

**BIOMASA Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA DEL GOLFO  
DE CALIFORNIA POR FRACCION DE TAMAÑOS  
DURANTE PRIMAVERA DE 1984**

**SIZE FRACTION BIOMASS AND PRIMARY PRODUCTIVITY IN  
THE GULF OF CALIFORNIA DURING SPRING 1984**

José Rubén Lara-Lara  
José Eduardo Valdez Holguín

División de Oceanología  
Centro Investigación Científica  
y de Educación Superior de Ensenada  
Ensenada, BC

Dirección actual: Centro de Investigación Científica  
y Tecnológica de la Universidad de Sonora  
Apdo. Postal 1819  
83000 Hermosillo, Son.

Lara-Lara, Rubén y Valdez-Holguín, J.E. Biomasa y productividad primaria del Golfo de California por fracción de tamaños durante primavera de 1984. *Size Fraction Biomass and Primary Productivity in the Gulf of California During Spring 1984*. *Ciencias Marinas*, 14(1): 1-14, 1988.

**RESUMEN**

Del 21 de marzo al 7 de abril de 1984 realizamos una campaña oceanográfica al Golfo de California. En ocho estaciones se hicieron experimentos de asimilación de  $^{14}\text{C}$  y se determinó el contenido de clorofila *a* por fracción de tamaños; se midieron también las concentraciones de nutrientes ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{SiO}_2$ ). En comparación con valores reportados en la literatura como limitantes para la fotosíntesis, las concentraciones de nutrientes en el Golfo fueron altas. La nutriclina generalmente se localizó dentro de la zona eufótica. Más del 70% de la biomasa y productividad total del fitoplancton fue por el grupo del nanofitoplancton. En comparación con las condiciones en marzo 1983, durante el evento de El Niño 1982-1983, en marzo-abril, 1984 el Golfo parece haber entrado en una fase de transición hacia condiciones normales. A pesar de una fuerte disminución en el contenido de clorofila *a* (> 50%) del Golfo central, con ligeramente (~10%) mientras que el sur sí presentó fuertes disminuciones en sus tasas de productividad (> 50%).

**ABSTRACT**

From March 21 to April 7, 1984, an oceanographic cruise was performed in the Gulf of California. Size-fractionated biomass and  $^{14}\text{C}$  assimilation experiments were done at eight stations. Nutrient concentrations ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  and  $\text{SiO}_2$ ) were also measured. In comparison with values reported in the literature as photosynthesis limiting, the Gulf's nutrient concentrations were high. In general, the nutricline was developed within the euphotic zone depth. Over 70% of the total phytoplankton biomass and productivity was due to the nanophytoplankton size fraction. In comparison with El Niño conditions in March, 1983, in March-April, 1984 the Gulf seemed to have reached a transition state toward more normal conditions. In spite of a large decrease in the chlorophyll *a* content (> 50%) of the central Gulf, with respect to March, 1983, the productivity only decreased slightly (~10%) while the southern Gulf did register strong decreases in the productivity rates (50%).

## INTRODUCTION

El Golfo de California es un mar marginal de gran importancia para México debido a sus múltiples recursos pesqueros, en particular, la gran pesquería de la sardina hace de este ecosistema una importante área para investigar las interacciones del medio ambiente y la dinámica de sus niveles tróficos inferiores, lo cual determina en gran medida el éxito en el reclutamiento de sus recursos pesqueros. Las condiciones oceanográficas generales del Golfo de California han sido descritas anteriormente por Roden y Groves (1959), Roden (1964), y Alvarez-Borrego (1983).

Desde 1983 el Golfo de California registró una elevación del nivel del mar y un calentamiento de sus aguas por efectos del pasado evento de "El Niño" 1982-1983 (Robles Pacheco y Christensen, 1984; Robles Pacheco y Marinone, 1987). En comparación con datos históricos de productividad primaria en épocas normales, en 1983, durante la máxima influencia del evento de El Niño, se registraron incrementos en las tasas de productividad fitoplanctónica de hasta siete veces (Valdez Holguín y Lara-Lara, 1987). Estos autores reportaron que mientras el Golfo central aumentó su producción por incrementos en la biomasa del fitoplancton, en el golfo sur se logró por incrementos en las razones de asimilación del fitoplancton.

En esta investigación se presenta la distribución de la biomasa y productividad primaria por fracción de tamaños del Golfo de California, durante primavera de 1984, con el fin de comparar con resultados previos para evaluar la duración de la influencia del pasado evento de "El Niño" en el Golfo de California.

## AREA DE ESTUDIO

El Golfo de California está localizado en un medio ambiente árido entre la Península de Baja California y los Estados de Sonora y Sinaloa (Fig. 1). Es una gran cuenca de evaporación, con comunicación directa con el Océano Pacífico (Roden, 1964). Tiene una longitud y anchura promedio de aproximadamente 1,000 y 150km, respectivamente. Topo-

## INTRODUCTION

The Gulf of California is a marginal sea of great importance to Mexico due to its ample fisheries resources, in particular the sardine fishery makes this ecosystem important to investigate the interactions between the environment and the dynamics of the lower trophic levels, which may affect the recruitment success of its fisheries resources. The general oceanography of the Gulf of California has been previously described (Roden and Grove, 1959; Roden 1964; Alvarez Borrego, 1983).

Since 1983 the Gulf of California registered a sea level and thermal anomaly in response to the past 1982-1983 "El Niño" event (Robles Pacheco and Christensen, 1984; Robles Pacheco and Marinone, 1987). In comparison with historical primary productivity data, in 1983 during the peak "El Niño" event, Valdez-Holguín and Lara-Lara (1987) reported phytoplankton primary productivity rates up to seven times higher than during normal years. These authors reported that although the central Gulf increased its productivity because of an increase of the phytoplankton biomass, the increase in the southern Gulf was due to an increase in the assimilation ratio of the phytoplankton.

We present here the size fraction phytoplankton biomass and productivity distribution for the Gulf of California, during spring 1984, to compare with previously reported data, and to evaluate the duration of the past "El Niño" event's influence upon the Gulf of California.

