

ESTADO ACTUAL DE LOS ESTUDIOS SOBRE PIGMENTOS VEGETALES MARINOS Y PRODUCCION EN CHILE

Boris Ramírez*

ABSTRACT. A review on production and marine vegetal pigments studies in Chile.

The spatial and seasonal variation of chlorophyll "a" and its relationship to abiotic factors along the Chilean coast are analysed with emphasis on the area comprised between Arica (18°30'S), Chañaral (26°20'S) and up to 200 miles offshore.

A comparative analysis on the distribution of photosynthetic pigments is made between normal fall conditions and those detected in the spring of 1982 during the last "El Niño" phenomenon. Under normal conditions, high values of chlorophyll "a" with maximums of 25,0 mg/m³, were registered between the coast and 20 miles offshore. During the abnormal period, pigments were detected within 10 miles offshore only and with decreased values of up to 7,8 mg/m³. The average chlorophyll values for the study area during the "El Niño" phenomenon indicated a reduction of 50% in contrast to the values observed during normal years.

The available information on pigment distribution is scarce from Valparaíso to the South, and is mainly based on an oceanographic cruise conducted between Valparaíso (33°01'S) and Corral (39°52'S) during which several highly productive areas were detected off Punta Iloca and Punta Nugurue.

The results of a study on chlorophyll "a" conducted in the bays of Coquimbo, Herradura de Guayacán, Valparaíso and Concepción are discussed. Most of the information comes from Valparaíso, where a notorious variations of the pigments was observed; maximum concentration were detected during spring and minimums during winter, with sharp differences between the coastal (up to 10 miles offshore) and oceanographic (beyond 20 miles) areas.

* Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, Casilla 1020, Valparaíso, Chile.

INTRODUCCION

Las investigaciones sobre pigmentos vegetales marinos y productividad primaria realizados en Chile, han sido orientados en su primera etapa, hacia la localización y evaluación de zonas productivas. En ella los estudios de biomasa pigmentaria surgieron como apoyo a los trabajos biológico-pesqueros que diferentes instituciones, tales como la Subsecretaría de Pesca e Instituto de Fomento Pesquero, realizaban frente a nuestro litoral. Sin embargo, a partir de 1980 se inició una segunda etapa en la cual el Comité Oceanográfico Nacional (CONA) dió comienzo, por medio de proyectos de convenio con las universidades e instituciones de investigación, a un trabajo casi sistemático para estudiar, entre otras materias, los pigmentos fotosintéticos del fitoplancton frente a la costa norte y centro de Chile y establecer el factor o combinación de factores que regulan la producción en zonas particulares de la costa chilena.

En este trabajo se analiza la distribución espacio temporal de la clorofila "a" tanto en algunas bahías seleccionadas de la zona norte, central y sur, como del área marina comprendida entre Arica ($18^{\circ}30'S$) y la Isla Mocha ($40^{\circ}S$) y su relación con factores oceanográficos, dando especial importancia a la detectada frente a su costa norte durante años considerados como oceanográficamente normales y durante el último evento "El Niño".

MATERIAL Y METODOS

La información sobre pigmentos fotosintéticos y productividad primaria que se recopila en este trabajo, comprende: I) la zona marina situada entre Arica ($18^{\circ}30'S$) y la Isla Mocha ($40^{\circ}S$) y desde la costa hasta aproximadamente los $80^{\circ}W$ y II) las bahías de Coquimbo, Herradura de Guayaacán, Valparaíso y Concepción. En el área involucrada en el primer caso (I) se han efectuado a partir de 1960, en diferentes temporadas y años, diversas campañas biooceanográficas que se han caracterizado por un muestreo esporádico, mientras que desde 1980 a la fecha, esta actividad ha seguido una cierta periodicidad, obteniéndose un muestreo más representativo de la distribución

de clorofila "a" y fijación de carbono, frente al litoral norte y centro de Chile (Tabla 1).

Por otra parte, los estudios de distribución espacio-temporal de la clorofila "a" en las bahías también han sido esporádicos y discontinuos con observaciones que se han limitado a sólo algunos meses de muestreo, a excepción de los efectuados en la bahía de Valparaíso donde la continuidad y periodicidad se han mantenido desde 1970.

En las bahías del norte, el muestreo biológico oceanográfico se extendió desde julio de 1978 a febrero de 1979 en una frecuencia de 1 muestreo mensual en 4 estaciones para la bahía de Coquimbo y sólo 2 en la bahía Herradura de Guayacán, entre la superficie y aproximadamente los 40 m de profundidad (Olivares 1980). En la zona central (bahía de Valparaíso), el muestreo de inició en 1963 manteniéndose hasta la fecha frente al sector de Reñaca, con un trabajo quincenal en dos estaciones situadas a 2 y 3 millas de la costa (Avaria 1981) y finalmente en la zona sur el trabajo se realizó en la bahía de Concepción durante 3 días consecutivos de octubre de 1979, considerando 7 estaciones situados en transecto paralelo y otro perpendicular a la costa (Matrai 1981).

Las muestras de agua se recolectaron en su mayoría entre superficie y 50 m de profundidad y a lo largo de una o varias secciones perpendiculares a la costa cuya longitud osciló entre 140 y 500 millas. El volumen de agua utilizado para la determinación de los pigmentos fotosintéticos fluctuó entre 1 y 5 litros, el que se filtró al vacío a través de filtros generalmente de celulosa cuyo tamaño de poro predominante fue de 0.45 μm , para el caso de las expediciones nacionales.

Los datos de clorofila "a" recopilados entre los años 1960 y 1965 fueron calculados de acuerdo a la ecuación de Richards & Thompson (1952) y Strickland & Parson (1960). Los determinados con posterioridad a 1966, se estimaron por el método recomendado por Scor-Unesco (1966), o por Strickland & Parson (1968). En todos los casos los valores de biomasa pigmentaria se expresaron como mg/m^3 de clorofila "a" y los de productividad primaria en $\text{mg}/\text{m}^3/\text{día}$ de fijación de carbono.

La información oceanográfica ha sido tomada de los trabajos de Inostroza (1973), Silva & Konow (1975), Neshyba & Méndez (1975), Robles et al. (1974), Sievers & Silva (1975), Silva & Sievers (1979).

RESULTADOS

La presentación de éstos se efectuará en dos partes, considerando: a) la información de carbono y de biomasa pigmentaria disponible en las campañas oceanográficas frente a la costa norte, central y sur de Chile, y b) recopilará los antecedentes sobre distribución temporal de clorofila "a" en las bahías ya indicadas.

a) Biomasa pigmentaria frente a la costa chilena

La información disponible sobre distribución de carbón y de clorofila "a" entre los 18°30'S y los 40°00'S, preferentemente a nivel superficial, proviene de campañas oceanográficas realizadas en meses y años distintos y permite establecer de manera aproximada su comportamiento patrón. Los datos se agruparon en cada una de las cuatro estaciones de años distintos, indicando el área geográfica que involucró cada crucero; así el área norte se extiende desde los 18°30'S hasta los 30°00'S; la central entre los 30°01'S y los 35°00'S y la sur desde los 35°02'S hasta los 40°00'S (Tabla 1).

TABLA 1. Se indica para cada temporada la expedición oceanográfica, el año y el área geográfica de la zona de muestreo (N = norte, C = centro, S = sur), con información sobre biomasa pigmentaria (Clorofila "a"). Con un asterisco se señalan aquellas que cuentan con datos sobre fijación de carbono.

	EXPEDICION	AÑO	AREA GEOGRAFICA		
PRIMAVERA	STEP I	1960	N		
	* SHOYO MARU	1963		C	
	ANTON BRUUN	1965		C	
	OCEANOGRAPHER	1967	N	C	
	PELAGICO IV	1980			S
	BIO-OCEANOG. 2/81	1981	N		
VERANO	ANTON BRUUN	1966		C	
	MARCHILE V	1967	N	C	
	MARCHILE VII	1968	N	C	
	PELAGICO I	1980	N	C	
	BIO-OCEANOG. 4/81	1982	N	C	

TABLA 1. (continuación)

	EXPEDICION	AÑO	AREA GEOGRAFICA	
OTOÑO	PELAGICO II	1980		S
	ERFEN V	1982	N	
INVIERNO	* ESMERALDA	1962		C
	MARCHILE VIII	1972	N	C
	CAM. Y LANG.	1979		C S
	ERFEN I	1976	N	C

Primavera

La distribución superficial de Carbono en la zona norte (Fig. 1), indicó que la mayor producción se localizó frente a la costa con valores que oscilaron entre 15 y 44 mg/m³/día (STEP I), mientras que en la zona central (Fig. 2), se detectó en el área oceánica comprendida entre los 76° y 78°W, con valores máximos de 38 mg/m³/día (SHOYO-MARU).

La distribución superficial de clorofila "a" en la zona norte (Expediciones STEP I; OCEANOGRAPHER; BIO-OCEANOGRAFICO 2/81), mostró la mayor biomasa pigmentaria (> 1,5 mg/m³) centrada en dos áreas cerca de la costa, hasta una máxima distancia promedio de 33 millas. La primera de amplia cobertura se detectó entre los 18°30' y los 24°S y la segunda alrededor de los 30°S (Figs. 3 y 4) y con su máximo valor (> 4,0 mg/m³) detectado alrededor de los 22°S (Fig. 4). Sin embargo, otros núcleos aislados de alta biomasa pigmentaria se localizaron en el área oceánica comprendida entre los 74° y 75°W, frente a los 27°S (Fig. 5). La menor biomasa pigmentaria en la zona norte (< 0,4 mg/m³), se detectó en el área oceánica situada al oeste de los 77°W (Figs. 3 y 6) y en la zona costera comprendida entre los 25° y los 28°S (Fig. 4).

En la zona central (Expediciones SHOYO-MARU; OCEANOGRAPHER; ANTON BRUUN) no se pudo establecer un patrón de distribución para las áreas de menor o mayor biomasa pigmentaria ya que en algunos casos (Figs. 7 y 8), los núcleos importantes (> 1.0) se detectaron frente a Valparaíso y cerca de la costa (aproximadamente 72°W) con concentraciones de 1,2 mg/m³ y 7,0 mg/m³ respectivamente y en otros (Figs. 6 y 7), se localizaron en el

área oceánica alrededor de los 79°W y 74°W con valores de 2,0 y 0,8 mg/m³ respectivamente, y con diferencias marcadas entre los diferentes años de muestreo.

