

**VARIACION ANUAL DE LA PRODUCTIVIDAD DEL
FITOPLANCTON EN EL ESTERO DE PUNTA BANDA, B.C.**

**ANNUAL VARIATION OF PHYTOPLANKTON PRODUCTIVITY
IN ESTERO DE PUNTA BANDA, B.C.**

Mauricio A. Muñoz Anderson
Roberto Millán Núñez

Facultad de Ciencias Marinas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

Ciencias Marinas (1991), Vol. 17, No. 2, pp. 57-70.

RESUMEN

Se realizaron 11 series de tiempo en una estación del estero de Punta Banda, de junio de 1987 a mayo de 1988. Se muestreó en el día en mareas vivas y muertas, analizando las siguientes variables: temperatura, salinidad, concentración de fosfatos, nitratos, silicatos y clorofila *a*. Se realizaron dos experimentos de productividad primaria con el método de carbono catorce en cada muestreo. La temperatura presentó sus valores máximos en verano con 22.16°C y un mínimo en invierno de 16.33°C. Tanto la amplitud de variación como la concentración de clorofila *a* fue mayor en verano. El promedio de la concentración de los nitratos y fosfatos de cada muestreo fue muy similar durante todo el año, excepto en enero debido a la tormenta que provocó mezcla y homogeneización de la columna de agua de la bahía, incrementándose la concentración durante el flujo de la corriente de marea en el estero. La productividad primaria fue mayor en los meses de verano, alcanzando valores hasta de 68.32 mgC/m³/h y mínimos en otoño e invierno con valores de 3.57 mgC/m³/h. Altos valores de razón de asimilación se reportan durante las mareas muertas.

ABSTRACT

Eleven time series were carried out at one station in Estero de Punta Banda, from June 1987 to May 1988. The samples were taken during the day at spring and neap tides and the following variables were analysed: temperature, salinity, concentration of phosphates, nitrates, silicates and chlorophyll *a*. Two primary productivity experiments were conducted with the carbon-fourteen method for each sampling. The maximum temperature, 22.16°C, occurred in summer and the minimum, 16.33°C, in winter. Both the amplitude of variation and the chlorophyll *a* concentration were higher in summer. The average of the concentration of nitrates and phosphates of each sampling was very similar throughout the year, except in January due to a storm that caused mixing and homogenization in the water column of the bay, causing the concentration to increase during the flow of the tidal current in the Estero. Primary productivity was higher during the summer months, reaching values of up to 68.32 mgC/m³/h, and lower in autumn and winter with values of 3.57 mgC/m³/h. High assimilation ratio values are reported during neap tides.

INTRODUCCION

La productividad potencial de las lagunas costeras no siempre ha sido apreciada por el hombre, quien en ocasiones las ha considerado como zonas desprovistas de valor, y en ellas ha vertido desechos o las ha utilizado como zonas de recreación (Odum, 1972). Desde el comienzo de la década de los setentas ha habido un interés creciente por el desarrollo de la maricultura en las lagunas costeras de Baja California; sin embargo, se han comenzado a alterar por desarrollos turísticos y pequeños grupos de pescadores, aunque todavía existe la oportunidad de llevar a cabo estudios ecológicos básicos en ellas, antes de que ocurran cambios significativos y obtener un marco de referencia contra el cual se podrán comparar condiciones del futuro, así como para hacer las decisiones racionales a medida que los cultivos se desarrollen (Alvarez-Borrego y Schwartzlose, 1973).

Alvarez-Borrego *et al.* (1977) muestrearon superficialmente en la boca del estero de Punta Banda y de bahía San Quintín, tanto en primavera como en el verano, analizando la concentración de clorofila *a* y nitratos y fosfatos, tomando muestras cada hora hasta completar 26, concluyendo que la concentración de clorofila *a* tuvo una variación irregular en ambos lugares, con cambios abruptos sin correlación aparente con los factores como la marea o el ciclo de irradiación solar. De igual forma, la concentración de nitratos y fosfatos fue irregular con una concentración mayor en la boca de bahía San Quintín que en la boca del estero de Punta Banda.

Zertuche-González y Alvarez-Borrego (1978) y Millán-Núñez y Alvarez-Borrego (1978b) realizaron muestreos superficiales cada hora en la boca del estero de Punta Banda por siete días en el mes de febrero (día y noche), para determinar la concentración de fosfatos, nitratos y clorofilas *a*, *b*, *c* y sus feofitinas, reportando para los nutrientes una distribución irregular durante la serie de tiempo. La variación de la concentración de la clorofila *a* tuvo un comportamiento un tanto periódico con valores relativamente altos correspondiendo a las mareas altas y viceversa.

Millán-Núñez *et al.* (1981) reportaron muestreos diarios durante diez días en verano, para salinidad, temperatura, clorofilas *a*, *b*, *c* y sus feofitinas, abundancia de fitoplancton y la

INTRODUCTION

The potential productivity of coastal lagoons has not always been appreciated. At times they have been considered areas without value into which wastes have been dumped or which have been used as recreation areas (Odum, 1972). Since the beginning of the 1970's there has been an increasing interest in developing mariculture in the coastal lagoons of Baja California. Even though they have begun to be altered by human activities, basic ecological studies can still be carried out before significant changes occur. These studies can be used as reference against which future conditions can be compared and on which to base rational decisions as the cultures develop (Alvarez-Borrego and Schwartzlose, 1973).

Alvarez-Borrego *et al.* (1977) took surface samples every hour for 26 hours at the mouth of Estero de Punta Banda and the mouth of San Quintín Bay, in spring as well as summer, and analysed the concentration of chlorophyll *a* and nitrates and phosphates. They concluded that the concentration of chlorophyll *a* had an irregular variation at both sites, with abrupt changes without apparent correlation with factors such as tide or solar radiation. Likewise, the concentration of nitrates and phosphates was irregular with a higher concentration at the mouth of San Quintín Bay than at the mouth of Estero de Punta Banda.

Zertuche-González and Alvarez-Borrego (1978) and Millán-Núñez and Alvarez-Borrego (1978b) carried out surface samplings every hour (night and day) for seven days in February at the mouth of Estero de Punta Banda, in order to determine the concentration of phosphates, nitrates and chlorophylls *a*, *b*, *c* and their phaeophytins. They reported that the nutrients had an irregular distribution during the time series. The variation of the chlorophyll *a* concentration showed a rather periodic behaviour with relatively high values corresponding to high tides and vice versa.