## STUDY AREA

The Gulf of California is located in an arid environment between the Baja California Peninsula and the mainland States of Sonora and Sinaloa (Fig. 1). It is a large evaporative basin, with free connection to the Pacific Ocean (Roden, 1964). Average length and width are about 1000km and 150km, respectively. Topographically, it is divided by a series of basins, with main hydrographic provinces, separated by Angel de la Guarda and Tiburón Islands. There is a shallow

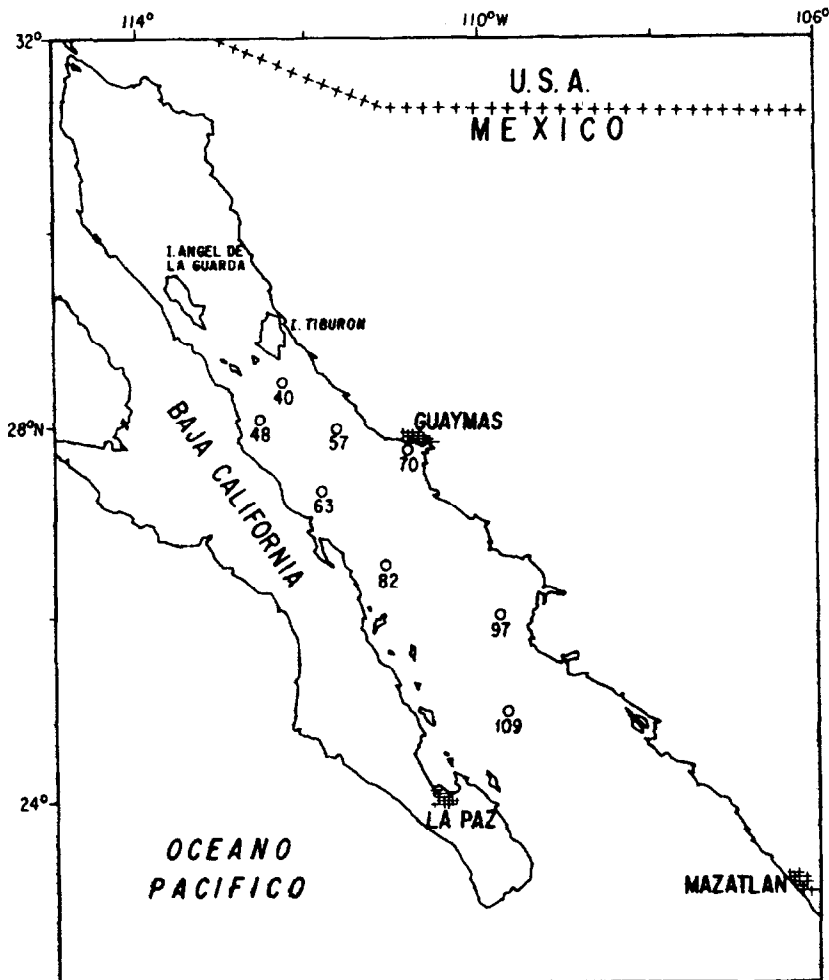


Figura 1. Localización de estaciones.  
Figure 1. Station locations.

gráficamente está dividido por una serie de cuencas, con dos principales provincias hidrográficas separadas por las Islas Angel de la Guarda y Tiburón. Existe una cuenca somera al norte y una secuencia de cuencas profundas hacia el sur (Alvarez-Borrego, 1983).

En el Golfo central ocurren procesos de mezcla por mareas y surgencias estacionales; vientos del noroeste causan surgencias en la costa este durante invierno y primavera, y vientos del sur causan surgencias en la costa oeste durante el verano (Roden y Groves, 1959; Badán Dangón *et al.*, 1985).

northern basin, and sequence of deeper basins to the south (Alvarez-Borrego, 1983).

Strong, semipermanent tidal mixing and seasonal upwelling occur in the central Gulf; northwesterly winds cause upwelling on the eastern shore during winter and spring, and southerly winds cause upwelling on the west coast during summer (Roden and Groves, 1959; Badán Dangón *et al.*, 1985).

#### MATERIALS AND METHODS

During 1983, we carried out a cruise in the central and southern portions of the Gulf of California (21 March to April 7) aboard the

## MATERIALES Y METODOS

Durante 1984 realizamos un crucero a la parte central y sur del Golfo de California (21 de marzo al 7 de abril), a bordo del B/I "El Puma". Se muestrearon ocho estaciones hidrográficas (Fig. 1). Se tomaron muestras a cinco profundidades (correspondiendo al 100, 50, 25, 10 y 1% de la irradiancia medidas en el agua subsuperficial) con botellas Niskin de siete litros. La irradiancia se midió con un fotómetro submarino Kahlsico No. 268WA310. De cada profundidad muestreada se llenaron diez botellas claras de vidrio de 125ml de capacidad, y diez más con agua filtrada a través de una malla Nitex de  $20\mu\text{m}$  de poro, para estimar la fijación de carbono por las dos fracciones de tamaño del fitoplancton (Malone, 1971). La contribución por el microfitoplancton ( $>20\mu\text{m}$ ) fue calculada restando la fracción del nanofitoplancton ( $<20\mu\text{m}$ ) de la fijación de carbono total de las muestras sin filtrar. Cada botella de incubación fue inoculada con  $5\mu\text{Ci}$  de  $^{14}\text{C}$ , siguiendo básicamente la técnica descrita por Steeman-Nielsen (1952). Las incubaciones se hicieron a bordo de la embarcación, entre las 11:00 y 14:00 horas, a la luz del día, utilizando tubos de acrílico forrados con mallas de plástico para controlar los niveles de irradiancia. Después de  $\sim 2\text{h}$  de incubación, las muestras fueron filtradas a través de filtros de membrana de  $0.45\mu\text{m}$  de poro; los filtros se colocaron en viales de centelleo líquido con 15ml de solución Betaphase. La radioactividad se midió con un contador de centelleo líquido Beckman LSC-100 en la Institución de Oceanografía Scripps, en La Jolla, California. Los cálculos de carbono asimilado se hicieron de acuerdo a Strickland y Parsons (1972). Para cada profundidad muestreada se midió también la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad ( $\text{S}^{\circ}/_{00}$ ), contenido de clorofila *a* (*Chl**a*) y la concentración de nutrientes ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  y  $\text{SiO}_3$ ). Las concentraciones de nutrientes se midieron de muestras preservadas congeladas, con un autoanalizador Scientific Instrument. El contenido de clorofila *a* total y la clorofila *a* debida a la fracción del nanofitoplancton (filtrada a través de una malla Nitex de  $20\mu\text{m}$ ) fueron obtenidas mediante filtros de fibra de vidrio GF/C, utilizando la técnica fluorimétrica con correcciones por feopigmentos, descrita por Yentsch y Menzel (1963).

