

## DISTRIBUCION ESPACIAL DEL FITOPLANCTON EN LA PARTE NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA

## SPATIAL DISTRIBUTION OF THE PHYTOPLANKTON IN THE NORTHERN GULF OF CALIFORNIA

Eduardo Millán Núñez

Secretaría de Marina  
Dirección General de Oceanografía Naval  
Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada  
Vicente Guerrero 133-Altos, Fracc. Bahía  
Ensenada, Baja California, México.

*Recibido en octubre de 1990; aceptado en octubre de 1991*

### RESUMEN

Se realizó un estudio del fitoplancton a principios de 1988 en la parte norte del Golfo de California. Las muestras se colectaron a seis profundidades (0, 10, 25, 50, 75 y 100 m), integrándose a su vez los diferentes niveles de muestreo en una sola muestra para determinar la distribución espacial cualitativa y cuantitativa del fitoplancton. Las estaciones localizadas al sur de la Isla Tiburón, mostraron una mayor estratificación en la columna de agua y una mayor abundancia de diatomeas con dominancia de la especie *Thalassiothrix frauenfeldii*. Sin embargo, el Canal de Ballenas mostró ser una zona muy dinámica y generadora de los nutrientes necesarios e indispensables para la actividad fitoplanctónica.

*Palabras claves:* Golfo de California, variabilidad espacial del fitoplancton, especies principales, fracciones de tamaños.

### ABSTRACT

A study of the phytoplankton in the northern Gulf of California was carried out in early 1988. Samples were collected from six depths (0, 10, 25, 50, 75 and 100 m), and integrated into a single sample per station location to determine the spatial distribution of the phytoplankton. Locations south of Tiburón Island presented a greater stratification of the water column and a greater abundance of diatoms, with dominance of the species *Thalassiothrix frauenfeldii*. However, Ballenas Channel seems to be a dynamic region which generates the necessary and indispensable nutrients for the activity of phytoplankton.

*Key words:* Gulf of California, spatial variability of phytoplankton, main species, size fractions.

### INTRODUCCION

El Golfo de California representa una área subtropical con una gran abundancia de fitoplancton y una alta productividad primaria (Alvarez-Borrego, 1983; Millán-Núñez y Gaxiola-Castro, 1989). Las más altas abundancias de fitoplancton que se han registrado en el Golfo de California se han localizado en zonas donde ocurren eventos de surgencias,

### INTRODUCTION

The Gulf of California is a subtropical region with a great abundance of phytoplankton and high primary productivity (Alvarez-Borrego, 1983; Millán-Núñez and Gaxiola-Castro, 1989). The highest abundances of phytoplankton have been recorded in upwelling areas, such as the northeastern Gulf, where the rates of primary productivity

tales como el noreste del Golfo, donde las productividades son del orden de dos o tres veces mayores que el Océano Pacífico o el Atlántico para áreas abiertas y a latitudes similares (Zeitzschel, 1969).

Gilbert y Allen (1943) y Gilmartin y Revelante (1978) reportaron una gran abundancia de células de fitoplancton en áreas del Golfo de California, donde los eventos de surgencias o mezclas por marea inducidos por el viento son muy frecuentes; este tipo de información localiza áreas de gran productividad primaria. Sin embargo, en la mayoría de los casos anteriormente citados, no se han realizado comparaciones de los grupos y tamaños que constituyen el fitoplancton con relación a su medio ambiente. El realizar este tipo de análisis nos dará una mayor información ecológica sobre los florecimientos de organismos y sobre las consecuencias de los eventos de surgencia que se detecten en la parte norte del Golfo de California.

## MATERIALES Y METODOS

A finales de febrero y principios de marzo de 1988, se colectaron 150 muestras de agua de mar en 25 estaciones con seis niveles de profundidad (0, 10, 25, 50, 75 y 100 m) en la parte norte del Golfo de California (Fig. 1), a bordo de la embarcación *De'Steiguer*, propiedad de NOSC (Naval Ocean System Center) de San Diego, California.

Las muestras de fitoplancton fueron colectadas con botellas Niskin de 1.7 litros de capacidad. Inmediatamente después se trasladaron a botellas oscuras de plástico de 250 ml para cada estación y nivel, añadiéndoles una solución de formol al 4% saturado con borato de sodio.

Para los análisis del fitoplancton se integraron las seis muestras de cada estación, tomando para cada profundidad 40 ml hasta tener un volumen total de 240 ml (Edler, 1979). Del volumen total se vertieron 50 ml a una cámara de sedimentación con tres gotas de rosa de bengala, dejándolas posteriormente 24 horas en reposo según lo sugerido por Steemann-Nielsen (1933) para organismos preservados con formol. En la identificación se utilizó un microscopio invertido marca Carl Zeiss con objetivos de 16X y 40X, contando, midiendo e identificando a nivel de género los principales grupos (diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados). Las diatomeas más abun-

are two to three times greater than in the open Pacific or Atlantic Oceans at similar latitudes (Zeitzschel, 1969).

Gilbert and Allen (1943) and Gilmartin and Revelante (1978) reported a great abundance of phytoplankton cells in areas of the Gulf of California where upwellings and tidal mixing caused by the wind are frequent. However, in most of the above studies, comparisons were not made of the groups and sizes of the phytoplankton in relation to their environment. This type of analysis will give us more ecological information on phytoplankton blooms and on the consequences of upwelling events in the northern Gulf of California.

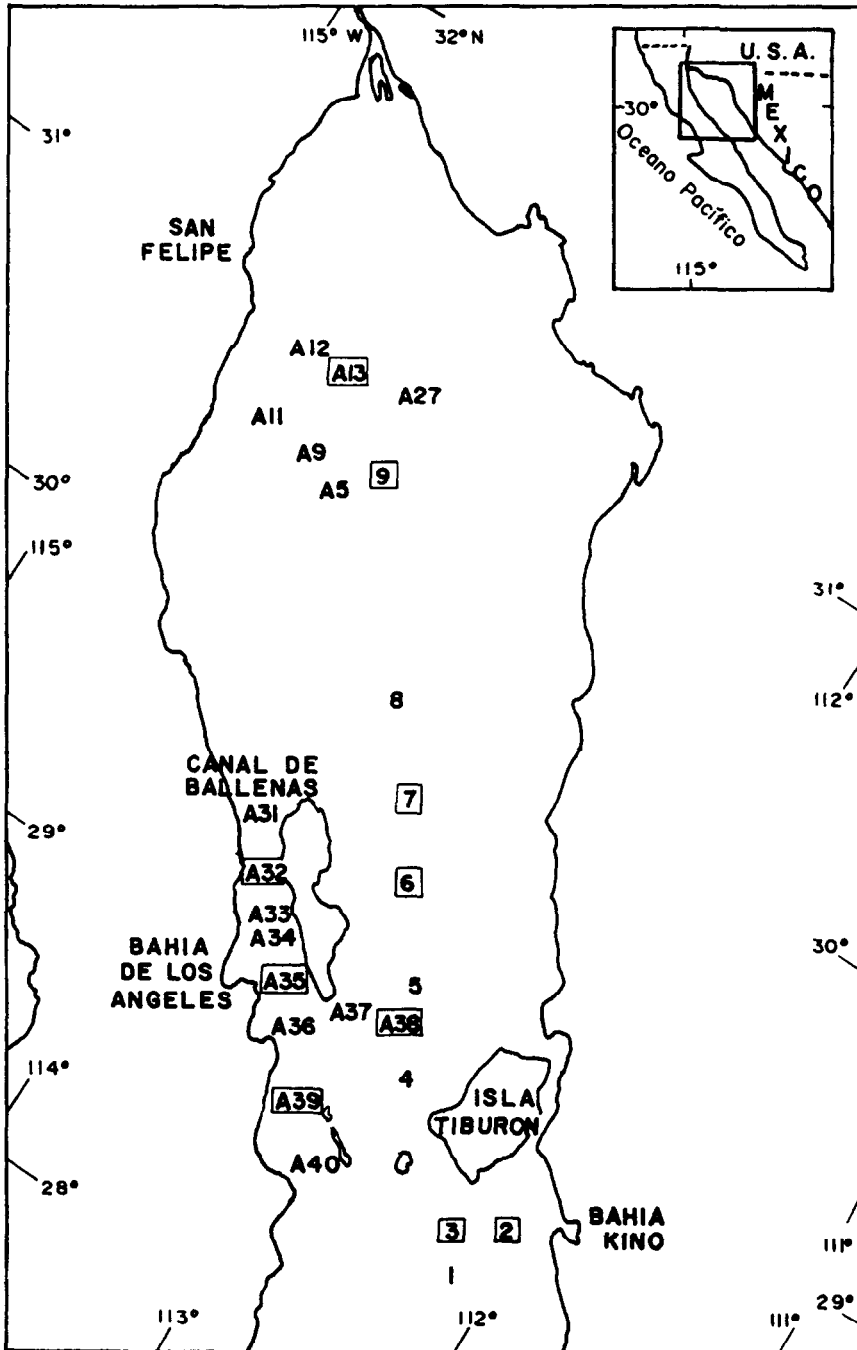
## MATERIAL AND METHODS

At the end of February and beginning of March 1988, 150 samples of seawater were collected from six depths (0, 10, 25, 50, 75 and 100 m) at 25 stations in the northern Gulf of California (Fig. 1), on board the vessel *De'Steiguer*, property of NOSC (Naval Ocean System Center, San Diego, California).