En la zona sur el área de estudio comprendida entre los 35° y los 38°S (Expedición PELAGICO IV), mostró en general una alta concentración de clorofila "a" en la costa, con su mayor núcleo detectado a una distancia promedio de 50 millas de la costa entre los 35° y los 37°S y con valores que fluctuaron entre 2 y 5 mg/m³ (Fig. 9). En cambio, la menor concentración del pigmento se detectó, como una lengua de agua de aproximadamente 15 millas de ancho que corre a lo largo de los 75°W y hasta los 37°30'S (Fig. 9).

Verano

Durante esta temporada en la zona norte (Expediciones MARCHILE V; MARCHILE VII; PELAGICO I y BIO-OCEANOGRÁFICO 4/81), los núcleos de mayor biomasa pigmentaria (> 1,5 mg/m³) se localizaron en 2 áreas costeras, la primera de gran cobertura frente a la zona comprendida entre los 18°30'S y los 22°30'S y la segunda frente a los 30°S hasta una distancia máxima de 30 millas de la costa (Figs. 10, 11 y 12). Por otra parte, en algunos años se detectó alrededor de los 73°W, frente a la zona oceánica de Arica (18°30'S), un núcleo reducido de alta concentración de clorofila "a" (Figs. 11 y 12a), cuya presencia se determinó en dos de los cuatro cruceros analizados. Los núcleos oceánicos de alta biomasa pigmentaria detectados frente a los 22°30' y 27°30'S, no tienen permanencia en el tiempo (Figs. 11 y 12a). El núcleo costero frente a Coquimbo (30°S) se mantuvo durante 1980 y 1982 como una lengua de agua con alta biomasa pigmentaria, que se prolongó hacia el norte desde los 30°30'S hasta los 28°40'S. La cobertura de este núcleo fue similar en los dos períodos, pero los valores de clorofila "a" en 1980 fueron superiores en un 50% (Figs. 12a y b). Los núcleos de menor concentración de clorofila se detectaron al oeste de los 77°W.

En la zona central, la mayor biomasa pigmentaria se detectó cerca de la costa con valores que no superaron los 1.1 mg/m³ (Expedición ANTON BRUUN), en cambio el área con menor concentración se localizó al oeste de los 75°W con valores inferiores a 0,4 mg/m³ (Fig. 13).

Otoño

Durante esta temporada en la zona norte (ERFEN IV), el área con mayor concentración de clorofila "a" ($> 4 \text{ mg/m}^3$), se detectó cerca de la costa (Fig. 15) hasta una distancia máxima de 10 millas frente al sector comprendido entre los $18^{\circ}30'S$ y los $21^{\circ}S$. La menor concentración se midió en la parte oceánica frente al mismo lugar, a una distancia promedio de 46 millas de la costa, la cual disminuyó a 12 en el sector comprendido entre Tocopilla ($22^{\circ}S$) y Chañaral ($26^{\circ}S$) (Fig. 14).

En la zona sur (PELAGICO II), la mayor biomasa pigmentaria se observó cerca de la costa, entre los $35^{\circ}30'S$ y los $37^{\circ}30'S$, con dos núcleos principales (2.0 mg/m^3) situadas a una distancia promedio de 50 millas de la costa frente a los $35^{\circ}30'S$ y los $37^{\circ}S$. En cambio el área con menor biomasa ($< 0,4 \text{ mg/m}^3$) se detectó más alejada de la costa (entre 70 y 75 millas), constituyendo dos núcleos pequeños situados frente a los $35^{\circ}30'S$ y los $38^{\circ}30'S$ respectivamente (Fig. 15).

Invierno

En la zona norte (Expediciones MARCHILE VIII y X) los núcleos de mayor biomasa pigmentaria ($> 1,5 \text{ mg/m}^3$), se detectaron cerca de la costa en dos lugares bien definidos. El primero desde Arica a Iquique ($18^{\circ}30'S$ a $20^{\circ}30'S$) se prolongó hasta una distancia no mayor de 50 millas, y el segundo frente a Coquimbo no superó las 30 millas de la costa. Además en la zona oceánica de Arica ($18^{\circ}30'S$) se midieron núcleos importantes entre los 73° y los $76^{\circ}W$ (Figs. 16 y 17), que se mostraron como una lengua de agua con alta biomasa pigmentaria cuyos valores decrecieron a medida que ella se introdujo hacia el sur por los $75^{\circ}W$, hasta los $21^{\circ}S$ aproximadamente. La menor biomasa pigmentaria ($< 0,4 \text{ mg/m}^3$) se detectó al oeste de los $75^{\circ}30'W$ constituyendo un cuerpo de agua con una distribución homogénea de sus valores.

En la zona central (Camarón/Lang 1979; ERFEN I y MARCHILE X), las altas concentraciones de biomasa pigmentaria ($> 1,5 \text{ mg/m}^3$), se detectaron cerca de la costa y tanto los valores de clorofila "a" como la cobertura de sus núcleos aumentó gradualmente hacia el sur alcanzando su máximo valor frente a los 35° a una distancia de 25 millas de la costa. Por otra parte, las bajas concentraciones se midieron en la zona más

oceánica, hacia el oeste de esta franja productiva. Sin embargo, frente a Valparaíso la cobertura de esta área con baja biomasa pigmentaria alcanzó hasta las 10 millas de la costa (Fig. 18).

En la zona sur la alta biomasa pigmentaria ($> 1,5 \text{ mg/m}^3$) se localizó en las primeras 25 millas de la costa comprendida entre los 35° y los 37°S y sus valores mostraron una tendencia a aumentar gradualmente hacia la zona situada frente a los $36^\circ30'\text{S}$, lugar donde se detectó la máxima concentración del pigmento. Sin embargo, la gradiente que se observó en los valores de clorofila fue más marcada desde los $36^\circ30'$ hasta los $37^\circ20'\text{S}$ en comparación con la observada entre los 33° y los 36°S , siendo en el primer caso la gradiente de $12,0 \text{ mg/m}^3$ en sólo 50 millas náuticas (Fig. 18).

b) Distribución temporal de clorofila en las bahías

Se describe a continuación la fluctuación temporal de la clorofila "a" en las bahías de Coquimbo, Herradura de Guayacán, Valparaíso y Concepción.

En la bahía Herradura de Guayacán sus valores fluctuaron entre $0,41$ y $11,74 \text{ mg/m}^3$, detectándose sus mínimas concentraciones (< 3) a fines de noviembre y febrero (Fig. 19), mientras que los máximos fueron medidos en julio y enero con valores superiores a 9 mg/m^3 . En cambio en la bahía de Coquimbo los valores oscilaron entre $1,7$ y $17,4 \text{ mg/m}^3$ con su menor expresión en julio y fines de noviembre, a la vez que su máxima expresión se midió entre octubre y noviembre (Fig. 20).

La distribución temporal en la bahía Herradura de Guayacán (Fig. 21a) mostró tres períodos de alta biomasa pigmentaria ($> 5 \text{ mg/m}^3$), que correspondieron con el inicio de invierno, término de invierno e inicio de primavera, y con el comienzo de verano. En cambio en la bahía de Coquimbo (Fig. 21b), sólo se detectó un período de máxima concentración ubicado a mitad de primavera. Por otra parte, en bahía Herradura de Guayacán, los períodos con baja biomasa pigmentaria se observaron a mediados de invierno, y entre fines de primavera y término de verano (Figs. 20 y 21b), mientras que en Coquimbo los dos períodos de baja biomasa se detectaron al inicio de invierno y casi al término de primavera.

En la bahía de Concepción, los valores de clorofila "a", fluctuaron entre 0,3 y 35,0 mg/m³, con su mínimo valor detectado a 100 m de profundidad en la estación más alejada de la costa y casi en la etapa final del período de muestreo de tres días. El máximo se determinó a 10 m de profundidad, en las estaciones interiores de la bahía durante el segundo día de trabajo. Este núcleo permaneció constante y se replegó a la costa, mientras el segundo núcleo localizado en un área adyacente (zona oceánica), aumentó gradualmente su concentración y se introdujo hacia la bahía (Fig. 22). Matrai (1981) señala que entre ambos núcleos existe una continuidad biológica, expresada en la gradiente de concentración de clorofila "a", con valores mayores a 10 mg/m³.

Los estudios sistemáticos sobre la dinámica fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso (Avaria 1971, 1975, Alvial & Avaria 1981, 1982, Pizarro 1973, 1975) y en las aguas adyacentes (Ramírez 1975, Ramírez & Uribe 1976, Uribe 1978), indican que su ciclo anual sigue una distribución semejante a la de mares templados, con una gran proliferación en primavera-verano detectada preferentemente entre agosto y febrero y otro de baja actividad celular en el período otoño-invierno que se extendió entre marzo y julio.

La información de biomasa pigmentaria entregada por Avaria (1975) indicó que el ciclo anual 1972-1973 en el interior de la bahía presentó marcadas fluctuaciones cuantitativas (Fig. 23), observándose diferencias muy notables en un período de 7 días. La etapa con mayor concentración del pigmento (> 1,5 mg/m³), se extendió desde el inicio de octubre hasta probablemente fines de marzo, observándose en ella dos núcleos de baja biomasa (< 0,5 mg/m³). El primero con una duración aproximada de 3 semanas se extendió desde mediados de noviembre hasta principio de diciembre y otro de menor importancia se detectó en enero. A su vez la fase con menor concentración de clorofila "a" (< 0,5 mg/m³) se prolongó desde abril hasta comienzo de octubre, siendo alterada por tres incrementos aislados de un máximo de 7 días de duración en abril, junio y septiembre y otro aumento más prolongado (aproximadamente 3 semanas) en julio.

La primavera de 1977 se caracterizó por una alta biomasa fitoplanctónica distribuida claramente en 2 períodos que correspondieron con el inicio y término de primavera y en los cuales los valores de clorofila "a" fluctuaron entre 0,1 y 23,8 mg/m³, con un valor promedio de 4,8 mg/m³ en la columna

de agua comprendida entre 0 y 30 m de profundidad (Fig. 24).

Los factores meteorológicos medidos en esta misma temporada indicaron 5 períodos de intensificación de vientos sur y suroeste, que fueron propicios para la realización de un proceso de surgencia e intercalados con 4 fases de atenuación (Fig. 25). Los períodos de atenuación de los vientos correspondieron con el ascenso, en el sector costero, de las isolíneas de baja temperatura (12°C), baja concentración de oxígeno disuelto (2 ml/l), y alta concentración de fosfato (2,5 at-gr de $\text{P-PO}_4/1$) y nitrato (11 at-gr $\text{N-NO}_3/1$).