During a ten-day sampling period to determine salinity, temperature, chlorophylls *a*, *b*, *c* and their phaeophytins, abundance of phytoplankton and the primary productivity of the phytoplankton at the mouth and inner part of the Estero, Millán-Núñez *et al.* (1981) found that the abundance of phytoplankton in the innermost part of the lagoon was higher

productividad primaria del fitoplancton para la boca e interior del estero. Sus resultados mostraron que la abundancia del fitoplancton en el extremo interno del estero fue mayor que en la boca, siendo las diatomeas el grupo más abundante, en los dos puntos. La productividad primaria para la boca mostró un intervalo de variación de 2.98 a 61.75 mgC/m³/h y para la cabeza de 4.0 a 60.0 mgC/m³/h.

De estos estudios se han reportado valores de productividad primaria de variaciones diurnas con duración de algunos días, otros hasta de semanas, o bien de muestreos estacionales. Estos valores corresponden a las condiciones imperantes durante la época de muestreo, no pudiendo ser extrapolados a las diferentes épocas del año. Lara-Lara *et al.* (1980) y Millán-Núñez *et al.* (1982) reportaron para bahía San Quintín que los máximos valores de productividad primaria se presentan durante mareas muertas, y lo mismo para el estero de Punta Banda (Millán-Núñez *et al.*, 1981). De esto surge el interés de realizar muestreos durante mareas muertas y mareas vivas durante un período anual. En el presente trabajo se tiene como objetivos el estimar la amplitud de variación de la productividad primaria, razón de asimilación del fitoplancton, concentración de clorofila *a*, temperatura, salinidad y nutrientes, en un período anual en el estero de Punta Banda.

AREA DE ESTUDIO

El estero de Punta Banda se localiza entre los 31°42'-31°47'N y 116°37'-116°40'O, en la costa del Pacífico de Baja California, en el extremo sureste de la bahía de Todos Santos, a 13 km al sur de la ciudad de Ensenada (Fig. 1). El estero tiene forma de "L". En el brazo más largo se extiende un solo canal, a lo largo del cual la profundidad va decreciendo hacia el vértice de la "L", de 7.0 a 1 m en forma no uniforme. El área superficial y el volumen total del estero ha variado después de las tormentas de 1980 que han llegado a esta zona, así como las modificaciones hechas por la Boss Pacific.

MATERIALES Y METODOS

Se generaron series de tiempo casi mensualmente en una estación del canal principal del estero de Punta Banda (Fig. 1),

than at the mouth and that the diatoms were the most abundant group at both places. The range of variation in primary productivity was from 2.98 to 61.75 mgC/m³/h at the mouth and from 4.0 to 60.0 mgC/m³/h at the head.

In these studies, primary productivity values have been reported for diurnal variations of some days or weeks and for seasonal samplings. These values correspond to the prevailing conditions during the sampling period and cannot be extrapolated to different times of the year. Lara-Lara *et al.* (1980) and Millán-Núñez *et al.* (1982) reported that maximum primary productivity occurs during neap tides in San Quintín Bay. This also occurs in Estero de Punta Banda (Millán-Núñez *et al.*, 1981). Hence, it was decided that it would be of interest to carry out samplings during neap and spring tides over a one-year period. The objectives of the present work are to estimate the amplitude of variation of the primary productivity, assimilation ratio of the phytoplankton, concentration of chlorophyll *a*, temperature, salinity and nutrients for a one-year period in Estero de Punta Banda.

STUDY AREA

Estero de Punta Banda is located between 31°42'-31°47'N and 116°37'-116°40'W, on the Pacific coast of Baja California, in the southeastern part of Todos Santos Bay, 13 km to the south of Ensenada (Fig. 1). It is "L"-shaped, with one channel along the longest arm. The depth of the channel decreases unevenly towards the apex of the "L", from 7.0 to 1 m. The area and total volume of the lagoon varied after the storms which occurred in 1980 and by the modifications made by the Boss Pacific Company.

MATERIALS AND METHODS

Time series were generated nearly monthly from 30 July, 1987 to 30 May, 1988, at a station on the main channel of Estero de Punta Banda (Fig. 1). Seawater samples were collected every hour, from 11:00 to 16:00 hours, during spring and neap tides.

Van Dorn bottles were used to collect the seawater and, from these, 250 ml plastic bottles were filled for the samples of nutrients.