The phytoplankton samples were collected with 1.7-litre Niskin bottles. At each station, the samples from each depth were immediately transferred to 250-ml dark plastic bottles, to which a solution of 4% formol saturated with sodium borate was added.

For the analysis of the phytoplankton, the six samples from each station were integrated into a single sample, taking 40 ml for each depth until obtaining a total volume of 240 ml (Edler, 1979). Of the total volume, 50 ml were poured into a sediment chamber with three drops of rose Bengal and allowed to settle for 24 hours, as suggested by Steemann-Nielsen (1933) for organisms preserved with formol. A Carl Zeiss inverted microscope with 16X and 40X objectives was used to count, measure and identify to genus the main groups (diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates). The most abundant diatoms were identified to species. The term nanoflagellate was used for all organisms less than 20  $\mu\text{m}$  that were unidentifiable to genus. The cells that formed chains were counted and measured individually.

Ten of the 25 stations sampled (2, 3, 6, 7, 9, A13, A32, A35, A38 and A39) were selected for the analysis of the vertical distribution of diatoms. These stations were chosen based on a geographical spacing and on the



**Figura 1.** Area de estudio y localización de las estaciones de muestreo. Los números representan muestras integradas y los cuadros, perfiles verticales de las variables estudiadas.

**Figure 1.** Study area and location of the sampling stations. The numbers represent integrated samples and the squares represent vertical profiles of the variables studied.

dantes se identificaron a nivel de especie. El término nanoflagelados se utilizó para todos aquellos organismos menores de 20  $\mu\text{m}$  que no pudieron ser identificados a nivel de género. Las células que formaron cadenas se contaron y se midieron en forma individual.

De las 25 estaciones muestreadas, se seleccionaron diez (2, 3, 6, 7, 9, A13, A32, A35, A38 y A39) para analizar la distribución vertical del grupo de las diatomeas. Dichas estaciones fueron elegidas con base en un espaciamiento geográfico, así como en las diferentes condiciones ambientales descritas por las variables fisicoquímicas del agua.

La determinación de la amplitud espacial del nicho ecológico (Levins, 1968) estuvo basada en los géneros de las diatomeas y dinoflagelados presentes, trabajando cada grupo por separado para una mayor comodidad en la interpretación de los datos. En este trabajo, los silicoflagelados se incluyeron en el grupo de los dinoflagelados.

En los análisis de clorofila *a* se utilizó la técnica fluorimétrica descrita por Holm-Hansen *et al.* (1965). Los nutrientes se analizaron por medio de un espectrofotómetro Bausch & Lomb Spectronic 1001, con la técnica descrita por Strickland y Parsons (1972).

Se llevaron a cabo análisis estadísticos de varianza de una vía (ANOVA) (Sokal y Rohlf, 1969), para detectar diferencias globales en el grupo de las diatomeas con relación a las estaciones muestreadas.

Se utilizaron un CTD Neil Brown MK 111 y un salinómetro marca Beckman modelo 118WA200. Para la elaboración de las figuras de estabilidad, se tomó el nivel de 50 m como dato superficial para evitar anomalías inducidas por el viento e irradiación solar.

## RESULTADOS

### Muestras integradas

El grupo de los nanoflagelados fue el que presentó una mayor abundancia de células en la mayoría de las estaciones muestreadas (Figs. 2 y 3), a excepción de la estación 3 que se localizó al sur de la Isla Tiburón, en la que se observaron hasta  $610 \times 10^3$  diatomeas por litro. Los dinoflagelados se distribuyeron a lo largo de la zona de muestreo, con un intervalo de valores de 150-18,000 células por litro.

De las diferentes fracciones de tamaño que se analizaron en este trabajo, se observó

different physicochemical variables of the water.

The ecological niche breadth (Levins, 1968) was determined based on the genera of diatoms and dinoflagellates. Each group was analysed separately for greater convenience in the interpretation of the data. In this study, the silicoflagellates were included in the group of the dinoflagellates.

Chlorophyll *a* was analysed using the fluorimetric technique of Holm-Hansen *et al.* (1965). Nutrients were analysed by means of a Bausch & Lomb Spectronic 1001 spectrophotometer, following the technique described by Strickland and Parsons (1972).

One-way statistical analyses of variance (ANOVA; Sokal and Rohlf, 1969) were made to detect overall differences in the group of diatoms in relation to the stations sampled.

A Neil Brown MK 111 CTD and a Beckman salinometer (model 118WA200) were used. For the preparation of the stability figures, the 50 m level was taken as surface value to avoid anomalies due to wind and solar irradiation.

## RESULTS

### Integrated samples

The nanoflagellates presented a greater abundance of cells at most of the stations sampled (Figs. 2 and 3), except at station 3, located to the south of Tiburón Island, where up to  $610 \times 10^3$  diatoms per litre were recorded. The dinoflagellates were distributed throughout the study area, with values ranging from 150-18,000 cells per litre.

The most abundant organisms were those in the  $<10 \mu\text{m}$  size fraction and a maximum value of  $403 \times 10^3$  cells per litre was found at station 3 (Fig. 4). However, at most of the stations, the other fractions (10-20  $\mu\text{m}$  and  $>20 \mu\text{m}$ ) represented a sixth part of the dominant fraction (Fig. 5).

A total of 40 genera (Table 1) were identified at the 25 stations covered by the cruise: 28 diatoms, 10 dinoflagellates and two silicoflagellates.

The most representative genera of diatoms were: *Thalassiothrix*, *Chaetoceros*, *Thalassionema*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia*, *Skeletonema* and *Pseudoecionotia*. The dinoflagellates were mainly represented by *Gymnodinium*, *Gonyaulax* and *Ceratium*.

