

## VARIABILIDAD TEMPORAL DEL FITOPLANCTON EN UNA ZONA COSTERA DEL NOROESTE DE BAJA CALIFORNIA

## PHYTOPLANKTONIC TEMPORAL VARIABILITY IN A COASTAL AREA OF NORTHWESTERN BAJA CALIFORNIA

Eduardo Millán-Núñez<sup>1</sup>  
Daniel Humberto Loya-Salinas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada  
Dirección General de Oceanografía Naval  
Secretaría de Marina  
Vicente Guerrero 133, Fracc. Bahía  
Ensenada, Baja California, 22880 México

<sup>2</sup> Centro de Investigación Científica y  
de Educación Superior de Ensenada (CICESE)  
Departamento de Ecología  
Apartado Postal 2732  
Ensenada, Baja California, 22830 México

*Recibido en mayo de 1992; aceptado en enero de 1993*

### RESUMEN

Se realizó un estudio anual del fitoplancton en la Bahía de Todos Santos de marzo 1986 a marzo 1987, con muestreos mensuales en tres estaciones, a profundidades de 1, 10 y 20 m. La variabilidad temporal de los grupos taxonómicos del fitoplancton se mantuvo muy semejante entre sí, salvo en junio y noviembre, cuando se detectaron incrementos en el grupo de diatomeas. Estos florecimientos de células se deben a procesos de mezcla o eventos de surgencias que se producen fuera del área de estudio. El proceso de advección hacia la bahía en junio se denota por el bajo porcentaje de saturación de oxígeno, característico de profundidades mayores de 75 m. La variabilidad fraccional de tamaños de diatomeas muestra dos etapas de sucesión de eventos de surgencia: se observa en junio una densidad de células con características de florecimiento avanzado, pues el tamaño dominante de células del grupo de diatomeas es  $>20 \mu\text{m}$ , y en noviembre se detectan células pequeñas,  $<20 \mu\text{m}$ , propias de un evento de surgencia en etapa de preflorecimiento.

*Palabras clave:* fitoplancton, variabilidad temporal, fracción de tamaños, surgencias, Baja California.

### ABSTRACT

A phytoplankton study was carried out in Bahía de Todos Santos from March 1986 to March 1987. Samples were taken monthly at three stations and at depths of 1, 10 and 20 m. The temporal variability of the phytoplankton taxonomic groups was very similar most of the time, except in June and November when an increase in the diatom group was detected. These cell blooms may be due to mixing processes or upwelling events that occur outside the study area. The advection process into the bay is shown by the low oxygen saturation values for June at 20 m depth. The size fractions of diatoms showed two successional phases of bloom events: in June, an

abundance of cells was observed with late-bloom characteristics since the predominant cell size of the diatom group was  $>20\ \mu\text{m}$ , whereas in November there was a dominance of cells  $<20\ \mu\text{m}$ , characteristic of a prebloom event.

**Key words:** Phytoplankton, temporal variability, size fractions, upwelling, Baja California.

## INTRODUCCION

Los estudios del fitoplancton realizados en la costa noroeste de Baja California se concentran principalmente en lagunas costeras (Alvarez-Borrego y Nájera-de-Muñoz, 1979; Millán-Núñez *et al.*, 1981), y en menor grado en bahías y mares adyacentes (Estrada y Blasco, 1979). A pesar de la escasa información, se han detectado algunos eventos de surgencia en zonas adyacentes a Punta Banda, que contribuyen en gran medida a los altos niveles de productividad de las lagunas costeras (Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982; Millán-Núñez y Millán-Núñez, 1987). Los análisis cuantitativos y cualitativos del fitoplancton, así como las bajas temperaturas y altas concentraciones de nutrientes, son variables que contribuyen a detectar eventos de surgencias. Asimismo, el conocer las diferentes fracciones de tamaños de diatomeas nos permite de alguna manera saber la fase sucesional en que se encuentra un evento de surgencia (Margalef, 1958).

Este estudio presenta los principales géneros del fitoplancton de la Bahía de Todos Santos durante un ciclo anual, incluyendo densidades de diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados. El objetivo fue caracterizar surgencias mediante la variabilidad temporal del fitoplancton con muestreos discretos mensuales.

## AREA DE ESTUDIO

La Bahía de Todos Santos se localiza 100 km al sur de la frontera entre Estados Unidos y México, en la costa oeste de Baja California, a los  $31^{\circ}40'N$  y  $116^{\circ}36'O$  (Fig. 1). Está delimitada al norte por Punta San Miguel, y al sur por Punta Banda y las Islas Todos Santos.

Se caracteriza por tener una profundidad entre 10 y 50 m, y presenta dos entradas bien definidas en su topografía submarina, dividida por dos pequeñas islas al oeste. La entrada del noroeste tiene 12 km de ancho y poco menos de 50 m de profundidad, mientras