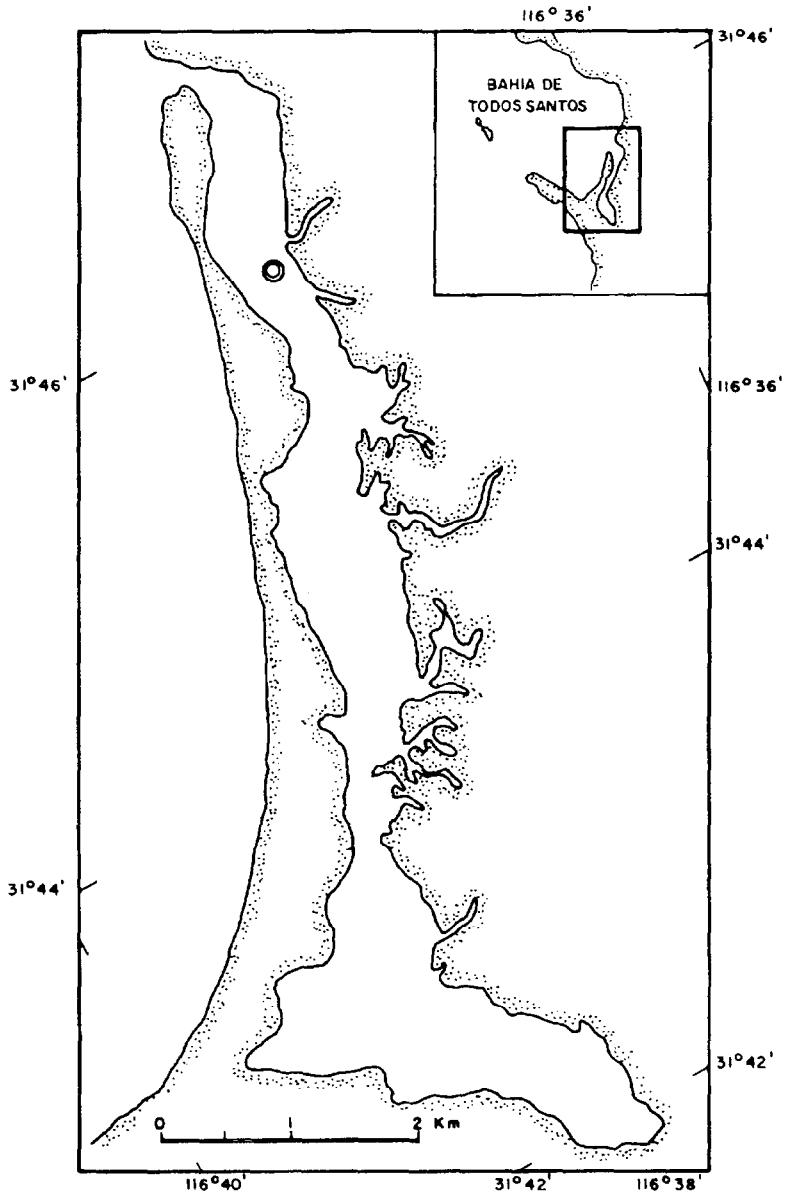


Figura 1. Estero de Punta Banda. (⊙) = localización del punto de muestreo.
Figure 1. Estero de Punta Banda. (⊙) = location of the sampling station.

colectando muestras de agua de mar cada hora de las 11 a las 16 horas en mareas vivas y mareas muertas durante el período del 30 de julio de 1987 al 30 de mayo de 1988.

Para la colecta de agua de mar se utilizaron botellas Van Dorn y de éstas se llenaron botellas de plástico de 250 ml, para las muestras de nutrientes, las cuales se congelaron hasta su posterior análisis en el laboratorio siguiendo el método descrito en Strickland y Parsons (1972), utilizando un espectrofotómetro marca Spectronic Bausch & Lomb 2000.

La temperatura se midió con un termómetro de cubeta con un intervalo de -10 a 50°C y con una precisión de 0.1°C. La salinidad se analizó utilizando un salinómetro de inducción. Para la determinación de la clorofila *a* se procedió a filtrar medio litro de agua de mar con filtros de membrana de nitrocelulosa de 0.45 μm de porosidad y 47 mm de diámetro utilizando una bomba de vacío (Richards *et al.*, 1952). Los filtros se congelaron hasta su análisis en el laboratorio. La extracción de los pigmentos se realizó utilizando acetona al 90% y sulfóxido de dimetilo (Shoaf y Lium, 1976). Para el cálculo de las concentraciones de los pigmentos se utilizaron las ecuaciones de Millán-Núñez y Alvarez-Borrego (1978a).

En cada día de muestreo se realizaron dos experimentos de productividad primaria con el método de carbono torce con incubaciones *in situ* de 90 minutos cada una, el primero entre las 11 y 12:30 horas y la segunda entre las 12 y 13:30 horas, siguiendo el método descrito por Strickland y Parsons (1972).

RESULTADOS

En los muestreos de agosto, octubre, enero, marzo y mayo la marea presentó amplitudes pequeñas entre 30 y 75 cm considerándose como mareas muertas, y los muestreos llevados a cabo en julio, agosto, septiembre, febrero y abril, con una amplitud hasta 2.25 m como marea viva (Fig. 2). Para la presentación de los resultados se seleccionaron dos muestreos con amplitudes de mareas muy diferentes, la serie del 30 de julio de 1987 (Fig. 3a) y la serie del 16 de febrero de 1988 (Fig. 3b), teniendo una amplitud de marea de 60 cm para la primera y de 150 cm para

These were frozen for their subsequent analysis in the laboratory following the method described by Strickland and Parsons (1972), using a Bausch & Lomb Spectronic 2000 spectrophotometer.

The temperature was measured with a bucket thermometer with a range of -10 to 50°C and a precision of 0.1°C. Salinity was measured with an induction salinometer. For the determination of chlorophyll *a*, half a litre of seawater was filtered through 0.45 μm pore and 47 mm diameter nitrocellulose membrane filters, using a vacuum pump (Richards *et al.*, 1952). The filters were frozen until their analysis in the laboratory. The pigments were extracted using 90% acetone and dimethyl sulfoxide (Shoaf and Lium, 1976). The concentrations of the pigments were calculated using the equations of Millán-Núñez and Alvarez-Borrego (1978a).

Two primary productivity experiments were done each sampling day using the carbon fourteen method with *in situ* incubations of 90 minutes each, the first between 11:00 and 12:30 hours and the second between 12:00 and 13:30 hours, following the method described by Strickland and Parsons (1972).

RESULTS

In the August, October, January, March and May samplings the tide presented small amplitudes, between 30 and 75 cm, considered neap tides. In the samplings carried out in July, August, September, February and April, the tide presented an amplitude up to 2.25 m, considered spring tide (Fig. 2). For the presentation of the results, two samplings with very different tidal ranges were chosen: the 30 July, 1987 series (Fig. 3a) and the 16 February, 1988 series (Fig. 3b). The tidal amplitude was 60 cm for the former and 150 cm for the latter. The temperature varied between 20.2 and 20.7°C and between 17 and 18°C, respectively; there was a difference of 3°C between both samplings.

The concentrations of nitrates and phosphates were similar in both samplings, regardless of the tide, with values between 0.2 and 0.8 μM for PO_4 and from 1.0 to 3.0 μM for NO_3 (Fig. 3a, b). The concentration of chlorophyll *a* was different during spring and neap tides, with values up to 7.1 mg/m^3 , and an average of 4 mg/m^3 in the July series and

