista del Instituto de Investigación de las Ciencias Naturales. Buenos Aires, Zoología* 7 (1): 1-253.
- Belyaeva, I.V. 1972. Distribution of large diatom algae in the Southeastern Pacific. *Oceanologia*, 12 (3): 475-483.

- Belyaeva, I.V. 1975. Distribution of large diatom algae in the Southeastern Pacific. *Okeanologiya*, 12 (3): 475-483.
- Belyaeva, I.V. 1975. Distribution of diatoms in the area of the Peru Current. *Okeanologiya*, 15 (5): 874-880.
- 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. Laboratorio de Oceanografía y Biología Pesquera. Ministerio de Agricultura, Santiago, pp.3-55.
- CPPS. 1983. Informe del Comité Científico sobre "El Niño 1982-1983". *Boletín ERFEN* 4: 4-22.
- Castracane, F. 1886. Report on the Diatomaceae. Report of the Scientific results of the voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. Challenger Reports, Botany, 2.
- Darwin, C. 1839. Journal of researches into the natural of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle around the world; under the John Murray, London, 519 pp.
- Fonseca, I. 1977. Proceso de surgencia en Punta Curaumilla, con especial referencia a la circulación. Tesis para optar al título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso.
- Fonseca, I. & V. Hickmann. 1978. Contribución al conocimiento de las condiciones oceanográficas de la bahía de Valparaíso. *Investigaciones Marinas*, 6 (5): 73-86.
- González, H. 1982. Contribución al conocimiento del fitoplancton de bahía Coliumo (36°32'S; 72°57'W) Concepción, Chile en el período otoño-invierno de 1981. Tesis para optar al título de Biólogo Marino, Universidad de Concepción.
- Gunther, E.R. 1936. A report on oceanographical investigations in the Peru Coastal Current. *Discovery Reports*, 13: 109-275.
- Guzmán, L. & I. Campodónico. 1972. Fitoplancton de red en Puerto Edén. Chile (26 de marzo al 2 de abril 1971). *Anales del Instituto de la Patagonia*, 3 (1-2): 209-219.
- Hasle, G.R. 1969. An analysis of the phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: Abundance composition, and distribution during the Bratieg Expedition, 1947-1948.
- Hasle, G.R. 1972. The distribution of *Nitzschia seriata* Cleve and allied species. *Nova Hedwigia*, Beihefte zur 39: 171-190.
- Hasle, G.R. 1976. The biogeography of some marine planktonic diatoms. *Deep Sea Research*, 23: 319-338.
- Hasle, G.R. & B.R. Heimdal. 1970. Some species of the Centric Diatom Genus *Thalassiosira* studied in the light and electron microscopes. In *Diatomaceae II*, Friedrich Hustedt Gedenkbard, Beihefte zur *Nova Hedwigia*, 31: 559-581, 15 pls.
- Hendey, N.I. 1937. The plankton diatoms of the souther seas. *Discovery Reports*, 16: 151-364.

- Hermosilla, J. 1970. Contribución al conocimiento sistemático de los Dinoflagelados y Tintínidos del Estero de Castro, Chiloé, Chile. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, 42: 81-87.
- Hermosilla, J. 1972. Variación estacional de los Dinoflagelados y Tintínidos en la bahía de Concepción, Chile. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, 44: 149-159.
- Hermosilla, J. 1973a. Contribución al conocimiento sistemático de los Dinoflagelados y Tintínidos del Archipiélago de Juan Fernández. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción, 46: 11-36.
- Hermosilla, J. 1973b. Contribución al conocimiento sistemático de los Dinoflagelados de la bahía de Concepción, Chile. Gayana Zoológica, 24: 1-149.
- Krasske, G. 1939. Zur Kieselalgenflora Südchiles. Archiv für Hydrobiologie, 35: 349-468.
- Krasske, G. 1941. Die Kieselalgen des chilenischen Küstenplanktons. (Aus dem südchilenischen Küstengebiet, Beitrag 9). Archiv für Hydrobiologie, 38: 260-287.
- Lembeye, G.; Guzmán, L. & I. Campodónico. 1978. Fitoplancton del sector oriental del estrecho de Magallanes, Chile (5-13 de abril de 1976). Anales del Instituto de la Patagonia, Punta Arenas (Chile): 9: 221-228.
- Meyer, R.M. 1966a. Contribución al estudio del fitoplancton del Paso de Drake. (Recolectado durante el verano 1960-61). Cuaderno Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 1: 41-82.
- Meyer, R.M. 1966b. Contribución al estudio del fitoplancton recolectado en el Paso de Drake durante los años 1961-1962. Cuaderno Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Chile, 1: 111-120.
- Meyer, R.M. 1970. Algunas observaciones sobre las muestras de fitoplancton recolectadas en la Operación Oceanográfica "MARCHILE V". Febrero-marzo 1967. Investigaciones Marinas, 1 (4): 71-92.
- Montecino, V. & J. Lopehandía. 1972. Diatomeas predominantes en el fitoplancton de San Antonio (1967-68). Noticiario Mensual del Museo Nacional de Historia Natural, Chile, Nº 195-196: 4-12.
- Muñoz, P. & S. Avaria. 1980. Estudios taxonómicos de los dinoflagelados tecados en la bahía de Valparaíso. I. Género *Ceratium*. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 17 (1): 1-58.
- Orellana, E. 1971. Sistemática (Dinoflagellatae) y distribución del fitoplancton marino en una área del Pacífico Sudoriental (Operación Oceanográfica "MARCHILE VII". Marzo 1968). Memoria para optar al título de Profesor de Biología, Universidad Católica de Valparaíso.
- Pinto, M.; Araya, G.; Godoy, I.; Humire, F.; Miranda, S. & P. Tabilo. 1978. Estudio de la variación de la biomasa planctónica en la bahía de Arica. Revista Universidad de Chile, Sede Arica, Nº 6 y 7.
- Pizarro, M. 1976. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. IV. Condiciones físicas y químicas del ambiente. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 16 (1): 35-69.