Por otra parte, el análisis estacional de la biomasa pigmentaria efectuado por Ramírez (1975) en Punta Curaumilla (sur de la bahía), detectó un aumento en la concentración de clorofila "a" en primavera, con su mayor valor medido en noviembre en una estación costera situada en 150 m de profundidad y otro observado a mediados de octubre para la estación oceánica situada sobre la isóbata de 1500 m (Fig. 26).

En la estación menos profunda se detectó claramente un florecimiento otoñal y otro primaveral con fluctuaciones graduales, mientras que en la oceánica sólo se detectó el bloom primaveral con una oscilación muy marcada. Uribe (1978), establece que el fenómeno de surgencia en Punta Curaumilla, por sus características físico-químicas, es favorable para el desarrollo de las poblaciones fitoplanctónicas, con altas tasas de biomasa pigmentaria y celular entre la superficie y los 25 m de profundidad, desde 3 a 10 millas de la costa (20 mg/m^3 de clorofila "a"; 7.0×10^6 cél/l), coincidiendo con altas concentraciones de nutrientes.

DISCUSION

Distribución geográfica

La distribución geográfica de la clorofila "a" en la zona norte mostró, en su ciclo anual, que el área frente a Coquimbo de aproximadamente 1000 millas² se mantuvo durante todo el año; en cambio, la situada entre Arica y Antofagasta fluctuó de acuerdo a la temporada presentando su mayor cobertura (9000 millas²) en primavera (Fig. 26a), y la menor (600 millas²) en invierno (Fig. 26b), con un decremento gradual entre estos

períodos. Es importante señalar que la información utilizada para evaluar la distribución de otoño, correspondió a un período previo al desarrollo del fenómeno "El Niño". En la zona central, el área con alta biomasa pigmentaria se detectó en invierno (Fig. 27d), y su cobertura disminuyó en primavera sin superar las 800 millas (Fig. 27a). Esta fluctuación anual fue inversa a la observada en la zona norte. En la zona sur, el área con alta biomasa pigmentaria se detectó en primavera con una superficie de 6.300 millas² (Fig. 27a) que disminuyó en verano (Fig. 27b) y terminó reducida a núcleos locales durante la temporada de otoño (Fig. 27c).

Al relacionar los florecimientos fitoplanctónicos con la influencia de factores oceanográficos se ha observado en la mayoría de los trabajos realizados en áreas costeras que existe una buena correspondencia con el fenómeno de surgencia (Matrai 1981, Uribe 1978, Ramírez 1975, Alvial & Avaria 1981 y 1982, Olivares 1980), por ello la distribución que tienen las zonas y períodos de surgencia a lo largo de nuestro litoral puede servir para explicar aquella observada por la comunidad fitoplanctónica en temporadas semejantes.

Neshyba & Méndez (1976), a partir de la información de satélite obtenida en los años 1974 y 1975, indicaron que la surgencia se presentó con más consistencia en primavera al norte de Arica y en la zona adyacente a Concepción; en verano frente a Arica e Iquique, y en otoño e invierno entre los 20° y 35°S. Frente a Coquimbo se observó un fenómeno de surgencia durante todo el ciclo anual (Fig. 28).

La distribución estacional de la surgencia correspondió con los florecimientos fitoplanctónicos. Así en la zona norte la mayor consistencia del proceso se detectó en primavera y verano entre los 18° y 21°S (Fig. 28) y se asoció con la mayor cobertura e intensidad de las áreas productivas (Figs. 27a y b). En otoño e inicio de invierno la surgencia se detectó entre los 20° y 35°S (Fig. 28), pero aparentemente no presentó una relación con la riqueza fitoplanctónica, debido a que su muestreo correspondió con el período otoñal precedente al desarrollo del fenómeno "El Niño" y éste podría influir en la relación biooceanográfica. Frente a Coquimbo se detectó un área de surgencia permanente que coincidió con las áreas de alta producción.

En la zona central la mayor consistencia de la surgencia se observó en otoño e inicio de invierno, pero no presentó

correspondencia con las áreas productivas. Sin embargo, otros núcleos de surgencia medidos en verano, entre los 32° y 34°S, correspondieron con las zonas de alta concentración de clorofila "a". Finalmente, en la zona sur la surgencia se observó a fines de invierno y en primavera, entre los 35° y 39°S y correspondió con la distribución de clorofila "a". En los períodos de verano, otoño e inicio de invierno la surgencia no se detectó por lo que su ausencia se relacionó con la pobreza fitoplanctónica (Fig. 28).

Por otra parte, el área oceánica con alta biomasa pigmentaria sólo mostró algunas diferencias estacionales frente a la costa norte. Así, la riqueza fitoplanctónica detectada en invierno frente a Arica disminuyó considerablemente a medida que avanzó la temporada, hasta quedar reducida a núcleos esporádicos de menor cobertura y centrados entre los 73° y 75°W. Al parecer, esta alta biomasa pigmentaria se origina por un proceso de divergencia localizada en la zona de roce entre la Corriente Humboldt y la Contracorriente del Perú, la que según Sievers & Silva (1975) se desplaza hacia el sur a lo largo de los 75°W. Forsberg & Joseph (1966), atribuyen la riqueza oceánica a un proceso de divergencia oceánica entre las dos corrientes mencionadas.

El florecimiento fitoplanctónico y su relación con las variables oceanográficas en las bahías

El florecimiento del fitoplancton en las bahías de Coquimbo y Herradura de Guayacán fue dependiente del fenómeno de surgencia, el cual desplazó hacia el oeste la masa de agua superficial caracterizada por su baja concentración de nutrientes. En el interior de la bahía quedó la capa de agua intermedia cuya alta concentración de nutrientes aumentó rápidamente con la profundidad y la capa profunda con una concentración similar, pero con una gradiente menor que la anterior. Esta característica se observó en invierno para ambas bahías y hacia fines de primavera para la bahía Herradura de Guayacán. Los valores de clorofila "a" medidas en ambas bahías no presentaron diferencias significativas, lo que permitió estimar que en ellas el sistema productivo fuera similar (Olivares 1980). Además, en la superficie se detectó que a un período de alto contenido de micronutrientes le siguió otro de alta concentración de clorofila "a".

En la bahía de Concepción también se detectó un evento de surgencia, ya que el agua interior tuvo baja temperatura y alta salinidad similar a la exterior adyacente y superficiales, la cual correspondió con el agua Ecuatorial Subsuperficial (EESS). Las aguas subsuperficiales detectadas fuera de la bahía se introducen a ésta por el aumento de la salinidad en la columna de agua superficial, favorecida por la presencia de un núcleo de baja salinidad y por el efecto friccional del viento. Esta agua Ecuatorial Subsuperficial rica en nutrientes y pobre en oxígeno, cuando ascendió y entró a la capa fótica, disminuyó su disponibilidad de nutrientes por el consumo provocado por el fitoplancton. Cuando comienza esta disminución, los nitratos se constituyen en los elementos limitantes para su crecimiento celular (Matrai 1981). Por otra parte, los valores de saturación de oxígeno se correspondieron con los máximos de clorofila "a", lo que indicó un balance entre la producción y la utilización del oxígeno en el proceso de regeneración celular. A su vez, la fertilidad de las aguas en el interior de la bahía medida por la alta concentración de clorofila "a" ($35,0 \text{ mg/m}^3$), duplicó el valor medido en las estaciones adyacentes a la bahía misma, porque fue mayor la estabilidad de la capa superficial.

En la bahía de Valparaíso, los períodos de florecimiento fitoplanctónico estuvieron asociados directamente con la surgencia y la estabilidad de la columna de agua.

El fenómeno de surgencia en Valparaíso se asoció con la presencia de vientos del sur y sur-este, cuyo efecto se evidenció por el ascenso marcado de las isolíneas de temperatura, oxígeno y nutrientes en la zona costera (Alvial & Avaria 1981). Sin embargo, la atenuación de los vientos del segundo y tercer cuadrante generó una condición de estabilidad en la columna de agua que reguló el crecimiento fitoplanctónico. Un corto período de estabilidad favoreció su florecimiento, mientras que otro sostenido por mayor tiempo, hizo disminuir considerablemente el número de células, dado que la disponibilidad de nutrientes disminuyó por efecto del consumo que hacen estos organismos para mantener su tasa de crecimiento. Sin embargo, se debe tener presente que la declinación del proceso productivo podría también estar regulado por la adaptación y/o reemplazo de especies que se observa a lo largo de una sucesión ecológica, hacia un ambiente deficitario de nutrientes, en el cual las células pueden tener una menor tasa de renovación (Guillard & Kiellmann 1977).

Por otra parte, la radiación solar, causante de la estratificación, aumentó con el avance de la temporada de primavera, lo que requiere un mayor valor del producto entre la frecuencia y la intensidad del viento para destruir la capa estratificada y así favorecer el aporte de nutriente.

El reemplazo de los vientos favorables a la surgencia por otros provenientes del norte, permitió la intrusión hacia la costa de una masa de agua oceánica de carácter superficial que presionó el cuerpo de agua allí presente provocando un fenómeno de hundimiento, que se detectó por la inclinación descendente que tienen las isolíneas sobre la costa. Este hundimiento se observó, en general, a mediados de octubre y se mostró como un cuerpo de agua de mayor temperatura y concentración de nutrientes, a la vez que menor concentración de oxígeno, lo que hizo disminuir la capacidad productiva de la bahía. Existen además otras regulaciones del florecimiento fitoplanctónico que se pueden asociar con la reducción de la profundidad de la capa fótica, con la mayor profundidad de la capa de mezcla, con el arrastre hacia el oeste de las poblaciones fitoplanctónicas como consecuencia de una corriente de deriva durante el proceso de surgencia, y con las características biológicas de las especies dominantes provenientes de una sucesión ecológica en el fitoplancton.

Los períodos de pobreza fitoplanctónica, comprendidos entre la temporada de otoño a invierno, se caracterizaron porque el mecanismo de renovación de los nutrientes fue más simple, dado que el enfriamiento de la capa superficial produjo el desaparecimiento de la pycnoclina, lo que facilitó la mezcla vertical.

Variación cuantitativa de la clorofila "a" durante el fenómeno "El Niño"

La distribución cuantitativa de la clorofila "a" consideró la información longitudinal recolectada en las primeras 30 millas de cada sección, porque las fluctuaciones geográficas del pigmento fueron más significativas; en cambio, la observada al oeste de ese lugar presentaron una distribución y homogenización de valores bajos del pigmento. Por otra parte, las variaciones geográficas de tipo latitudinal no fueron significativas entre las secciones.

