

## ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON DEL GOLFO DE CALIFORNIA PHYTOPLANKTON STRUCTURE IN THE GULF OF CALIFORNIA

Por/By  
David Uriel Hernández Becerril\*  
División de Oceanología  
Centro de Investigación Científica y  
de Educación Superior de Ensenada, B. C.  
Espinoza 843  
Ensenada, Baja California

\*Domicilio actual :  
Centro de Investigaciones Biológicas  
de Baja California Sur, A. C.  
Jalisco y Madero Esq.  
Apdo. Postal 128  
La Paz, B. C. S. 23060  
México

HERNANDEZ BECERRIL, D.U., 1985. Estructura del fitoplancton del Golfo de California. Phytoplankton structure in the Gulf of California. *Ciencias Marinas* 11 (2): 23-38 (16)

### RESUMEN

Se investigó la estructura del fitoplancton del Golfo de California en su parte central y norte, mediante el conocimiento de su composición específica, y los índices de diversidad, equitabilidad y pigmentario (razón D430/D665). Complementando el estudio se hizo un análisis de asociación de especies por medio de una prueba de tablas de contingencia. Se identificaron 216 taxa (especies, formas y variedades) y 18 no fueron identificados. La composición de especies junto con los índices de diversidad y pigmentario ofrecieron características propias en cada estación, respondiendo a las condiciones ambientales, aportando datos relativos a la estructura del fitoplancton de interés. Los elementos del nanoplancton, en su mayor parte coccolitofóridos, fueron muy abundantes en condiciones estables de la columna de agua y de tipo oceánico. Se definieron cinco grupos de especies, sobresaliendo las diatomeas en los dos primeros, características de aguas de surgencia dentro de una comunidad poco madura, en estado sucesional primario.

### ABSTRACT

Species composition, pigment (D430:D665 ratio) and diversity and evenness indices for the phytoplankton in the central and northern part of the Gulf of California are presented. An association species analysis is made for the phytoplankton community by means of contingency tables test. 216 taxa (Species, forms and varieties) were identified and 18 remained not identified. The species composition, diversity index and pigment D430-D665 ratio provided distinct features in each station in response to environmental conditions. Members of nanoplankton, mainly coccolithophorids were abundant in stable or stratified water columns. Five groups of species were defined. The diatoms are outstanding in the first two groups. They are characteristic of upwelling water in an immature community in the primary successional stages.

## ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

### INTRODUCCION

Los estudios de fitoplancton en el Golfo de California se han dedicado a investigar la composición de grupos concretos como las diatomeas y los dinoflagelados (Allen, 1937; Gilbert y Allen, 1943; Osorio Tafall, 1943; Klement, 1964; Round, 1967) o bien a determinar la biomasa de aquel y su productividad primaria (Zeitzschell, 1969 y 1970; Gendrop *et al.*, 1978). Sin embargo, es importante evaluar la estructura de la comunidad del fitoplancton, que es muy relevante en los procesos tróficos y de producción de los mares. La estructura básica puede ser investigada con base en la composición de especies, las especies predominantes, la biomasa, la productividad y la diversidad. Esta última ha sido señalada como un buen indicador de la complejidad estructural y refleja cambios que ocurren en ella; es decir, sus etapas de sucesión (Margalef, 1968; Travers, 1971). Recientemente se ha investigado la estructura del fitoplancton en la capa subsuperficial de máxima clorofila (Furuya y Marumo, 1983) y en términos de relaciones cuantitativas entre las especies de la comunidad (Nezlin, 1982).

Con el propósito de conocer la estructura del fitoplancton, se tomaron muestras en seis estaciones de muestreo en el Golfo de California entre el 19 y el 29 de junio de 1982, las cuales trataban de representar condiciones de estratificación térmica y con zona eufótica mezclada. En este estudio se presentan los datos de composición de especies, incluyendo la fracción del nanoplancton, los índices de diversidad y equitatividad, así como las asociaciones entre las especies.

### AREA DE ESTUDIO

El Golfo de California se localiza entre los 25° y 32° N y los 107° y 115° O en el Pacífico oriental. Su longitud es de aproximadamente 1,100 km y su anchura promedio de 135 km. El clima es más continental que oceánico, existiendo grandes variaciones diurnas y anuales de temperatura; la influencia de agua dulce por lluvias o ríos es muy pobre y se definen bien dos épocas: seca y lluviosa (Osorio Tafall, 1943; Roden y Emilsson, no publ.).

### INTRODUCCION

Studies of phytoplankton in the Gulf of California have been devoted to investigate the composition of groups like diatoms and dinoflagellates (Allen, 1937; Gilbert and Allen, 1943; Osorio-Tafall, 1943; Klement, 1964; Round, 1967) or to measure phytoplankton biomass and its primary production (Zeitzschell, 1969, 1970; Gendrop *et al.*, 1978). However, it is important to evaluate the phytoplankton community structure which is particularly interesting in trophic webs and production. Basic community structure includes species composition, dominant species, biomass, productivity and diversity. Diversity is a good indicator of the phytoplankton structural complexity and it provides information about the community changes, in other words, the successional stages (Margalef, 1968; Travers, 1971). Recently, in other areas, the phytoplankton structure has been studied in the subsurface chlorophyll maxima layer (Furuya and Marumo, 1983) and in terms of quantitative relationship between the species in the community (Nezlin, 1982).

With the purpose of studying the phytoplankton community structure, samples were taken at six stations in the Gulf of California between June 19 and June 29, 1982. The stations were chosen with the idea that they could represent thermal stratification and mixed euphotic layer conditions. We present here the results about species composition, including nanoplankton fraction, species associations, pigment D430: D665 ratio, and diversity and evenness indices.

### STUDY AREA

The Gulf of California is located between 25° and 32° N and 107° and 115° W in the eastern Pacific Ocean (Fig. 1). Its length is about 1,100 km and its average width is 135 km. The weather is continental rather than oceanic, having wide diurnal and annual temperature variation; fresh water influence by rain or river is poor, determining two seasons: dry and rainy (Osorio-Tafall, 1943; Roden and Emilsson, unpubl.).

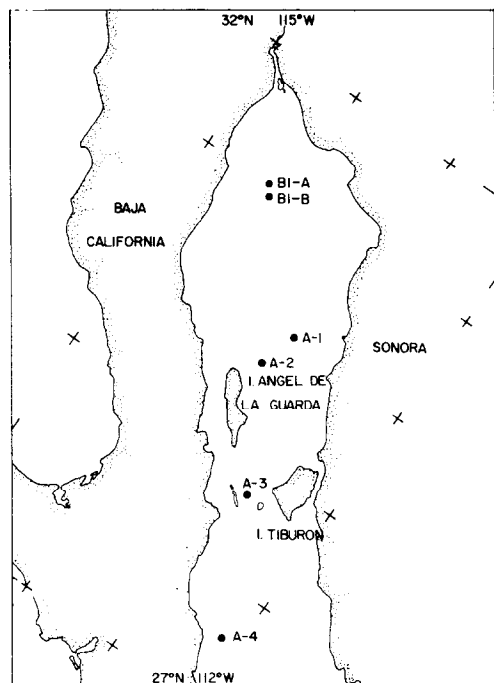


FIG. 1. Localización de los puntos de muestreo en el Golfo de California.  
Localization of sampling points in the Gulf of California.

