

**VARIABILIDAD TEMPORAL DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA,
CLOROFILA Y SESTON EN LA BAHIA DE LOS ANGELES,
GOLFO DE CALIFORNIA**

**TEMPORAL VARIABILITY OF PRIMARY PRODUCTIVITY,
CHLOROPHYLL AND SESTON IN BAHIA DE LOS ANGELES,
GULF OF CALIFORNIA**

Albino Muñoz Barbosa¹
Gilberto Gaxiola Castro²
José Antonio Segovia Zavala¹

¹ Instituto de Investigaciones Oceanológicas
Universidad Autónoma de Baja California
Apartado Postal 453
Ensenada, Baja California, México

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
División de Oceanología
Espinoza 843
Ensenada, Baja California, México

Ciencias Marinas (1991), Vol. 17, No. 4, pp. 47-68.

RESUMEN

La concentración de clorofila, el seston y la productividad primaria del fitoplancton se muestrearon durante nueve días de febrero y marzo de 1987, para describir su variabilidad en un punto de la Bahía de los Angeles. La clorofila *a* tuvo mayores concentraciones en mareas vivas, con un intervalo de variación en la serie de tiempo entre 0.25 a 9.70 mg·m⁻³. El seston estuvo principalmente compuesto por material orgánico, sin una contribución aparente de material inorgánico, excepto cuando la velocidad del viento fue mayor a 8 m·s⁻¹. La productividad primaria se incrementó de mareas vivas, transicionales a mareas muertas, con valores de 115, 243 y 337 mgC·m⁻²·h⁻¹, respectivamente. Debido a las condiciones hidrográficas de la bahía se determinó una relación lineal entre la productividad primaria (P) y la concentración de clorofila *a* (Cl_a) de la forma: $P = 4.76 \cdot Cl_a - 0.91$. El transporte horizontal y la mezcla vertical originadas por el efecto del viento parecen ser los factores principales que regulan la variabilidad de la biomasa y la productividad primaria del fitoplancton en la bahía.

ABSTRACT

With the aim of studying the short variability of seston, chlorophyll *a* and primary productivity of phytoplankton, water samples were taken in Bahía de los Angeles during nine days of February and March, 1987. Chlorophyll *a* had higher values during spring tides, with variations between 0.25 to 9.70 mg·m⁻³. Total seston was mainly formed by organic matter, almost without an inorganic contribution, except when the speed of the wind was >8 m·s⁻¹. Primary productivity increased from spring tides to transitional and neap tides, with 115, 243 and 337 mgC·m⁻²·h⁻¹, respectively. A linear relationship was found between primary productivity (P) and chlorophyll *a* concentration (Cl_a): $P = 4.76 \cdot Cl_a - 0.91$. Horizontal advection and vertical mixing both originated from the wind effect and appear to be the main processes that determine variability of phytoplankton biomass and primary productivity in the bay.

INTRODUCCION

La Bahía de los Angeles es una de las bahías más profundas de la costa oeste del Golfo de California, la cual tiene amplia comunicación con el Canal de Ballenas adyacente. Sus características físicas son muy similares a las descritas para la región norte del Golfo de California (Barnard y Grady, 1968), con altas temperaturas superficiales en verano y bajas durante el invierno. Esta bahía se localiza dentro de la zona del Golfo de California donde se encuentran las más altas concentraciones superficiales de nutrientes (Alvarez-Borrego *et al.*, 1978) y el agua superficial más fría (Badan-Dangon *et al.*, 1985), originados por el efecto de mezcla por mareas. La concentración superficial de nutrientes dentro de la bahía es variable, con valores mayores a los limitantes para el crecimiento del fitoplancton marino (Castro-Montoya, 1988; Durand-Sarmiento, 1989).

La productividad primaria y la biomasa fitoplanctónica del área norte del Golfo de California ha sido estudiada durante cruceros ocasionales (Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego, 1986) y solamente Gilmartin y Revelante (1978) reportan un dato promedio de la productividad primaria en Bahía de los Angeles, durante un muestreo en el verano de 1976. Canino-Herrera *et al.* (1990) determinaron clorofila y productividad primaria durante nueve días en el verano de 1986, en un punto de la bahía. Estos autores concluyeron que el viento es el principal factor que determina la variabilidad de la clorofila y productividad primaria del fitoplancton.

El presente trabajo forma parte de un proyecto general para estudiar la variabilidad de factores físicos, químicos y biológicos durante verano e invierno en Bahía de los Angeles, Golfo de California. Aquí se presentan resultados de la variabilidad del seston, clorofila *a* y productividad primaria durante nueve días en el invierno de 1987.