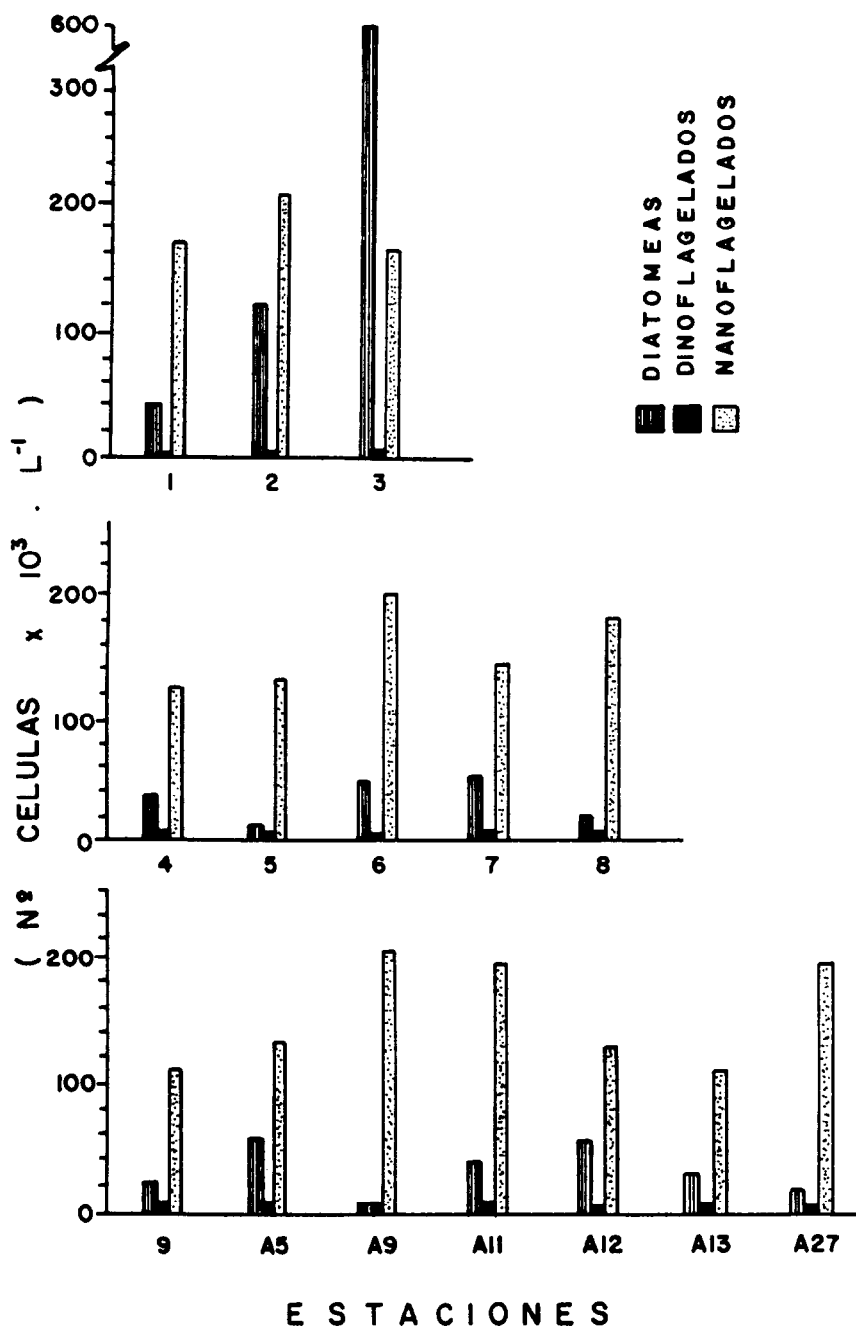


Figura 2. Abundancia del fitoplancton por grandes grupos taxonómicos (diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados). Los números indican las estaciones muestreadas.

Figure 2. Abundance of phytoplankton per main taxonomic groups (diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates). The numbers indicate the stations sampled.

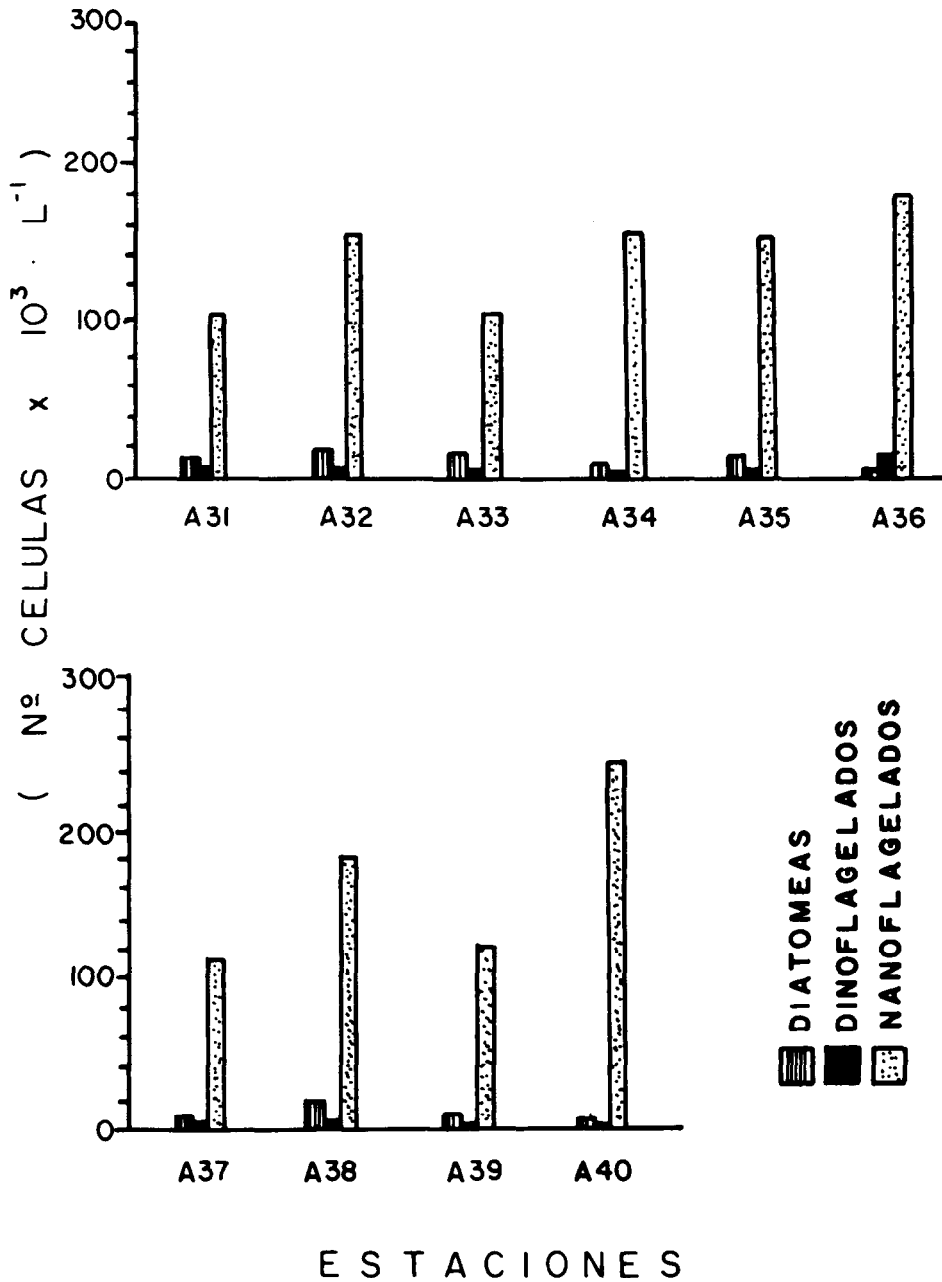


Figura 3. Abundancia del fitoplancton por grandes grupos taxonómicos (diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados). Los números indican las estaciones muestreadas.

Figure 3. Abundance of phytoplankton per main taxonomic groups (diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates). The numbers indicate the stations sampled.

**Tabla 1.** Amplitud del nicho fitoplanctónico a nivel de género, durante el período de muestreo. Los números indican la parte proporcional del género por estación.

**Table 1.** Phytoplankton niche breadth during the study period. The numbers indicate the proportional part of the genus per station.