Los valores de clorofila obtenidos en la zona costera, mostraron diferencias cuantitativas entre los períodos de otoño (Expediciones ERFEN III y IV); invierno (ERFEN I) y primavera (ERFEN V) (Fig. 29). En los períodos de otoño, los valores promedio del pigmento no presentaron diferencias cuantitativas (2.1 y 2.0 mg/m³), por lo que la temporada se clasificó como normal con alta biomasa pigmentaria. En invierno se detectó un decremento de un 45% de su valor en relación a la temporada anterior, el cual correspondió con el patrón establecido para la distribución estacional de la biomasa pigmentaria (Fig. 27). En cambio, durante el muestreo de primavera efectuado durante el desarrollo del fenómeno "El Niño", la concentración de clorofila "a" fue más baja y el valor del pigmento fue similar al de invierno. Esta reducción del valor promedio mostró la influencia cuantitativa que produce el fenómeno sobre la distribución de la biomasa pigmentaria, ya que la tendencia normal que se debe esperar es el aumento de su valor, el que debería ser igual o superior al de otoño.

Esta información cuantitativa señaló que durante el desarrollo del fenómeno, la zona costera comprendida en las 30 millas desde la línea de costa, fue la que recibió el mayor impacto biológico por la reducción considerable de la cobertura de los núcleos de alta biomasa pigmentaria. Por otra parte, se puede suponer un cambio de las características del agua aflorada durante el proceso de surgencia a la vez que podría producirse una atenuación o minimización del mismo.

RESUMEN

Se analiza la información existente sobre la distribución espacial y temporal de la clorofila "a" y su relación con algunos factores oceanográficos a lo largo de la costa chilena, dando especial importancia al área comprendida entre Arica ($18^{\circ}30'S$) y Chañaral ($26^{\circ}20'S$) y hasta las 200 millas de la costa.

Se hace un análisis comparativo de la distribución de los pigmentos fotosintéticos bajo condiciones normales en la época de otoño con aquella registrada en la primavera de 1982 durante el último fenómeno "El Niño". En condiciones normales, se registraron altos valores de clorofila "a" entre la costa y

20 millas, con valores máximos de 25.0 mg/m^3 , mientras que en condiciones anormales, los valores se restringieron a las primeras 10 millas, mostrando una notoria disminución que no superó los 7.8 mg/m^3 . Los valores del promedio ponderado de todo el área de estudio disminuyeron en un 50% durante "El Niño", con respecto a los años normales.

La información existente sobre distribución de pigmentos desde Valparaíso al sur es bastante escasa y se basa principalmente en un crucero oceanográfico-pesquero efectuado desde San Antonio a Corral y en el cual se detectaron áreas de alta producción frente a Punta Iloca y Punta Nugurue.

Se discuten los resultados obtenidos sobre estudio de la variación estacional de pigmentos fotosintéticos efectuados en las bahías de Coquimbo, Herradura de Guayacán, Valparaíso y Concepción. La mayor cantidad de información se refiere a Valparaíso, donde se observó una notoria variación de los pigmentos, detectándose las máximas concentraciones en primavera y las menores en invierno con marcadas diferencias entre el área costera (hasta 10 millas de la costa) y el área más oceánica (afuera de las 20 millas).

LITERATURA CITADA

- 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.
- Anton Bruun Reports. 1970. Scientific results of the Southeast Pacific Expedition. Ed. by Edward Clim. Texas A&M University Marine Lab. Galveston, Texas.
- Avaria, S. 1971. Variaciones mensuales del fitoplancton en la bahía de Valparaíso, entre julio de 1963 y julio de 1966. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 14 (3): 15-43.
- Avaria, S. & E. Orellana. 1975. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. II. Fitoplancton 1970-71. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 15 (2): 131-148.

- Forsberg, E. & J. Joseph. 1963. Phytoplankton production in the South-eastern Pacific. Reprinted from *Nature*, 200 (4901): 87-88.
- Forsberg, E. & W.W. Broenbow. 1965. Oceanographic observation from the Eastern Pacific Ocean collected by the R/V Shoyo Maru, october 1963-March 1964. Inter-American Tropical Tuna Commission, Bulletin 10 (2): 85-236.
- Guillard, R.R. & P. Kilham. 1977. The ecology of marine planktonic diatoms. In: D. Werner (ed) *The Biology of diatoms*. Botanical monographs, 13: 373- 496. The White friars Press Ltd., London.
- Inostrosa, H. 1973. Some oceanographic features of Northern Chilean waters in July 1962. Comp. R. Fraser New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington: 37-46.
- Matrai, D. 1981. Distribución de la biomasa fitoplanctónica y su relación con la distribución de nutrientes en un área de surgencia frente a la bahía de Concepción ($36^{\circ}40'S-73^{\circ}02'W$), Chile en octubre de 1979. Memoria de Título. Facultad de Ciencias Biológicas y de Recursos Naturales. Universidad de Concepción.
- Neshyba, S. & R. Méndez. 1975. Análisis de temperaturas superficiales del mar como indicadores de movimientos de aguas superficiales en el Pacífico Sur Este. *Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur*, 5: 129-137.
- Olguín, H. 1984. Distribución de pigmentos fotosintéticos entre los 18° y 33° Lat. S. y su relación con algunos parámetros oceanográficos (In literis).
- Olivares, J. 1980. Distribución y variación de compuestos micronutrientes y pigmentos fotosintéticos en bahías Coquimbo y Herradura de Guayaacán. Tesis de Título. Escuela de Ciencias del Mar. Universidad Católica de Valparaíso, 72 pp.
- Pizarro, M. 1973. Estudios de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. I. La temperatura superficial y la radiación solar. *Revista de Biología Marina, Valparaíso*, 15 (1): 77-105.
- 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): 181-191.
- Ramírez, B. 1975. Variaciones estacionales de los pigmentos fitoplanctónicos analizados frente a Valparaíso. *Investigaciones Marinas*, 6 (1): 1-24.
- Ramírez, B., Palma, S. & H. Barrientos. 1975. Productividad primaria de las aguas costeras y oceánicas de las zonas norte y central de Chile (Operación Oceanográfica MARCHILE VIII). *Ciencia y Tecnología del Mar*, CONA 1: 69-85.

- Ramírez, B. & E. Uribe. 1976. Estudio bio-oceanográfico al sur de la bahía de Valparaíso. Fitoplancton y productividad primaria. III Simposio Latinoamericano de Oceanografía. El Salvador.
- Ramírez, B. 1981. Condiciones oceanográficas frente a las costas chilenas en las zonas Arica-Coquimbo y Constitución-Isla Mocha (Productividad Primaria). Estud. Doc. Serv. Oceanogr., Universidad Católica de Valparaíso. Informe Final 3/81: 90 pp.
- Richards, F.A. & I.G. Thompson. 1952. The estimation and characterization of plankton populations by pigments analysis. II A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. *Journal of Marine Research*, 11: 156.
- Robles, F., Alarcón, E. & A. Ulloa. 1976. Las masas de agua en la región norte de Chile y sus variaciones en un período frío (1967) y en períodos cálidos (1969, 1971, 1973). Reunión de trabajo sobre el fenómeno como "El Niño", Guayaquil, Ecuador, 4-12 diciembre de 1974. FAO. Informe de Pesca (185): 94-196.
- Unesco. 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monographs on Oceanographic methodology 1, 69 pp.
- Sievers, H. & N. Silva. 1975. Masas de agua y circulación en el Océano Pacífico Sudoriental. Lat. 18° a 33°S (Operación Oceanográfica MARCHILE VIII). Ciencia y Tecnología del Mar, CONA 1: 1-67.
- Silva, N. & D. Konow. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición KRILL. Crucero 3-4. Julio-Agosto 1974. Revista de la Comisión Permanente del Pacífico Sur, 3: 63-75.
- Silva, N. 1981. Condiciones oceanográficas frente a las costas chilenas en las zonas Arica-Coquimbo y Constitución- Isla Mocha (Oceanografía física). Estud. Doc. Serv. Oceanogr. Universidad Católica de Valparaíso. Informe final 2/81: 178 pp.
- Silva, N. & H. Sievers. 1981. Masas de agua y circulación en la región de la Rama Costera de la Corriente de Humboldt. Lat. 18° a 33°S (Operación MARCHILE X-ERFEN I). Ciencia y Tecnología del Mar, CONA 5: 5-50.
- Silva, N. & B. Ramírez. 1982. Condiciones oceanográficas frente a las costas chilenas en 1981. Zonas Arica-Coquimbo, Los Vilos-Chiloé. Estud. Doc. Universidad Católica de Valparaíso. Informe Final 28-1/82: 212 pp.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1960. A manual of sea water analysis. *Bulletins of the Fisheries Research Board of Canada*, 125: 185 pp.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of Seawater analysis. *Bulletins of the Fisheries Research Board of Canada*, 167: 311 pp.

Uribe, E. 1978. Estudio de las comunidades fitoplanctónicas durante un proceso de surgencia frente a Punta Curaumilla. Memoria para optar al título de profesor de Biología. Instituto de Biología, Universidad Católica de Valparaíso, 65 pp.

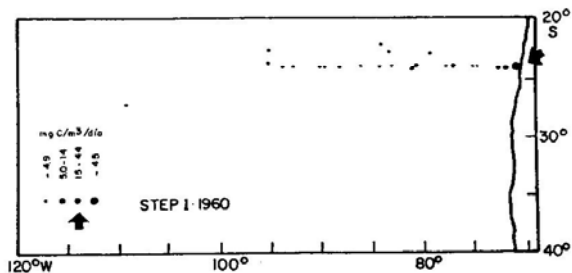


Fig. 1. Se indica el lugar con mayor cantidad de Carbono fijado frente a la zona norte de Chile, durante la Expedición STEP I (primavera 1960). Adaptada de Forsberg & Joseph 1963.

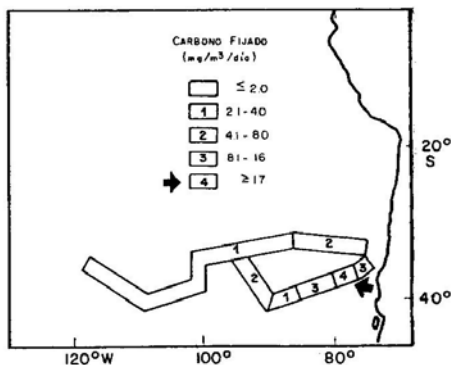


Fig. 2. Se indica el lugar con la mayor cantidad de Carbono fijado frente a la zona central de Chile, durante la Expedición SHOYO MARU (primavera 1963). Adaptada de Forsbergh & Broenkow 1965.