M A R E A

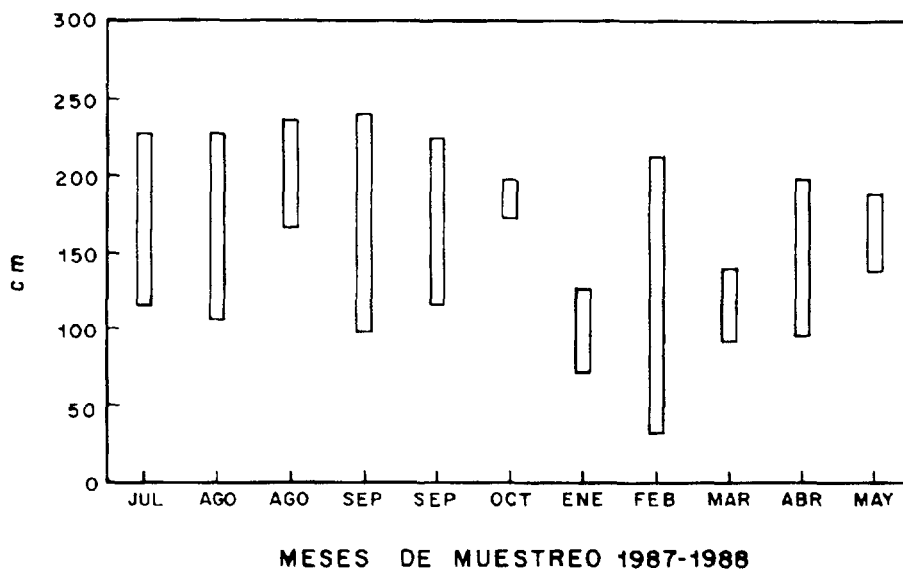


Figura 2. Amplitud de la marea en cada muestreo.
Figure 2. Tidal range for each sampling.

la segunda. La temperatura presentó una variación entre 20.2 y 20.7°C y de 17 a 18°C respectivamente, notándose una diferencia de 3°C entre ambos muestreos.

Las concentraciones de los nitratos y fosfatos se mantuvieron con valores similares en ambos muestreos independiente a la marea, con valores entre 0.2 y 0.8 μM para PO_4 y 1.0 a 3.0 μM para NO_3 (Fig. 3a, b). La concentración de la clorofila *a* fue diferente en mareas vivas que en mareas muertas con valores hasta de 7.1 mg/m^3 , y un promedio de 4 mg/m^3 en la serie de julio y en febrero de 1.5 mg/m^3 . La concentración de feofitina *a* fue irregular en ambos muestreos, no apareciendo en todo el muestreo y teniendo las máximas concentraciones en la mínima de la concentración de su clorofila.

La temperatura del agua de mar (Fig. 4a) presentó una onda larga con tendencia a disminuir a lo largo del periodo de muestreo, con valores mayores durante verano y otoño, con un intervalo de promedios de 20.5 a 22.8°C, y valores entre 16.2 a 18°C en invierno.

of 1.5 mg/m^3 in the February series. The concentration of phaeophytin *a* was irregular in both samplings, not appearing throughout the sampling and having the maximum concentration in the minimum of the chlorophyll concentration.

The temperature of the seawater (Fig. 4a) tended to decrease throughout the length of the study period. Higher values occurred in summer and autumn, with an average range of 20.5 to 22.8°C, and lower values, 16.2 to 18°C, in winter.

The salinity did not present a clear tendency during the sampling period. However, higher variation ranges were observed in summer, mainly due to greater heating and evaporation of the water than in winter (Fig. 4b).

The range of variation of the concentration of phosphates, 0.12 to 0.90 μM , did not show an annual trend for the sampling period (Fig. 4c). The maximum concentration and range of variation (0.2 to 1.5 μM) occurred in October and a lower range with the highest average in January (0.9 to 1.3 μM). With

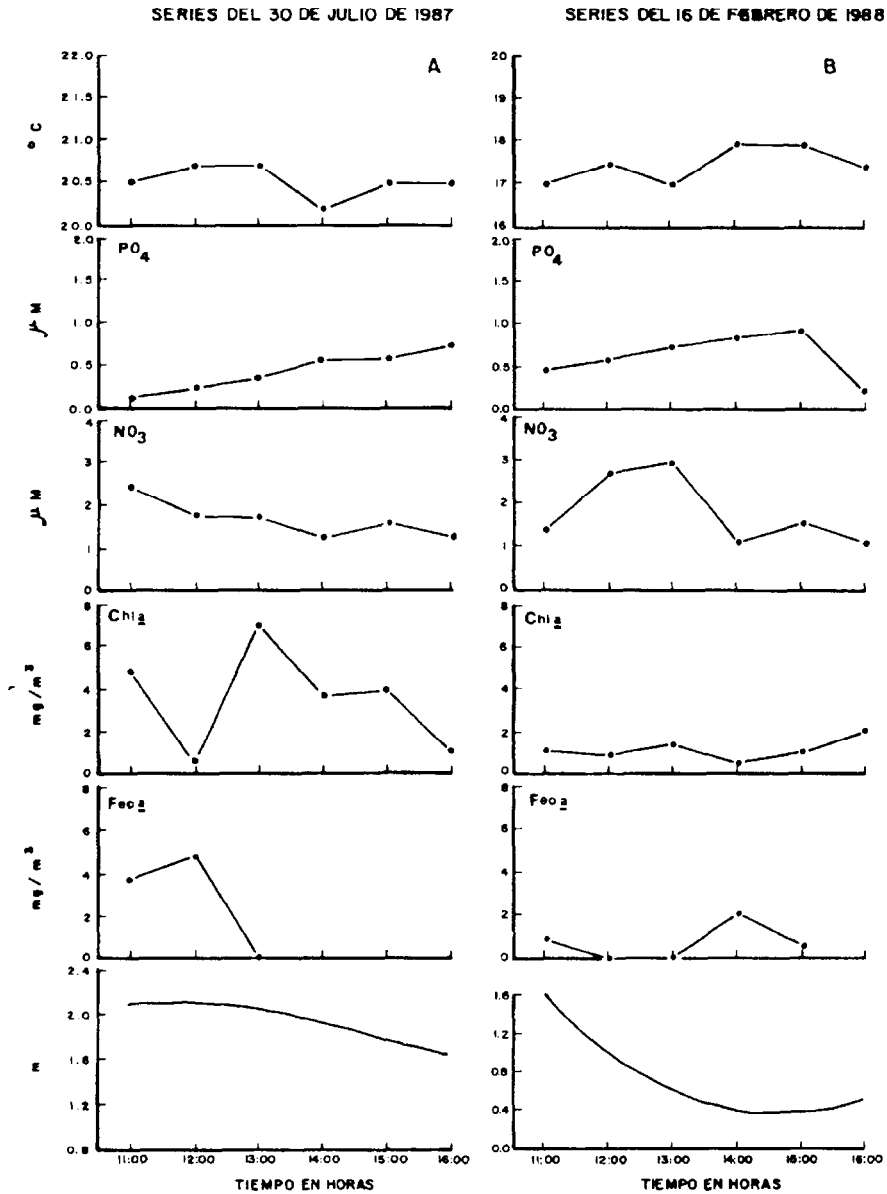


Figura 3. Series de tiempo de temperatura, fosfatos, nitratos, clorofila *a*, feofitina *a* y la amplitud de marea durante el muestreo: (a) muestreo del 30 de julio de 1987; (b) muestreo del 16 de febrero de 1988.