Dia Estacion Genero	Mes Febrero													Marzo							Amplitud nicho					
	26			27				28						1	2			3								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A5	A9	A11	A12	A13	A27	A31	A32	A33	A34	A35		A36	A37	A38	A39	A40
<b>Diatomeas</b>																										
<i>Thalassiothrix</i>	.28	.13	.06	.39	.15	.50	.50	.80	.85	.33	.84	.47	.41	.37	.24	.17	.16	.05	.12	.48	.60	.33	.27	.14	19.27	
<i>Chaetoceros</i>	.56	.52	.42	.34	.19	.04	.31		.60				.21	.29	.54	.58	.77	.82	.75	.77	.15	.07	.77		16.57	
<i>Thalassionema</i>	.01	.03	.03	.03	.33	.38	.13	.08				.05	.09	.05	.07	.00	.04	.07	.02	.09	.27	.06	.28	.04	12.93	
<i>Coccolodiscus</i>	.01	.00	.13	.09	.07	.00	.00	.05	.00	.01	.03	.03	.03	.04	.04	.00	.01	.01	.03	.06	.08	.42	.00	.01	9.71	
<i>Rhizosolenia</i>		.09	.00	.07		.01	.02					.00	.04	.06	.00	.01	.00		.02	.06	.01	.00		7.65		
<i>Nitzschia</i>	.09	.08	.01	.00	.00	.00	.00	.00	.06	.10	.05	.10	.07	.08			.01	.00	.03					7.20		
<i>Skeletonema</i>		.04	.31					.11																6.79		
<i>Pseudo-nitzschia</i>		.01	.00		.02	.00		.03	.03						.11		.08		.04	.24	.05	.07		6.00		
<i>Thalassiosira</i>	.00	.00	.00	.00	.01				.06	.08	.01	.00	.00						.07					3.86		
<i>Eucampia</i>		.00	.00		.22						.11	.09	.01											3.01		
<i>Actinopteryx</i>					.00							.00			.02						.01	.01	.01	2.74		
<i>Navicula</i>			.00	.00	.00	.00	.02		.00		.00		.00		.02			.01	.03		.00			2.74		
<i>Stephanophysis</i>				.01			.01				.07								.01	.03		.00		1.97		
<i>Guillardia</i>	.02	.00	.00	.00		.00						.03												1.95		
<i>Asterionella</i>	.03	.00																						0.00		
<i>Lithodesmium</i>	.00																					.05	.00	0.00		
<i>Melosira</i>																			.00					0.00		
<i>Bacteriostrom</i>	.00	.00									.00	.00					.00							0.00		
<i>Planktoniella</i>					.00																			0.00		
<i>Asteromphalus</i>	.00	.00		.00	.00									.00		.00								0.00		
<i>Bidulphia</i>			.00		.00						.00										.00			0.00		
<i>Sarirella</i>											.00													0.00		
<i>Aulacodiscus</i>																						.02	.00	0.00		
<i>Hemiaulus</i>		.00																						0.00		
<i>Lauderia</i>	.00	.00	.00			.00															.01			0.00		
<i>Leptocylindrus</i>	.00										.03													0.00		
<i>Licmophora</i>																	.00							0.00		
<i>Corethron</i>											.00													0.00		
<b>Dinoflagelados</b>																										
<i>Gymnodinium</i>	.66	.35	.11	.50	.87			.50	.77	.33	.97	.64	.28	.81	.07	.39	.21	.88	.04	.48	.82	.91		16.74		
<i>Gonyaulax</i>			.11										.14	.15	.92	.97	.56	.74	.11	.90	.40	.06	.07	8.33		
<i>Ceratium</i>	.41	.11		.12			.50		.01	.35						.02	.04			.05				5.47		
<i>Prorocentrum</i>			.11																					2.29		
<i>Exuviaella</i>																				.04	.02			1.88		
<i>Dinophysis</i>	.01											.28												1.16		
<i>Gyrodinium</i>	.01							.66																1.07		
<i>Peridinium</i>	.03																							0.00		
<i>Pyrocistis</i>			.11																					0.00		
<i>Podeiampas</i>				.50																				0.00		
<b>Silicoflagelados</b>																										
<i>Distephanus</i>		.14	.11			.50	.22		.14								.03				.03	.01		5.08		
<i>Dictyocha</i>	.33	.01	.33			.50			.01	.14		.02												4.15		

que los organismos menores de 10 µm fueron los más abundantes, destacando en la estación 3 un valor máximo de 403 x 10<sup>3</sup> células por litro (Fig. 4). Sin embargo, en la mayoría de las estaciones muestreadas, las fracciones restantes (10-20 µm y > 20 µm) representaron una sexta parte de la fracción dominante (Fig. 5).

The silicoflagellates were represented by *Dyctiocha* and *Distephanus*.

**Vertical distribution**

The abundance of diatoms ranged from 10,175-669,111 cells per litre at station 3

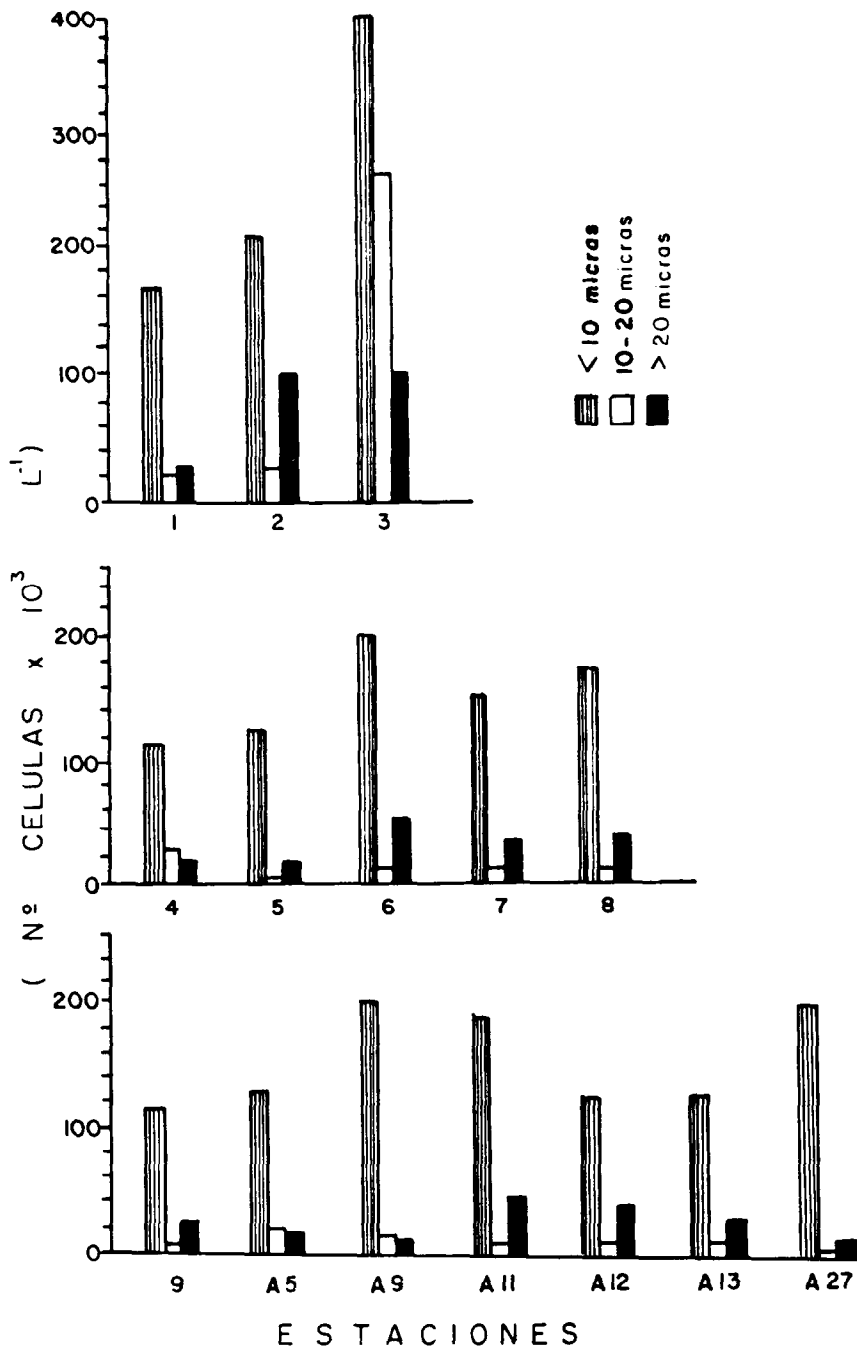


Figura 4. Abundancia del fitoplancton por fracciones de tamaño (< 10  $\mu\text{m}$ , 10-20  $\mu\text{m}$  y > 20  $\mu\text{m}$ ).  
 Figure 4. Abundance of phytoplankton per size fractions (< 10  $\mu\text{m}$ , 10-20  $\mu\text{m}$  and > 20  $\mu\text{m}$ ).