MATERIALES Y METODOS

Del 25 de febrero al 5 de marzo de 1987 se muestreó agua superficial y a 10 m para analizar la clorofila *a* y el seston en un punto de la ensenada norte de Bahía de los Angeles (Fig. 1). Las muestras para clorofila *a* y seston se colectaron por medio de botellas Van-Dorn, cada dos y doce horas, respectivamente. Las

INTRODUCTION

Bahía de los Angeles is one of the deepest bays of the western coast of the Gulf of California, and has wide communication with the adjacent Canal de Ballenas. Its physical characteristics are very similar to those described for the northern region of the Gulf of California (Barnard and Grady, 1968), with high surface temperatures in summer and low ones during winter. This bay is located in the zone of the Gulf where the highest surface nutrient concentration (Alvarez-Borrego *et al.*, 1978) and coldest surface waters (Badan-Dangon *et al.*, 1985) are found, originated by the effect of tides mixing. The surface nutrient concentration in the bay is variable, with values higher than those that limit the growth of marine phytoplankton (Castro-Montoya, 1988; Durand-Sarmiento, 1989).

Primary productivity and phytoplanktonic biomass in the northern area of the Gulf of California have been studied during occasional cruises (Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego, 1986). Only Gilmartin and Revelante (1978) report an average value of primary productivity in Bahía de los Angeles, during the summer of 1976. Canino-Herrera *et al.* (1990) determined chlorophyll and primary productivity during nine days in summer of 1986, in one site of the bay. These authors concluded that the wind is the main determining factor of variability of chlorophyll and primary productivity of phytoplankton.

This work is part of a general project to study the variability of physical, chemical and biological factors during summer and winter in Bahía de los Angeles, Gulf of California. Presented here are the variability of seston, chlorophyll *a* and primary productivity during nine days in winter of 1987.

MATERIAL AND METHODS

From February 25th to March 5th, 1987, surface and 10 m water samples were taken, to analyze chlorophyll *a* and seston in one site of the northern inlet of Bahía de los Angeles (Fig. 1). The samples for chlorophyll *a* and seston were collected with Van-Dorn bottles, every two and twelve hours, respectively. The samples of chlorophyll *a* were filtered approximately 15 minutes after collection, with GF/C filters of 24 mm diameter,

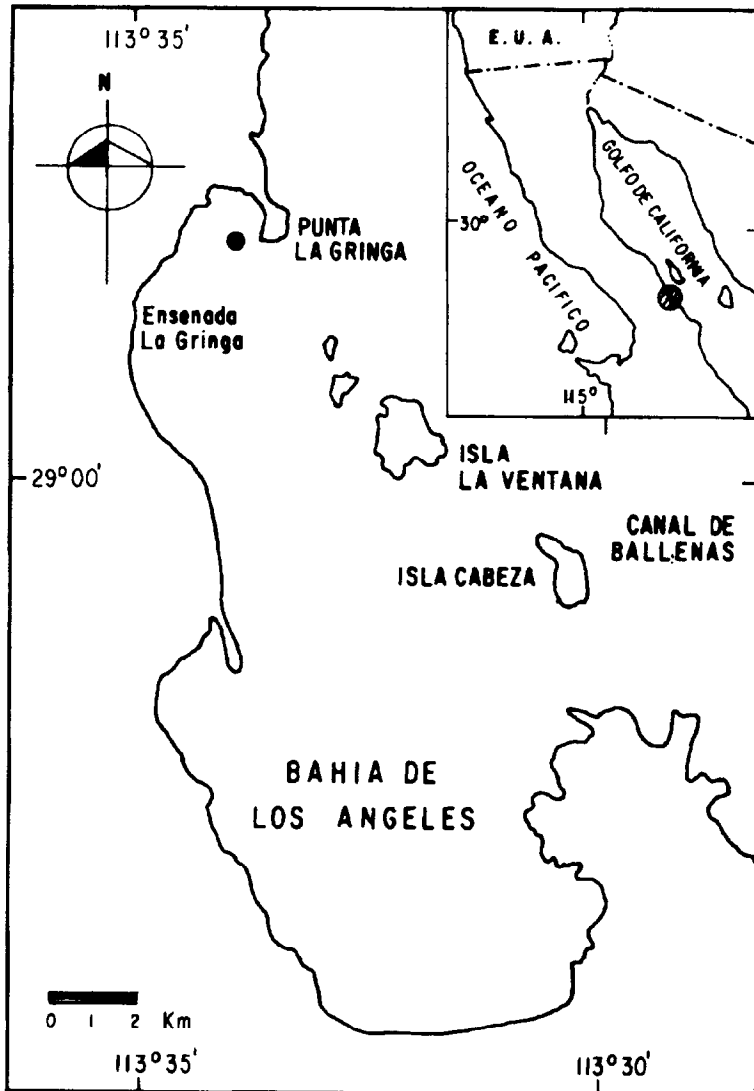


Figura 1. Localización del área de estudio y el punto de muestreo.
Figure 1. Location of the studied area and sampling site.