research vessel "El Puma". Eight hydrographic stations were occupied (Fig. 1), and 7-litre Niskin bottles samples were obtained at five depths (corresponding to 100, 50, 25, 10 and 1% of the irradiancia measured just below the sea surface). Irradiance was measured with a submarine photometer Kahlsico No. 268WA310, with cosine corrector, filtered to give only the photosynthetic active radiation. Twenty 125ml clear glass bottle were filled with water from each sampled depth to estimate the carbon fixation by the two size fractions (Malone, 1971); ten were filtered through a  $20\mu\text{m}$  Nitex mesh. The contribution by the microphytoplankton ( $>20\mu\text{m}$ ) was calculated by subtracting the nanophytoplankton ( $>20\mu\text{m}$ ) fraction from the total. Each glass bottle was inoculated with  $5\mu\text{Ci}$  of  $^{14}\text{C}$ , following Steemann-Nielsen (1952) technique. Sunlight incubation was done on board, using acrylic tubes with black plastic screens to control the irradiancia. Incubations were carried out between 11:00 and 14:00 hours. After  $\sim 2\text{h}$  incubation, samples were filtered with  $0.45\mu\text{m}$  pore membrane filters. The filters were put into liquid scintillation vials with 15ml of Betaphase cocktail. Radioactivity was measured with a Beckman LSC-100 Liquid Scintillation counter, at the Scripps Institution of Oceanography in La Jolla, Ca. Assimilated carbon was calculated following Strickland and Parsons (1972). For each sampled depth we also measured temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinity ( $\text{S}^{\circ}/_{00}$ ), chlorophyll *a* (*Chl**a*) and nutrients ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  and  $\text{SiO}_3$ ). Nutrients were measured from preserved frozen samples with a Scientific Instrument autoanalyzer. Total chlorophyll *a* content and the chlorophyll *a* in nanophytoplankton size fraction (filtered through  $20\mu\text{m}$  Nitex mesh) were obtained using GF/C fiber glass filters; analyses were performed by the Yentsch and Menzel (1966) fluorimetric technique, correcting for phaeopigments.

## RESULTS

Stations in the southern Gulf registered the highest surface temperatures, averaging  $21.1^{\circ}\text{C}$ ; the mean temperature in central Gulf was  $18.7^{\circ}\text{C}$  (Table I). The mixed layer depth varied from 0 to 14m; and the euphotic zone depth ranged from 26 to 77m, being slightly deeper in the southern Gulf (Table I).

**Tabla I.** Comparación por regiones de valores promedios ( $\pm$  desv. est.) de variables medidas en el Golfo de California, durante marzo-abril de 1984.**Table I.** Regional comparison of mean values ( $\pm$  std. dev.) for variables measured in the Gulf of California, during March-April, 1984.

Variable	8403/04	
	Sur	Central
Temp. ( $^{\circ}$ C)	21.1 $\pm$ 0.9 (3.19.7-21.9)	18.7 $\pm$ 1.27 (5.17-19.9)
Prof. capa mezcla (m)	9 $\pm$ 6.2 (3.0-14)	5 $\pm$ 4.5 (5.0-10)
1% I <sub>0</sub> (m)	63 $\pm$ 12.8 (3.46-77)	53 $\pm$ 14.8 (5.26-58)
NO <sub>3</sub> ( $\mu$ M)	0.26 $\pm$ 0.23 (3.0.0-0.6)	6.80 $\pm$ 3.7 (5.2.5-12.4)
PO <sub>4</sub> ( $\mu$ M)	1.00 $\pm$ 0.13 (3.0.8-1.2)	2.18 $\pm$ 0.89 (5.1.2-3.7)
SiO <sub>2</sub> ( $\mu$ M)	5.45 $\pm$ 0.53 (3.4.7-5.9)	11.35 $\pm$ 5.0 (5.3.1-17.37)
Clorofila <i>a</i> (mg.m <sup>-2</sup> )	24.5 $\pm$ 9.2 (3.11.7-33.0)	50.0 $\pm$ 30.7 (5.25.6-106.4)
Productividad primaria (gC.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	1.21 $\pm$ 0.63 (3.0.3-1.8)	2.83 $\pm$ 0.88 (5.1.8-4.3)
P <sub>P</sub> (mgC.mgCl <sub>a</sub> <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )	9.5 $\pm$ 1.7 (3.7.8-12.0)	10.35 $\pm$ 2.5 (5.6.1-13.1)

Nota: Los datos de temperatura y nutrientes son valores superficiales. El número de estaciones y el intervalo de valores son mostrados entre paréntesis.

## RESULTADOS

Las estaciones de la región sur registraron las más altas temperaturas superficiales, 21.1 $^{\circ}$ C en promedio, mientras que la zona central promedio 18.7 $^{\circ}$ C (Tabla I). La profundidad de la capa de mezcla varió entre 0 y 14 metros; y la profundidad de la zona eufótica tuvo un intervalo de 26 a 77m, siendo ligeramente más profunda en el Golfo sur (Tabla I).

Para ejemplificar la variabilidad de las propiedades con la profundidad, sólo se muestran distribuciones verticales de: T $^{\circ}$ C, S $^{\circ}$ / $_{00}$ , nutrientes, clorofilas *a* y productividad primaria por clase de tamaños, para dos estaciones seleccionadas en el Golfo central (est. 70) y sur (est. 109) (Figs. 2 y 3).

Los perfiles verticales de nutrientes (Figs. 2b y 3b) mostraron un rápido incremento en las concentraciones con la profundidad,

To show the variations with depth of the measured properties, we present only vertical distributions for T $^{\circ}$ C, S $^{\circ}$ / $_{00}$ , nutrients, size-class fractionated chlorophyll *a* and primary productivity for two selected stations, one in the central (Sta.70) and one in the southern Gulf (Sta. 109).

In general, all nutrient concentrations increased with depth, starting from the 50% I<sub>0</sub> light level; they also showed a well developed nutricline within the euphotic zone (Figs. 2 and 3).

With respect to the chlorophyll *a* content and primary productivity, station 109 in the southern Gulf, for example, showed that most of the contribution was due to the nanophytoplankton fraction (Fig. 2c,d). This station, as other stations in the southern Gulf, registered the lowest chlorophyll *a* (>0.3 mg m<sup>-3</sup>) and productivity rates (<3.0 mgC m<sup>-3</sup>)

desde los niveles de luz de 50% de  $I_0$ . En general, todas las distribuciones verticales de nutrientes presentaron una nutrición bien desarrollada dentro de la zona eufótica.

Con respecto al contenido de clorofila *a* y productividad primaria, por ejemplo, la estación 109 en el Golfo sur fue dominada totalmente por la fracción del nanofitoplancton (Fig. 2c,d). Esta estación al igual que las otras del Golfo sur, presentaron las concentraciones de clorofila *a* ( $< 0.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) y valores de productividad ( $> 3.0 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ) más bajos. Sólo en la estación 70 frente a Guaymas (Fig. 3c,d), la contribución por el microfitoplancton fue significativamente mayor que la del nanofitoplancton, con concentraciones de clorofila *a* mayores de  $1.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  y tasas de productividad superiores a  $8.0 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ . En total más del 70% de la biomasa y productividad del fitoplancton para este período se debió a la fracción del nanofitoplancton.