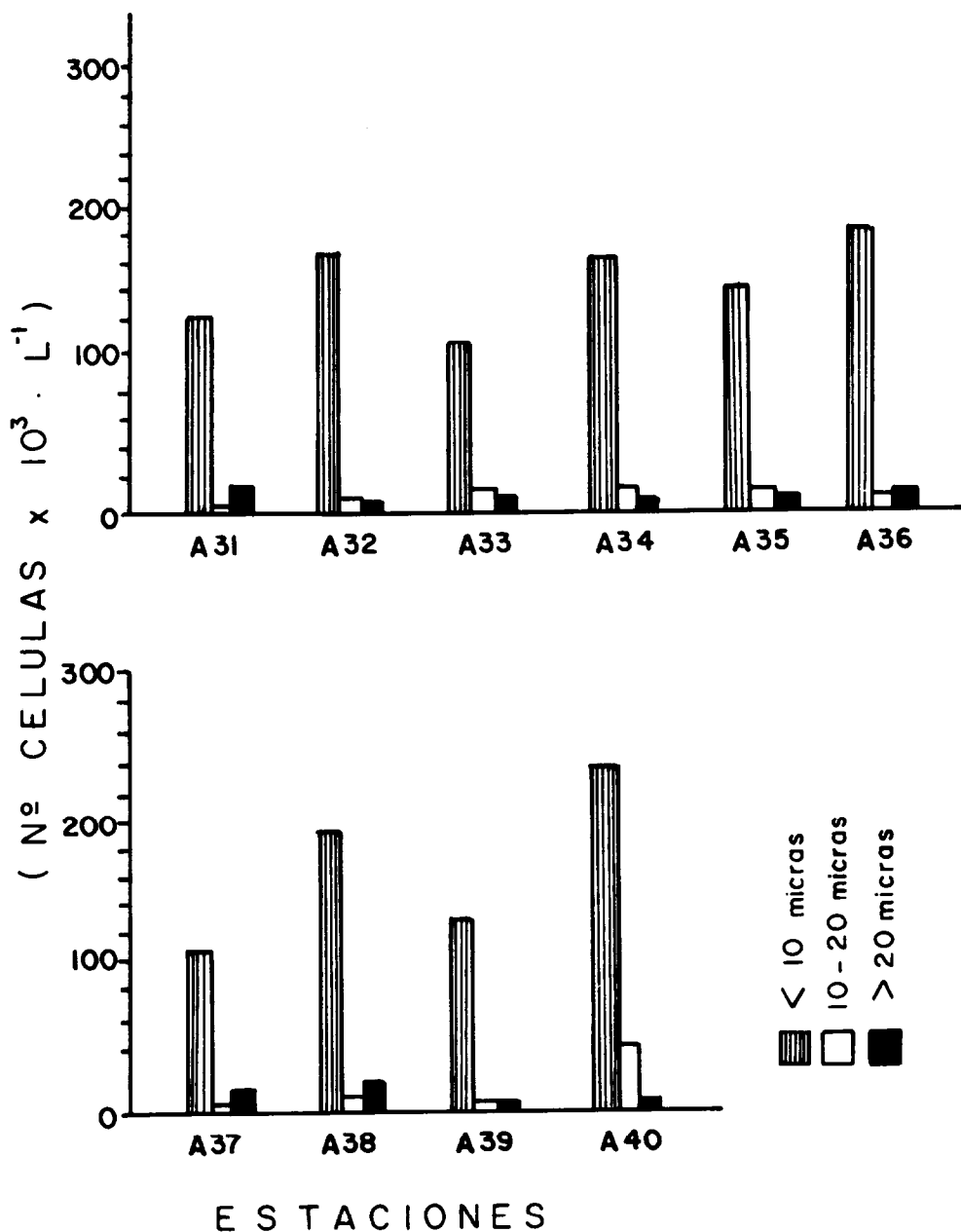


Figura 5. Abundancia del fitoplancton por fracciones de tamaño (< 10  $\mu\text{m}$ , 10-20  $\mu\text{m}$  y > 20  $\mu\text{m}$ ).  
 Figure 5. Abundance of phytoplankton per size fractions (< 10  $\mu\text{m}$ , 10-20  $\mu\text{m}$  and > 20  $\mu\text{m}$ ).

Se identificaron un total de 40 géneros del fitoplancton (Tabla 1) a lo largo de las 25 estaciones que cubrió el crucero: 28 de diatomeas, 10 de dinoflagelados y dos de silicoflagelados.

Los géneros de diatomeas más representativos a través de las diferentes estaciones de muestreo fueron: *Thalassiothrix*, *Chaetoceros*, *Thalassionema*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia*, *Skeletonema* y *Pseudoecunotia*. Los dinoflagelados estuvieron representados principalmente por *Gymnodinium*, *Gonyaulax* y *Ceratium*, mientras que en el grupo de los silicoflagelados se encontraron los géneros de *Dyctiocha* y *Distephanus*.

### Distribución vertical

La estación 3 mostró en el grupo de las diatomeas un intervalo de abundancia de 10,175-669,111 células por litro (Fig. 6), observándose el mínimo en la superficie y el máximo a los 10 m de profundidad, dominando en el nivel subsuperficial las especies *Thalassiothrix frauenfeldii* y *T. mediterranea*; asimismo, *Chaetoceros lorenzianus* y *Ch. curvisetus*.

Las estaciones 2 y 7 mostraron, con relación a las diatomeas, valores hasta  $150 \times 10^3$  células por litro (Fig. 6). Sin embargo, en la estación 2 se observó que su valor máximo se encontró en la superficie, mientras que en la estación 7 se localizó a 25 m de profundidad.

La distribución vertical de diatomeas en las estaciones 6 y 9 mostró una misma tendencia; sin embargo, los valores máximos difirieron en profundidad. Asimismo, se observó que la especie dominante fue *T. frauenfeldii* (Fig. 6).

La mayoría de las estaciones localizadas en el Canal de Ballenas (A13, A32, A35, A38 y A39), mostraron una concentración de diatomeas muy por debajo de las estaciones restantes. Asimismo, se identificó como la especie dominante a *T. frauenfeldii* (Fig. 7).

En la estación 3 se observó el máximo valor de clorofila *a* durante el muestreo, con una concentración de  $7.6 \text{ mg m}^{-3}$  a los 25 m de profundidad (Fig. 6). Asimismo, las estaciones 2 y 7 presentaron valores superficiales hasta de  $4.0 \text{ mg m}^{-3}$ , disminuyendo la clorofila *a* por debajo de los 50 m a una concentración de  $0.50 \text{ mg m}^{-3}$ .

Las estaciones del Canal de Ballenas presentaron concentraciones menores a 2.0

(Fig. 6), with the minimum at the surface and maximum at 10 m depth. The species *Thalassiothrix frauenfeldii*, *T. mediterranea*, *Chaetoceros lorenzianus* and *C. curvisetus* dominated at the subsurface level.

Values up to  $150 \times 10^3$  cells per litre were found at stations 2 and 7 for the diatoms (Fig. 6). However, at station 2 the maximum value was found at the surface whereas at station 7 it occurred at 25 m depth.

The vertical distribution of diatoms at stations 6 and 9 was similar. However, the maximum values differed in depth. *T. frauenfeldii* was found to be the dominant species (Fig. 6).

The concentrations of diatoms at most of the stations located in Ballenas Channel (A13, A32, A35, A38 and A39) were much lower than at the other stations. The dominant species was *T. frauenfeldii* (Fig. 7).

The maximum value of chlorophyll *a* was recorded at station 3, with a concentration of  $7.6 \text{ mg m}^{-3}$  at 25 m depth (Fig. 6). Stations 2 and 7 presented surface values of up to  $4.0 \text{ mg m}^{-3}$ , with chlorophyll *a* concentrations decreasing to  $0.50 \text{ mg m}^{-3}$  below the 50 m level.

Chlorophyll *a* concentrations of less than  $2.0 \text{ mg m}^{-3}$  were recorded at the Ballenas Channel stations, which are much lower than those found at the other stations.

### DISCUSSION

The neutral stability of the water column at station A32 (Fig. 8), indicates that Ballenas Channel is a homogeneous system where the phytoplankton have little chance of reproducing. The main reason for this is that in dynamic regions the penetration of light is hindered and organisms are unable to become accustomed to an optimum depth, consequently there is scant reproduction (Alvarez-Borrego *et al.*, 1987). However, from the dynamics of Ballenas Channel, it seems that the channel generates the necessary and indispensable nutrients for the development of the phytoplankton located in more stable areas (Fig. 9). This effect was observed at stations 2 and 3, where more genera and consequently more species were found that did not occur at the Ballenas Channel stations (Table 1).