Desde el punto de vista hidrográfico, el golfo se ha dividido en cuatro partes: superior, entre la boca del Río Colorado e Isla Tiburón, que es somera y con fuertes corrientes de marea; el Canal de Ballenas y Cuenca Salsipuedes, entre Baja California y las Islas Angel de la Guarda y San Lorenzo, con fuerte mezcla por marea; la parte inferior, entre Isla Tiburón y una línea entre Cabos San Lucas y Mazatlán con salinidades superficiales altas; y por último, la entrada del golfo como un área triangular entre Cabo San Lucas, Mazatlán y Cabo Corrientes, conocida por una estructura termohalina complicada (Roden y Emilsson, no publ.).

La circulación superficial en el golfo se caracteriza por un flujo hacia el Sur en invierno, a través de todo el golfo, y un flujo hacia el Norte en verano, con circulación turbulenta en la parte superior del Canal de

The gulf has been classified according to its hidrology in four parts: upper, between the mouth of the Colorado River and Tiburon Island, wich is shallow with very strong tide currents; Canal de Ballenas and Salsipuedes basin, between Baja California and Angel de la Guarda and San Lorenzo islands, with strong mixture; lower part, between Tiburon Island and a line from Cabo San Lucas to Mazatlán, with high superficial salinities; and the mouth, the triangular area between Cabo San Lucas, Mazatlán and Cabo Corrientes, wich is known by a complex termohaline structure (Roden and Emilsson, unpubl.).

Superficial circulation in the Gulf is in general characterized by a flux towards teh South in winter throughout the gulf and flux towards the North in summer, with turbulent circulation in the upper part of Canal de Ballenas; in spring the flux moves in many directions (Alvarez-Borrego, 1983). With northeast winds in winter, upwellings occur in the east coast in the west coast during summer, when the winds come from the southeast (Alvarez-Borrego, 1983). Another peculiarity are the tides which in the north end the ranges come to 10 m with diurnal and semidiurnal componets (Roden and Emilsson, unpubl.; Alvarez-Borrego, 1983).

In the present study, stations were located in the central and northern part of the gulf (Fig. 1).

## METHODS

Sampling was made during the cruise "CONACYT I" in the R/V "El Puma" between June 19 and June 29, 1982, in the central and northern portion of the Gulf of California. Complementary data on physical and chemical results, phytoplankton abundance and chlorophyll *a* measurements will be reported by Alvarez-Borrego *et al.*, (in preparation). Samples were taken with Niskin bottles at five depths, according to 100, 50, 25 10 and 1 ‰ surface light intensity. 250-300 ml samples were fixed with 4‰ formol neutralized with sodium borate for phytoplankton analysis. Identification was made in an inverted American Optical

## ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

Ballenas; en primavera el flujo es en muchas direcciones (Alvarez Borrego, 1983). En la costa este en invierno ocurren surgencias con vientos del Noroeste y en la costa oeste durante verano, cuando soplan vientos del Sureste (Alvarez Borrego, 1983). Otra peculiaridad son las mareas, que en la porción terminal norte tienen rangos hasta de 10 m y componentes diurnas y semidiurnas (Roden y Emilsson, no publ.; Alvarez Borrego, 1983).

En el presente estudio se consideraron estaciones situadas en la parte central y norte del golfo (Fig. 1).

### METODOLOGIAS

El muestreo se llevó a cabo durante el crucero "CONACYT I", a bordo del B/O "El Puma", entre el 19 y el 29 de junio de 1982 en la porción central y norte del Golfo de California. Los datos físicos y químicos, así como abundancia de fitoplancton y concentración de clorofila *a* serán presentados por Alvarez Borrego *et al.* (En prep.). Las muestras se tomaron con botellas Niskin a cinco profundidades, de acuerdo al 100, 50, 25, 10 y 1 % de intensidad luminosa en la superficie. Para análisis de fitoplancton se colectaron muestras de 250-300 ml, las que fueron fijadas con formol neutralizado con borato de sodio.

La identificación de organismos se hizo tanto en un microscopio invertido American Optical modelo 1810, como en un microscopio compuesto Karl Zeiss modelo M1; en el segundo se usaron los objetivos 40X y 100X, observando preparaciones frescas y permanentes; en el caso de las diatomeas se hizo la limpieza del material con peróxido de hidrógeno al 6 y 10 % y se montó en hyrax, según Hasle y Fryxell (1970).

Se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Margalef, 1968).

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$$

1810 microscope and in a Karl Zeiss M1 compound microscope. In the last one 40X and 100X objectives were used, analyzing fresh and permanent slides. Diatoms were prepared with 6 and 10% hydrogen peroxide and were mounted in hyrax as suggested by Hasle and Fryxell (1970).

The calculated indices were: Shannon-Wiener diversity index (Margalef, 1968).

$$H' = -\sum p_i \log_2 p_i.$$

Where  $p_i = n_i/N$ ,  $n_i$  is the number of organisms of species  $i$ , and  $N$  is the total number of organisms: it was also calculated the Pielou's evenness index (Pielou, 1977).

$$E = H'/H' \text{ max.}$$

Where  $H' \text{ max} = \log_2 s$ , and  $s$  is the number of species; finally, the pigment diversity or pigment D430:D665 ratio, which is the relationship between absorbance reading of the chlorophyll extract at 430 nm and 665 nm, respectively (Margalef, 1965, 1968).

The species association analysis was carried out following a 2 x 2 tables test (Briand, 1976; Pielou, 1977; Legendre and Legendre, 1978). This test only considers the presence and absence for each pair of species involved. The associations are formed by species having high association values to 95 % confidence level, following a Chi-square distribution.

### RESULTS

Data on environmental variables in two stations, one with a marked stratification (A-4) and one weakly mixed (A-3) are shown in Fig. 2.

The phytoplankton composition was formed by 216 identified taxa (species, forms and varieties) and 18 not identified. The taxa are divided in 104 diatoms, 75 dinoflagellates, 24 coccolithophorids, 3 cryptophytes, 3 auglenophytes, one cyanophyte, three silicoflagellates and three prasinophyte (Table 1). Within diatoms,

donde  $p_i = n_i/N$ ,  $n_i$  es el número de individuos de la especie  $i$ , y  $N$  es el número total de individuos; también se calculó el índice de equitabilidad de Pielou (Pielou, 1977).

$$E = H'/H' \text{ max}$$

donde  $H' \text{ max} = \log_2 s$ , y  $s$  es el número de especies; y por último, el índice pigmentario o razón D430/D665, que es la relación entre las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro del extracto para clorofilas a 430 nm y 665 nm, respectivamente (Margalef, 1965 y 1968).

El análisis de asociación de especies se llevó a cabo siguiendo un análisis de tablas de contingencia (Briand, 1976; Pielou, 1977; Legendre y Legendre, 1978). Este se basa en tablas de contingencia  $2 \times 2$  para cada par de especies, considerando solamente presencia-ausencia. Las asociaciones discretas se constituyeron por especies con alto valor de asociación a 95% de nivel de confianza, ajustándose a una distribución Chi cuadrada.

### RESULTADOS

Datos de variables ambientales de dos estaciones: una con marcada estratificación (A-4) y débilmente mezclada (A-3) se dan en la Fig. 2.