## INTRODUCTION

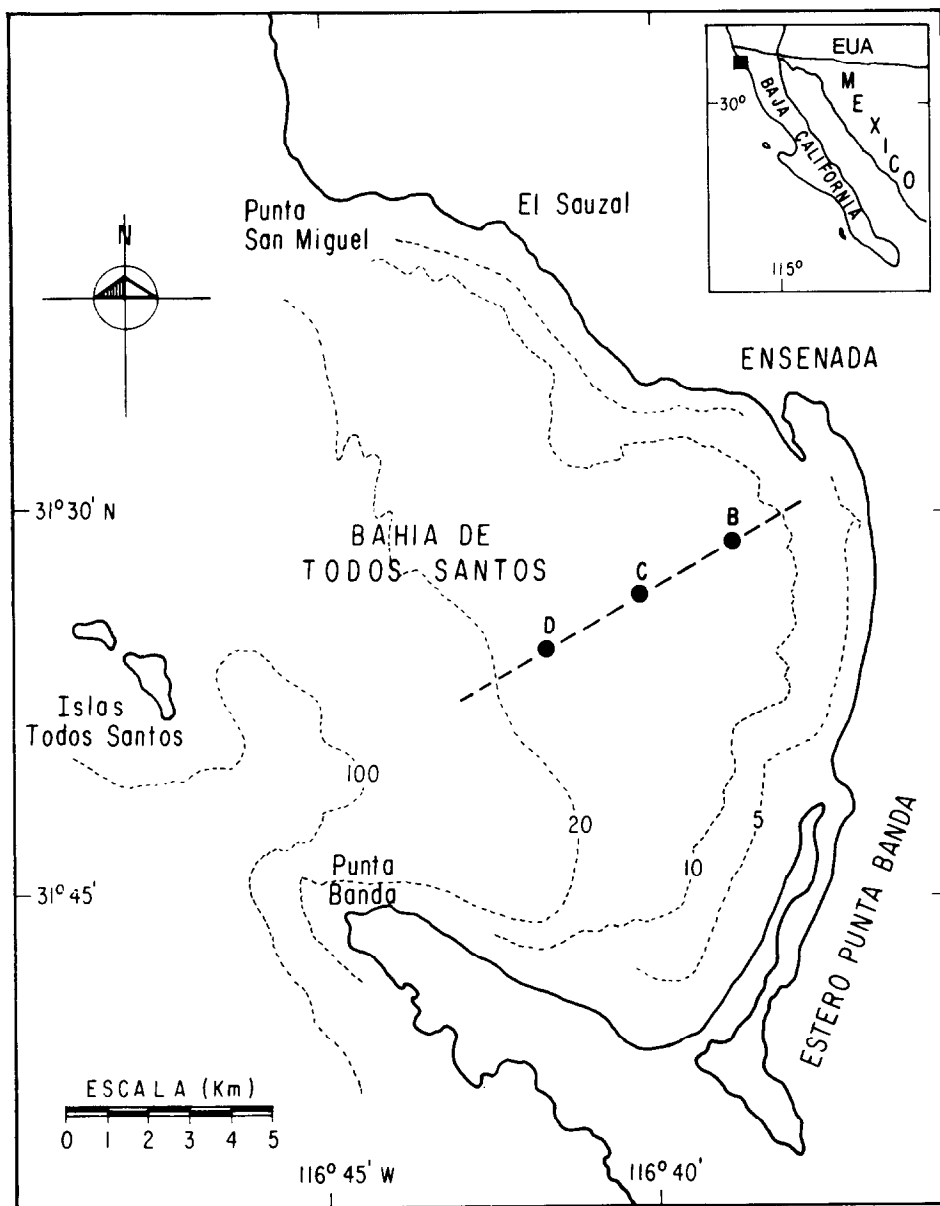
Phytoplankton studies conducted on the northwestern coast of Baja California have concentrated mainly on coastal lagoons (Alvarez-Borrego and Nájera-de-Muñoz, 1979; Millán-Núñez *et al.*, 1981), and to a lesser extent on bays and adjacent seas (Estrada and Blasco, 1979). Although data are scarce, upwelling events have been detected in areas adjacent to Punta Banda, that largely contribute to the higher productivity in coastal lagoons (Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego, 1982; Millán-Núñez and Millán-Núñez, 1987). In addition to qualitative and quantitative analyses of phytoplankton, low temperatures and high nutrient concentrations are variables that help to detect upwelling events. Likewise, the determination of different diatom size fractions enables us to somehow identify the upwelling successional phase (Margalef, 1958).

This study reports on the main phytoplankton genera of Bahía de Todos Santos during an annual cycle, including diatom, dinoflagellate and nanoflagellate densities. The goal was to characterize upwellings through the temporal variability of phytoplanktonic abundance with discrete monthly samplings.

## STUDY AREA

Bahía de Todos Santos is located 100 km south of the border between Mexico and the United States, on the western coast of Baja California, at  $31^{\circ}40'N$  and  $116^{\circ}36'W$  (Fig. 1). It is delimited to the north by Punta San Miguel and to the south by Punta Banda and the Todos Santos islands.

It is characterized by having a depth between 10 and 50 m, and presents two well-defined entries in its submarine topography, divided by two small islands to the west. The northwestern entry is 12 km wide and  $<50$  m deep, and the southwestern entry is 6 km wide and up to 400 m deep at the end of the submarine canyon located between Punta Banda and the Todos Santos islands



**Figura 1.** Area de estudio y localización de las estaciones de muestreo en Bahía de Todos Santos, Baja California, México.

**Figure 1.** Study area and location of the stations in Bahía de Todos Santos, Baja California, Mexico.

que la entrada por el suroeste tiene 6 km de ancho y 400 m de profundidad al final del cañón submarino localizado entre Punta Banda y las Islas Todos Santos (Secretaría de Marina, 1974). Dentro de la bahía, se definió un transecto de 9 km de largo perpendicular a la costa, con tres estaciones (B, C y D) y una distancia de 2.5 km entre cada una (Fig. 1).

## METODOLOGIA

Se realizó un estudio anual de fitoplancton de marzo de 1986 a marzo de 1987, con muestreos mensuales en tres estaciones a tres profundidades (1, 10 y 20 m), usando botellas Niskin de 1.7 l. Se recolectó un total de 117 muestras con un volumen de 250 ml cada una, que se fijaron con 5 ml de formaldehído al 4%, neutralizado con borato de sodio. Posteriormente, se vertió una submuestra de 50 ml a una cámara de sedimentación, con tres gotas de rosa de Bengala y se dejó en reposo por 24 horas, como lo sugirió Steeman-Nielsen (1933) para organismos preservados con formaldehído.

El análisis cuantitativo del fitoplancton se realizó con la técnica Utermöhl (1958), utilizando un microscopio invertido Carl Zeiss con objetivos de 16X y 40X. Se midió e identificó a los organismos hasta nivel género, y se clasificaron dentro de los grandes grupos taxonómicos del fitoplancton (diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados). Se analizaron 50 campos en cada muestra. El término nanoflagelados se utilizó para todos aquellos organismos del fitoplancton  $< 20 \mu\text{m}$  que no se identificaron. Las células que forman cadenas fueron contadas individualmente.

Para la descripción gráfica temporal del fitoplancton total, se utilizó el concepto de regresión polinomial por mínimos cuadrados (Sokal y Rohlf, 1969), del que resultan tendencias suavizadas.

Se eligió la estación C para determinar la variación temporal de las principales propiedades del agua de mar. Esto se hizo con base en dos razones: a) no se detectaron tendencias diferenciadas entre profundidades y b) el conjunto incompleto de datos para las estaciones B y D (Fig. 2, tabla 1). Para medir la temperatura se utilizaron termómetros reversibles con una precisión de  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ . La salinidad se determinó con un salinómetro Beckman modelo 118WA200, y el oxígeno

(Secretaría de Marina, 1974). Inside the bay, a 9 km-long transect was outlined perpendicular to the coast, with three stations (B, C and D) spaced 2.5 km apart (Fig. 1).