En general, las concentraciones de nutrientes superficiales se incrementaron de la región sur a la zona central (Tabla I). La concentración superficial de fosfatos tuvo un intervalo de  $0.8$  a  $3.7 \mu\text{M}$ , registrando las concentraciones máximas en el Golfo central con un promedio de  $2.18 \mu\text{M}$  (Tabla I). La concentración superficial de nitratos varió de  $0.0$  a  $12.4 \mu\text{M}$ , las máximas concentraciones se registraron en el Golfo central, con un promedio de  $6.80 \mu\text{M}$  (Tabla I). Los nitritos superficiales también fueron mayores en el Golfo central, promediando  $0.14 \mu\text{M}$ , con un intervalo de  $0.0$  a  $0.25 \mu\text{M}$ . La concentración de silicatos superficiales también registró sus máximas concentraciones en el Golfo central, con un promedio de  $11.35 \mu\text{M}$  (Tabla I).

La clorofila *a* integrada a través de la zona eufótica promedió  $50 \text{ mgChl} \cdot \text{m}^{-2}$  en el Golfo central (Tabla I); en el Golfo sur el promedio fue de  $24.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$  (Tabla I). Con excepción de las estaciones 70 y 82, el nanofitoplancton dominó en la contribución al contenido de clorofila *a* en todas las estaciones (Fig. 4a).

La distribución de las tasas de productividad diaria mostró un patrón similar al de la distribución de la clorofila *a* (Fig. 4a,b).

$\text{h}^{-1}$ ). Only in station 70, off Guaymas (Figs. 3c,d), was the contribution by the microphytoplankton size fraction very significant, with a higher chlorophyll *a* ( $> 1.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) content, and productivity rates ( $> 8.0 \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ ) than the nanophytoplankton fraction. In total, over 70% of the phytoplankton biomass and productivity during this period, was due to the nanophytoplankton fraction.

In general, surface nutrient concentrations increased from the southern to the central Gulf (Table I). surface phosphates ranged from  $0.8$  to  $3.7 \mu\text{M}$ , the central Gulf averaged  $2.18 \mu\text{M}$  (Table I). Surface nitrates varied from  $0.0$  to  $12.4 \mu\text{M}$ , with a mean of  $6.80 \mu\text{M}$  for the central Gulf (Table I). Surface nitrites ranged from  $0.0$  to  $0.25 \mu\text{M}$ ; highest values were in the central Gulf, with a mean of  $0.14 \mu\text{M}$ . Surface silicates were also higher in the central Gulf, with a mean value of  $11.35 \mu\text{M}$  (Table I).

The integrated euphotic zone chlorophyll *a* content averaged  $50 \text{ mg Chl} \cdot \text{m}^{-2}$  in the central Gulf (Table I); while the southern Gulf averaged  $24.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$  (Table I). Only in stations 70 and 82 was the contribution by the microphytoplankton to the total chlorophyll *a* content greater than the nanophytoplankton (Fig. 4a).

Primary productivity rates showed patterns similar to the chlorophyll *a* distributions (Fig. 4a,b). Higher rates were in the central Gulf stations, with an average of  $2.83 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ ; the southern Gulf averaged  $1.21 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  (Table I). Only station 70, off Guaymas, showed a greater contribution to the total productivity by the microphytoplankton fraction (Fig. 4b).

The mean phytoplankton assimilation ratios for the euphotic zone ( $P \#$ ) showed great variability throughout the Gulf, varying from  $6.1$  to  $13.1 \text{ mgC} \cdot \text{mgChl}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  (Fig. 4c); region averages were, however, similar. Central Gulf stations averaged  $10.35 \text{ mgC} \cdot \text{mgChl}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , while the southern Gulf averaged  $9.50 \text{ mgC} \cdot \text{mgChl}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  (Table I).