La composición de la comunidad de fitoplancton se constituyó por 216 taxa identificados (especies, formas y variedades) y 18 organismos no identificados. Los taxa identificados se dividen en 104 diatomeas, 75 dinoflagelados, 24 coccolitofóridos y 13 de otros grupos: tres criptofíceas, tres euglenofíceas, una cyanofíceas, tres silicoflagelados y tres prasinofíceas (Tabla I). Dentro de las diatomeas las especies dominantes fueron: *Nitzschia 'seriata'* y *Thalassionema nitzschioides* en estación A-1; *Asterionella glacialis* y *T. nitzschioides* en la A-2; *N. 'seriata'*, *Skeletonema costatum* y *Thalassiosira pacifica* en la A-3; *Nitzschia sicula* y *N. bicapitata* en la A-4 y *T. nitzschioides* var. *parva* y *Thalassiosira decipiens* en las estaciones Ba-A y Ba-B (Tabla I). Los dinoflagelados dominantes fueron: *Prorocentrum compressum* y *Ceratium furca* en la A-1;

the dominant species were *Nitzschia 'seriata'* and *Thalassionema nitzschioides* in station A-1; *Asterionella glacialis* and *T. nitzschioides* in station A-2; *N. 'seriata'*, *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira pacifica* in station A-3; *Nitzschia sicula* and *N. bicapitata* in station A-4; and *T. nitzschioides* var. *parva* and *Thalassiosira decipiens* in station B1-A and B1-B (Table I). The dominant dinoflagellates were: *Prorocentrum compressum* and *Ceratium furca* in station A-1; *Protoperidinium trochoideum* in station A-2; *Gonyaulax polygramma* in station A-3; *Gymnodinium simplex* in station A-4 and station B1-A; and *Oxytoxum variable* in station B1-B (Table I). Within other groups cf. *Emiliana huxleyi* was dominant at almost all depth in all the stations; *Acanthoica aculeata* in station A-3 and *Agmenellum cuadruplicatum* in stations A-4, B1-A, and B1-B (Table I).

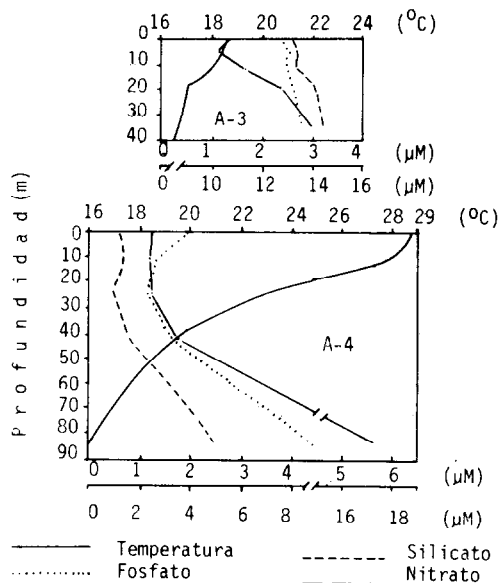


FIG. 2. Perfiles verticales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), fósforo, silicato y nitrato ( $\mu\text{M}$ ) en las estaciones A-3 y A-4. La escala dentro del cuadro ( $\mu\text{M}$ ) es para fósforo y silicato (X 10); la externa es para nitrato (según Alvarez Borrego *et al.*, en prep.) Vertical profiles of temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), phosphate, silicate and nitrate ( $\mu\text{M}$ ) in A-3 and A-4 stations. The scale into the square is for phosphate and silicate (X10); the extern scale is for nitrate (Alvarez-Borrego *et al.*, in prep.)

ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

TABLA I. Lista taxonómica y su frecuencia en los puntos de muestreo: \* indica presencia; D indica dominancia numérica; el número entre paréntesis ( ) es el número de niveles donde se registraron los taxa.  
 Taxonomic list and frequency in sampling points: + means presence, D means dominance, ( ) means levels number of taxa registration.

TAXA	ESTACIONES					
	A-1	A-2	A-3	A-4	B1-A	B1-B
<b>DIATOMEAS</b>						
<i>Achnanthes cf. delicatula</i>	+ (1)					
<i>A. Longipes</i>			+ (1)			
<i>Actinoptychus splendens</i>	+ (2)	+ (1)	+ (3)			
<i>A. undulatus</i>	+ (1)	+ (5)	+ (4)			
<i>Amphora laevis</i>	+ (1)					
<i>A. cf. hyalina</i>		D (5)	D (5)			
<i>Asterionella glacialis</i>			+ (2)			
<i>cf. A. nonata</i>		+ (1)		+ (1)	+ (2)	+ (4)
<i>Asteromphalus heptactis</i>				+ (1)		
<i>cf. Auliscus sp.</i>	+ (1)	+ (2)				
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>		+ (1)	+ (4)			
<i>B. hyalinum</i>		+ (2)				
<i>Biddulphia alternans</i>			+ (3)			
<i>Cerataulina bergonii</i>		+ (3)	+ (4)			
<i>Chaetoceros affinis</i>			+ (3)			
<i>C. atlanticus var. neapolitana</i>				+ (1)		
<i>C. coarctatus</i>			+ (5)			
<i>C. compressus</i>		+ (4)	+ (3)			+ (2)
<i>C. concavicornis</i>			+ (4)			
<i>C. costatus</i>			+ (2)			
<i>C. curvisetus</i>		+ (5)	+ (2)			
<i>C. cf. diadema</i>	+ (1)	+ (3)	+ (1)			
<i>C. cf. debilis</i>		+ (3)	+ (4)			
<i>C. decipiens</i>		+ (1)	+ (1)			
<i>C. didymus</i>		+ (1)	+ (1)			
<i>C. didymus var. protuberans</i>			+ (2)			
<i>C. cf. gracilis</i>		+ (2)	+ (3)			
<i>C. lorenzianus</i>		+ (5)	+ (5)			
<i>C. radicans</i>			+ (2)	+ (1)		
<i>Climacodiuim frauendeldianum</i>				+ (1)		
<i>Cocconeis disrupta</i>					+ (2)	+ (2)
<i>Coscinodiscus centralis var. pacifica</i>				+ (1)	+ (1)	
<i>C. granii</i>					+ (5)	+ (1)
<i>C. radiatus</i>			+ (2)	+ (1)	+ (1)	+ (1)
<i>C. wailessii</i>						+ (2)
<i>Coscinodiscus sp.</i>	+ (2)	+ (1)				
<i>Cyclotella meneghiniana</i>				+ (1)		+ (4)
<i>Cyclotella sp.</i>		+ (3)	+ (5)			
<i>Ditylum brightwelli</i>	+ (1)	+ (5)	+ (5)			
<i>Eucampia zoodiacus</i>	+ (1)		+ (1)		+ (3)	+ (4)
<i>cf. Frafilaria crotonensis</i>	+ (1)		+ (3)			
<i>Guinardia flaccida</i>				+ (1)		
<i>Gyrosigma sp.</i>	+ (2)	+ (3)		+ (1)		
<i>Hemiaulus haucki</i>	+ (1)					
<i>H. membranaceus</i>						

TABLA I. (Cont.)