Figure 3. Time series for temperature, phosphates, nitrates, chlorophyll *a*, phaeophytin *a* and the tidal range during (a) the 30 July, 1987 sampling and (b) the 16 February, 1988 sampling.

La salinidad no presentó una tendencia clara durante el período de muestreo, aunque se observan mayores intervalos de variación durante el verano, debido principalmente al mayor calentamiento y evaporación del agua que en los meses de invierno (Fig. 4b).

El intervalo de variación de la concentración de fosfatos no presentó una tendencia anual durante el período de muestreo (Fig. 4c), teniendo un intervalo de 0.12 a 0.90 μM , excepto para octubre, donde ocurrió la máxima concentración e intervalo de variación (0.2 a 1.5 μM) y el menor intervalo con el promedio más alto en enero (0.9 a 1.3 μM). Con respecto a cada muestreo, la concentración de fosfatos presentó en forma general una variación inversa a la marea.

El intervalo de variación de la concentración de nitratos durante el período de muestreo se presentó muy constante (Fig. 4d), aunque existe mucha variación en cada muestreo (1.2 a 3.0 μM), a excepción de enero que se tuvo un intervalo de 2.5 a 4.1 μM . Con respecto al muestreo mensual, se presentó una relación directa con la marea, es decir valores altos en marea alta y valores bajos en marea baja.

El intervalo de variación de la concentración de silicatos presentó una onda con ligera tendencia de decrecer, de los meses de verano a los meses de otoño e invierno. Los valores máximos fueron de 5.5 a 14 μM con promedio de 9.5 μM y para los mínimos se tuvo un promedio de 6.5 μM (no se muestra gráfica).

Los intervalos de variación de la concentración de la clorofila *a* mostraron una tendencia a disminuir durante el período de muestreo (Fig. 4e), con valores altos en verano de 0.5 a 7.0 mg/m^3 y de valores no detectables a 2.0 mg/m^3 en otoño e invierno. La variación en cada muestreo presentó, en forma general, un patrón de variación inverso a la marea. La variación de la feofitina *a* fue menor que la clorofila *a*, teniendo la misma tendencia a lo largo del período de muestreo, excepto el segundo muestreo de agosto donde no se detectaron concentraciones (Fig. 4f).

La productividad primaria presentó valores máximos e intervalos mayores de variación en verano, alcanzando valores mayores de 60 $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ en los muestreos de julio y agosto (Fig. 5a). Se observa una tendencia a disminuir de los meses de verano a los de otoño e invierno, aunque en

respect to each sampling, the concentration of phosphates showed, in general, an inverse variation to the tide.

The range of variation of the concentration of nitrates during the sampling period was very constant (Fig. 4d), although there were large variations in each sampling (1.2 to 3.0 μM), except for January that had a range of 2.5 to 4.1 μM . With respect to the monthly sampling, there was a direct relation to the tide, namely, higher values during high tide and lower values during low tide.

The range of variation of the concentration of silicates showed a slight decreasing trend from the summer months to the autumn and winter months. The maximum values were 5.5 to 14 μM with an average of 9.5 μM . An average of 6.5 μM was found for the minimum values.

The ranges of variation of the chlorophyll *a* concentration showed a decreasing trend during the sampling period (Fig. 4e), with high values of 0.5 to 7.0 mg/m^3 in summer and from undetectable values to 2.0 mg/m^3 in autumn and winter. In general, the variation in each sampling presented an inverse variation pattern to the tide. The variation of phaeophytin *a* was lower than chlorophyll *a*, having the same tendency throughout the sampling period, except in the second sampling of August when concentrations were not detected (Fig. 4f).

Primary productivity presented maximum values and greater variation ranges in summer, reaching values of 60 $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$ in the July and August samplings (Fig. 5a). A decreasing trend was observed from the summer to the autumn and winter months, even though these months presented relatively high values, 30 $\text{mgC}/\text{m}^3/\text{h}$, during neap tides (Fig. 2). The primary productivity values were always higher in the first incubation than in the second. The maximum values of the assimilation ratio ($\text{mgC}/\text{mg chl } a/\text{h}$) occurred in the samplings in which the productivity values were highest (Fig. 5b).

DISCUSSION

The ranges of seawater temperature during the sampling period (Fig. 4a) showed a tendency to decrease from summer to winter, with a slight increase in spring. The highest variation ranges occurred in summer during spring tides due to an increase in the tempera-