The significant differences observed in the abundance of diatoms were corroborated

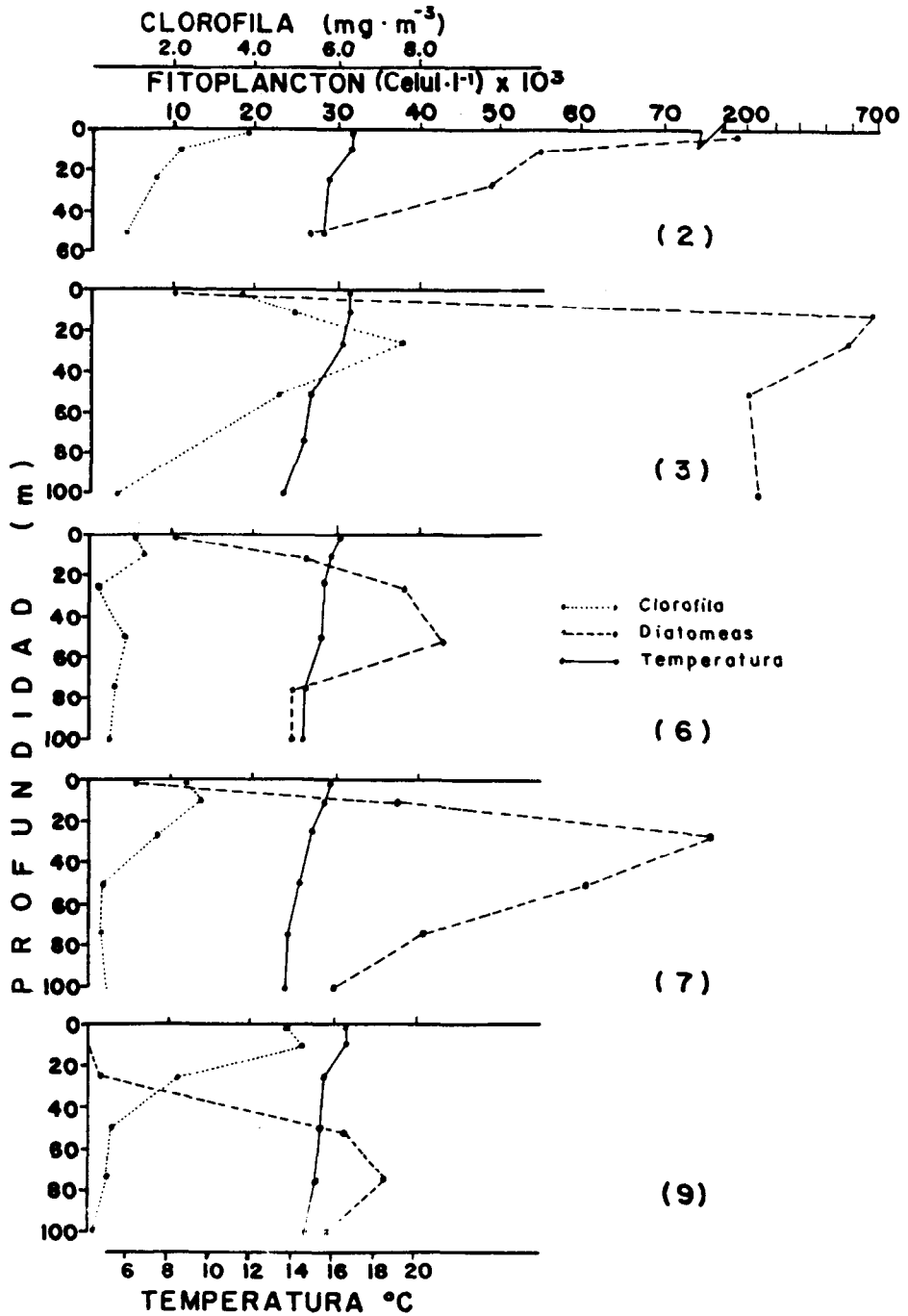


Figura 6. Perfiles verticales de las estaciones muestreadas. Diatomeas (células x 10<sup>3</sup> x litro), clorofila *a* (mg m<sup>-3</sup>) y temperatura (°C).

Figure 6. Vertical profiles of the stations sampled. Diatoms (cells x 10<sup>3</sup> x litro), chlorophyll *a* (mg m<sup>-3</sup>) and temperature (°C).

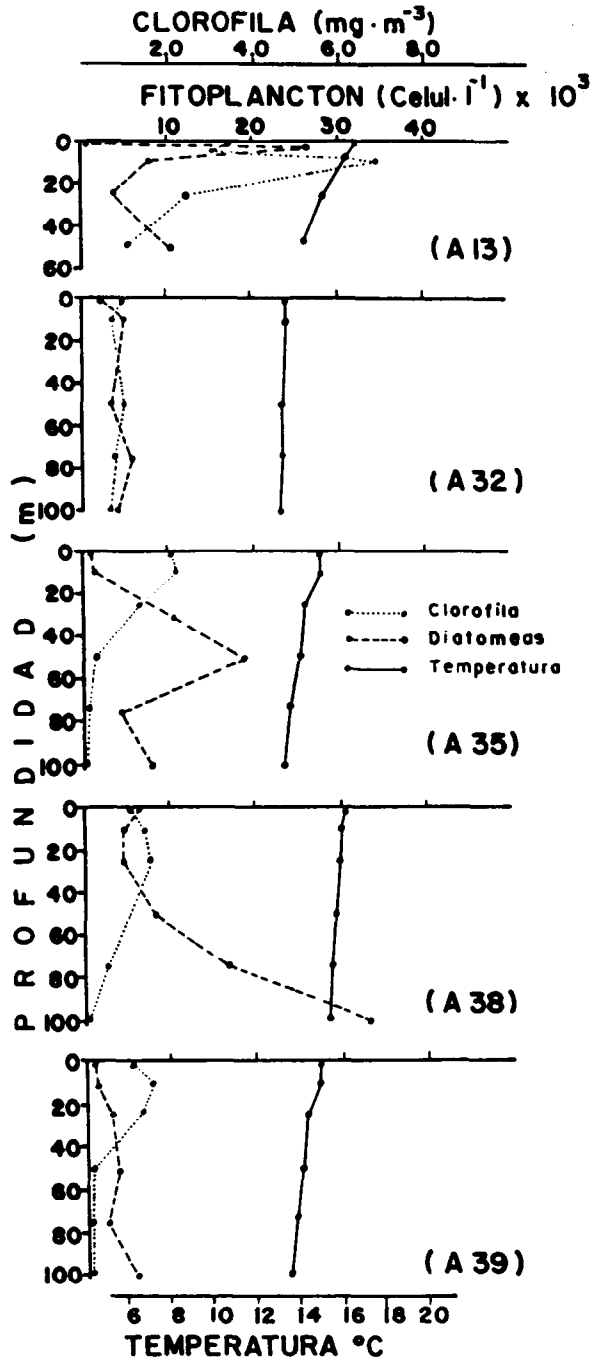


Figura 7. Perfiles verticales de las estaciones muestreadas. Diatomeas (células  $\times 10^3$  x litro), clorofila *a* ( $\text{mg m}^{-3}$ ) y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Figure 7. Vertical profiles of the stations sampled. Diatoms (cells  $\times 10^3$  x litro), chlorophyll *a* ( $\text{mg m}^{-3}$ ) and temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ).

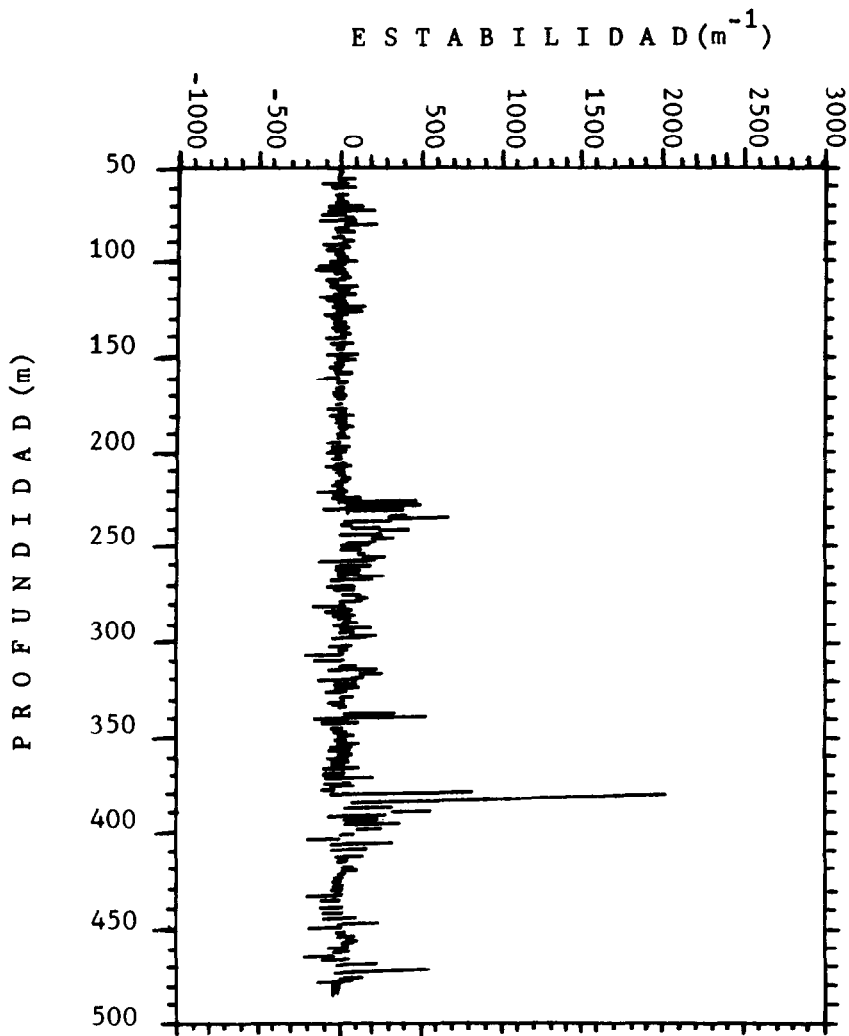


Figura 8. Estabilidad ( $m^{-1}$ ) de la columna de agua de la estación A32.  
Figure 8. Stability ( $m^{-1}$ ) of the water column at station A32.