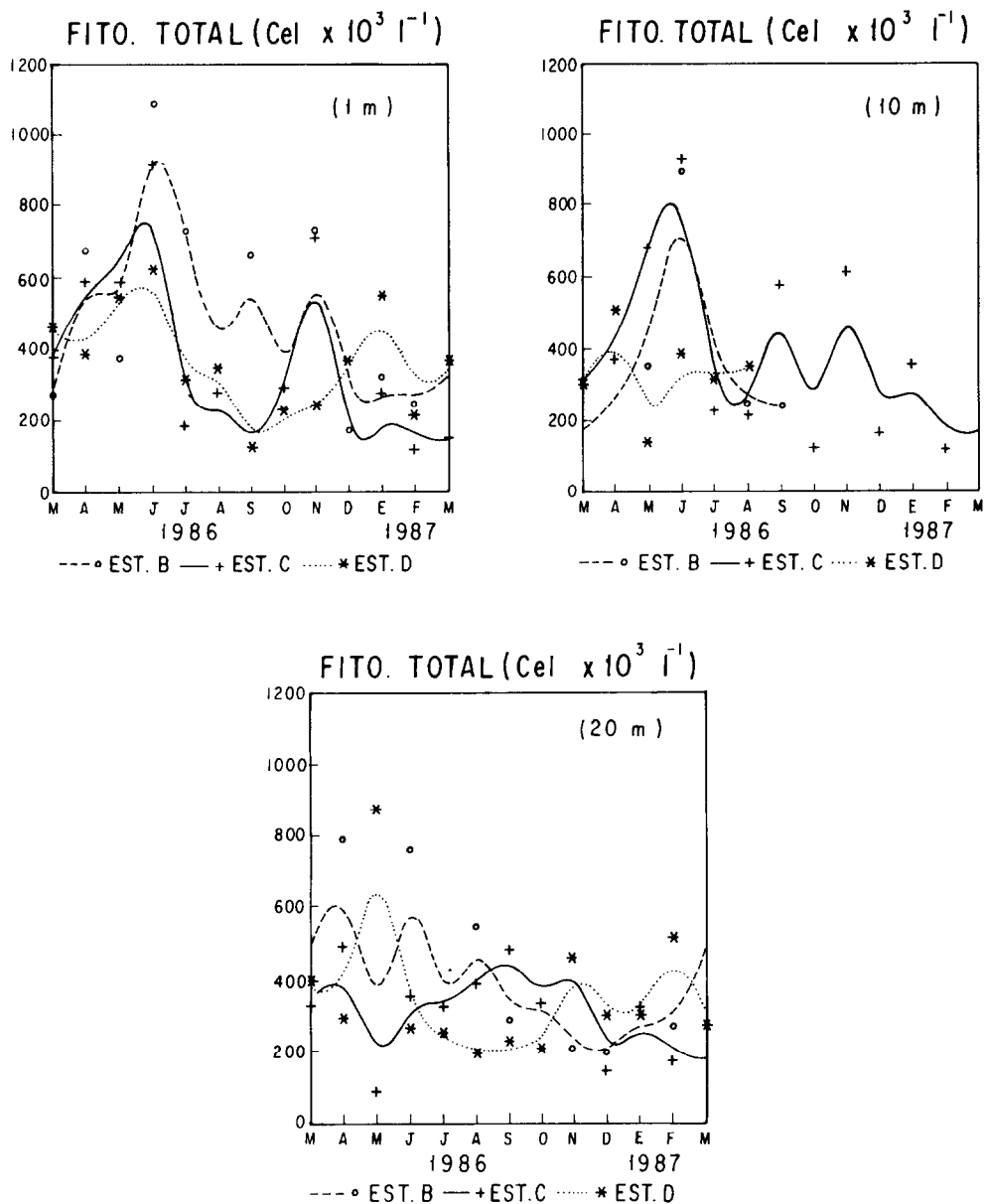
## METHODOLOGY

A phytoplankton study was conducted from March 1986 to March 1987. Samples were taken monthly at three stations and three depths (1, 10 and 20 m), using 1.7-l Niskin bottles. A total of 117 samples were collected, with a volume of 250 ml each, and fixed with 5 ml of 4% formaldehyde neutralized with sodium borate. A subsample of 50 ml was poured into a sedimentation chamber with three drops of rose Bengal and left to rest 24 hours, as suggested by Steeman-Nielsen (1933) for organisms preserved in formaldehyde.

The quantitative analysis of phytoplankton was carried out with the Utermöhl (1958) technique, using a Carl Zeiss inverted microscope with 16X and 40X objectives. The organisms were measured and identified to genus, and classified within phytoplankton higher groups (diatoms, dinoflagellates and nanoflagellates). Fifty fields were counted in each sample. The term nanoflagellate was used for all those phytoplanktonic organisms  $< 20 \mu\text{m}$  that could not be identified to genus. The chain-forming cells were counted individually.

For the graphic description of the temporal trends in the counts, the procedure used is based on the concept of polynomial regression by least squares (Sokal and Rohlf, 1969), which results in smooth patterns.

Station C was chosen to observe temporal variations of the seawater properties. This was done for two reasons: a) because no clear and differentiated patterns were detected on comparing the three sampling depths, and b) due to the incomplete set of raw data for several sampling dates and/or depths at stations B and D (Fig. 2, table 1). For the temperature measurements, reversing thermometers with  $\pm 0.01^\circ\text{C}$  precision were used. Salinity was measured with a Beckman 118WA200 salinometer, and dissolved oxygen with the Macrowinkler technique outlined by Strickland and Parsons (1972). Nitrites, nitrates and silicates were analyzed using a Bausch & Lomb Spectronic 1001 spectropho-



**Figura 2.** Variabilidad temporal y espacial del fitoplancton total en las tres profundidades estudiadas: 1, 10 y 20 m.

**Figure 2.** Temporal and spatial variability of the total phytoplankton in the three levels studied: 1, 10 and 20 m.

**Tabla 1.** Variables biológicas, físicas y químicas en la Bahía de Todos Santos, desde marzo de 1986 a marzo de 1987.

**Table 1.** Biological, physical and chemical variables in Bahía de Todos Santos, from March 1986 to March 1987.

AÑO		1986										1987		
MES		MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
GENERO														
Diatomeas														
1	<i>Nitzschia</i>	1054		2613	149288	1329	733	10863	2888	4036	367	11001	504	
2	<i>Chaetoceros</i>	8055		92	40591	5821	1283	229	7293	178901	183	12164	688	11712
3	<i>Rhizosolenia</i>	413	183	688	6692	9305	5088	688	458	1329	229	2475	183	458
4	<i>Thalassiothrix</i>	183		963	11642	550	229	4813	367	92	138	7425	183	
5	<i>Navicula</i>	275		229		321	229	46	642	321	275	138	321	46
6	<i>Thalassionema</i>		46		183			321	1146	367		4629		275
7	<i>Thalassiosira</i>	4492		46	321			46	183	92	92	1833		46
8	<i>Hemiaulus</i>	46	413	779	321			413	183			275		
9	<i>Coscinodiscus</i>	138	92	183	383		183		229	46		367		
10	<i>Bacteriastrium</i>	46						138		11963		92		
11	<i>Skeletonema</i>				19438			458	183		183	4623	1011	92
12	<i>Eucampia</i>				92	1238	550					2063		
13	<i>Stephanophysis</i>						963							
14	<i>Lauderia</i>				458				92			1513		
15	<i>Melosira</i>									413				183
16	<i>Asteromphalus</i>						138						46	
17	<i>Surirella</i>		46											
18	<i>Actinoptychus</i>		46											
19	<i>Ditylum</i>			92				138		92		413		
20	<i>Amphiprora</i>	46					46							
21	<i>Gyrosigma</i>				46		46	138			46	92		
22	<i>Corethron</i>													183
23	<i>Licmophora</i>													46
24	<i>Pseudoeunotia</i>													92
25	<i>Mastogloia</i>								138	46				
26	<i>Guinardia</i>													92
27	<i>Diploneis</i>								92	46				
28	<i>Bidulphia</i>					46						92		
29	<i>Asterionella</i>									4079		1650		
30	<i>Amphora</i>													46
31	<i>Coconeis</i>				46									
32	<i>Gramatophora</i>	46												
33	<i>Dactyliosolen</i>			46										
Dinoflagelados														
34	<i>Gymnodinium</i>	9978	19843	20388	18962	8606	12622	9124	6793	48328	2844	7792	9078	12330
35	<i>Ceratium</i>	183	1696	3438	46	5363	2292	2383	504	367	46	596	138	733
36	<i>Prorocentrum</i>	138	13430	5042	458	4217	963	1008	321	1604	183	275	183	138
37	<i>Gonyaulax</i>	3713	5775	413	1146		138	46	504	963	92	504	321	275
38	<i>Peridinium</i>	229	367	229	46	92	229	229	92			92	46	
39	<i>Dinophysis</i>	229	138	138			46	183	138	138				138
40	<i>Oxifoxum</i>	92	413	2521	46	275	183	138		46			46	
41	<i>Gyrodinium</i>					46	367		275	413		929	550	1696
42	<i>Pycocistis</i>	321	138	367			596							
43	<i>Cystodinium</i>										138		46	
44	<i>Podolampas</i>	3759	46		92			46					46	
45	<i>Exuviaella</i>								229	1054				
46	<i>Amphizolenia</i>								138					
47	<i>Amphidinium</i>									92				
48	<i>Glenodinium</i>					183								
49	<i>Centrodinium</i>			92										
50	<i>Mesodinium</i>		92											
Silicoflagelados														
51	<i>Distephanus</i>	413	92	17922	92	46	917	504	229	779	92			321
52	<i>Dictyocha</i>	46		183			1375	963	46	183		138	92	229