TAXA	ESTACIONES					
	A-1	A-2	A-3	A-4	B1-A	B1-B
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>			+ (3)			
<i>Lauderia borealis</i>			+ (3)			
<i>Leptocylindrus antarcticus</i>			+ (3)	+ (1)		
<i>L. mediterraneus</i>			+ (1)	+ (1)		
<i>Licmophora abbreviata</i>					+ (1)	
<i>Lithodesmium undulatum</i>	+ (1)	+ (4)	+ (2)			
<i>Melosira moniliformis</i>			+ (1)			
<i>Navicula distans</i>			+ (2)			
<i>N. pennata</i>			+ (1)			
<i>Navicula sp.</i>			+ (1)			
<i>Nitzschia bicapitata</i>			+ (4)	+ (5)	+ (1)	
<i>N. Closterium</i>	+ (2)	+ (5)	+ (1)	+ (3)	+ (1)	+ (2)
<i>N. delicatissima</i>			+ (4)			
<i>N. grunowii</i>			+ (3)	+ (3)	+ (3)	+ (3)
<i>N. longissima</i>	+ (1)	+ (4)	+ (4)	+ (2)		
<i>N. cf. plana</i>	+ (1)					
<i>N. "seriata"</i>	D (5)	+ (5)	D (5)	+ (2)		
<i>N. sicula</i>	+ (1)	+ (5)	+ (5)	+ (3)		+ (1)
<i>Nitzschia sp.</i>		+ (1)				
<i>Odontella mobiliensis</i>	+ (1)	+ (5)	+ (3)			
<i>cf. Plagiogramma sp.</i>		+ (1)				
<i>Planktoniella sol</i>		+ (4)	+ (5)	+ (1)	+ (1)	+ (2)
<i>Pleurosigma angulatum</i>		+ (5)	+ (5)			
<i>P. cf. elongatum</i>		+ (1)	+ (2)			
<i>P. fasciola</i>				+ (1)		+ (1)
<i>P. normanii</i>		+ (1)	+ (1)			
<i>Pseudoeunotia doliolus</i>		+ (5)	+ (5)	+ (1)	+ (1)	+ (2)
<i>Rhizosolenia alata</i>	+ (1)		+ (3)			
<i>R. alata f. gracillima</i>			+ (1)			
<i>R. alata f. indica</i>	+ (1)		+ (1)			
<i>R. bergonii</i>		+ (1)	+ (3)	+ (1)		
<i>R. calcar-avis</i>			+ (3)			
<i>R. delicatula</i>			+ (2)			
<i>R. hebetata f. hiemalis</i>			+ (2)			
<i>R. hebetata f. semispina</i>	+ (1)					
<i>R. imbricata var. shrubsolei</i>			+ (2)			
<i>R. robusta</i>	+ (1)	+ (1)			+ (1)	+ (1)
<i>R. setigera</i>			+ (5)			
<i>R. stoltherfothii</i>		+ (3)	+ (5)			
<i>Skeletonema costatum</i>			D (3)			
<i>cf. Synedra sp.</i>			+ (3)			
<i>Stephanopyxix turris</i>			+ (1)			
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	+ (5)	D (5)	D (5)	+ (4)		
<i>T. nitzschioides var. parva</i>	+ (1)	+ (3)			D (5)	D (5)
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>			+ (1)			
<i>T. dondensata</i>		D (5)	+ (4)			
<i>T. decipiens</i>		+ (5)	+ (5)	+ (1)	+ (5)	+ (4)
<i>T. eccentrica</i>		+ (5)	+ (5)	D (3)	+ (1)	+ (5)
<i>T. leptopus</i>				+ (2)		+ (1)
<i>T. pacifica</i>	+ (4)	+ (5)	+ (5)	+ (1)		+ (2)
<i>T. subtilis</i>		+ (5)	+ (3)			

ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

TABLA I. (Cont.)

TAXA	ESTACIONES						
	A-1	A-2	A-3	A-4	B1-A	B1-B	
<i>Thalassiothrix delicatula</i>	+ (4)	+ (5)	+ (5)	+ (4)	+ (3)	+ (1)	
<i>T. frauenfeldii</i>	+	(4)	(2)	+	(1)	(1)	
<i>T. longissima</i>	+ (2)	+ (4)	+ (4)	+ (2)			
<i>T. mediterranea</i> var. <i>pacifica</i>		+ (3)	+ (3)				
cf. <i>Tropidoneis antarctica</i>		+ (1)	+ (4)				
<i>Tropidoneis lepidoptera</i>			+ (4)	+ (1)			
<i>Diatomea</i> céntrica no identif.		+ (1)	+ (2)				
<i>Diatomea</i> penada no identif.							
<b>DINOFLAGELADOS</b>		+ (1)					
<i>Amphidinium carterae</i>					+ (1)		
cf. <i>A. pacificum</i>			+ (1)				
<i>A.</i> cf. <i>choederi</i>		+ (2)			+ (1)		
cf. <i>A. sphenoides</i>		+ (1)					
<i>Amphidinium</i> sp.				+ (3)	+ (1)		
<i>Ceratium bohmi</i>			+ (1)				
<i>C. breve</i>		+ (2)					
<i>C. dens</i>	+ (2)	+ (4)	+ (4)	+ (1)		+ (2)	
<i>C. furca</i>	+ (2)	+ (2)	+ (1)				
<i>C. fusus</i>	+ (1)	+ (1)					
<i>C. horridum</i> var. <i>molle</i>			+ (3)				
<i>C. kofoidii</i>	+ (4)	+ (1)		+ (1)	+ (3)	+ (1)	
<i>C. macroceros</i>	+ (1)	+ (2)		+ (1)	+ (2)	+	
<i>C. macroceros</i> var. <i>gallicum</i>					+ (1)	+ (3)	
<i>C. massiliense</i>				+ (1)			
<i>C. pentagonum</i>	+ (1)						
<i>C. cf. tripos</i>			+ (1)		+ (4)	+ (3)	
<i>C. vultur</i>			+ (1)		+ (1)	+ (1)	
<i>C. vultur</i> var. <i>sumatranum</i>					+ (2)		
<i>Ceratium</i> sp.		+ (5)	+ (2)				
<i>Cochlodinium</i> cf. <i>miniatum</i>		+ (4)					
<i>Cystodinium</i> sp.			+ (1)	+ (3)	+ (1)		
<i>Dinophysis caudata</i>			+ (1)				
<i>D. fortii</i>	+ (1)	+ (2)	+ (3)		+ (1)		
<i>D. ovum</i>			+ (1)				
<i>D. rapa</i>		+ (1)					
<i>D. tripos</i>			+ (1)				
<i>Diplopsalis</i> cf. <i>lenticula</i>			+ (1)				
cf. <i>Fragilidium</i> sp.		+ (1)	+ (2)				
cf. <i>Glenodinium gymnodinium</i>	+ (1)						
<i>Glenodinium</i> sp.		+ (3)	D (5)	+ (2)	+ (1)		
<i>Gonyaulax polygramma</i>	+ (1)						
<i>Gymnodinium abbreviatum</i>		+ (1)					
<i>G.</i> cf. <i>aequatoriale</i>		+ (1)					
<i>G.</i> cf. <i>hamulus</i>	+ (1)	+ (1)	+ (2)	D (3)	D (3)	+ (1)	
<i>G. simplex</i>		+ (4)	+ (1)				
<i>G. splendens</i>		+ (1)	+ (2)				
<i>Gymnodinium</i> sp. 1				+ (1)			
<i>Gymnodinium</i> sp. 2		+ (1)					
cf. <i>Gyrodinium fulvum</i>							



TABLA 1. (Cont.)