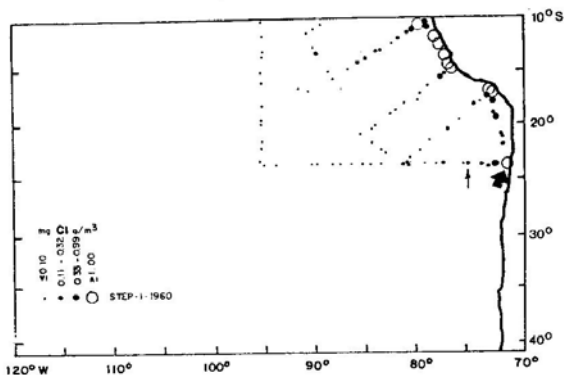


Fig. 3. Se señalan los lugares geográficos de mayor (▲) y moderada (↑) biomasa pigmentaria detectada frente a la zona norte de Chile, durante la Expedición STEP I (primavera 1960). Adaptada de Forsbergh & Joseph 1963.

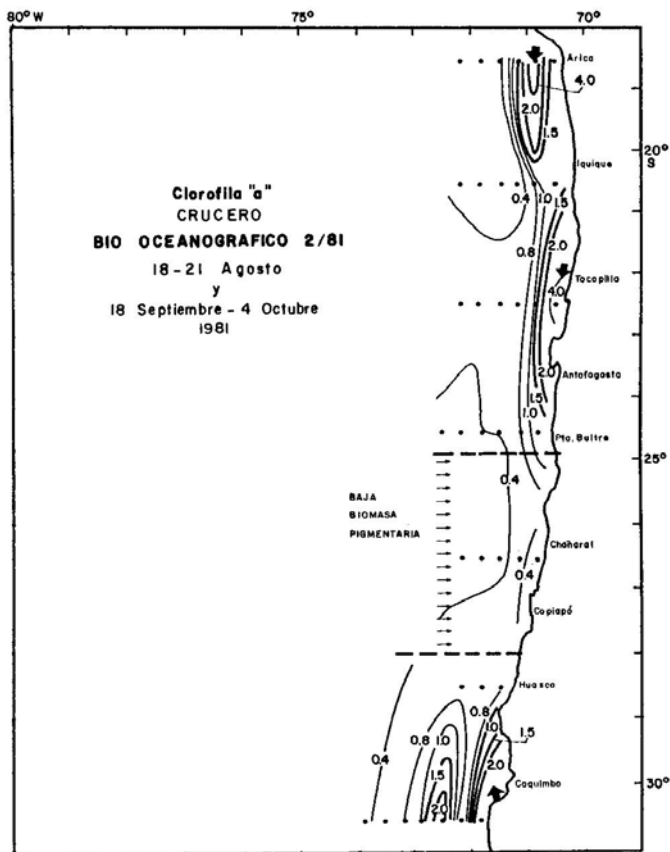


Fig. 4. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m^3). Se indican los lugares de mayor ($\blacktriangledown$) biomasa pigmentaria en la zona norte de Chile (primavera 1981). Adaptada de Silva & Ramírez 1982.

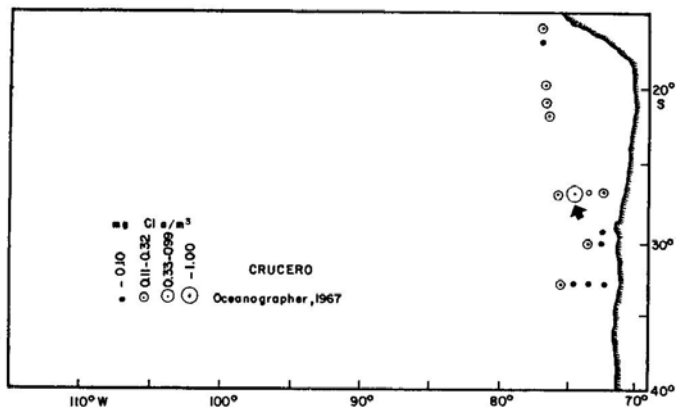


Fig. 5. Distribución superficial de los valores de Clorofila "a" (mg/m^3) en la zona norte-centro de Chile durante la Expedición Oceanographer (primavera 1967). Se indica ($\blacktriangleright$) el lugar de mayor concentración.

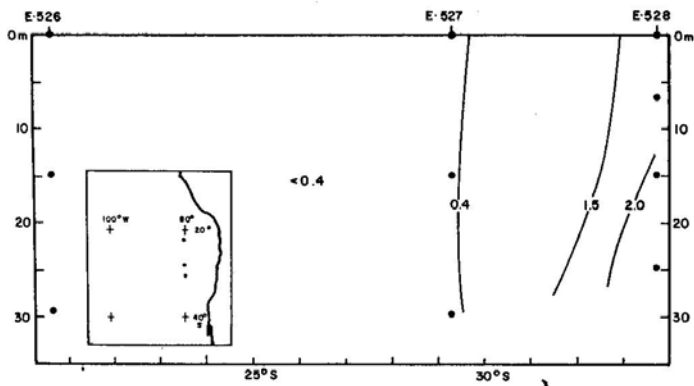


Fig. 6. Distribución vertical de Clorofila "a" (mg/m^3) a lo largo de los 80°W durante el Crucero 12 del R/V ANTON BRUUN (primavera 1965). Anton Bruun Reports 1970.

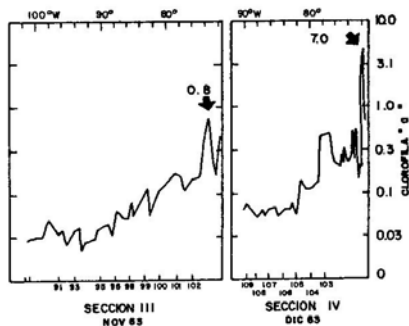


Fig. 7. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m^3) en la costa central de Chile frente a los 30°S (Sección III) y 34°S (Sección IV) durante la Expedición SHOYO MARU. Se indican los puntos de mayor biomasa pigmentaria. Adaptada de Forsbergh & Broenkow 1965.

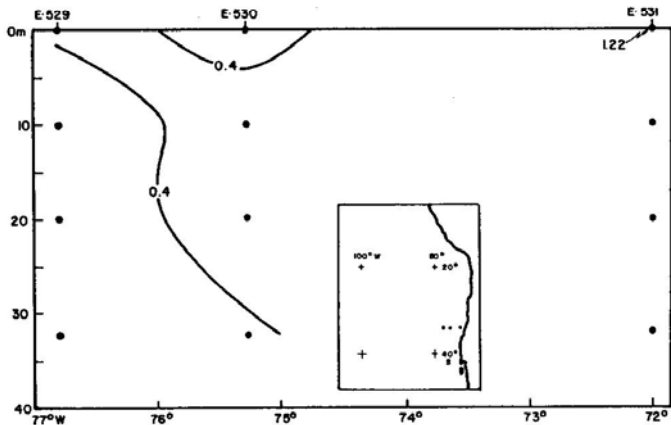


Fig. 8. Distribución vertical de Clorofila "a" (mg/m^3) frente a Valparaíso durante la Expedición del R/V ANTON BRUUN Crucero 12 (primavera 1965). Anton Bruun Reports 1970.

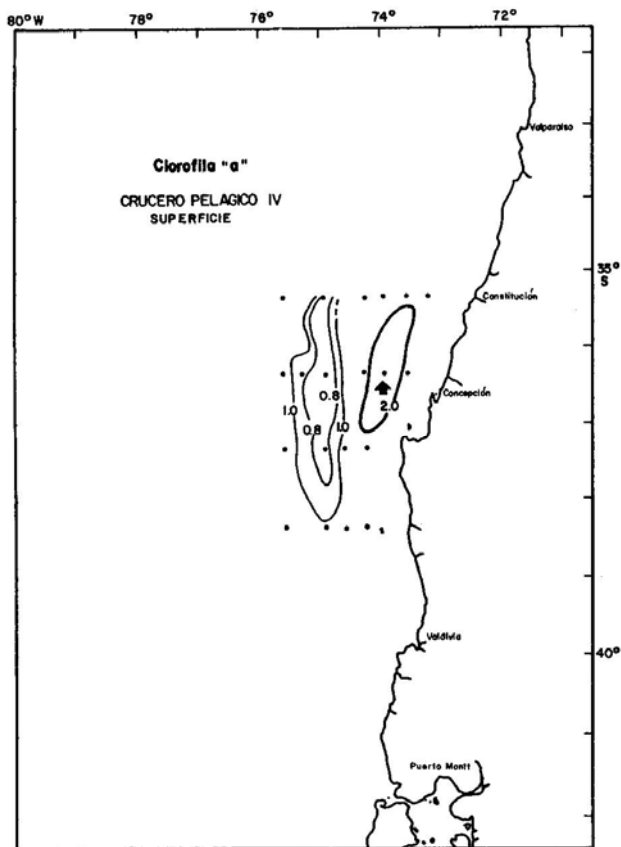


Fig. 9. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m^3) frente a la zona sur, durante la primavera de 1980. Se indica ($\blacktriangle$) el lugar de mayor concentración. Adaptado de Ramírez 1981