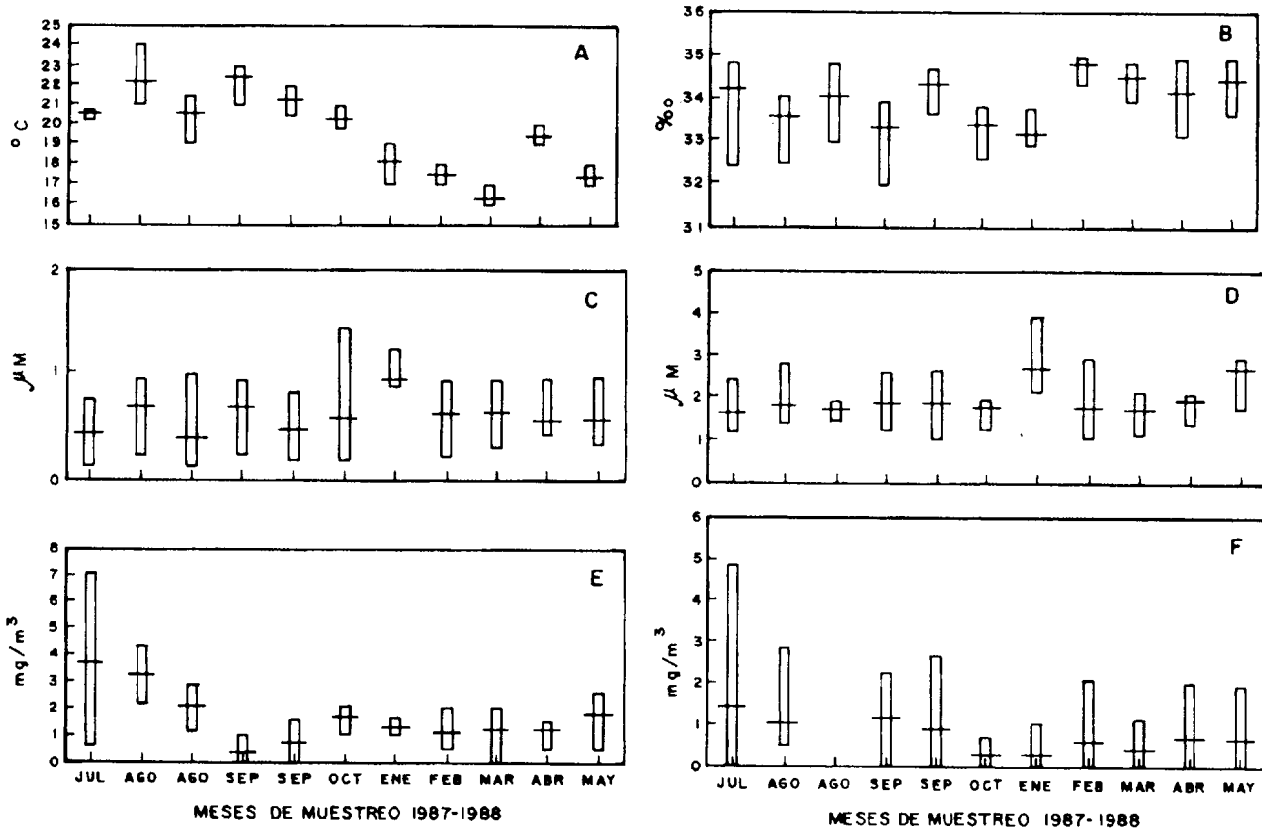


Figura 4. Amplitud de variación de (a) temperatura, (b) salinidad, (c) fosfatos, (d) nitratos, (e) clorofila *a* y (f) feofitina *a*, durante todos los muestreos. — = promedio.

Figure 4. Amplitude of variation of (a) temperature, (b) salinity, (c) phosphates, (d) nitrates, (e) chlorophyll *a* and (f) phaeophytin *a*, during all the samplings. — = average.

estos meses presentaron valores relativamente altos durante mareas muertas $30 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$ (Fig. 2). Los valores de productividad primaria siempre fueron mayores en la primera incubación que en la segunda. Los valores máximos de la razón de asimilación ($\text{mgC/mg chl } a/\text{h}$) se presentaron en los muestreos en que los valores de productividad fueron máximos (Fig. 5b).

DISCUSION

Los intervalos de la temperatura del agua de mar en el período de muestreo (Fig. 4a), presentaron una tendencia a disminuir de los meses de verano a los meses de invierno con un ligero incremento en primavera. Los máximos intervalos de variación fueron en los meses de verano durante mareas vivas, debido a un aumento en la temperatura en condiciones de reflujo asociado a la presencia de agua más caliente que proviene del interior del estero. De manera general, los intervalos de salinidad presentaron fluctuaciones muy marcadas a lo largo del año de muestreo, con máximos en mareas vivas, asociados a procesos físicos como la turbulencia y evaporación (Fig. 4b).

En general, nuestras concentraciones de fosfatos y nitratos (Fig. 4c, d) no son limitantes para la fotosíntesis del fitoplancton (Azam y Chisholm, 1976; Dugdale, 1972; Thomas y Dodson, 1968). Los valores altos obtenidos en el mes de enero para los fosfatos y nitratos, se atribuyen a una tormenta con fuerte intensidad de viento provocando una mezcla en la columna de agua de la bahía, que durante el flujo de la corriente de marea fueron transportadas dentro del estero.

La concentración de nitratos durante la mayoría de los muestreos presentó una secuencia muy similar a la marea, es decir, un aumento en la concentración conforme al flujo de la marea y una disminución en condiciones de reflujo, siendo esto ya reportado anteriormente (Zertuche-González y Alvarez-Borrego, 1978). Esto se debe a que el mayor aporte de este nutriente proviene del océano adyacente hacia el estero, y por lo tanto el incremento en la concentración del mismo se presenta durante el flujo de la marea. De manera general, los intervalos de variación más amplios de nitratos y fosfatos se presentaron en condiciones de marea viva (Fig. 4c, d).

ture in ebb conditions associated to the presence of warmer water from the inner part of the lagoon. In general, the salinity ranges presented very marked fluctuations throughout the sampling year, with maxima during spring tides, associated to physical processes such as turbulence and evaporation (Fig. 4b).

In general, The concentrations of phosphates and nitrates recorded (Fig. 4c, d) are not limiting for phytoplankton growth (Azam and Chisholm, 1976; Dugdale, 1973; Thomas and Dodson, 1968). The high values obtained in January for the phosphates and nitrates are attributed to a storm with strong winds causing mixing in the water column of the bay, transporting them into the lagoon during the flow of the tidal current.

The concentration of nitrates during most of the samplings showed a very similar sequence to the tide, that is, an increase in concentration with the flow of the tide and a decrease during ebb conditions; this has already been reported by Zertuche-González and Alvarez-Borrego (1978). This occurs because the biggest contribution of this nutrient to the lagoon comes from the adjacent ocean and, therefore, the increase in its concentration occurs during the flow of the tide. In general, the widest ranges of variation of nitrates and phosphates occurred during spring tide (Fig. 4c, d).

Comparing our results of nitrates and phosphates with those obtained by Alvarez-Borrego and Chee-Bafragán (1976) for San Quintín, we found that ours are half, both for the maximum and minimum. This is mainly due to the fact that San Quintín is located in front of an upwelling zone and that the influence is not so marked in the Estero (Alvarez-Borrego and Alvarez-Borrego, 1982).

The concentration of chlorophyll *a* during all the samplings also showed a very similar sequence to the tide, that is, high concentrations during high tides; this has already been reported by other authors (Millán-Núñez and Alvarez-Borrego, 1978b). During neap tides (Fig. 4e), both the amplitude of variation and the concentrations are highest in summer, due to higher temperatures and to a longer time of residence of the phytoplankton in the body of water. A decreasing trend from summer to winter can be observed in the same figure, mainly due to a decrease in temperature and in solar radiation.