TAXA	ESTACIONES					
	A-1	A-2	A-3	A-4	B1-A	B1-B
<i>G. cf. fusiforme</i>	+ (1)	+ (1)				
<i>Gyrodinium</i> sp. 1		+ (1)				+ (1)
<i>Gyrodinium</i> sp. 2			+ (1)			
<i>Heterocapsa triquetra</i>				+ (1)		
<i>Oxytoxum scolopax</i>		+ (2)	+ (3)			
<i>cf. O. sphaeroideum</i>				+ (2)	+ (1)	
<i>O. variable</i>	+ (1)	+ (2)	+ (1)		+ (4)	D (5)
<i>Oxytoxum</i> sp.					+ (2)	
<i>Podolampas elegans</i>	+ (2)	+ (2)	+ (1)	+ (1)		
<i>Prorocentrum balticum</i>	+ (1)	+ (2)			+ (2)	
<i>P. compressum</i>	+ (3)	+ (5)	+ (5)	+ (1)	+ (1)	+ (1)
<i>P. gracile</i>			+ (2)	+ (1)		
<i>Prorocentrum lima</i>	+ (1)		+ (2)			
<i>P. maximum</i>	+ (1)					(2)
<i>P. micans</i>	+ (2)	+ (4)	+ (3)	+ (1)		
<i>P. minimum</i>				+ (1)		
<i>P. rostratum</i>			+ (2)	+ (1)		
<i>P. vaginulum</i>	+ (1)	+ (4)			+ (1)	
<i>Protoperidinium catenatum</i>	+ (1)		+ (1)			
<i>P. claudicans</i>			+ (1)			
<i>P. conocum</i>		+ (3)	+ (2)			
<i>P. depressum</i>		+ (2)	+ (1)	+ (1)	+ (1)	
<i>P. globulus</i>		+ (3)	+ (1)			
<i>P. oceanicum</i>		+ (3)	+ (5)	+ (1)		
<i>P. cf. pellucidum</i>		+ (2)	+ (1)			
<i>P. pentagonum</i>	+ (1)		+ (1)			
<i>P. quarnerense</i>		+ (1)	+ (3)		+ (1)	+ (1)
<i>P. cf. roseum</i>		+ (1)				
<i>P. trochoideum</i>	+ (3)	+ (4)	+ (4)	+ (1)	+ (2)	
<i>Protoperidinium</i> sp.				+ (1)		
<i>cf. Scripsiella</i> sp.		+ (4)	+ (1)			
Dinoflagelado no identif. 1			+ (1)			
Dinoflagelado no identif. 2					+ (2)	
Dinoflagelado no identif. 3						+ (1)
Dinoflagelado no identif. 4						+ (1)
<b>COCOLITOFORIDOS</b>						
<i>Acanthoica aculeata</i>	+ (3)	+ (5)	+ (4)	+ (2)	+ (5)	+ (5)
<i>cf. Alisphaera</i> sp.		+ (4)	+ (1)	+ (1)	+ (4)	+ (2)
<i>Anoplosolenia brasiliensis</i>		+ (4)	+ (2)			
<i>cf. Anthosphaera robusta</i>		+ (2)	+ (2)			+ (1)
<i>cf. A. oryza</i>						+ (1)
<i>Calciosolenia murrayi</i>	+ (1)	+ (2)	+ (1)			
<i>Calyptrosphaera oblonga</i>	+ (1)	+ (1)				+ (1)
<i>cf. Emiliana huxleyi</i>	D (5)	D (5)	D (5)	+ (3)	D (5)	D (5)
<i>cf. Florisphaera profunda</i>					+ (1)	
<i>cf. Gephyrocapsa ericsonii</i>				+ (1)	+ (3)	+ (1)
<i>cf. G. oceanica</i>	+ (1)	+ (2)	+ (5)	+ (5)	+ (4)	+D (5)
<i>Helicosphaera</i> sp.	+ (1)	+ (2)			+ (1)	+ (1)

ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

TABLA I. (Cont.)

TAXA	ESTACIONES					
	A-1	A-2	A-3	A-4	B1-A	B1-B
<i>cf. Oolithothus fragilis</i>	+ (3)	+ (5)				
<i>Rhabdosphaera clavigera</i>				+ (1)		
<i>Syracosphaera pulchra</i>						+ (1)
<i>Syracosphaera sp.</i>		+ (1)	+ (1)			+ (1)
<i>cf. Umbilicosphaera hultburt.</i>	D (3)	+ (3)	+ (3)		+ (4)	+ (4)
Cocolitofónido no id. 1	+ (2)					+ (1)
Cocolitofónido no id. 2		+ (1)				
Cocolitofónido no id. 3		+ (1)				+ (1)
Cocolitofónido no id. 4		+ (1)				
Cocolitofónido no id. 5			+ (1)			
Cocolitofónido no id. 6			+ (1)			
Cocolitofónido no id. 7						+ (1)
Cocolitofónido no id. 8						+ (1)
<b>CIANOFICEAS</b>						
<i>Agmenellum cuadruplicatum</i>		D (3)		D (3)	D (5)	D (4)
<b>CRISOFICEAS</b>						
<i>Dictyocha fibula</i>	+ (1)	+ (4)	+ (4)	+ (3)		
<i>D. speculum</i> var. <i>octoraria</i>			+ (1)			
<i>Octactis pulchra</i>			+ (5)	+ (3)	+ (4)	
<b>CRIFTOFICEAS</b>						
<i>Cryptomonas sp.</i>					+ (5)	+ (2)
<i>cf. Hemiselmis sp.</i>						+ (1)
<i>cf. Rhodomonas minuta</i>	+ (3)	+ (1)			+ (3)	+ (3)
<b>EUGLENOFICEAS</b>						
<i>cf. Euglena sp. 1</i>					+ (2)	
<i>cf. Euglena sp. 2</i>		+				+ (1)
<i>Eutreptia cf. viridis</i>		+ (2)				
<b>PRASINOFICEAS</b>						
<i>cf. Bipedimonas sp.</i>		+ (1)				
<i>cf. Pedinomonas sp.</i>					+ (1)	
<i>Tetraselmis suecica</i>		+ (1)	+ (2)			
<b>NO IDENTIFICADOS</b>						
No id. No. 1	D (3)	+ (4)	+ (3)	+ (1)	+ (2)	+ (4)
No id. No. 2		+ (1)				
No id. No. 3		+ (1)				
No id. No. 4		+ (2)				
No id. No. 5		+ (2)		+ (1)		+ (1)
No id. No. 6		+ (1)	+ (3)			
No id. No. 7		+ (1)	+ (1)			
No id. No. 8			+ (1)			
No id. No. 9			+ (1)			
No id. No. 10				+ (1)	+ (1)	
No id. No. 11					+ (3)	
No id. No. 12					+ (2)	
No id. No. 13					+ (2)	

TABLA I. (Cont.)

TAXA	ESTACIONES					
	A-1	A-2	A-3	A-4	B1-A	B1-B
No id. No. 14					+	(1)
No id. No. 15					+	(1)
No id. No. 16					+	(2)
No id. No. 17					+	(1) + (1)
No id. No. 18						+ (1)

*Protopendinium trochoideum* en la A-2; *Gonyaulax polygramma* en la A-3; *Gymnodinium simplex* en la A-4 y B1-A; y *Oxytoxum variabile* en la Ba-B (Tabla I). De los otros grupos dominaron: cf. *Emiliana huxleyi* en casi todas las profundidades de las estaciones, *Acanthoica aculeata* en la estación A-3, y *Agmenellum cuadruplicatum* en las estaciones A-4, B1-A y B1-B (Tabla I).

El índice de diversidad de Shannon-Wiener varió de 0.56 (estación A-1, en superficie) a 1.45 (estación A-3, en superficie) y el índice de equitabilidad entre 0.18 (estación A-1 superficial) y 0.51 (estación A-4, 82 m) (Fig. 2). Los índices de diversidad más altos se obtuvieron para la estación A-3, en toda la columna de agua. La razón D430/D665 presentó valores variables desde 2.81 (estación A-2, 15 m) a 7.71 (estación A-4, en superficie) (Fig. 3).