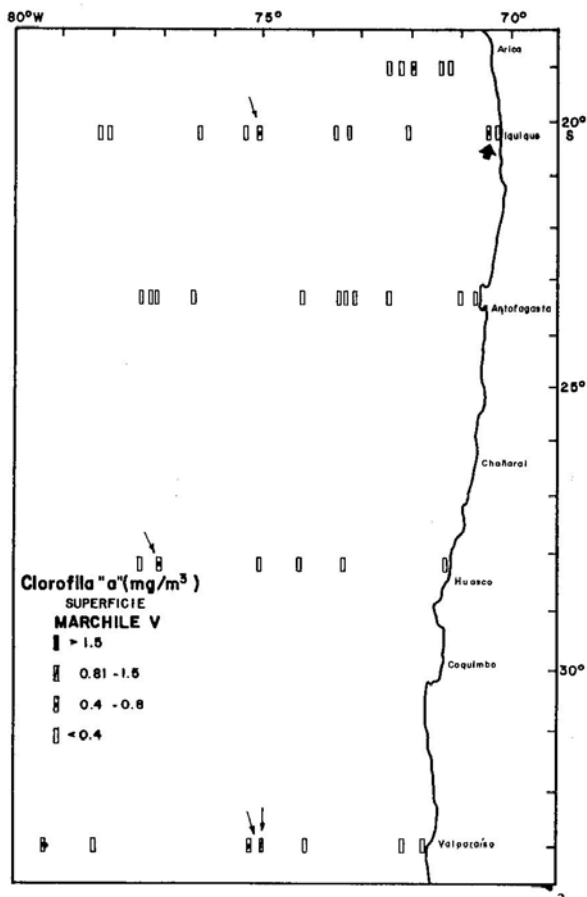
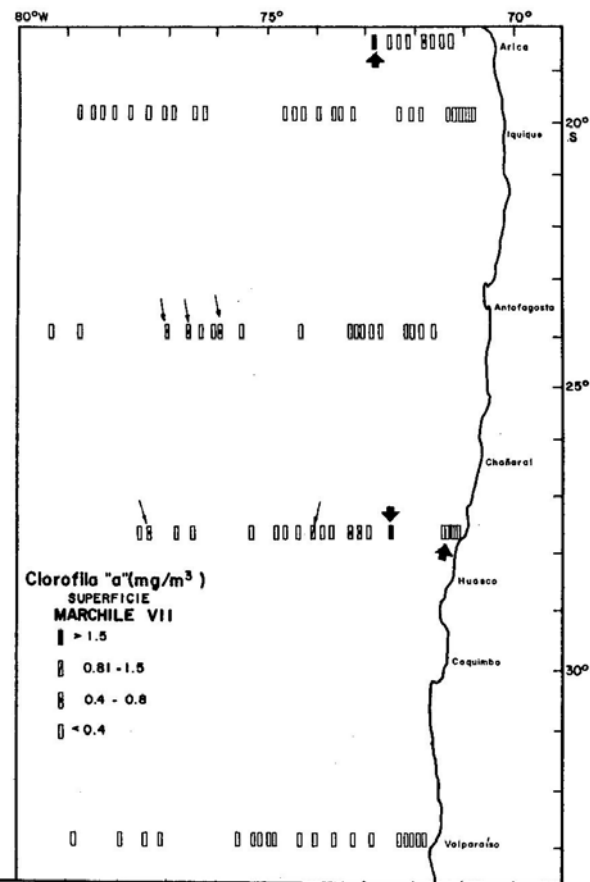


Fig. 10. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m³) en la zona norte. Se indica el lugar de máxima (▲) y moderada (↑) biomasa pigmentaria (verano 1967).



1. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m³) en la zona norte. Se indica el lugar de máxima (▬) y moderada (▤) biomasa pigmentaria (verano 1968).

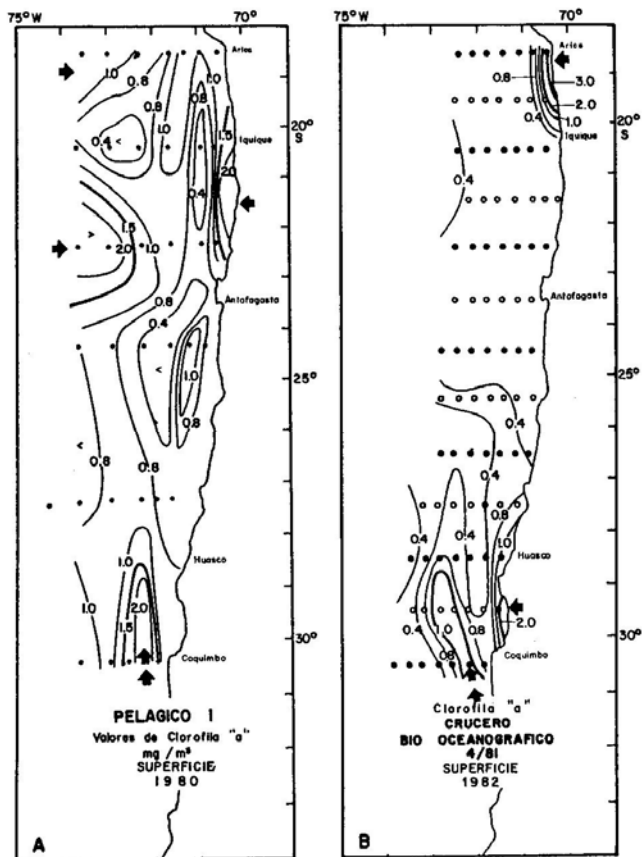


Fig. 12. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m^3) frente a la zona norte de Chile. Se indican (◆) los lugares de mayor concentración en verano de 1980 (A) y 1982 (B). Modificado de Ramírez 1981.

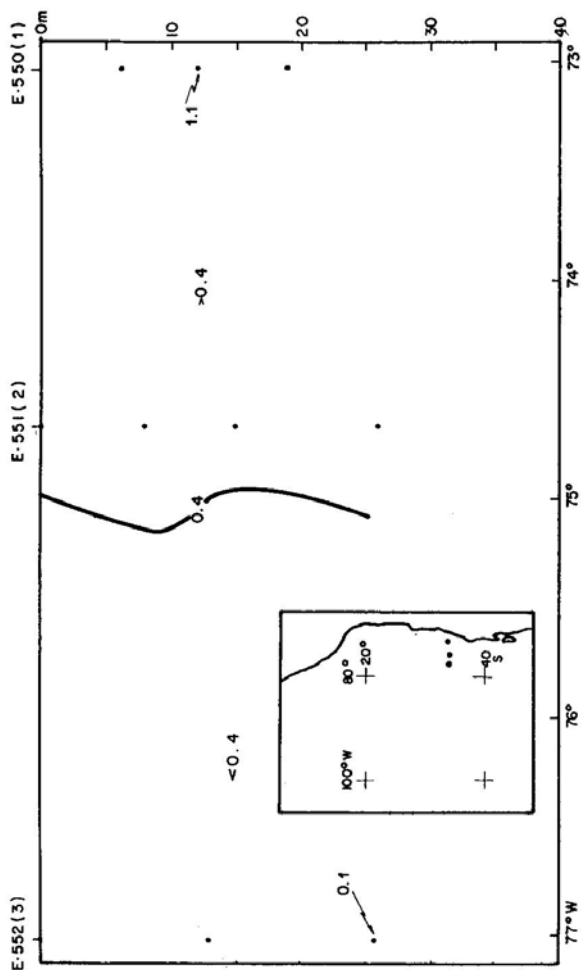


Fig. 13. Distribución vertical de Clorofila "a" (mg/m^3) entre 0 y 30 m de profundidad frente a la zona central de Chile. Crucero 14 R/V ANTON BRUUN (verano 1966). Anton Bruun Reports 1970.

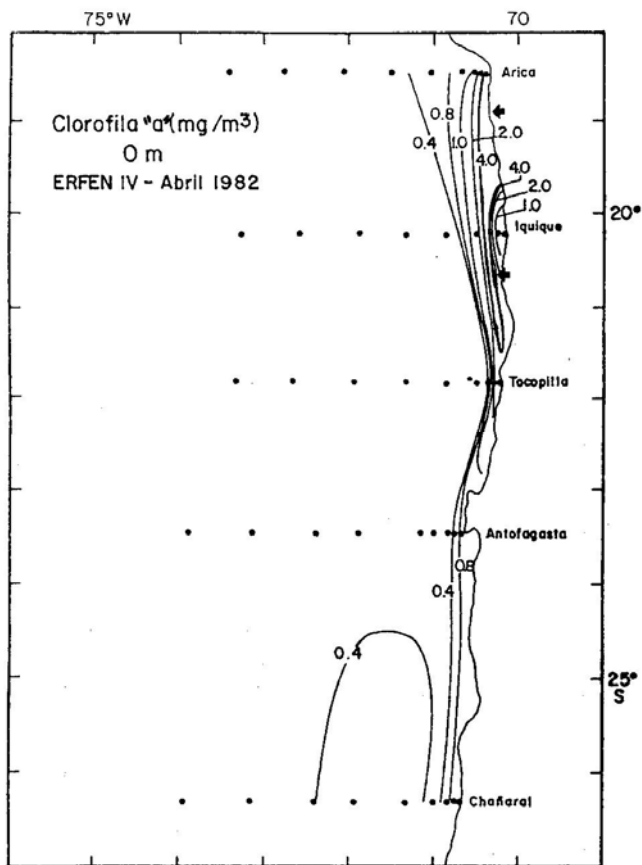


Fig. 14. Distribución superficial de Clorofila "a" frente a la zona norte de Chile (MARCHILE XIII-ERFEN IV, otoño 1982).

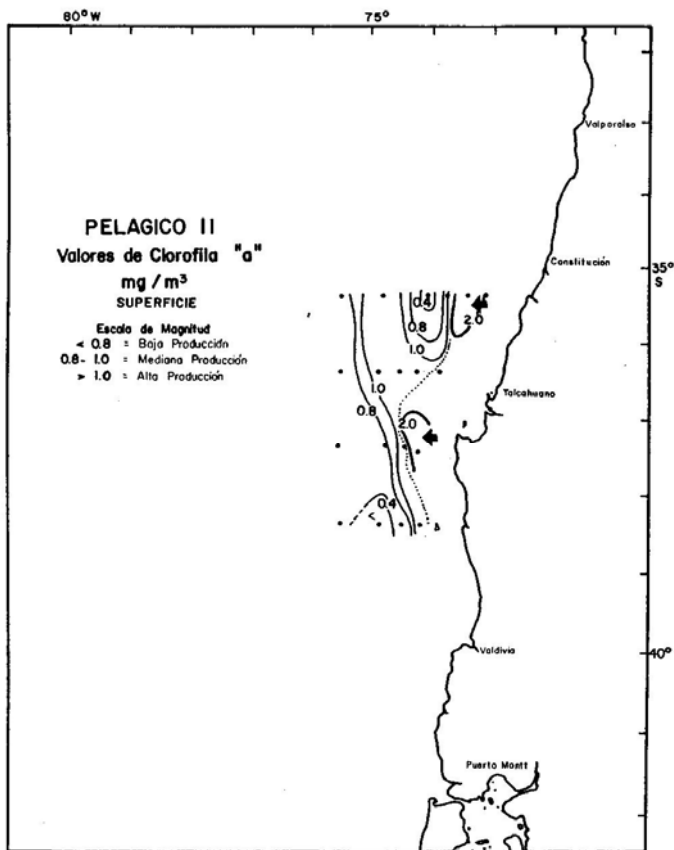


Fig. 15. Distribución superficial de Clorofila "a" entre Constitución - Isla Mocha (otoño 1980). Se indican (➡) los lugares de mayor concentración. Tomado de Ramírez 1981.