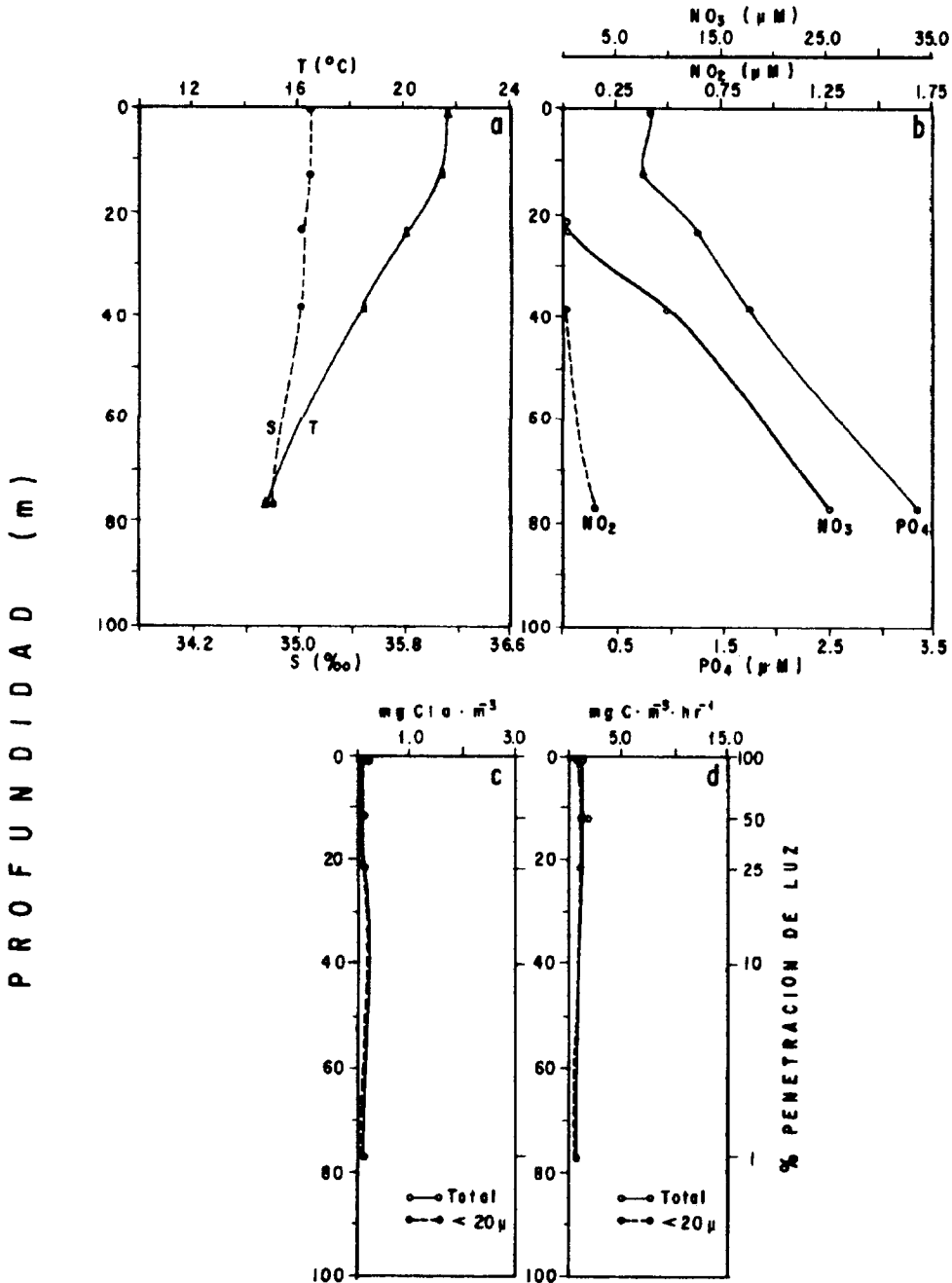


Figura 2. Perfiles verticales de: a) Temperatura (T°C) y salinidad (‰); b) nitratos, nitritos, y fosfatos (μM); c) clorofila a total y para la fracción del nanofitoplancton (mg Chl a m<sup>-3</sup>); d) productividad primaria total y para la fracción del nanofitoplancton (mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>), para la estación 109.

Figure 2. Vertical profiles of: a) temperature (T°C) and salinity (‰); b) nitrates, nitrites and phosphates (μM); c) total and nanophytoplankton chlorophyll a (mg Chl a m<sup>-3</sup>); d) total and nanophytoplankton primary productivity (mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>), for station 109.

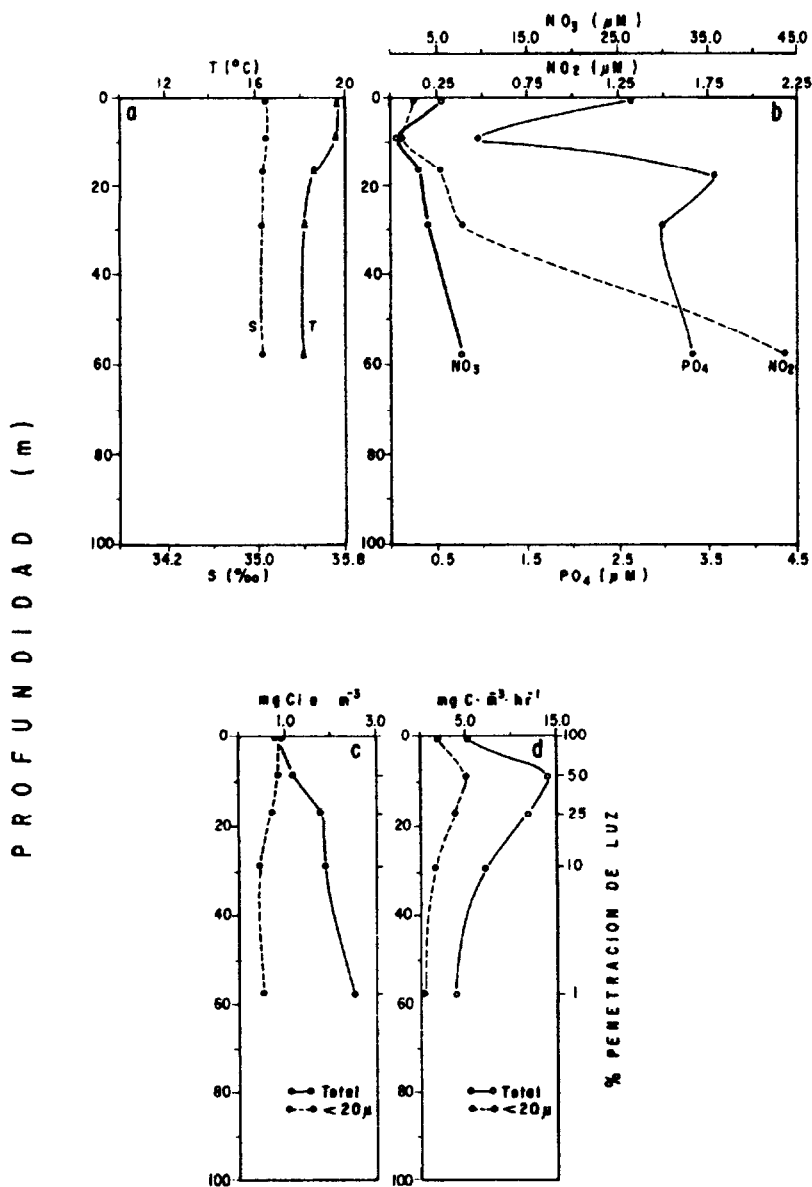


Figura 3. Perfiles verticales de: a) Temperatura (T°C) y salinidad (‰); b) nitratos, nitritos, y fosfatos (μM); c) clorofila *a* total y para la fracción del nanofitoplancton (mg Chl *a* m<sup>-3</sup>); d) productividad primaria total y para la fracción del nanofitoplancton (mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>), para la estación 70.

Figure 3. Vertical profiles of: a) temperature (T°C) and salinity (‰); b) nitrates, nitrites and phosphates (μM); c) total and nanophytoplankton chlorophyll *a* (mg Chl *a* m<sup>-3</sup>); d) total and nanophytoplankton primary productivity (mg C m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>), for station 70.