Sólo 32 especies se encontraron relacionadas estrechamente y por lo tanto formaron asociaciones discretas. Se definieron cinco grupos de especies: el grupo I fue el más numeroso, representado por 13 diatomeas y un dinoflagelado; el grupo II con nueve diatomeas y un dinoflagelado; los grupos III, IV y V se formaron por pocas especies, 3, 2 y 3, respectivamente (Fig. 4).

#### DISCUSION

La composición del fitoplancton se caracterizó por la riqueza en taxa de diatomeas, las que también fueron importantes numéricamente en varios puntos. Altas densidades de diatomeas (hasta 139 000 cel/1), así como gran variedad de taxa se relacionaron con alta concentración de nutrientes,

The Shannon-Wiener diversity index varied from 0.56 (station A-1 in surface) to 1.45 (station A-3); the evenness index ranged between 0.18 (station A-1, in surface) and 0.51 in station A-4 (at 82 m) (Fig. 2). The highest values of diversity index found corresponded to station A-3 throughout the water column. Pigment D430/D665 ratio presented values from 2.81 in station A-2 at 15 m, to 7.71 in station A-4 in surface (Fig. 3).

Only 32 species were found closely related and so they formed discrete associations. Five groups of species were defined: group I was the largest, represented by 13 diatoms and one dinoflagellate; group II has nine diatoms and one dinoflagellate; groups III, IV and V were represented by few species, 3, 2, and 3 respectively (Fig. 4).

#### DISCUSSION

The phytoplankton composition was characterized by the diatom's taxa richness, which were abundant in several points (Fig. 2). High densities of diatoms (139 000 cel/1), as well as great variety of taxa were related with high nutrient concentrations, particularly silicate in station A-3; in station A-4, having low silicate concentrations, diatoms were scarce (Fig. 2. Alvarez-Borrego *et al.*, in preparation). Coccolithophorids were important in terms of abundance and distribution (Table I), and its composition had not been reported before. Dinoflagellates were not abundant although they are frequent and constant members of the phytoplankton in the Gulf of California. The cyanophycean *Agmenellum cuadruplicatum* and in general all organisms smaller than 20 $\mu$  (na-

### ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

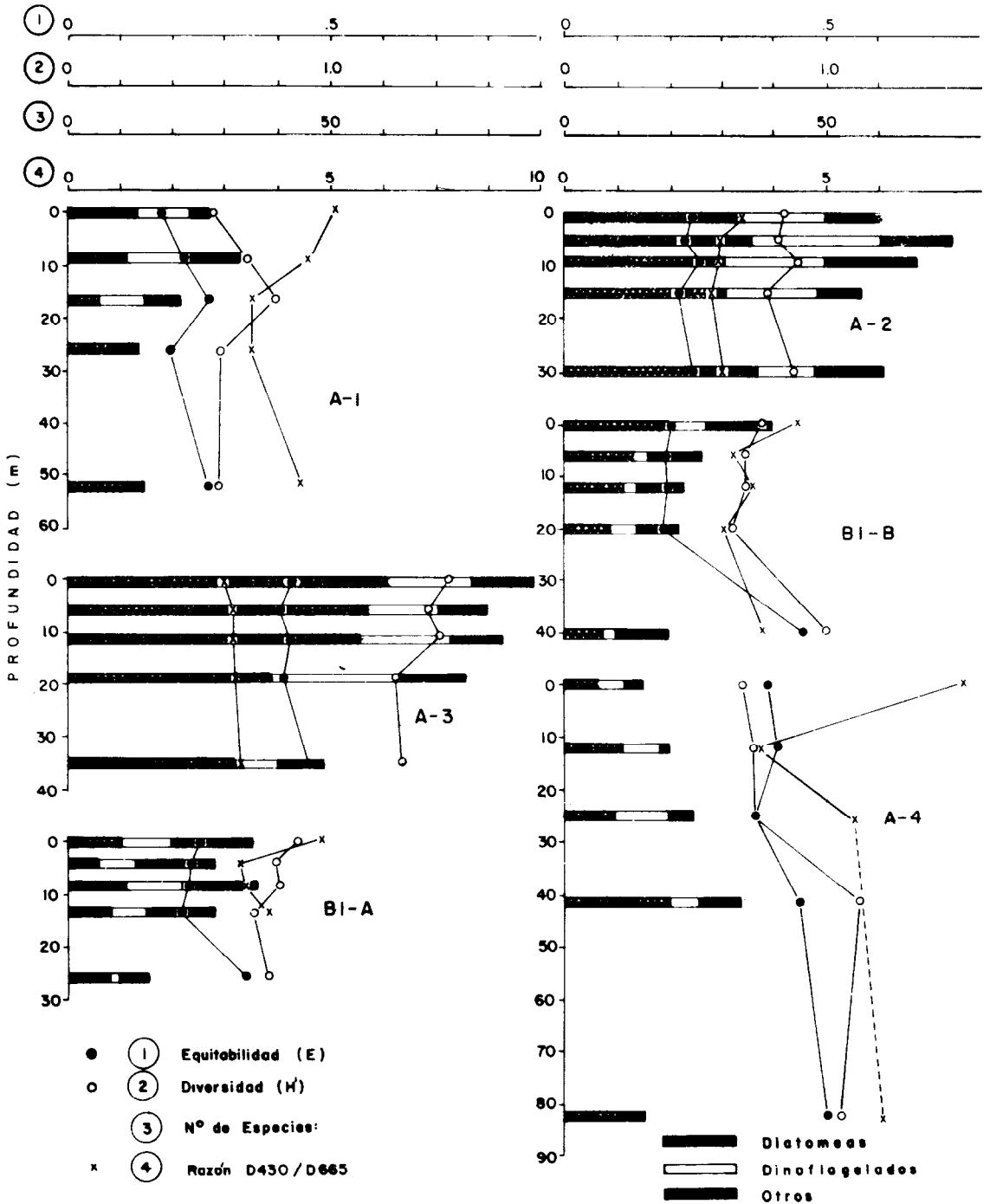
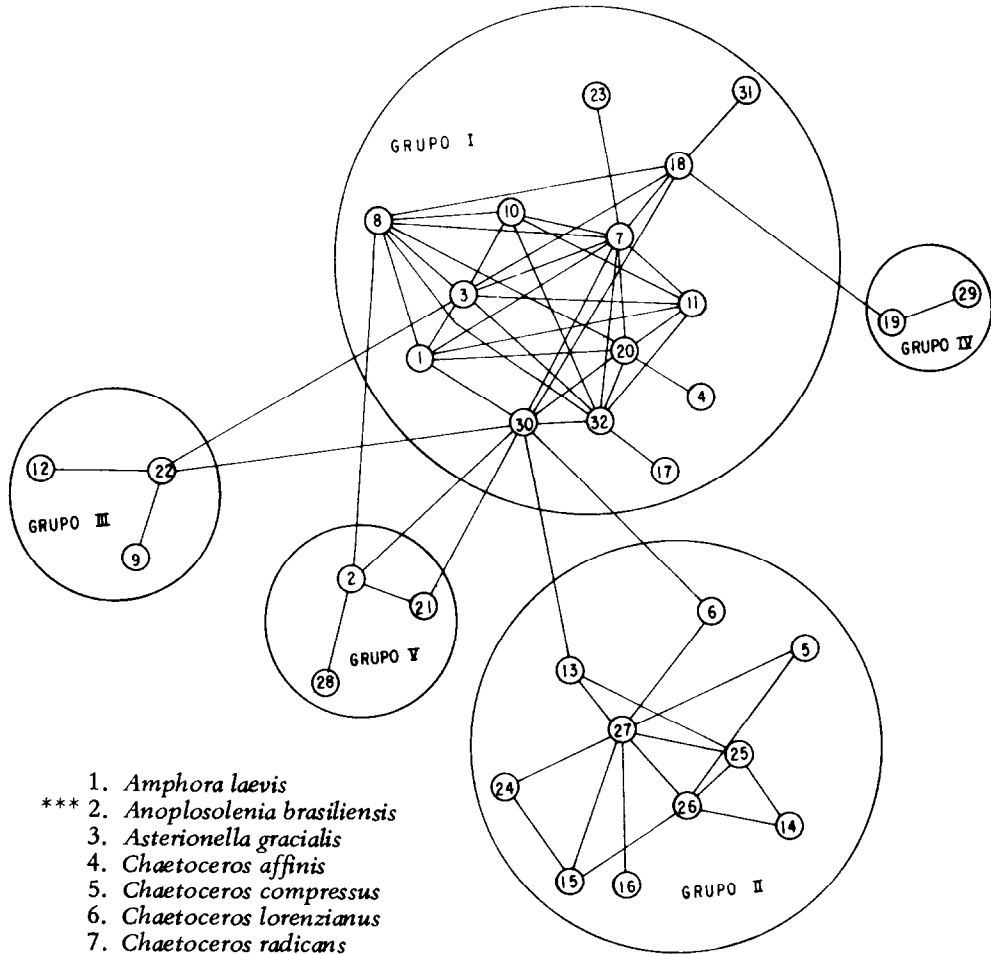