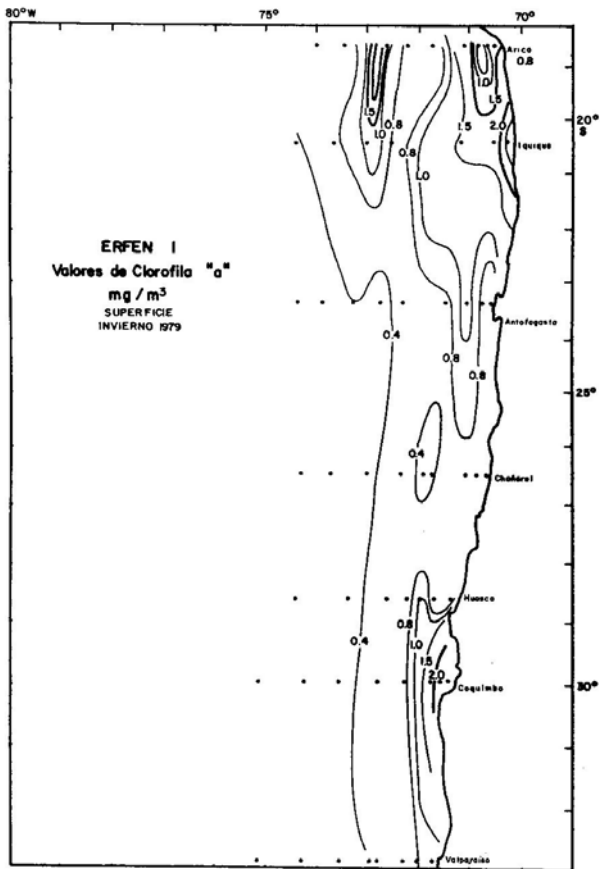


Fig. 16. Distribución de los valores superficiales de Clorofila "a" (MARCHILE X-ERFEN I).

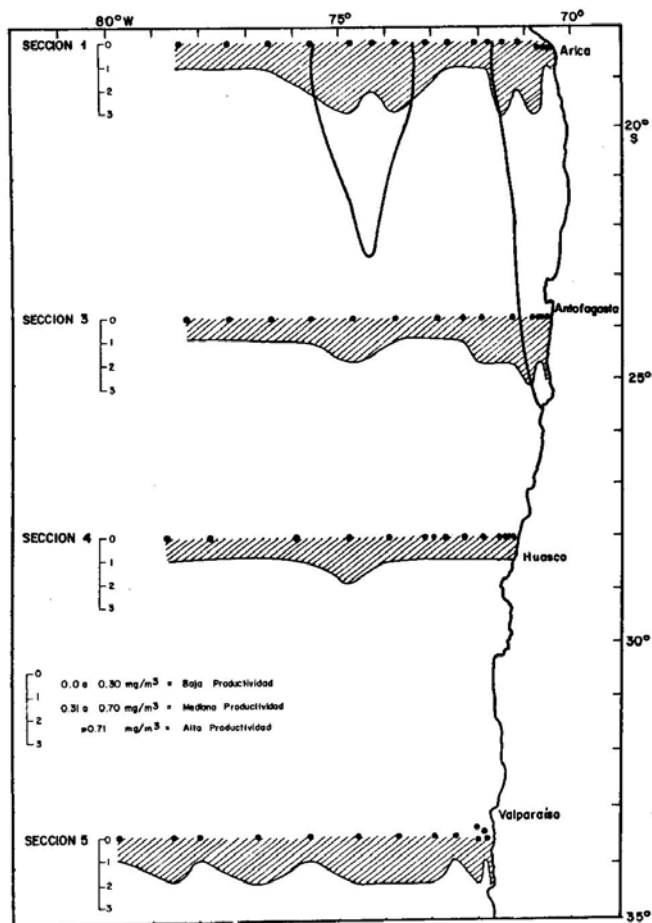


Fig. 17. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m³). La escala dada a la izquierda de la figura señala los valores de baja (1), mediana (2) y alta productividad (3) del área. Adaptado de Ramírez et al. 1975.

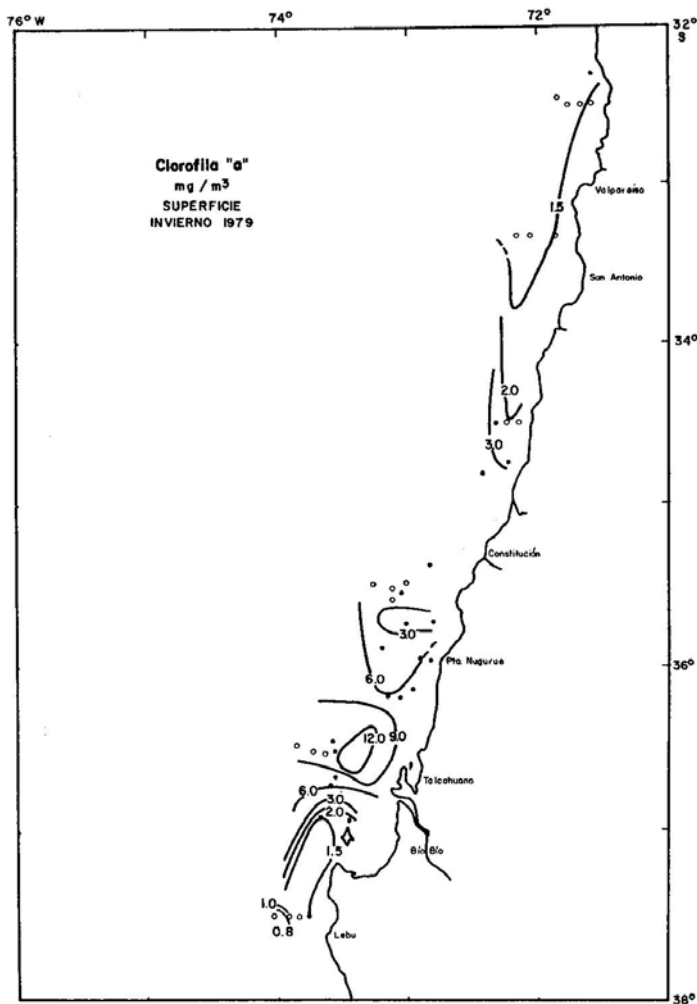


Fig. 18. Distribución superficial de Clorofila "a" (mg/m³) en la zona centro-sur de Chile (invierno 1979).

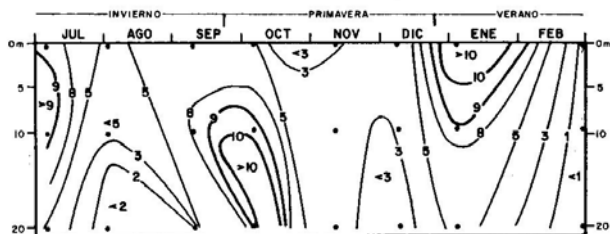


Fig. 19. Distribución vertical de Clorofila "a" (mg/m^3). Estación 1, bahía Herradura de Guayacán, julio 1978 - febrero 1979. Tomado de Olivares 1980.

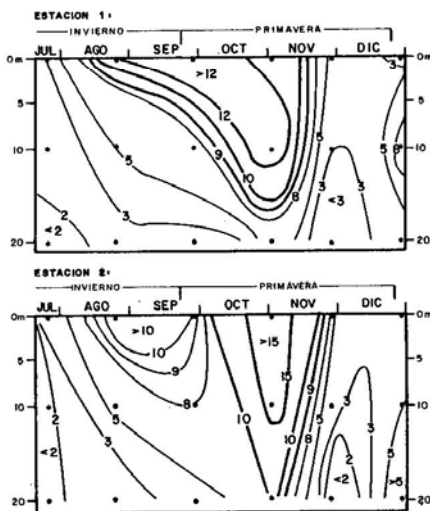


Fig. 20. Distribución vertical de Clorofila "a" (mg/m^3). Estación 1 y 2, bahía Coquimbo, julio-diciembre 1978. Tomado de Olivares 1980.

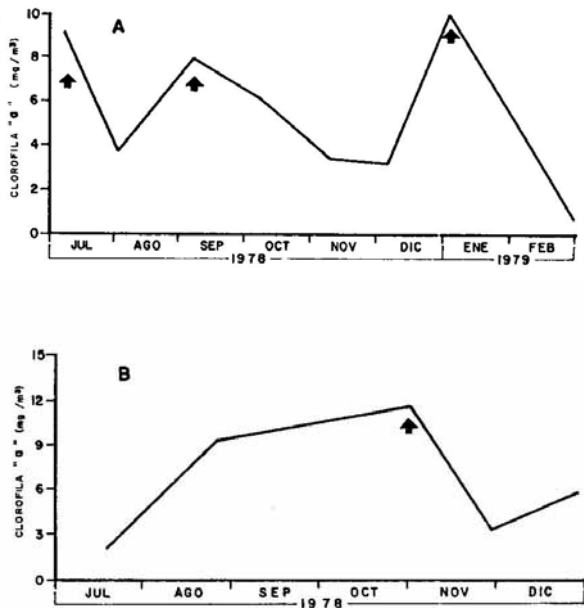


Fig. 21. Variación promedio de los valores de Clorofila "a" para la capa 0-10 m de profundidad en bahía Herradura de Guayacán (A) y Coquimbo (B). Se indican (➤) los períodos de mayor concentración. Adaptado de Olivares 1980.

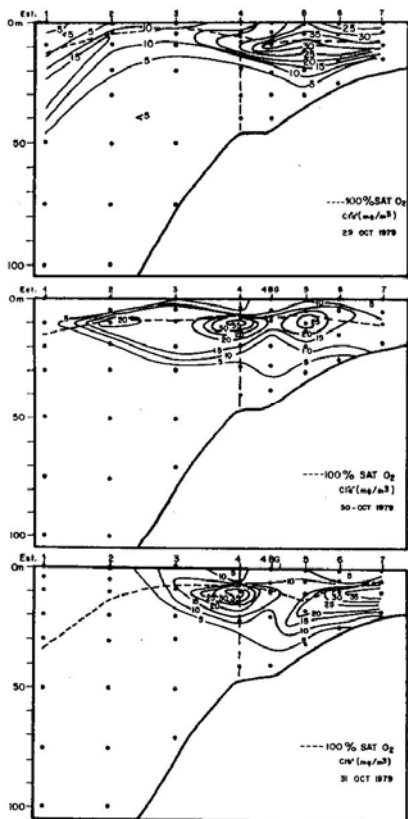


Fig. 22. Distribución vertical de Clorofila "a" durante los días 29, 30 y 31 de octubre de 1979 en la bahía de Concepción y área adyacente. Tomado de Matrai 1981.