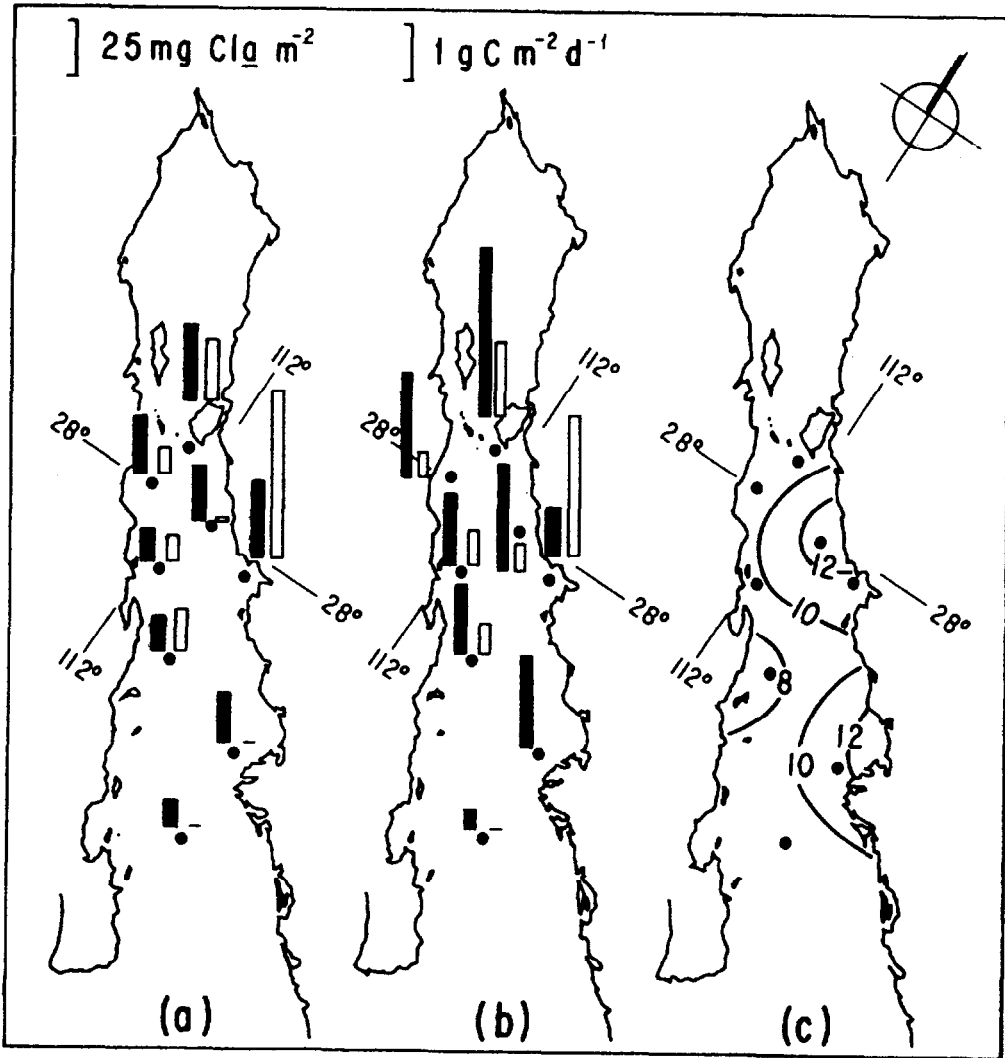


Figura 4. a) Concentración de clorofila *a* ( $\text{mg m}^{-2}$ ) por fracción de tamaños; b) productividad primaria ( $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) por fracción de tamaños. Las barras claras indican la contribución debida al microfitoplancton, y las barras oscuras debida al nanofitoplancton. c) Razones de asimilación promedio ( $P_{\beta}$ ,  $\text{mgC mgChla}^{-1} \text{h}^{-1}$ ).

Figure 4. a) Chlorophyll *a* concentration ( $\text{mg m}^{-2}$ ) by size fractions; b) phytoplankton primary productivity ( $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) by size fractions. Open bars indicate contribution due to the microphytoplankton. c) Average assimilation ratios ( $P_{\beta}$ ,  $\text{mgC mgChla}^{-1} \text{h}^{-1}$ ).

#### DISCUSSION

Las estaciones en el Golfo central registraron los máximos valores, promediando  $2.83 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , mientras que en el Golfo sur promedió  $1.21 \text{ gC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Tabla I). Sólo la estación

During March-April, 1984 only station 70 off Guaymas, located over bottom depths less than 100m, showed a large contribution to

70, frente a Guaymas, mostró una contribución superior a la productividad por la fracción del microfitoplancton (Fig. 4b).

Las razones de asimilación promedio para la zona eufótica ( $P \beta$ ) mostraron gran variabilidad a lo largo del Golfo, desde 6.1 hasta 13.1 mgC mgC $l^{-1}$  h $^{-1}$  (Fig. 4c). Sin embargo, los promedios por regiones fueron muy similares, las estaciones en el Golfo central promediaron 10.3 mgC mgC $l^{-1}$  h $^{-1}$ , mientras que el promedio para el área sur fue de 9.5 mgC mgC $l^{-1}$  h $^{-1}$  (Tabla I).

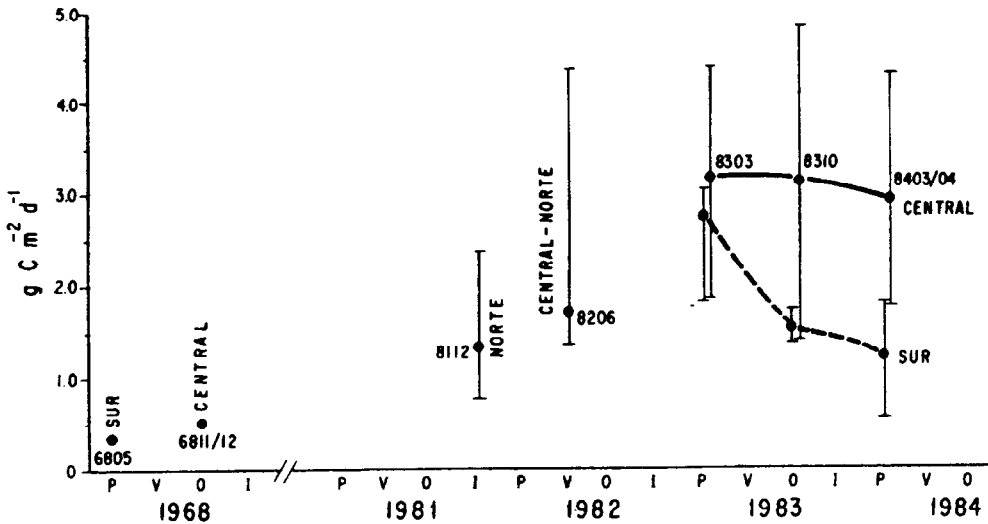
## DISCUSIONES

En marzo-abril de 1984 sólo la estación 70 frente a Guaymas, la cual se situó en donde el fondo estaba a menos de 100m de profundidad, mostró una mayor contribución a la productividad debida al microfitoplancton (Fig. 4b). El resto de las estaciones, las cuales fueron situadas en donde el fondo estaba a más de 200m de profundidad, mostraron una mayor dominancia por la fracción del nanofitoplancton. Nuestros resultados concuerdan con los reportes comunes en la literatura sobre la dominancia del nanofitoplancton en aguas profundas o de influencia oceánica (Malone, 1971; Malone, 1980; Takahashi y Bienfang, 1983) y mayores contribuciones del microfitoplancton en ambientes costeros o neríticos (Garrison, 1976; Malone y Chervin, 1979; Malone, 1980). Asimismo, estudios previos en el Golfo han reportado la gran abundancia del nanofitoplancton; por ejemplo, Zeitschel (1970) reportó que en otoño, aproximadamente 72% del fitoplancton total estuvo constituido por flagelados desnudos menores de 5 $\mu$ m; Berman (1975) encontró también que en otoño de 1974 la fotosíntesis en seis estaciones a través del Golfo central se debió a organismos del nanofitoplancton. Por otro lado, la significancia de la fracción del microfitoplancton en aguas neríticas del Golfo ha sido también reportada; por ejemplo, Zeitschel (1970) comparó el espectro de tamaños de la abundancia y volumen de partículas en dos estaciones del Golfo central en otoño, una en la parte profunda (Cuenca de Guaymas) y otra en las aguas costeras al sur de Guaymas.