FIG. 3. Perfiles verticales de los índices de diversidad y equitabilidad, la razón D430/D665, y el número de especies dividido en tres grandes grupos.  
 Vertical profiles of diversity and evenness index, D430/D665 ratio and the number of species divided in three great groups.



- 1. *Amphora laevis*
- \*\*\* 2. *Anoplosolenia brasiliensis*
- 3. *Asterionella gracialis*
- 4. *Chaetoceros affinis*
- 5. *Chaetoceros compressus*
- 6. *Chaetoceros lorenzianus*
- 7. *Chaetoceros radicans*
- \* 8. *Cochlodinium miniatum*
- \*\* 9. *Dictyocha fibula*
- 10. *Ditylum brightwellii*
- 11. *Eucampia zodiacus*
- \* 12. *Gonyaulax polygramma*
- \* 13. *Gymnodinium splendens*
- 14. *Hemidiscus cuneiformis*
- 15. *Lauderia borealis*
- 16. *Leptocylindrus antarcticus*
- 17. *Lithodesmium undulatum*
- 18. *Nitzschia longissima*
- 19. *Nitzschia seriata*
- 20. *Pleurosigma angulatum*

- \* 21. *Protoperidinium conicum*
- \* 22. *Protoperidinium oceanicum*
- 23. *Pseudoeunotia doliolus*
- 24. *Rhizosolenia alata*
- 25. *Rhizosolenia bergonii*
- 26. *Rhizosolenia setigera*
- 27. *Skeletonema costatum*
- \*\*\*\* 28. *Tetraselmis suecica*
- 29. *Thalassionena nitzschioides*
- 30. *Thalassiosira condensata*
- 31. *Thalassiosira decipiens*
- 32. *Thalassiosira subtilis*

FIG. 4. Diagrama de las especies asociadas: \* indica dinoflagelados, \*\* indica silicoflagelados, \*\*\* indica coccolitofóridos, y \*\*\*\* indica prasinofíceas. Todas las demás son diatomeas. Associated species diagram: \* means dinoflagellate, \*\* means silicoflagellate, \*\*\* means coccolithophorids, \*\*\*\* means prasinophyceans. The others are diatoms.

## ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

sobre todo silicato en la estación A-3; en tanto en la estación A-4, con bajas concentraciones de silicato, las diatomeas fueron escasas (Fig. 2; Alvarez-Borrego *et al.*, en prep.). De los otros grupos destacaron los coccolitofóridos, cuya composición no había sido reportada antes, observándose poblaciones muy abundantes y de amplia distribución. Los dinoflagelados no fueron abundantes, aunque son elementos constantes y frecuentes en el Golfo de California. La cianofíceea *Agmenellum quadruplicatum* y en general los organismos menores de  $20\mu$  (nanoplancton) se encontraron en grandes números en áreas que presentaban condiciones de tipo oceánico (e.g. estratificación térmica, baja concentración de nutrientes), mientras en áreas con mezcla en la capa eufótica sobresalieron los organismos del microplancton (mayores de  $20\mu$ ). Malone (1971) mostró que en medios oceánicos con poca fluctuación ambiental, la fracción del nanoplancton es la más importante en la productividad. En zonas costeras o de mezcla y turbulencia, la parte del microplancton compite con ventajas sobre el nanoplancton y suele ser dominante (Malone, 1971; Parsons y Takahashi, 1973).

Los índices de diversidad y pigmentario se relacionaron con la composición del fitoplancton, reflejando tipos de comunidad diferentes. En la estación A-3 —con valores medianos del índice de diversidad (1.28 - 1.45), razón pigmentaria (D430/D665) baja (2.91 - 3.06) y abundancia de *Chaetoceros spp.*, *Skeletonema costatum* y *Asterionella glacialis*— puede caracterizarse una comunidad de fitoplancton poco madura, dentro de un estado sucesional en sus primeros pasos, cuyos integrantes tienen un crecimiento rápido respondiendo a concentraciones altas de nutrientes (Margalef, 1967 y 1968; Guillard y Kilham, 1977). En cambio, la estación A-4 presentó valores más bajos en el índice de diversidad (0.69 - 1.14), razón D430/D665 alta (3.70 - 7.71) y los microflagelados principalmente coccolitofóridos; pequeños dinoflagelados (e. g. *Oxytoxum variabile*) y *Agmenellum quadruplicatum* fueron predominantes, lo que de acuerdo a la teoría corresponde a una comunidad más estable, en estado de sucesión avanzado

nanoplancton), were found to be numerous in regions having oceanic conditions (e. g. thermal stratification low nutrient concentrations), while in regions with mixed euphotic layer, cells belonging to microplankton (bigger than  $20\mu$ ) were abundant. Malone (1971) showed that in oceanic environment with little variations, nanoplankton fraction is the most important in productivity. In coastal areas and mixed or turbulent waters, microplankton have competitive advantages over nanoplankton and it appears to be dominant (Malone, 1971; Parsons and Takahashi 1973).

Diversity index and pigment D430; D665 ratio were related with phytoplankton composition indicating communities. In station A-3 the diversity index values (1.28-1.45), pigment D430:D665 ratio (2.91-3.06) and abundance of *Chaetoceros spp.*, *Skeletonema costatum* and *Asterionella glacialis* are characteristics of an immature phytoplankton community in primary successional stages, whose members have fast growth in response to high nutrient concentration (Margalef, 1967, 1968; Guillard and Kilham, 1977). By contrast, station A-4 showed diversity index values lower than station A-3 (0.69-1.14), higher pigment ratio (3.70-7.71) and microflagellates, mainly coccolithophorids, small dinoflagellates (e.g. *Oxytoxum variabile* and *Agmenellum quadruplicatum*) were dominant, indicating a more stable phytoplankton community, in advanced successional stages (Margalef, 1967 and 1968). The results of the species association support these data. Groups I and II included species characteristics of high nutrient upwelling water, mainly diatoms which were frequent elements in station A-3. In a similar analysis, Briand (1976) found close association between diatoms *Nitzschia longissima*, *Asterionella glacialis* and *Eucampia zoodiacus*, here grouped together (Fig. 4). Thus, species included in a same group share ecological habits and moreover reproductive features because they largely produce resting spores.