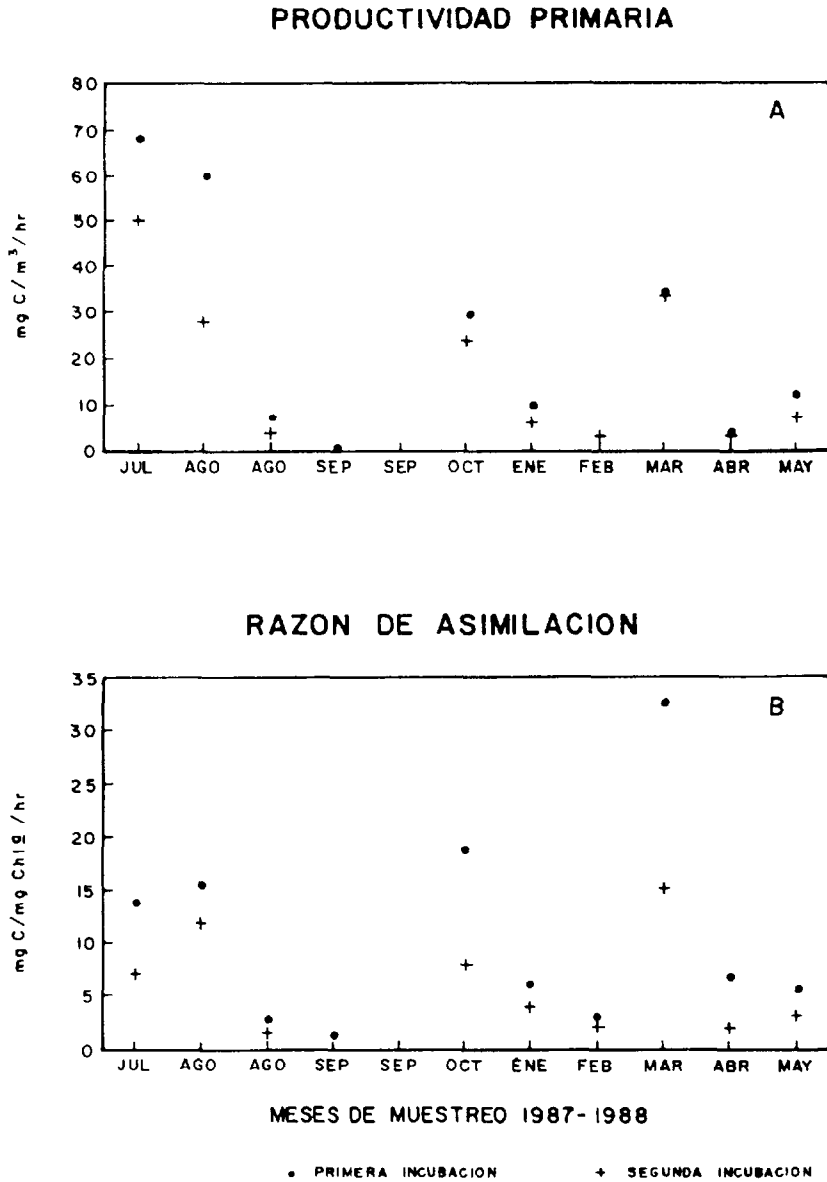


Figura 5. Valores de productividad primaria (a) y valores de la razón de asimilación (b), en los experimentos de cada muestreo.

Figure 5. Values of primary productivity (a) and of the assimilation ratio (b), in the experiments of each sampling.

Comparando los resultados de nitratos y fosfatos con los obtenidos por Alvarez-Borrego y Chee-Barragán (1976) para San Quintín, los nuestros son la mitad tanto para el máximo como para el mínimo; esto se debe principalmente a que San Quintín se encuentra frente a una zona de surgencia y en el estero la influencia no es tan marcada (Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982).

La concentración de clorofila *a* durante todos los muestreos presentó también una secuencia muy similar a la marea, es decir, las concentraciones altas durante las mareas altas, siendo esto reportado por otros autores anteriormente (Millán-Núñez y Alvarez-Borrego, 1978b). Durante las mareas muertas (Fig. 4e), tanto la amplitud de variación como las concentraciones son máximas en la época de verano, debido a una mayor temperatura y a un mayor tiempo de residencia del fitoplancton en el cuerpo de agua. En la misma figura se observa una tendencia a disminuir de verano a invierno, debido principalmente a una disminución en la temperatura y menor incidencia de luz solar.

Las fluctuaciones de la concentración de clorofila *a* durante las horas de cada muestreo se debieron principalmente a la distribución del fitoplancton en forma de parches (Muñoz-Anderson, 1989), siendo esto ya reportado en bahía San Quintín y en la boca del estero de Punta Banda por Millán-Núñez y Alvarez-Borrego (1978b) y Millán-Núñez *et al.* (1981). La concentración de feofitina *a* presentó a lo largo del período de muestreo una tendencia similar al de la clorofila *a*, debido posiblemente a la degradación generada por el alto pastoreo del zooplancton en los meses de verano.

Los valores de productividad primaria presentaron una tendencia general a disminuir de verano a invierno, para incrementarse hacia la primavera. En todos los muestreos, en la primera incubación realizada se obtuvo el valor mayor de productividad que en la siguiente incubación. Esto es debido a que la primera incubación se realizó entre las 11 y 12:30 horas y la siguiente, entre las 12 y 13:30 horas, correspondiendo esta última a la máxima intensidad de luz del día. Esto se debe posiblemente a un acondicionamiento de las células a menores intensidades de luz que al ser transportadas a la superficie por mezcla sufren fotoinhibición, lo que ocasiona un

The fluctuations in the concentration of chlorophyll *a* during the hours of each sampling were mainly due to the patchy distribution of the phytoplankton (Muñoz-Anderson, 1989); this has already been reported for San Quintín Bay and the mouth of Estero de Punta Banda by Millán-Núñez and Alvarez-Borrego (1978b) and Millán-Núñez *et al.* (1981). Throughout the sampling period, the concentration of phaeophytin *a* showed a similar trend to that of chlorophyll *a*, possibly due to the degradation caused by the high grazing of the zooplankton in summer.