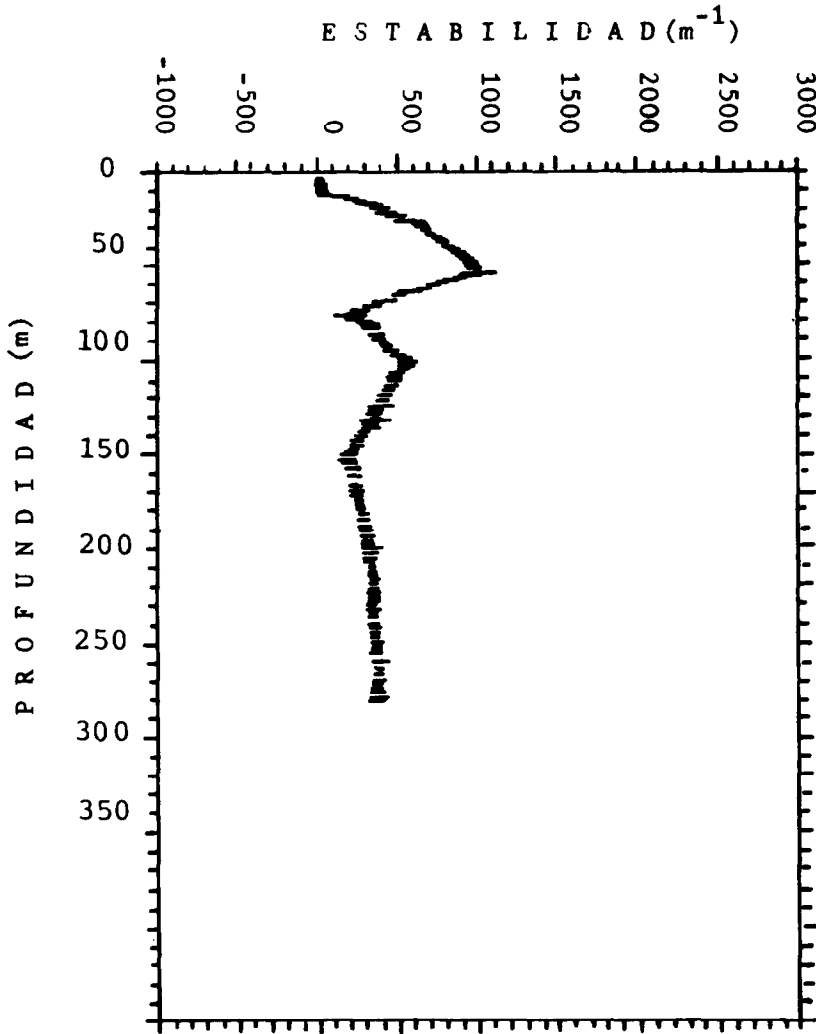
$mg\ m^{-3}$  de clorofila *a*, valores muy por debajo de las estaciones restantes.

#### DISCUSION

En base a la estabilidad neutra de la columna de agua que se observó en la estación A32 (Fig. 8), se dedujo que el Canal de Ballenas presentó ser un sistema homogéneo con muy pocas probabilidades para que los organismos del fitoplancton se reproduzcan.

( $F = 3.72$ ,  $P \leq 0.05$ ) on comparing station 3 with the other stations. This diatom bloom (Table 2) may have been due to the location of this station which is in an area influenced by Ballenas Channel, coinciding with the general flow of marine circulation suggested by Granados-Gallegos and Schwartzlose (1977) for winter.

The  $< 10\ \mu m$  size fraction dominated the samples, mainly corresponding to the nano-flagellates or unidentified organisms. This



**Figura 9.** Estabilidad ( $m^{-1}$ ) de la columna de agua de la estación 3.  
**Figure 9.** Stability ( $m^{-1}$ ) of the water column at station 3.

La razón principal es que una zona en condiciones de dinamismo generalmente presenta dificultades en la penetración de luz, evitando que los organismos se acondicionen a un nivel óptimo de profundidad, y por consecuencia hay una escasa reproducción (Alvarez-Borrego *et al.*, 1987). Sin embargo, por la dinámica del Canal de Ballenas, se podría pensar que el canal actuó como un sistema generador de los nutrientes necesarios e indispensables para el desarrollo de los organismos fitoplanctónicos que se localizan en zonas más estables (Fig. 9).

dominance could be due to the analysis technique used. However, station 3 also had a large density of cells smaller than 20  $\mu m$ . The species *C. curvisetus*, *C. lorenzianus* and *Skeletonema costatum* correspond to this size fraction. This bloom of small cells (<20  $\mu m$ ) may have been due to the fact that the diatom community was in an early successional stage (Margalef, 1958).

There was some similarity between the concentrations of chlorophyll *a* in Ballenas Channel and those found in the outer part of

Millán Núñez: Distribución espacial del fitoplancton en el Golfo de California

**Tabla 2.** Distribución vertical de las principales variables estudiadas (salinidad, oxígeno, clorofila, diatomeas, dinoflagelados, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos).

**Table 2.** Vertical distribution of the main variables studied (salinity, oxygen, chlorophyll, diatoms, dinoflagellates, phosphates, silicates, nitrites and nitrates).

EST.	PROF. (m)	SALINIDAD (‰)	OXIGENO (ml/l)	CLOROFILA (mg·m <sup>-3</sup> )	DIATOM.	DINOFL.	FOSFATO	SILICATOS	NITRITOS	NITRATOS
					(CEL·l <sup>-1</sup> )	(l <sup>-1</sup> )	(µg-at/l)			
2	1	35.11	5.65	3.45	161,096	13,385	1.05	11.68	0.00	0.92
	10	35.11	5.86	2.30	55,560	13,750	0.85	10.40	0.25	2.02
	25	35.01	3.94	1.56	49,227	1,375	1.82	15.88	0.54	14.67
	51	35.02	3.27	0.91	27,501	3,307	2.26	28.08	0.22	17.03
3	1	35.13	5.93	3.76	10,175	0	1.05	00.00	0.23	5.76
	10	35.14	5.95	5.02	669,111	35,047	1.08	46.11	0.48	8.14
	25	35.12	5.86	7.61	562,174	963	1.32	23.76	0.50	9.88
	50	35.03	5.04	4.62	163,720	7,701	1.43	13.74	0.53	12.73
	100	34.90	2.52	0.28	249,909	825	2.10	36.12	0.00	23.62
6	1	35.29	5.50	1.25	10,774	3,397	1.57	10.65	0.60	14.59
	10	35.27	5.42	1.48	27,461	11,944	1.37	12.27	0.72	18.10
	25	35.28	4.84	0.29	38,606	138	1.34	13.52	0.73	19.29
	50	35.27	4.31	0.92	42,126	138	1.72	27.44	0.47	12.73
	100	35.17	3.89	0.61	26,402	0	2.00	46.84	0.15	17.20
7	1	35.20	5.94	2.47	6,381	1,513	1.88	25.13	0.20	13.45
	10	35.23	5.24	2.83	36,854	963	1.75	23.37	0.39	13.38
	25	35.16	4.75	1.76	113,705	138	1.88	26.41	0.63	16.07
	50	35.10	3.56	0.49	62,837	275	1.68	35.87	0.38	27.01
	100	35.06	3.64	0.44	41,762	138	2.46	37.04	0.17	20.24
9	1	35.30	-	4.85	-	-	1.28	26.95	0.35	12.30
	10	35.30	-	5.33	-	-	1.43	22.29	0.20	9.61
	25	35.29	-	2.22	2,062	5,418	1.43	22.29	1.49	20.97
	50	35.29	-	0.58	32,528	1,010	1.79	27.40	1.05	15.15
	100	35.23	-	0.36	37,148	3,857	1.83	43.60	0.92	14.13
A <sub>13</sub>	1	35.36	-	3.50	1,513	1,513	1.00	19.06	-	-
	5	35.36	-	3.12	27,031	8,451	1.22	13.30	-	-
	10	35.36	-	7.03	8,395	4,545	1.25	11.81	-	-
	25	35.34	-	2.52	4,338	3,032	1.73	21.89	1.38	13.44
	48	35.40	-	1.12	12,238	1,011	1.53	16.74	-	-
A <sub>32</sub>	1	35.03	3.63	1.00	2,475	412	2.06	38.51	-	-
	10	35.02	3.58	0.88	10,093	962	2.20	51.44	-	-
	50	35.01	3.48	1.00	4,125	825	1.87	41.45	0.38	26.91
	100	35.01	3.38	0.84	6,510	962	2.26	43.02	0.29	24.68
A <sub>35</sub>	1	35.09	4.82	2.28	2,063	6,195	1.73	32.83	0.38	17.28
	10	35.04	4.81	2.37	3,624	9,001	1.64	28.46	-	-
	25	35.07	4.13	1.46	12,033	7,028	1.46	37.53	0.58	20.75
	50	35.06	3.43	0.38	18,826	3,582	1.84	29.01	0.26	20.75
	100	35.02	3.11	0.12	4,950	0	2.15	24.09	-	-
A <sub>38</sub>	1	35.27	5.57	1.35	2,510	687	1.34	14.01	1.29	12.75
	10	35.27	5.65	1.51	5,822	4,407	1.51	19.46	0.18	11.40
	25	35.23	5.55	1.65	5,500	550	1.58	30.13	-	-
	50	35.27	5.07	1.11	8,112	1,560	1.69	18.69	-	-
	100	35.28	5.00	0.64	17,738	2,110	1.71	14.04	-	-
A <sub>39</sub>	1	35.06	4.15	1.21	1,925	0	2.02	33.48	-	-
	10	35.07	3.80	1.64	3,988	1,513	2.10	30.23	-	-
	25	35.10	3.79	1.43	3,300	550	2.06	32.93	0.55	23.91
	50	35.06	3.24	0.29	4,263	0	2.03	29.67	-	-
	100	35.04	3.16	0.30	3,300	138	2.05	42.04	-	-
A <sub>39</sub>	100	35.01	2.77	0.25	6,463	0	1.92	45.86	0.00	24.40