disuelto con la técnica del Macrowinkler descrita por Strickland y Parsons (1972). Los nitritos, nitratos y fosfatos se analizaron por medio de un espectrofotómetro Bausch & Lomb Spectronic 1001, con la técnica descrita por Strickland y Parsons (1972). El índice de valor biológico (IVB; Sanders, 1960; Loya-Salinas y Escofet, 1990) se empleó para describir la estructura del fitoplancton en el nivel de género; este índice es ampliamente conocido en ecología marina para clasificar los organismos en orden de importancia.

Los métodos estadísticos que se utilizaron fueron: a) la prueba de Kolmogorov-Smirnov, para bondad de ajuste de los datos a una distribución normal, b) la prueba de Bartlett, para homogeneidad de varianzas en los datos, y c) el análisis de varianza de una vía (modificado para considerar heteroscedasticidad), para diferencias globales del fitoplancton total entre las fechas de muestreo. La teoría de métodos numéricos fue codificada para ser usada en computadora de acuerdo con Sokal y Rohlf (1969).

## RESULTADOS

La temperatura superficial muestra un intervalo de 14.47 a 22.14°C (tabla 1), con mínimos en enero y máximos en septiembre. El intervalo de salinidad superficial fue de 33.27 a 33.75 ‰ (tabla 1), con el valor máximo en junio. El porcentaje de saturación de oxígeno muestra valores altos de sobresaturación durante el año (tabla 1), excepto en los meses de verano a la profundidad de 20 m. Los nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato) tuvieron en general valores bajos durante el periodo de muestreo (tabla 1); sin embargo, se observan incrementos esporádicos en la concentración de nitratos ( $\sim 14.40 \mu\text{g-at l}^{-1}$ ) en los meses de abril, mayo y septiembre.

Los datos de abundancia de diatomeas y fitoplancton total en las estaciones B, C y D se presentan en la tabla 1. El fitoplancton total por profundidad (Fig. 2) tiene el menor cambio a la profundidad de 20 m y la mayor variabilidad temporal en junio.

La estructura genérica de la comunidad del fitoplancton se clasificó en orden descendente de acuerdo con el IVB de cada uno (tabla 2); los géneros dominantes fueron

tometer with the technique established by Strickland and Parsons (1972).

The biological index value (BIV; Sanders, 1960; Loya-Salinas and Escofet, 1990) was used to describe the phytoplanktonic structure up to generic level. This index is widely used in marine ecology to rank organisms in order of importance.

The statistical methods used were: a) the Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit of the data array to a normal distribution, b) the Bartlett test for homogeneity of variances, and c) the one-way analysis of variance (modified to consider heteroscedasticity) to investigate the overall differences between sampling dates for the total phytoplankton abundance. The numerical methods theory was encoded for computer usage according to Sokal and Rohlf (1969).

## RESULTS

Surface temperature ranged from 14.47 to 22.14°C (table 1), with minimum values in January and maximum in September. Surface salinity ranged from 33.27 to 33.75‰ (table 1), with the highest value in June. The percentage of oxygen saturation shows high oversaturation values throughout the year (table 1), except in the months of summer at 20 m depth. In general, the nutrients (nitrite, nitrate, phosphate) had low values during the sampling period (table 1). However, sporadic increments are observed in the nitrate concentrations ( $\sim 14.40 \mu\text{g-at l}^{-1}$ ) in April, May and September.

The data for diatom and total phytoplankton abundance at stations B, C and D are presented in table 1. The variability of the total phytoplankton abundance values, plotted depthwise (Fig. 2), shows that the depth with the less variability is 20 m and that the largest portion of the year's variability appears in June.

The generic structure of the phytoplankton community was arranged in descending order according to the BIV of each genus (table 2). The most dominant genera were *Nitzschia*, *Chaetoceros*, *Rhizosolenia* and *Thalassiothrix* for the diatoms, and *Gymnodinium*, *Ceratium* and *Prorocentrum* for the dinoflagellates.

The average monthly variability for the nanoflagellate group represented 85% of the

**Tabla 2.** Géneros de Fitoplancton identificados durante el periodo de muestreo. Los números indican el promedio de abundancias de células por litro, en las tres profundidades (1, 10 y 20 m) de la estación C.

**Table 2.** Phytoplankton genera identified during the sampling period. The numbers indicate mean abundance values in cells per liter at the three depth levels (1, 10 and 20 m) in station C.