The values of primary productivity tended to decrease from summer to winter and then increase in spring. In all the samplings, the highest productivity value was obtained in the first of the two incubations carried out. The first incubation was done between 11:00 and 12:30 hours and the second, between 12:00 and 13:30 hours, the latter corresponding to the maximum daylight intensity. This could be due to the cells being adapted to lower light intensities since photoinhibition occurs when they are transported to the surface by mixing, causing a lower value of photosynthesis. In general, the highest primary productivity values occurred during neap tides due to higher temperatures and longer time of residence of the phytoplankton.

It is important to note that the lowest primary productivity value of 0.8 mgC/m³/h was found in September, due to a minimum presence of the phytoplankton during the sampling (Muñoz-Anderson, 1989). The assimilation ratio presented a very similar sequence with respect to the primary productivity values and to the concentration of chlorophyll *a*, with larger ranges of variation during neap tide, caused by higher water temperatures and longer time of residence of the phytoplankton. According to Falkowski (1981), the maximum theoretical assimilation ratio is 25 mgC/mg chl *a*/h. However, an assimilation ratio of 33.1 mgC/mg chl *a*/h was obtained in March, from a chlorophyll *a* concentration of 1.098 mg/m³, and in the following incubation, the value of the assimilation ratio was 15.6 mgC/mg chl *a*/h with a chlorophyll *a* concentration of 2.14 mg/m³. Photoinhibition is attributed to the second incubation and optimum conditions of light, temperature and nutrients to the first.

menor valor de fotosíntesis. De manera general, se obtiene que los valores más altos de productividad primaria se reportan durante mareas muertas debido a una mayor temperatura y mayor tiempo de residencia del fitoplancton.

Un dato importante del presente trabajo es que se reporta para septiembre el valor más bajo de productividad primaria de $0.8 \text{ mgC/m}^3/\text{h}$, debido a una mínima presencia de fitoplancton durante el muestreo (Muñoz-Anderson, 1989). La razón de asimilación presentó una secuencia muy similar respecto a los valores de productividad primaria y a la concentración de clorofila *a*, con mayores intervalos de variación durante la marea muerta, provocados por la mayor temperatura del agua y el mayor tiempo de residencia del fitoplancton. Según lo reportado por Falkowski (1981), la razón máxima de asimilación teórica es de $25 \text{ mgC/mg chl } a/\text{h}$. Sin embargo, en el mes de marzo se obtuvo una razón de asimilación de $33.1 \text{ mgC/mg chl } a/\text{h}$, de una concentración de clorofila *a* de 1.09 mg/m^3 y en la siguiente incubación, el valor de la razón de asimilación fue de $15.6 \text{ mgC/mg chl } a/\text{h}$ con una concentración de clorofila *a* de 2.14 mg/m^3 , a lo que se atribuye fotoinhibición para la segunda incubación y condiciones óptimas de luz, temperatura y nutrientes durante la primera.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó dentro del proyecto de investigación "Potencial productivo de las lagunas costeras de Baja California" de la Facultad de Ciencias Marinas de la UABC, con apoyo otorgado por la Secretaría de Educación Pública (SEP) bajo registro 0-88-01-0077. Se agradece a Javier Arreola y Jorge Silva por su valiosa ayuda en la toma de muestras en el campo.

LITERATURA CITADA

- Alvarez-Borrego, J. y Alvarez-Borrego, S. (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Rep.*, XXIII: 188-198.
- Alvarez Borrego, S. y Chee Barragán, A. (1976). Distribución superficial de fosatos y silicatos en bahía San Quintín, B.C., *Ciencias Marinas*, 3(1): 51-61.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was carried out as part of the project "Potencial productivo de las lagunas costeras de Baja California", of the Facultad de Ciencias Marinas of the UABC, with financial support from the Secretaría de Educación Pública (project No. 0-88-01-0077). We thank Javier Arreola and Jorge Silva for their valuable help during the field work.

English translation by Christine Harris.

-
- Alvarez-Borrego, S. y Schwartzlose, R. (1973). Algunos problemas oceanológicos de los mares adyacentes a la península de Baja California. *Calafia* (II) 2.
- Alvarez Borrego, S., Acosta Ruíz, M.J. y Lara Lara, J.R. (1977). Hidrología comparativa de las dos bocas de dos anti-estuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4(1): 1-12.
- Azam, F. and Chisholm, S.W. (1976). Silicic acid uptake and incorporation by natural marine phytoplankton populations. *Limnol. Oceanogr.*, 21: 427-435.
- Dugdale, R.C. (1972). Chemical oceanography and primary productivity in upwelling regions. *Geoforum*, 11: 47-61.
- Falkowski, G. (1981). Light-shade adaptation and assimilation numbers. *J. Plankton Res.*, 3(2): 203-216.
- Lara-Lara, J.R., Alvarez-Borrego, S. and Small, L.F. (1980). Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 11: 613-637.
- Millán Núñez, E., Ortíz Cortéz, F. 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, R. y Alvarez Borrego, S. (1978a). Ecuaciones espectrofotométricas tricromáticas para la determinación de clorofilas *a*, *b* y *c* y sus feofitinas. *Ciencias Marinas*, 5(1): 47-55.

- Millán Núñez, R. y Alvarez Borrego, S. (1978b). Series de tiempo de clorofilas *a*, *b* y *c* y sus feofitinas en las bocas de dos lagunas costeras. *Ciencias Marinas*, 5(2): 41-52.
- Millán Núñez, R., Alvarez Borrego, S. and Nelson, D.M. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15: 317-335.
- Muñoz Anderson, M.A. (1989). Variación anual de la producción fitoplanctónica primaria en el estero de Punta Banda, Baja California, México. Tesis profesional, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, Ensenada, B.C., 107 pp.
- Odum, E.D. (1972). *Ecología*. Tercera ed. Interamericana, México, D.F.
- Richards, A., Thompson, F. and Thomas, G. (1952). The estimation and characterization of plankton population by pigment analysis. *J. of Marine Res.*, XI(2): 156-171.
- Shoaf, W.T. and Lium, B.W. (1976). Improved extraction of chlorophyll *a* and *b* from algae using dimethyl sulfoxide. *Limnol. Oceanogr.*, 21(6): 926-928.
- Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R. (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- 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. Woods Hole*, 134: 199-208.
- Zertuche González, J.A. y Alvarez Borrego, S. (1978). Series de tiempo de variables fisicoquímicas en las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 5(1): 91-103.