Tal efecto se observó en las estaciones 2 y 3 al encontrar un número mayor de géneros y, por consiguiente, un incremento de especies que no se encontraron en las estaciones localizadas en el Canal de Ballenas (Tabla 1).

Las diferencias significativas que se observaron entre las abundancias de diatomeas en las estaciones muestreadas, se corroboraron ( $F = 3.72$ ,  $P \leq 0.05$ ) al comparar la estación 3 con el resto de las estaciones. Este florecimiento de diatomeas (Tabla 2), posiblemente se debió a que la estación se localizó en una zona influenciada por el Canal de Ballenas, ya que la ubicación de la estación coincidió con el flujo general de circulación marina sugerido por Granados-Gallegos y Schwartzlose (1977) para invierno.

La fracción de tamaño que dominó durante el muestreo fue la menor de  $10 \mu\text{m}$ , correspondiendo en su mayoría a los nanoflagelados u organismos no identificados; esta dominancia posiblemente se debió a la técnica de análisis que se utilizó. Sin embargo, la estación 3 presentó además una gran densidad de células menores de  $20 \mu\text{m}$ , correspondiendo a esta fracción las especies de *Ch. curvisetus*, *Ch. lorenzianus* y *Skeletonema costatum*. Este florecimiento de células pequeñas ( $< 20 \mu\text{m}$ ) posiblemente se debió a que la comunidad de diatomeas se encontró en una etapa sucesional temprana (Margalef, 1958).

Las concentraciones de clorofila *a* del Canal de Ballenas mostraron cierta similitud con las que se localizaron en la parte externa del canal. Sin embargo, en la mayoría de las estaciones del Canal de Ballenas se observaron bajas densidades de células. Esto posiblemente se debió a que los procesos advectivos y turbulentos que tienden a homogeneizar la columna de agua, provocaron una disminución en la penetración de luz, dando como consecuencia un incremento en la concentración de clorofila por unidad de organismos (Millán-Núñez *et al.*, 1982), ocasionando de esta manera diferencias biológicas entre estaciones.

#### AGRADECIMIENTOS

Esta información forma parte de un estudio en el Golfo de California, en la que participaron instituciones como NOSC (Naval Ocean System Center) de San Diego, California; Bigelow Laboratory for Ocean Sciences, Maine, USA; CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de

the channel. However, low cell densities were observed at most of the Ballenas Channel stations. Advective and turbulent processes that tend to homogenize the water column may have caused a decrease in the penetration of light, resulting in an increase in the concentration of chlorophyll per unit of organisms (Millán-Núñez *et al.*, 1982), thus causing biological differences among stations.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This information is part of a study carried out in the Gulf of California in which the following institutions participated: NOSC (Naval Ocean System Center), San Diego, California; Bigelow Laboratory for Ocean Sciences, Maine, USA; CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada), Mexico. I would like to thank Ken Ritcher (NOSC) for his invitation to participate in the cruise on board the vessel *De'Steiguer*; the physical oceanography group at CICESE, Miguel Lavín, Salvador Sánchez, Víctor Godínez and Rafael Hernández; and Isauro Alfonso Barón Sánchez for the figures.

English translation by Christine Harris.

---

Ensenada), México. Agradezco especialmente a Ken Ritcher de NOSC por su atenta invitación a participar en el crucero a bordo de la embarcación *De'Steiguer*. Al grupo de Oceanografía Física de CICESE, Miguel Lavín, Salvador Sánchez, Víctor Godínez y Rafael Hernández. De igual manera, a Isauro Alfonso Barón Sánchez por los dibujos aquí presentados.

#### LITERATURA CITADA

- Alvarez-Borrego, S. (1983). The Gulf of California. pp. 427-449. In: B.K. Ketchum (ed.), *Estuaries and Enclosed Seas*. Elsevier, Amsterdam, 500 pp.
- Alvarez-Borrego, S., Gaxiola-Castro, G. and Hernández-Becerril, D.U. (1987). The relationship between photosynthesis and irradiance for Gulf of California phytoplankton. *Pacific Science*, 41(1-4): 79-89.



- Edler, L. (1979). Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and chlorophyll. National Swedish Environmental Protection Board, 37 pp.
- Gilbert, J.Y. and Allen, A.W. (1943). The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the *E.W. Scripps* in 1939 and 1940. *J. Mar. Res.*, 5(2): 89-110.
- Gilmartin, M. and Revelante, N. (1978). The phytoplankton characteristics of the Barrier Island lagoons of the Gulf of California. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 7(1): 29-47.
- Granados Gallegos, J.L. y Schwartzlose, R.A. (1977). Corrientes superficiales en el Golfo de California. En: Memorias del V Congreso Nacional de Oceanografía. Escuela de Ciencias Marítimas del Instituto Tecnológico de Monterrey, Guaymas, Son., pp. 271-285.
- Holm-Hansen, D., Lorenzen, C.J., Holmes, R.V. and Strickland, J.D.J. (1965). Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Conseil International pour l'Exploitation de la Mer*, 30: 3-15.
- Levins, R. (1968). *Evolution in Changing Environments*. Princeton Univ. Press, New Jersey, 120 pp.
- Margalef, R. (1958). Information theory in ecology. *Genet. Systems*, 3: 36-71.
- Millán-Núñez, E. and Gaxiola-Castro, G. (1989). Spatial variability of phytoplankton in the Gulf of California during the El Niño 1983. *Nova Hedwigia*, 49(1-2): 113-119.
- Millán-Núñez, R., Alvarez-Borrego, S. and Nelson, D.M. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15: 317-335.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. (1969). *Biometry. The Principles and Practice of Statistics and Biological Research*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 776 pp.
- Stemann-Nielsen, E. (1933). *Über quantitative untersuchung von marine plankton mit Utermöhls umgekehrten mikroskop*. *J. Cons. Ciem.*, 8: 201-210.
- Strickland, J.D. and Parsons, T.R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167 pp.
- Zeitzschel, B. (1969). Primary productivity in the Gulf of California. *Mar. Biol.*, 33: 201-207.