ESTACION	B						C						D							
	PROF	TEMP	SALIN	%O <sub>2</sub>	CEL	X LITRO	TEMP	SALIN	%O <sub>2</sub>	µg - af - g <sup>-1</sup>	CEL	X LITRO	TEMP	SALIN	%O <sub>2</sub>	CEL	X LITRO			
FECHA	m	°C	‰	SAT.	TOTAL	DIATOM	°C	‰	SAT.	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	TOTAL	DIATOM	°C	‰	SAT.	TOTAL	DIATOM	
MAR	1	16.30	33.37	117	270161	3347	16.23	33.39	118				377215	687	15.27	33.34	117	456947	34034	
	10	14.80	33.31	117	176008	2200	15.50	33.38	127				319445	2062	15.46	33.31	118	303429	10546	
	20	13.98	33.38	99	458317	23583	13.75	33.40	100				324737	47504	13.80	33.40	98	385867	37404	
ABR	1	17.36	33.43	120	668247	214	17.13	33.27	123	0.25	14.4	0.57	582944	1512	17.86	33.48	123	385163	3162	
	10	15.57	33.44	128	264680	2983	15.28	33.41	133	0.28	0.00	0.92	375790	687	14.29	33.44	115	505027	1787	
	20	13.26	33.55	83	791910	2750	12.52	33.57	79	0.84	0.00	1.28	489028	1787	12.58	33.51	82	289100	2062	
MAY	1	17.70	33.66	123	370878	3162	18.05	33.66	126	0.36	0.00	0.00	582128	11275	19.32	33.75	128	542856	3575	
	10	13.21	33.59	93	331397	12375	14.10	33.62	103	0.35	0.00	0.00	678610	5156	13.80	33.61	109	139592	1925	
	20	11.68	33.67	50	105685	6600	11.59	33.60	52	0.94	17.00	0.74	91507	2062	11.48	33.47	62	875323	25878	
1 JUN	1	19.14	33.77	128	1082389	569772	18.75	33.75	131	0.38	0.00	1.16	910941	608263	19.10	33.74	135	622731	385682	
	10	14.14	33.64	136	892554	285924	16.06	33.68	150	0.35	0.00	0.40	931600	535940	13.38	33.56	125	385846	58413	
	20	11.88	33.68	57	761187	384274	11.64	33.68	63	0.57	4.64	0.96	350449	123356	11.59	33.67	68	264244	119446	
9 JUL	1	20.78	33.71	123	725559	5087	20.57	33.71	125	0.40	0.00	0.00	181963	2750	20.21	33.68	125	316074	5919	
	10	16.70	33.56	138	314682	8938	15.22	33.55	134	0.39	0.00	0.00	229435	2062	14.34	33.57	125	316562	6737	
	20	13.36	33.56	93	264314	23376	12.40	33.59	77	0.62	4.60	0.04	325580	51427	12.15	33.61	74	245648	27831	
8 AGO	1	21.14	33.50	143	337023	550	20.86	33.71	124				0	2074	21.14	33.66	130	349435	412	
	10	14.99	33.56	111	249548	137	16.27	33.59	135				0	216235	11.00	14.23	33.58	136	347571	4950
	20	13.32	33.57	90	544046	34514	12.96	33.57	96				0.50	390715	27226	12.71	33.56	88	190998	16775
6 SEP	1	21.34	33.59	100	661327	10773	21.89	33.67	121	0.35	0.00	0.23	117231	8250	22.14	33.65	123	130101	22136	
	10	15.64	33.29	115	242754	26683	16.14	33.32	111	0.33	0.00	0.42	587173	12925	14.46	33.32	118			
	20	13.49	33.39	69	285402	18838	12.23	33.40	75	1.43	14.4	1.24	478793	33414	12.63	33.45	78	223187	18013	
OCT	1	18.64	33.32	117	239539	1422	18.88	33.32	108	0.41	0.00	0.05	293163	25177	19.52	33.48	123	229212	2337	
	10	18.53	33.44	121		1747	33.38	118	0.45	2.40	0.15	121370	412	17.29	33.41	114				
	20	14.00	33.34	106	346023	21974	13.88	33.34	100	0.67	0.00	2.66	328873	16225	13.60	33.35	120	205906	7755	
NOV	1	17.89	33.47	127	726151	235064	18.07	33.44	132				708008	422358	18.44	33.45	119	240690	9327	
	10	16.55	33.38	116		1756	33.42	115					612528	178282	18.50	33.43	125			
	20	14.85	33.35	106	210065	4318	14.92	33.36	109				461565	4812	15.41	33.36	109	455670	22531	
DIC	1	17.40	33.35	115	173988	962	17.43	33.34	114				17555	1512	17.44	33.39	114	364233	275	
	10	16.95	33.36	116		1717	33.33	114				169116	550	17.15	33.38	115				
	20	16.05	33.36	110	196122	2110	16.84	33.33	115				143107	6380	16.66	33.30	114	296341	1972	
1 ENE	1	14.47	33.38	110	318896	35293	14.58	33.38	113				278157	38227	14.72	33.40	111	548498	34509	
	10	14.35	33.39	113		1444	33.39	111				354807	70647	14.46	33.37	111				
	20	14.27	33.37	111	295991	19416	14.35	33.38	109				315455	45350	14.14	33.36	109	296933	24360	
9 FEB	1	15.36	33.37	113	245151	4043	15.50	33.36	117				122339	4132	15.74	33.37	114	219383	1835	
	10	15.07	33.34	116		1536	33.37	114				122657	825	15.20	33.37	112				
	20	14.97	33.38	116	236946	9316	14.74	33.40	114				169021	3712	14.66	33.40	112	515016	3437	
7 MAR	1	15.54	33.36	118	345041	1422	15.26	33.36	116				154039	3121	15.02	33.36	116	367280	9234	
	10	14.93	33.36	115		1488	33.37	116				166429	21906	14.73	33.36	114				
	20	14.74	33.36	114	509972	4269	14.56	33.37	114				177264	14645	14.67	33.37	114	269202	12025	

*Nitzschia*, *Chaetoceros*, *Rhizosolenia* y *Thalassiothrix* para las diatomeas, y *Gymnodinium*, *Ceratium* y *Prorocentrum* para los dinoflagelados.

La variabilidad mensual promedio del grupo nanoflagelados representa el 82% en relación con el fitoplancton total de la estación C (Fig. 3), excepto en junio y noviembre, cuando el porcentaje de nanoflagelados disminuye a 37 y 57%, respectivamente. La abundancia de diatomeas presenta un promedio

total phytoplankton at station C (Fig. 3), except in June and November when the percentage decreased to 37 and 57%, respectively. The diatoms presented a mean abundance value of 12% throughout the sampling period (Fig. 3). However, 422,519 cells l<sup>-1</sup> were observed in June, corresponding to 58% of the total phytoplankton abundance. In November an abundance behavior similar to that of June was detected, with a mean value of 201,817 cells l<sup>-1</sup>. The dinoflagellates showed