Changes in phytoplankton structure are linked to changes in hydrological regime (Zernova, 1977) and physical environmental

(Margalef, 1967 y 1968). Los resultados del análisis de asociación de especies complementan los juicios anteriores. Los grupos I y II formados por especies propias de aguas de surgencia, en su mayoría diatomeas, fueron frecuentes en especial en la estación A-3. En un análisis similar, Briand (1976) encontró en gran asociación las diatomeas *Nitzschia longissima*, *Asterionella glacialis* y *Eucampia zodiacus*, las cuales en este estudio se agruparon juntas (Fig. 4). De tal forma, las especies dentro de un mismo grupo comparten caracteres ecológicos y aun hábitos reproductivos, pues se reproducen en su mayor parte por esporas latentes.

Los cambios en la estructura del fitoplancton están ligados estrechamente a los cambios en el régimen hidrológico (Zemova, 1977) y los mecanismos ambientales de tipo físico quizás controlen dichos cambios (Margalef, 1978). Respecto a los distintos ambientes caracterizados en este estudio, las condiciones de turbulencia con altas concentraciones de nutrientes sustentan tipos de comunidad poco madura con predominio del microplancton, donde destacan los índices de diversidad y pigmentario como buenos indicadores de la estructura; mientras en condiciones de estabilidad de la columna de agua, donde los nutrientes fueron escasos, los organismos del nanoplancton dominaron, tratándose de una comunidad madura.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Dr. Saúl Alvarez Borrego, por sus sugerencias, críticas y su apoyo al presente trabajo, así como la colaboración del M. en C. Gilberto Gaxiola Castro, Dr. Alejandro Chagoya y Dr. Rubén Lara Lara. La presente contribución forma parte de la tesis de maestría del autor. Se agradece a la Dirección Adjunta de Desarrollo Científico del CONACYT el haber hecho posible este trabajo permitiéndonos el uso del B/O "El Puma". Agradezco también a la Dirección Adjunta de Formación de Recursos Humanos del CONACYT el haberme otorgado una beca de posgrado para realizar mis estudios de maestría en el CICESE.

mechanisms perhaps controlling this changes (Margalef, 1978). The different environmental characteristics: turbulence conditions with high nutrient concentrations where diversity index and pigment D430:D665 are good indicators of the phytoplankton community structure and, on the other hand, stability of water column with scarce nutrient concentration, supports a community dominated by nanoplankton, indicating a more mature community.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

I want to thank Dr. Saúl Alvarez Borrego for his critics, suggestions and support. To M. S. Gilberto Gaxiola-Castro, Dr. Alejandro Chagoya and Dr. Rubén Lara-Lara. This work is part of the M. S. thesis of the author, thanking the Dirección Adjunta de Desarrollo Científico of CONACYT for the use of the R/V "El Puma". I thank the Dirección adjunta de Formación de Recursos Humanos of CONACYT for the economic support.

#### LITERATURA CITADA

- ALLEM, W. E. 1937. Plankton diatoms of the Gulf of California obtained by the Allan Hancock expeditions of 1936. The Univ. of South Calif. Pub. 3(5): 47-59.
- ALVAREZ Borrego, S., 1983. The Gulf of California. In: Ketchum, B. K. (Ed.) Estuaries and Enclosed Seas. Elsevier Pub. Co. pp. 427-449.
- ALVAREZ Borrego, S., G. Gaxiola Castro y D. U. Hernández Becérril. En prep. Photosynthesis-irradiance relation ship for phytoplankton in the Gulf of California.
- BRIAND, F. J. P. 1976. Seasonal variations and associations of Southern Californian nearshore phytoplankton. J. Ecol. 64(3):821-835.
- FURUYA, K. and R. Marumo. 1983. The structure of the phytoplankton community in the subsurface chlorophyll maxima in the Western North Pacific Ocean. J. Plankton Res. 5(3):393-406.
- GENDROP, V. F., M. J. Acosta Ruiz y R. A. Schwartzlose. 1978. Distribución horizontal de clorofila *a* durante la primavera en la parte norte del Golfo de California. Ciencias Marinas 5(1):71-89.
- GILBERT, J.Y. and W. E. Allen. 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.
- GUILLARD, R. R. L. and P. Kilham. 1977. The ecology of marine planktonic diatoms. In: Werner, D. (Ed.). The Biology of diatoms. Blackwell Sci. Pub. pp. 372-469.

## ESTRUCTURA DEL FITOPLANCTON

- HASLE, G. R. and G. A. Frixell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Amer. Micros. Soc.* 89(4):469-474.
- KLEMENT, K. W. 1964. Armored dinoflagellates of the Gulf of California. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.* 8:347-371.
- LEGENDTRE, L. and P. Legendre. 1978. Associations. In: Sourmia, A. (ed.). *Phytoplankton Manual*. UNESCO. pp. 261-272.
- MALONE, T. C. 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producer in the California current system. *Fish. Bull.* 69(4):799-820.
- MARGALEF, R. 1965. Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. In: Goldman, C. R. (Ed.) *Primary productivity in aquatic environments*. Mem. Ist. Ital. Indrobiol. 18 suppl. Univ. of California Press. pp. 355-364.
- MARGALEF, R. 1967. The food web in the pelagic environment. *Helgolander Wiss. Meeresunters.* 18:548-559.
- . R. 1968. Perspectives in ecological theory. The Univ. of Chicago Press. Chicago 111 pp.
- , R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta* 1(4):493-509.
- NEZLIN, N. P. 1982. Seasonal species groupings of phytoplankton in the Black Sea littoral zone. *Oceanol.* 22(4):458-461.
- OSORIO Tafall, B. F. 1943. El Mar de Cortes y la productividad fitoplanctónica de sus aguas. *An. Esc. Nal. Cienc. Biol.* 3:73-118.
- PARSONS, T. R. and M. Takahashi. 1973. Environmental control of phytoplankton cell size. *Limnol. Oceanogr.* 18(4):511-515.
- PIELOU, E. C. 1977. *Mathematical ecology*. John Wiley and Sons. New York. 286 pp.
- RODEN, N. G. and I. Emilsson. 1980. Physical oceanography of the Gulf of California. Manuscrito no publicado. 57 pp.
- ROUND, F. E. 1967. The phytoplankton of the Gulf of California. Part I. Its composition, distribution and contribution to the sediments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1:76-97.
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. *A practical Handbook of seawater analysis*. 2nd. ed. *Bull. Fish. Res. Board Can.* Vol. 167. 311 pp.
- TRAVERS, M. 1971. Diversité du microplancton du microplancton du Golfe de Marseille en 1964. *Mar. Biol.* 8:308-343.
- ZEITZSCHEL, B. 1969. Primary productivity in the Gulf of California. *Mar. Biol.* 3:20-207.
- , B. 1970. The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Mar. Biol.* 7:305-318.
- ZERNOVA, V. V. 1977. Seasonal variation of the vertical distribution of phytoplankton in the tropical Atlantic. *Oceanol.* 17(2):195-199.