the productivity by the microphytoplankton fraction (Fig. 4b). Other stations located in waters more than 200m deep, were dominated by the nannophytoplankton fraction. Our results agree with nannophytoplankton dominance in oceanic waters as reported in the literature (Malone, 1971, Malone, 1980; Takahashi and Bienfang, 1983). Larger contributions by the microphytoplankton size fraction have been reported in coastal or neritic waters (Garrison, 1976, Malone and Chervin, 1979; Malone, 1980). In the Gulf, for example, Zeitschel (1970) reported that in fall, approximately 72% of the total phytoplankton was composed by less than 5 $\mu$ m naked flagellates; Berman (1975) found also that during fall 1974, most of the photosynthesis in six stations throughout the central Gulf was by the nannophytoplankton. Zeitschel (1970) also compared the size spectra of the abundance and volume of particles in two stations in the Central Gulf, one in the Guaymas basin and the other in coastal waters, and concluded that, although maximum abundances were in the 2 to 6m size range, larger particles up to 45 $\mu$ m were more abundant in the coastal station.

In March, 1983, all the stations in the central Gulf, located in water less than 325m depth presented a large contribution to the biomass and productivity by the microphytoplankton fraction, the remaining, deeper stations were dominated by the nannophytoplankton (Valdez-Holguín, 1986). It is evident that a large part of the biomass and productivity of the phytoplankton in the Gulf is due to nannophytoplankton cells, and only in neritic waters does the microphytoplankton play a significant role. This is very important for energy transfer from producers to consumers, because in general, it has been reported that filterfeeders prefer larger cells. In this coastal area of the Gulf we expect the greatest secondary production rates, and therefore, the most appropriated feeding areas for pelagic species like sardines.

Primary productivity rates measured in March-April, 1984 seem to indicate a transition phase between the higher productivity conditions as measured in 1983 (Valdez-Holguín and Lara-Lara, 1987) under the influ-



**Figura 5.** Comparación de tasas de productividad promedio para el Golfo de California. Las barras indican el intervalo de valores reportados. Valores para 6805 y 6811/12 fueron tomados de Zeitzschel (1969); para 8112 de Gaxiola Castro y Alvarez-Borrego (1986); para 8206 de Alvarez Borrego *et al.* (en prensa); para 8303 y 8310 de Valdez Holguín y Lara-Lara (1987); y para 8403/04 de este estudio.

**Figure 5.** Comparison of mean primary productivity rates in the Gulf of California. Bars indicate range of values reported. Rates for 6805 and 6811/12 are from Zeitzschel (1969); 8112 from Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego (1986); 8206 from Alvarez-Borrego *et al.* (in press) 8303 and 8310 from Valdez-Holguín and Lara-Lara (1987); and 8403/04 from this study.

Sus conclusiones fueron que, aunque en ambas estaciones las máximas abundancias se obtuvieron en el rango de tamaños de 2 a 6µm, las partículas más grandes hasta de 45µm fueron más numerosas en la estación costera.

En marzo de 1983, sólo las estaciones en el Golfo central, localizadas en áreas donde la profundidad del fondo fue menor a 325m, tuvieron una mayor contribución a la biomasa y productividad por el microfitorplancton, el resto fueron dominadas por la fracción del nanofitorplancton (Valdez Holguín, 1986). Es evidente pues, que gran parte de la productividad y biomasa del fitoplancton del Golfo se debe a células del nanofitorplancton, y sólo en la franja nerítica el microfitorplancton contribuye significativamente. Esto es muy importante en cuanto a la transferencia de energía de productores a consumidores, ya que en general los filtroalimentadores tienen preferencia por células grandes. En estas franjas

ence of the past "El Niño" event, and normal conditions (Fig. 5). In comparison with March 1983, during March-April, 1984, the central Gulf decreased its mean productivity rate by 10%, while the southern Gulf decreased over 50% (Fig. 5). Mean chlorophyll *a* content throughout the euphotic zone strongly decreased during March-April, 1984, over 50% in the Central Gulf and about 26% in the southern area. Consequently, the assimilation ratios greatly varied from 1983 to 1984. In March, 1983, Valdez-Holguín and Lara-Lara (1987), reported a mean value of 13.0 mgC mg Chl*a*<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> for the southern and 7.6 mgC mg Chl*a*<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> for the central Gulf. In 1984, the central Gulf registered higher assimilation ratios (10.3 mgC mg Chl*a*<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) than the southern area (9.5 mgC mg Chl*a*<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). The decrease in the central Gulf's primary productivity of only 10%, despite the strong reduction (>50%) in the chlorophyll *a* content during March-April, 1984, in contrast with

costeras debemos esperar las mayores tasas de producción secundaria, y por lo tanto, las áreas más apropiadas para alimentación de especies pelágicas como la sardina.

Los valores de productividad registrados en marzo-abril de 1984 parecen indicar una etapa de transición, entre las condiciones de alta productividad en 1983 (Valdez Holguín y Lara-Lara, 1987), bajo la máxima influencia del pasado evento "El Niño", y condiciones normales (Fig. 5). En comparación con marzo 1983, en marzo-abril, 1984 el Golfo central registró un decremento en productividad promedio de aproximadamente 10%, mientras que en el área sur hubo una disminución de más del 50% (Fig. 5). El contenido de clorofila *a* promedio a través de la zona eufótica también decreció fuertemente en marzo-abril de 1984, más del 50% en el Golfo central y alrededor del 26% en el área sur. Por consiguiente, las razones de asimilación presentaron una gran variación entre 1983 y 1984. Mientras que en marzo de 1983, Valdez Holguín y Lara-Lara (1987) reportaron valores promedios de 13.0 mgC mgC $l^{-1}$  h $^{-1}$  para el Golfo sur y 7.6 mgC mgC $l^{-1}$  h $^{-1}$  para el Golfo central; en marzo-abril de 1984 el Golfo central presentó ligeramente más altas razones de asimilación (10.3 mgC mgC $l^{-1}$  h $^{-1}$ ) que el Golfo sur. La reducción en los valores de productividad primaria en el Golfo central de sólo un 10%, a pesar del fuerte decremento (>50%) en la concentración de clorofila *a* durante marzo-abril de 1984, en comparación con marzo, 1983, apoya las conclusiones de Valdez Holguín y Lara-Lara (1987) sobre el enriquecimiento del Golfo central debido a un gran incremento del contenido de clorofila *a* por posibles reducciones en las tasa de pastoreo.