- Ramírez, B. 1975. Variaciones estacionales de los pigmentos fitoplanctónicos analizados frente a Valparaíso. *Investigaciones Marinas* 6 (1): 1-24.
- Ramírez, B. & E. Uribe. 1976. Estudio bio-oceanográfico al Sur de la bahía de Valparaíso. Fitoplancton y productividad primaria. *Memorias III Simposio Latinoamericano de Oceanografía*.
- Reyes, E. & H. Romero. 1977. Climatología e interacción océano-atmósfera en la bahía de Valparaíso. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 16(2):125-159.
- Rivera, P. 1969. Sinopsis de las diatomeas de la bahía de Concepción, Chile. *Gayana, Botánica*, 18: 1-82, 24 láms.
- Rivera, P. 1981. Beiträge zur Taxonomie und Verbreitung der Gattung *Thalassiosira* Cleve (Bacillariophyceae) in den Küstengewässern Chiles. *Biblioteca Phycologica, Band 56*: 1-220.
- Rivera, P.; Parra, O. & M. González. 1973. Fitoplancton del Estero Lengua, Chile. *Gayana, Botánica*, 23: 1-93.
- Rivera, P. & D. Arcos. 1975. Diatomeas más comunes en la desembocadura del Río Bío-Bío. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*, 49: 223-230.
- Rivera, P. & H. Valdebenito. 1979. Diatomeas recolectadas en las desembocaduras de los ríos Chivilingo, Laraquete y Carampangue, Chile. *Gayana, Botánica*, 35: 1-98.
- Rodríguez, L. 1982. Fitoplancton de la bahía de Mejillones del Sur. (1966-1967) (In literis).
- Rojas, B. 1979. Red tides along the Peruvian Coast. In: *Toxic Dinoflagellate Blooms* (D.L. Taylor and H.H. Selinger, eds.) Elsevier North Holland, Inc. N. York, pp. 183-190.
- Román, C. 1977. Fluctuaciones del fitoplancton (Diatomeas) del Estuario del Río Lingue, Mehuín, Provincia de Valdivia. Tesis para optar al Grado de licenciado en Ciencias con Mención en Zoología. Universidad Austral de Chile.
- Semina, H.J. 1971. Distribution of plankton in the South Eastern Pacific. *Transaction Institute Oceanology URSS*, 89: 43-59.
- Semina, H.J. 1972. The size of phytoplankton cells in the Pacific Ocean. *International Revue der Gesamten Hydrobiologie*, 57 (2): 177-205.
- Sievers, H. & N. Silva. 1979. Variación temporal de las condiciones oceanográficas frente a Punta Curaumilla, Valparaíso, Chile (mayo de 1974-abril de 1975). *Investigaciones Marinas*, 7 (1): 3-20.
- Silva, N. 1973. Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (septiembre de 1969-agosto de 1970). *Investigaciones Marinas*, 4 (3): 89-112.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin Fisheries Research Board of Canada*, 167, 311 pp.
- Sylva, P.D. 1962. Red water blooms of Northern Chile, April-May 1956, with reference to the ecology of the swordfish and striped marlin. *Pacific Science*, 16 (3): 271-279.

- Toro, J.E. & J.E. Winter. 1983. The estuary of the river Quempillén, an experimental oyster (*Ostrea chilensis*) cultivation station in the south of Chile. II. Fluctuations of the phytoplankton in cell density and biomass. Aquaculture (in press).
- Toro, J.E. & J.E. Winter. 1983. The estuary of the river Quempillén, an experimental oyster (*Ostrea chilensis*) cultivation station in the south of Chile. III. Fluctuations in phytoplankton composition (Marine planktonic diatoms). Aquaculture (in press).
- Uribe, E. 1978. Estudio de las comunidades fitoplanctónicas durante un proceso de surgencia frente a Punta Curaumilla-Valparaíso. Memoria para optar al título de Profesor de Biología, Universidad Católica de Valparaíso.
- Uribe, E. 1981. Variación morfológica de *Ceratium tripos* en relación al medio ambiente en un área del Pacífico Sudoriental (18° a 33° Lat. S.). Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias con mención en Biología Marina, Universidad Católica de Valparaíso.
- Uribe, E.; S. Neshyba & I. Fonseca. 1982. Phytoplankton community composition across. The West Wind Drift off South America. Deep Sea Research, 29 (10A): 1229-1243.
- Utermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung Limnologie, 9: 1-38.
- Veintimilla, I. 1982. Mareas rojas en aguas ecuatorianas. Revista de Ciencias Marinas y Limnología, 1 (2): 115-125.
- Yáñez, P. 1948. Información preliminar sobre el ciclo anual del plancton superficial en la bahía de Valparaíso. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 1 (1): 57-59.
- Zacharias, O. 1906. Ueber Periodizität, Variation un Verbreitung verschiedener Planktonwesen in sudlichen Meeren. Archiv für Hydrobiologie und Planktonkunde, 1: 498-575.