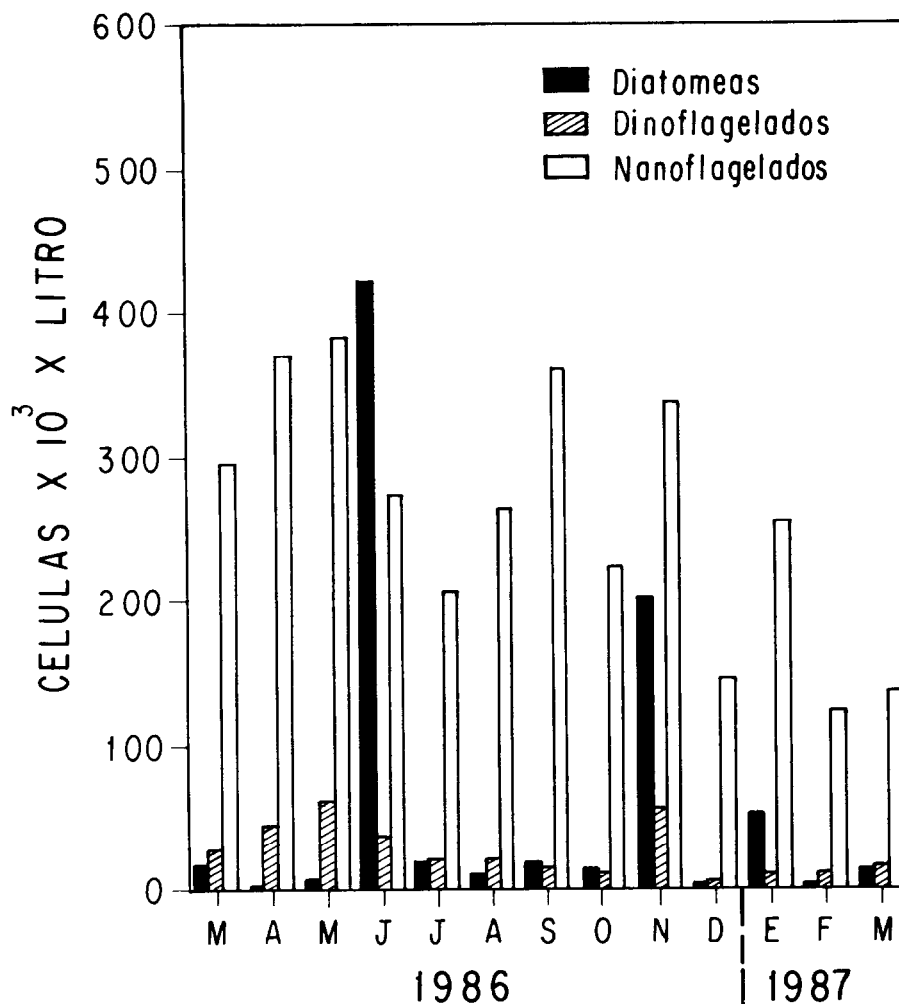


Figura 3. Variabilidad temporal promedio de grupos taxonómicos del fitoplancton en la estación C.

Figure 3. Average temporal variability for the main phytoplankton taxonomic groups at station C.

mensual de 12% a lo largo de todo el periodo de muestreo (Fig. 3). Sin embargo, en junio se observa un promedio del 58%, equivalente a  $422,519 \text{ cel l}^{-1}$  del fitoplancton total. En noviembre se detectan abundancias de diatomeas similares a junio, con un promedio de  $201,817 \text{ cel l}^{-1}$ . Los dinoflagelados muestran durante el periodo de muestreo un promedio mensual de 7% en relación con el fitoplancton total (Fig. 3).

a mean value of 7% of the total phytoplankton abundance during the entire sampling period (Fig. 3).

The goodness of fit test indicated that the total phytoplankton data have an approximate normal distribution ( $D_{\max} = 0.105$ ,  $n = 99$ ,  $P < 0.05$ ). The homogeneity of variances test for the total phytoplankton data over all the sampling period showed a considerable difference in variance sizes ( $\chi^2 = 31.026$ ,

La prueba de bondad de ajuste indica que los datos de fitoplancton total tienen una distribución normal aproximada ( $D_{\text{máx}} = 0.105$ ,  $n = 99$ ,  $P < 0.05$ ). La prueba de homogeneidad de varianzas detecta diferencias para el fitoplancton total durante el periodo de muestreo ( $\chi^2 = 31.026$ ,  $P > 0.05$ ). El análisis de varianza del fitoplancton total muestra diferencias significativas en el tiempo ( $F_c = 3.364$ ,  $P > 0.05$ ). Asimismo, en las fracciones de tamaño de la estación C, se detectan diferencias significativas en el tiempo ( $F_c = 113.450$ ,  $P > 0.05$ ) con células  $< 10 \mu\text{m}$  (Fig. 4), que corresponden en su mayoría al grupo de nanoflagelados. Los organismos más abundantes de 10 a  $20 \mu\text{m}$  y  $> 20 \mu\text{m}$  se observan, respectivamente, durante noviembre y junio, y se relacionan principalmente con el grupo de las diatomeas.

La matriz de correlación lineal entre fitoplancton total, diatomeas, temperatura, salinidad y oxígeno fue dividida en dos secciones. La primera (a) abarca todos los datos del periodo de estudio, y la segunda (b) considera sólo datos de las fechas de muestreo de junio y noviembre. Los resultados fueron los mismos para ambas secciones (respecto a la significación global de los coeficientes,  $P > 0.01$ ), con correlaciones significativas para: temperatura *versus* oxígeno, diatomeas y fitoplancton total *versus* salinidad, y diatomeas *versus* fitoplancton total (tabla 3).

## DISCUSION

En aguas donde las concentraciones de nutrientes son bajas, las células pequeñas del fitoplancton se vuelven más eficientes en su asimilación (Malone, 1980). Estas células poseen una mayor relación superficie-área-volumen que favorece su supervivencia, lo cual es consistente con la idea de que el coeficiente específico de absorción del fitoplancton está en función del tamaño de las células (Yentsch y Phinney, 1989). En este estudio, tal comportamiento se observa en las bajas concentraciones de fosfato ( $\sim 0.54 \mu\text{g-at l}^{-1}$ ) con altas densidades de nanoflagelados ( $\sim 297,875 \text{ cel l}^{-1}$ ; tabla 1, Fig. 3). Sin embargo, las bajas concentraciones de fosfato detectadas no demuestran ser limitantes en el crecimiento del fitoplancton. Al respecto, Thomas y Dodson (1968), tras experimentos de laboratorio, concluyen que se requieren

$P > 0.05$ ). The analysis of variance for the total phytoplankton abundance presented significant differences in the temporal variability ( $F_c = 3.364$ ,  $P > 0.05$ ). Likewise, the phytoplankton cell size fractions of station C showed significant differences in time ( $F_c = 113.450$ ,  $P > 0.05$ ), with cells  $< 10 \mu\text{m}$  (Fig. 4), corresponding mainly to the nanoflagellate group. The most abundant organisms, between  $10\text{-}20 \mu\text{m}$  and  $> 20 \mu\text{m}$ , were observed during November and June respectively, and are related mainly to the diatom group.

The linear correlation matrix between total phytoplankton, diatoms, temperature, salinity and oxygen, was divided into two groups: the first (a) includes the data for all the study period, and the second (b) considers only the data obtained in June and November. The results were the same for both groups (regarding the overall significance of the coefficients,  $P > 0.01$ ), with significant correlations for: temperature *versus* oxygen, diatoms and total phytoplankton *versus* salinity, and diatoms *versus* total phytoplankton (table 3).