muestras de clorofila *a* se filtraron aproximadamente 15 minutos después de la colecta, con filtros GF/C de 24 mm de diámetro, los cuales se congelaron inmediatamente después y hasta su análisis. La concentración de clorofila *a* (Cl_a) se determinó con un fluorímetro TURNER 112 por el método de Yentsch y Menzel (1963). Las muestras para el análisis de seston se colectaron cada doce horas (06:00 y 18:00 horas), pasándose a través de filtros de policarbonato de 0.45 μm de poro y 47 mm de diámetro, previamente pesados y etiquetados. Los filtros con las muestras se colocaron en cajas de plástico y se congelaron hasta su análisis. El seston total se determinó por el método gravimétrico (Banse *et al.*, 1963) y la fracción orgánica se midió con la técnica de Peterson (1977).

Durante el mismo periodo se hicieron tres diferentes determinaciones de productividad orgánica primaria: (1) una medición cada día durante el periodo muestreado; (2) variaciones diurnas, con incubaciones a lo largo del día (07:00 a las 18:00 horas) durante mareas vivas (27 de febrero) y mareas muertas (5 de marzo) y (3) determinaciones de la productividad en la columna de agua, durante mareas vivas (26 de febrero), mareas transicionales (1 de marzo) y mareas muertas (3 de marzo). En el primer experimento se determinó la productividad día a día durante nueve días en la superficie (100% de I₀) y a la profundidad del 10% (subsuperficie) de la irradiancia en la columna de agua. La toma de muestras e incubación se hizo al medio día (11:00 a 13:00 horas), para tener la mínima variación de la irradiancia durante la incubación. La segunda determinación consistió de cinco incubaciones durante el día (07:00 a las 18:00 horas), de muestras colectadas a las profundidades del 100 y 10% de la irradiancia superficial. Las muestras se expusieron por aproximadamente dos horas a los mismos niveles de irradiancia de los que se colectaron. Para el tercer experimento se tomaron muestras de las profundidades del 100, 50, 25, 10 y 1% de la irradiancia superficial, las cuales se incubaron durante el medio día (11:00 a 13:00 horas) a las mismas profundidades de las que se colectaron. La irradiancia ambiental y dentro del agua se midió con un fotómetro Kahlsico 268WA310.

Las muestras para las determinaciones de productividad primaria se colectaron con botellas Van-Dorn, a las profundidades selec-

and were frozen immediately afterwards and until their analysis. The concentration of chlorophyll *a* was determined with a TURNER 112 fluorimeter by the method of Yentsch and Menzel (1963). Seston samples were taken every twelve hours (06:00 and 18:00 hours) and were passed through polycarbonate filters of 0.45 μm pore and 47 mm diameter, previously weighed and labeled. The filters containing the samples were placed in plastic boxes and frozen until their analysis. The total seston was determined by the gravimetric method (Banse *et al.*, 1963) and the organic fraction was measured by the Peterson (1977) technique.

During the same period, three different determinations of primary organic productivity were made: (1) a daily measurement during the sampling period; (2) diurnal variations, with incubations along the day (07:00 to 18:00 hours) during spring tides (February 27th) and neap tides (March 5th) and (3) determinations of productivity in the water column, during spring tides (February 26th), transitional tides (March 1st) and neap tides (March 3rd). In the first experiment productivity was determined daily during nine days, in the surface (100% of I₀) and in a depth (subsurface) of 10% of irradiance in the water column. The sampling and incubation were carried out at noon (11:00 to 13:00 hours) to have the minimum irradiance variation. The second determination included five diurnal incubations (07:00 to 18:00 hours) of samples collected in depths of 100 and 10% of surface irradiance. The samples were exposed for about two hours to the same levels of irradiance from which they were collected. For the third experiment samples were taken from depths of 100, 50, 25, 10 and 1% of surface irradiance and were incubated during noon (11:00 to 13:00 hours) at the same depths from which they were collected. Environmental and underwater irradiance were measured with a Kahlsico 268WA310 photometer.