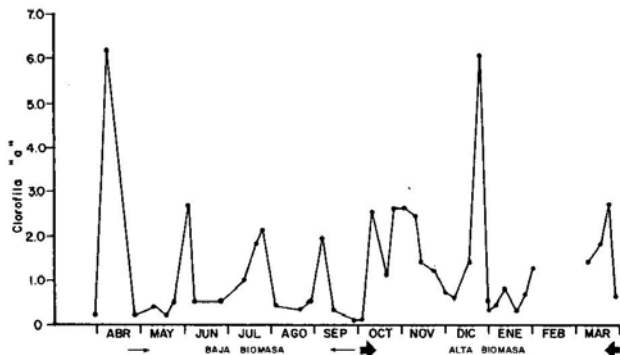


Fig. 23. Distribución temporal de los valores superficiales de Clorofila "a" frente a la bahía de Valparaíso entre abril de 1972 a marzo de 1973. Tomado de Alvial & Avaria 1982.

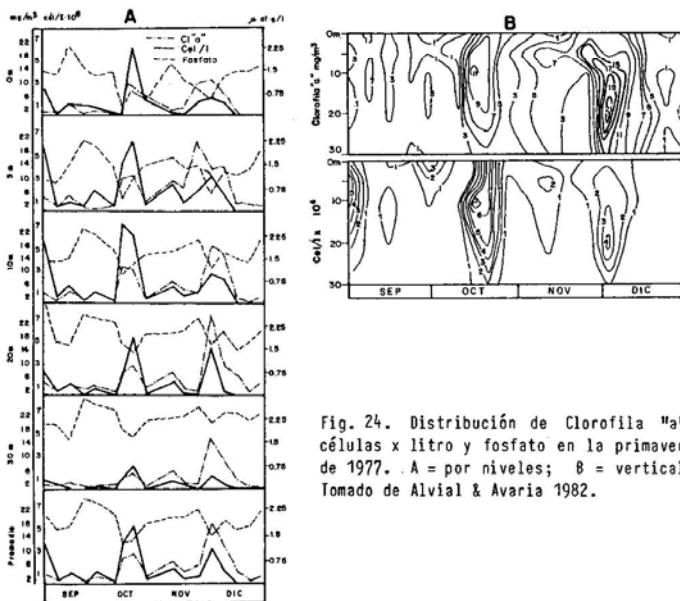


Fig. 24. Distribución de Clorofila "a", células x litro y fosfato en la primavera de 1977. A = por niveles; B = vertical. Tomado de Alvial & Avaria 1982.

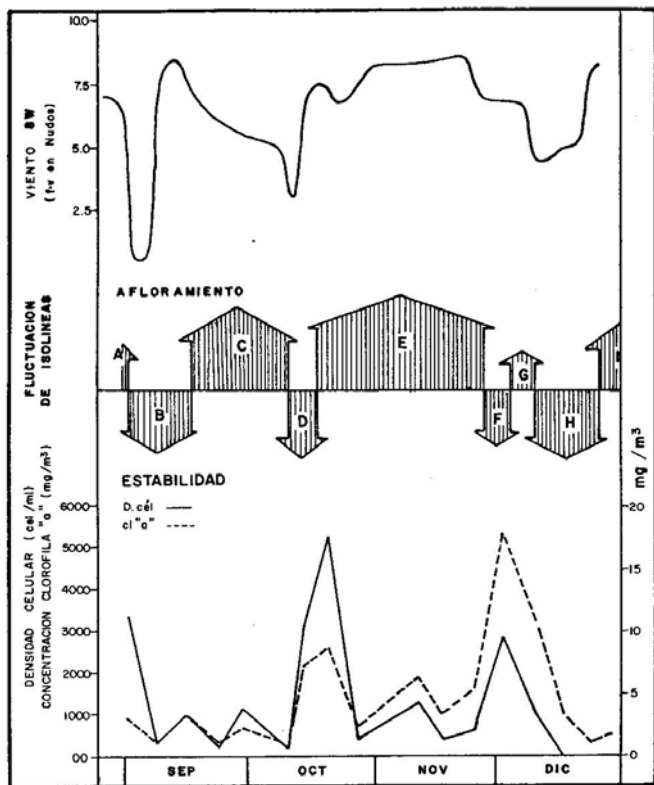


Fig. 25. Relación entre la variación del viento SW, propiedades oceanográficas y la riqueza fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso. Tomado de Alvial & Avaria 1982.

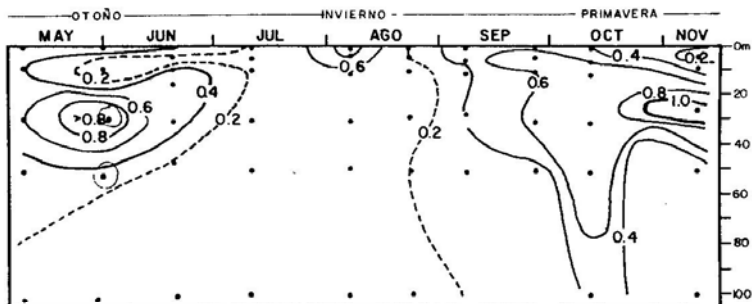
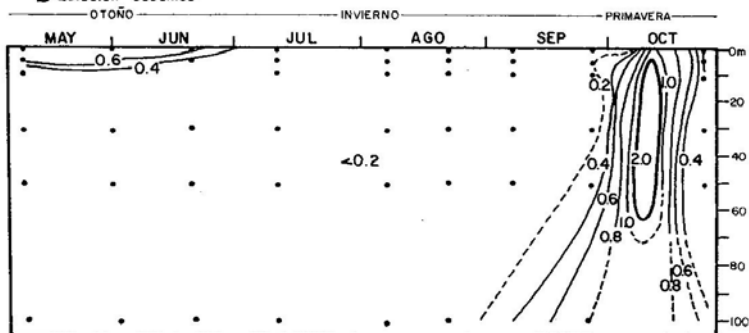
A Estación Costera:**B Estación Océanica:**

Fig. 26. Distribución vertical de Clorofila "a" en estación costera (A) y oceánica (B) frente a Punta Curaumilla, al sur de la bahía de Valparaíso. Tomado de Ramírez 1975.

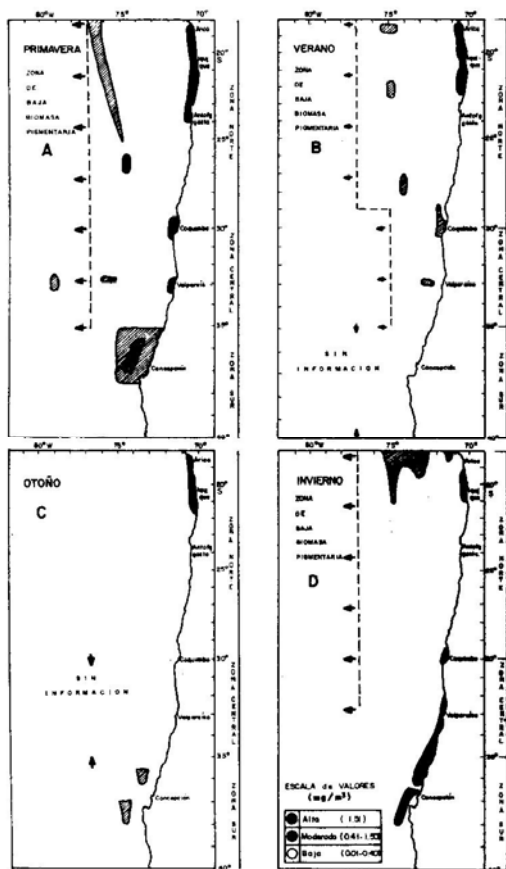


Fig. 27. Distribución cuantitativa superficial de la Clorofila "a" frente a la costa chilena, durante un ciclo anual.

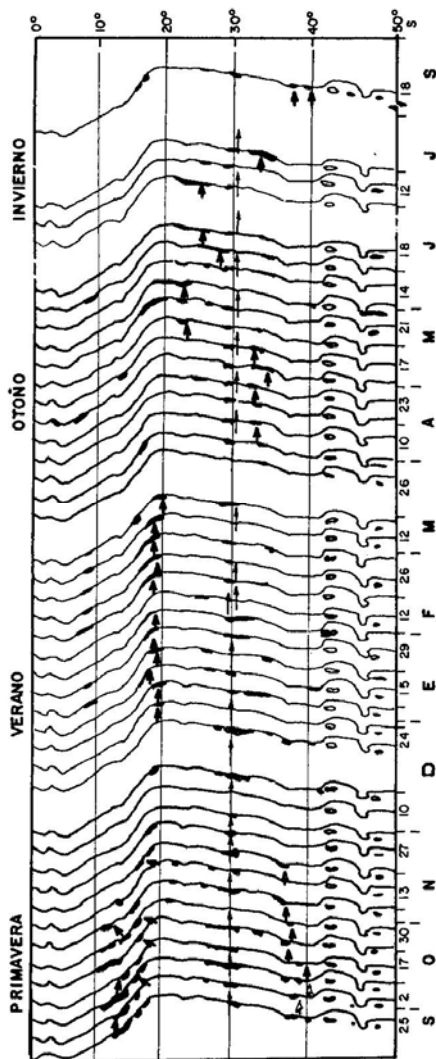


Fig. 28. Distribución anual de las áreas de surgencia frente a la costa chilena. Las áreas sombreadas y marcadas (↑) corresponden a los lugares en que las isolíneas de baja temperatura se cierran sobre la costa. Adaptado de Neshyba & Méndez 1976.

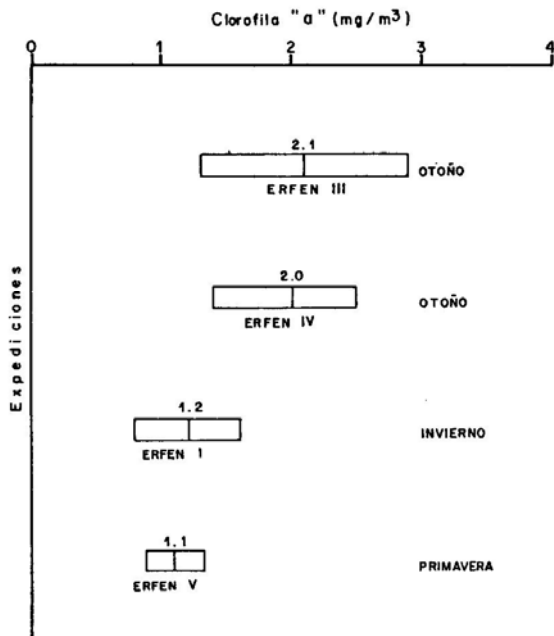


Fig. 29. Variación cuantitativa de los valores promedios de Clorofila "a" medidos en las cuatro estaciones costeras de cada expedición oceanográfica. Se indica la temporada en que se realizó el muestreo.