## DISCUSSION

In waters where nutrient concentrations are low, small phytoplankton cells are more assimilation proficient (Malone, 1980). These cells have a larger surface-area-volume ratio that boosts their survivorship, which is consistent with the idea that the phytoplankton specific absorption coefficient is a function of cell sizes (Yentsch and Phinney, 1989). The low phosphate concentrations ( $\sim 0.54 \mu\text{g-at l}^{-1}$ ) with high nanoflagellate densities ( $\sim 297,875 \text{ cells l}^{-1}$ ) detected in this study (table 1, Fig. 3), indicate such behavior. However, the low phosphate concentrations detected do not seem to limit phytoplankton growth. Thomas and Dodson (1968), in laboratory experiments, concluded that concentrations lower than  $0.22 \mu\text{g-at l}^{-1}$  are required to limit the growth of tropical oceanic diatoms.

In this study, the total phytoplankton density for February is 50% greater than that reported by Alvarez-Borrego and Nájera-de-Muñoz (1979) for the same month at the mouth of Estero de Punta Banda. For the same estuary, but in September, Millán-Núñez *et al.* (1981) obtained similar values to those reported here. The only study conducted in

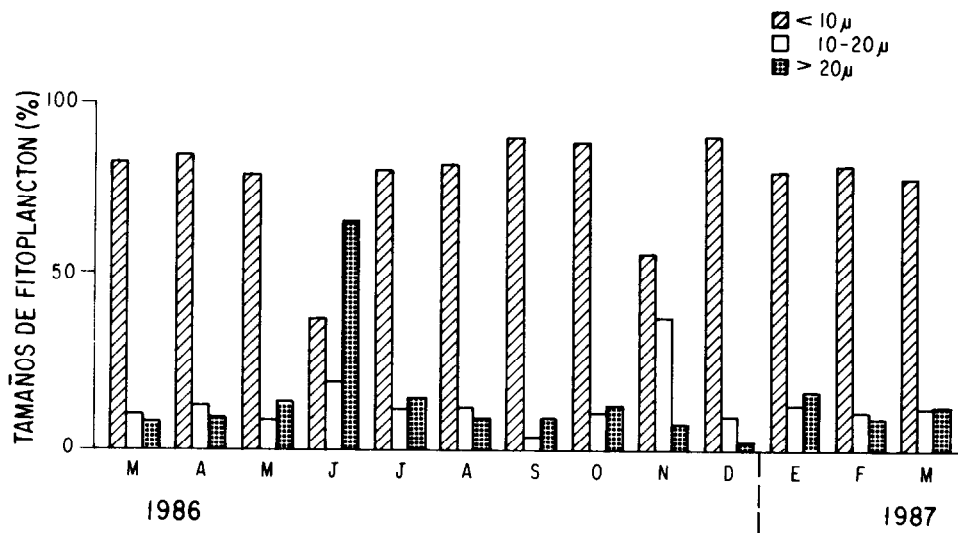


Figura 4. Porcentaje de variabilidad temporal de las fracciones de tamaño de las células de fitoplancton en la estación C.

Figure 4. Percentage of temporal variability for the main phytoplankton cell size fractions at station C.

Tabla 3. Matriz de correlación lineal para las variables estudiadas (n.s. = no significativa; \*\* = significativa con 95% de confianza): a) datos del periodo de estudio completo (n = 99); b) datos de junio y noviembre (n = 18).

Table 3. Linear correlation matrix between studied variables (n.s. = not significant; \*\* = significant with 95% reliability): a) data for the entire study period (n = 99); b) June and November data only (n = 18).

a	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Diatomeas
Salinidad	0.184 n.s.			
Oxígeno	0.489 **	0.123 <sup>(-)</sup> n.s.		
Diatomeas	0.166 <sup>(-)</sup> n.s.	0.281 **	0.127 <sup>(-)</sup> n.s.	
Fito. total	0.072 n.s.	0.288 **	0.148 n.s.	0.457 **

b	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Diatomeas
Salinidad	0.077 <sup>(-)</sup> n.s.			
Oxígeno	0.617 **	0.057 <sup>(-)</sup> n.s.		
Diatomeas	0.074 n.s.	0.785 **	0.130 n.s.	
Fito. total	0.248 n.s.	0.595 **	0.357 n.s.	0.867 **

concentraciones menores de  $0.22 \mu\text{g-at l}^{-1}$  para limitar el crecimiento de diatomeas oceánicas tropicales.

La densidad de fitoplancton total de febrero determinada en esta investigación, es 50% mayor que la indicada por Alvarez-Borrego y Nájera-de-Muñoz (1979) para el mismo mes en la boca del Estero Punta Banda. En el mismo estero, pero en septiembre, Millán-Núñez *et al.* (1981) señalaron abundancias similares a las de este trabajo. Sin embargo, el único estudio realizado en la Bahía de Todos Santos para el mes de mayo es el de Rivas-Lozano y Millán-Núñez (1991), quienes encontraron una mayor densidad de dinoflagelados que en este estudio. Los autores antes mencionados concluyen que las comunidades fitoplanctónicas de la bahía fueron afectadas por el fenómeno El Niño de 1983.

En los estudios fitoplanctónicos llevados a cabo en la Bahía de Todos Santos se observan diferencias tanto en las densidades de células como en sus grupos taxonómicos. Esto se debe a que la mayoría de los estudios realizados en la bahía son esporádicos o estacionales. Por tanto, no se puede precisar en qué etapa de crecimiento se encuentran los organismos, ya que la etapa de máximo desarrollo en la curva de sucesión de especies se alcanza en un tiempo aproximado de dos semanas (González-Morales y Gaxiola-Castro, 1991).

Desde el punto de vista biológico, se detecta en el mes de junio una densidad fitoplanctónica de  $910,941 \text{ cel l}^{-1}$  (tabla 1), de la cual un 58% corresponde a diatomeas  $> 20 \mu\text{m}$  (*Nitzschia* sp., *Chaetoceros* sp. y *Rhizosolenia* sp.). Este efecto es característico de un evento de surgencia avanzada, así como la relación de células grandes de diatomeas sugiere una fase sucesional de óptimo crecimiento en los organismos (Margalef, 1958). Igualmente lo demuestra la correlación positiva entre la temperatura y el oxígeno disuelto en la columna de agua (tabla 3). En mayo y junio a 20 m de profundidad, se calculó una saturación de oxígeno de 52 y 63%, equivalente a  $3.16$  y  $3.83 \text{ ml l}^{-1}$  de oxígeno disuelto, respectivamente. Esta concentración de oxígeno es similar a la indicada por Millán-Núñez *et al.* (1991) para profundidades mayores de 75 m al sur de las Islas Todos Santos. Tal situación sugiere que la surgencia no se origina en el área de muestreo, sino fuera de la Bahía

Bahía de Todos Santos for the month of May is that of Rivas-Lozano and Millán-Núñez (1991), who found a larger dinoflagellate density than in this study. These authors concluded that the phytoplanktonic communities of the bay were affected by the 1983 El Niño phenomenon.

In the phytoplanktonic studies done in Bahía de Todos Santos, some differences can be observed both in the cell densities and in the taxonomic groups. This is because most of the studies carried out in the bay were occasional or seasonal. Therefore, it is not possible to distinguish the growth phase of the organisms, because the phase of maximum development in the species succession curve is met in an approximate time of two weeks (González-Morales and Gaxiola-Castro, 1991).