Para el Golfo Sur, Valdez Holguín y Lara-Lara (1987) sugirieron que el incremento en la productividad primaria en marzo de 1983, se debió a incrementos en las razones de asimilación. Nuestros resultados también apoyan esta conclusión, ya que en marzo-abril de 1984 las reducciones en las tasas de productividad primaria del área sur también fueron acompañadas por decrementos en las razones de asimilación. Las concentraciones de nutrientes no parecen haber tenido un

March-April, 1983, supports the conclusions of Valdez-Holguín and Lara-Lara (in press) about the central Gulf's enrichment in chlorophyll *a* content because of possible reductions in the zooplankton grazing pressure. For the southern Gulf, Valdez-Holguín and Lara-Lara (in press) suggested that the increase productivity in March, 1983 was the result of increases in the assimilation ratios. Our results also support this conclusion. In March-April, 1984, the reductions in the primary productivity rates corresponded with decreases in the assimilation ratios. Nutrientes seem not to have controlled the phytoplankton productivity rates during this period; values measured in 1983 (Valdez-Holguín and Lara-Lara) and in 1984, were always above those reported in the literature as photosynthesis limiting (Dugdale, 1972). Besides, in most of the stations in both 1983 and 1984, as well developed nutricline was found within the euphotic zone.

In conclusion, during spring 1984 the central Gulf seem to have been through a transition phase, still with high productivity, but with a reduced phytoplankton biomass; the southern Gulf was in a more advance state to normal conditions, showing greatly reduced biomass and productivity.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The support of Dirección Adjunta de Desarrollo Científico of CONACyT, for ship-time and research costs grant PCECBNA 021265, is greatly acknowledged.

The author translated this paper into English.

---

control importante en las tasas de productividad primaria durante este período, ya que los valores registrados tanto en 1983 (Valdez Holguín y Lara-Lara, 1987) como en 1984, estuvieron siempre por arriba de los valores reportados en la literatura como limitantes para la fotosíntesis (Dugdale, 1972). Además, generalmente en todas las estaciones tanto en 1983 como en 1984, se registró una fuerte nutriclina dentro de la zona eufótica.

En conclusión, en primavera 1984 el Golfo central permanecía en una etapa de transición hacia condiciones más típicas, aún con una elevada productividad, pero con una biomasa fitoplanctónica más reducida; mientras que el Golfo sur estaba en una etapa más avanzada, con grandes reducciones en ambas, biomasa y productividad.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de la Dirección Adjunta de Desarrollo Científico del CONACYT, por el tiempo del barco "El Puma" y el apoyo financiero para la realización del proyecto PCECBNA 021265.

#### LITERATURA CITADA

Alvarez-Borrego, S. (1983) Gulf of California. In: B.H. Ketchum (ed.), *Estuaries and Enclosed Seas*. Elsevier Amsterdam. 427-449.

Alvarez-Borrego, S., Gaxiola-Castro, G. and Hernández-Becerril, D.U. (in press) The Relationship Between Photosynthesis and Irradiance for Gulf of California Phytoplankton. *Pacific Science*.

Badán Dangón, A.F., Koblinsky, C.J. and Baumgartner, T. (1985) Spring and Summer in the Gulf of California: Observations of Surface Thermal Patterns. *Oceanologica Acta*, 8:13-22.

Berman, T. (1975) Size Fractionation of Natural Aquatic Populations Associated with Autotrophic and Heterotrophic Carbon Uptake. *Mar. Biol.* 33:215-220.

Dugdale, R.C. (1972) Chemical Oceanography and Primary Productivity in Upwelling Regions. *Geoforum*, 11:47-61.

Garrison, D.L. (1976) Contribution of the Netplankton and Nannoplankton to the Standing Stock and Primary Productivity in Monterey Bay, California During the Upwelling Season. *Fishery Bulletin*, 74:183-194.

Gaxiola-Castro, G. y Alvarez-Borrego, S. (1986) Productividad primaria del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas* 12(3):26-33.

Malone, T.C. (1971) The Relative Importance of Nannoplankton and Netplankton as Primary Producers in Tropical Oceanic and Neritic Phytoplankton Communities. *Limnol. Oceanogr.*, 16:633-639.

Malone, T.C. and Chervin, M. (1979) The Production and Fate of Phytoplankton Size Fractions in the Plume of the Hudson River, New York Bight. *Limnol. Oceanogr.* 24:683-696.

Malone, T.C. (1980) Algal Size. In: I. Morris (ed.), *The Phytoplankton Ecology of Phytoplankton*. Blackwell Scientific Publ., London. 433-463.

Robles Pacheco, J.M. and Christensen, N. (1984) Effects of the 1982-1983 "El Niño" on the Gulf of California, *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 64:52pp.

Robles Pacheco, J.M. and Marione, S.G. (1987) Seasonal and Interannual Thermo-Haline Variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. *Continental Shelf Res.* 7:715-733.

Roden, G.I. and Groves, G.W. (1959) Recent Oceanographic Investigation in the Gulf of California. *J. Mar. Res.* 18:10-35.

Roden, G.I. (1964) Oceanographic Aspects of the Gulf of California. In: Tj. H. van Andel and G.G. Shor Jr. (eds), *Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium*. Am. Assoc. Pet. Geol., Mem., 3:30-58.

Steemann Nielsen, E. (1952) The Use of Radioactive Carbon ( $^{14}\text{C}$ ) for Measuring Organic Production in the Sea. *J. Cons. Explor. Mer.* 18:117-140.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972) *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 167. 2nd. Edition. 311pp.

Takahashi, M. and Bienfang, P.K. (1983) Size Structure of Phytoplankton Biomass and Photosynthesis in Subtropical Hawaiian Waters. *Mar. Biol.* 76:203-211.

Valdez Holguín, J.E. (1986) Distribución de la biomasa y productividad del fitoplancton en el Golfo de California durante el evento de El Niño, 1982-1983. Tesis de Maestría, CICESE. 92pp.

Valdez Holguín, J.E. y Lara-Lara, J.R. (1987) Productividad primaria en el Golfo de California: Efectos del evento "El Niño" 1982-1983. *Ciencias Marinas* 13(2):34-50.

Yentsch, C.S. and Menzel, D.W. (1963) A Method for the Determination of Phytoplankton Chlorophyll and Phaeophytin by Fluorescence. *Deep Sea Res.* 10: 221-231.

Zeitzschel, B. (1969) Primary Productivity in the Gulf of California. *Mar. Biol.* 3:201-207.

Zeitzschel, B. (1970) The Quantity, Composition and Distribution of Suspended Particulate Matter in the Gulf of California. *Mar. Biol.* 7:305-318.