From the biological standpoint, a phytoplanktonic density of  $910,941 \text{ cells l}^{-1}$  (table 1) was detected in June. Of the total phytoplankton abundance, 58% corresponded to diatoms  $> 20 \mu\text{m}$  (e.g. *Nitzschia* sp., *Chaetoceros* sp. and *Rhizosolenia* sp.). This effect is characteristic of an advanced upwelling event, and the ratio of large diatom cell sizes suggests a successional phase of optimal growth in the organisms (Margalef, 1958). This is also shown by the positive correlation between temperature and dissolved oxygen in the water column (table 3). In May and June at 20 m depth, we calculated 52 and 63% oxygen saturation, equivalent to 3.16 and  $3.83 \text{ ml l}^{-1}$  of dissolved oxygen, respectively. These oxygen concentrations are similar to those reported by Millán-Núñez *et al.* (1991) for depths greater than 75 m to the south of the Todos Santos islands. Such situation indicates that the upwelling event does not originate in the sampling area but occurs outside Bahía de Todos Santos, as has been mentioned by Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego (1982), who suggested that the upwelling events originate off Punta Banda and are then transported by local advection processes toward the bay through the channel located south of the Todos Santos islands.

In November, a phytoplanktonic behavior similar to that of June is observed; however, the diatoms are smaller and less abundant, which reflects that the phytoplankton have not yet reached their maximum successional development, since to be able to detect changes in the phytoplanktonic com-

de Todos Santos, como ya lo indicaron Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982), al sugerir que los eventos de surgencia se originan fuera de Punta Banda y posteriormente son transportados por procesos advectivos locales hacia el interior de la bahía por el canal que se localiza al sur de las Islas Todos Santos.

En noviembre se observa un comportamiento fitoplanctónico similar al de junio; sin embargo, las diatomeas son pequeñas y menos abundantes, lo cual refleja que el fitoplancton no ha alcanzado su máximo desarrollo sucesional, ya que para poder detectar cambios en la comunidad del fitoplancton es necesario generar series de tiempo de día a día. Debido a esto y a la dominancia de células de *Chaetoceros* sp. < 20 µm, se infiere que se trata de un evento de surgencia en etapa de prefloramiento.

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó con ayuda del proyecto DGO-04/86, Estudio Oceanográfico para la Instalación de Emisores Submarinos de Aguas Residuales en la Zona Costera de Ensenada, Baja California, México, de la Secretaría de Marina. Se agradece la valiosa ayuda en el campo, al personal de la Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada, a Shelly Drummond sus comentarios sobre el primer escrito, así como a los dibujantes J.M. Domínguez y F.J. Ponce (CICESE), las tablas y figuras que se presentan.

#### REFERENCIAS

- Alvarez-Borrego, S. y Nájera de Muñoz, S. (1979). Series de tiempo de fitoplancton en dos lagunas costeras de Baja California. *Ciencias Marinas*, 6(1 y 2): 75-88.
- Alvarez-Borrego, J. and Alvarez-Borrego, S. (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CALCOFI Rep.*, XXIII: 188-197.
- Estrada, M. and Blasco, D. (1979). Two phases of the phytoplankton community in the Baja California upwelling. *Limnol. Oceanogr.*, 24(6): 1065-1080.
- González-Morales, A.T. y Gaxiola-Castro, G. (1991). Variación día a día de características físico-químicas, biomasa y productividad del fitoplancton en una zona de
- munity it is necessary to generate day to day time series. From this and the dominance of the < 20 µm cell size of *Chaetoceros* sp., an upwelling event in the prebloom phase is inferred.
- #### ACKNOWLEDGEMENTS
- This study was supported by the Secretaría de Marina through project DGO-04/86: "Estudio oceanográfico para la instalación de emisores submarinos de aguas residuales en la zona costera de Ensenada, Baja California, México". We are grateful to the staff of the Oceanographic Research Station of Ensenada for their assistance in the field work, to Shelley Drummond for her comments on the first draft, and to J.M. Domínguez and F.J. Ponce (CICESE) for the graphic work.
- English translation by the authors.
- 
- surgencia costera de Baja California. *Ciencias Marinas*, 17(3): 21-37.
- Loya-Salinas, D.A. y Escofet, A. (1990). Aportaciones al cálculo del índice de valor biológico (Sanders, 1960). *Ciencias Marinas*, 16(2): 97-115.
- Malone, T.C. (1980). Algal size. In: I. Morris (ed.), *The physiological ecology of phytoplankton*. University of California Press, Berkeley, pp. 433-463.
- Margalef, R. (1958). Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In: A.A. Buzzati-Traverso (ed.), *Perspectives in marine biology*. Berkeley, Los Angeles, Cal. Press. Paris Union Inter. Sci. Biol., pp. 373-449.
- Millán-Núñez, E., Ortiz-Cortez, F. de J. y Alvarez-Borrego, S. (1981). Variabilidad temporal y espacial de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera, a finales de verano. *Ciencias Marinas*, 7(1): 103-128.
- Millán-Núñez, E. y Millán-Núñez, R. (1987). Composición y variabilidad del fitoplancton a finales de primavera (1985) en el Estero de Punta Banda, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 13(4): 21-34.
- Millán-Núñez, E., Palacios-Hernández, E. y Lorenzo-Domínguez, E.P. (1991). Caracterización de los principales parámetros

- físico-químicos y biológicos del agua de mar en la costa noroccidental de Baja California en invierno de 1989. **Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada**, reporte final, 103 pp.
- Rivas-Lozano, A.M. y Millán-Núñez, R. (1991). Distribución y abundancia de fitoplancton en la Bahía de Todos Santos (primavera, 1983), Baja California, México. **Ciencias Marinas**, 17(1): 13-24.
- Sanders, H.L. (1960). Benthic studies in Buzzard Bay. III. The structure of the soft-bottom community. **Limnol. Oceanogr.**, 5: 138-153.
- Secretaría de Marina (1974). Estudio geográfico de la región de Ensenada, B.C. **Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo**, 465 pp.
- Sokal, R.R. and Rohlf, F.J. (1969). **Biometry. The principles and practice of statistics in biological research**. W.H. Freeman, San Francisco, 776 pp.
- Steemann-Nielsen, E. (1933). Über Quantitative. Untersuchung von Marine Plankton mit Utermöhl's Umgekehrten Midroschop. **J. Cons. Ciem.**, 8(2): 201-210.
- Strickland, J.D. and Parsons, T.R. (1972). A practical handbook of seawater analysis, 2nd Ed. **Bull. Fish. Res. Bd. Canada**, 167 pp.
- Thomas, W.H. and Dodson, A.N. (1968). Effects of phosphate concentration on cell division rates and yield of a tropical oceanic diatom. **Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole**, 134: 199-208.
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommung der Quantitative Phytoplankton Methodik. **Int. Verein theur. Angew Limno.**, 9: 1-38.
- Yentsch, C.S. and Phinney, D.A. (1989). A bridge between ocean optics and microbial ecology. **Limnol. Oceanogr.**, 34(8): 1694-1705.