The samples for the determination of primary productivity were collected with Van-Dorn bottles, at the selected depths and placed in 125 ml glass bottles protected with dark cloth. In the three experiments previously described, three bottles per depth level were incubated, including a dark bottle only in the first one. The samples were inoculated with 2 μCi of NaHC-¹⁴O₃ and placed in metal baskets attached to a flotation system. Once

cionadas. La muestra se depositó en botellas de vidrio de 125 ml de capacidad, las cuales estaban protegidas con una tela oscura. En los tres experimentos antes descritos se incubaron tres botellas por cada nivel de profundidad y sólo en el primero se incluyó una botella oscura. Las muestras se inocularon con 2 μCi de $\text{NaHC-}^{14}\text{O}_3$, depositándose en canastas de metal unidas a un sistema de flotación. Una vez que las botellas se encontraban bajo la superficie del agua, se les retiró la tela que las protegía del exceso de irradiación. Después del período de incubación (aprox. 2 horas) las muestras se filtraron con una bomba manual a bordo de la embarcación, con filtros de membrana de 0.45 μm de poro y 47 mm de diámetro. Los filtros se depositaron en frascos para centelleo y se mantuvieron congelados hasta su análisis. La radiactividad se determinó con un contador de centelleo líquido Beckman LSC 100, en la Institución Scripps de Oceanografía. El carbono asimilado por el fitoplancton se calculó de acuerdo a Parsons *et al.* (1984).

De las profundidades en las que se hicieron los experimentos de productividad primaria se tomaron muestras para el análisis de clorofila *a*. Estas muestras se filtraron a bordo, con filtros de membrana de 0.45 μm de poro y 47 mm de diámetro. El análisis de clorofila *a* se desarrolló de la forma antes descrita.

RESULTADOS

Los datos de altura de marea predicha (calendario de mareas del CICESE), muestran una amplitud máxima para el 26 de febrero y la mínima el 5 de marzo (Fig. 2). Durante la primera parte del muestreo se presentaron mareas vivas y mareas muertas al final del estudio. La magnitud y dirección del viento fue muy variable, con velocidades de hasta 10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ del suroeste en los primeros días de muestreo (Fig. 3). Sin embargo, prevalecieron los vientos provenientes del noroeste y noreste con velocidades entre 5 y 9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, con calmas relativas el 2 y parte del 3 de marzo (Fig. 3).

Durante los primeros tres días los muestreos se realizaron en una columna de agua parcialmente mezclada, con una evidente estabilización solamente el 28 de febrero y el 2 de marzo (Fig. 4). Al inicio de las mareas muertas (3 de marzo) se presentaron condiciones de estabilidad, con mezcla ocasional en los días posteriores (Fig. 4).

the bottles were under water, the protective dark cloth was removed. After the incubation period (approx. 2 hours) the samples were filtered with a manual pump on board the ship, with filters of 0.45 μm pore membrane and 47 mm diameter. The filters were placed in scintillation vials and kept frozen until their analysis. Radioactivity was determined with a Beckman LSC 100 liquid scintillation counter, in Scripps Oceanographic Institution. The carbon assimilated by the phytoplankton was calculated according to Parsons *et al.* (1984).

Samples for the analysis of chlorophyll *a* were taken from the depths in which the experiments of primary productivity were done. These samples were filtered on board, with filters of 0.45 μm pore membrane and 47 mm diameter. The analysis of chlorophyll *a* was developed in the form previously described.

RESULTS

The predicted tides (CICESE tide chart) showed a maximum amplitude for February 26th and a minimum one for March 5th (Fig. 2). The sampling period presented spring tides in the first part and neap tides at the end. The intensity and direction of the wind was very variable, with speeds of up to 10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ from the southwest in the first days (Fig. 3). However, the prevailing winds came from the northwest and northeast, with speeds between 5 and 9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, with relative calms March 2nd and part of 3rd (Fig. 3).

During the first three days the samplings were made in a partially mixed water column, with an evident stabilization only on February 28th and March 2nd (Fig. 4). The beginning of the neap tides (March 3rd) presented stability conditions, with occasional mixing in the following days (Fig. 4).

In general, surface concentration of chlorophyll *a* was higher in spring and transitional tides (4.0 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) than in neap tides (~ 1.0 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), except for one value of March 5th (9.7 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), which was the highest of the whole series (Fig. 5). The variation of the chlorophyll concentration was very irregular, with differences between surface (0.25 to 9.7 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) and 10 m values (0.50 to 7.0 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) only in some short periods (Fig. 5). Part of the chlorophyll *a* variation seems to be associated to tide variations, with a strong decrease from March 2nd on.

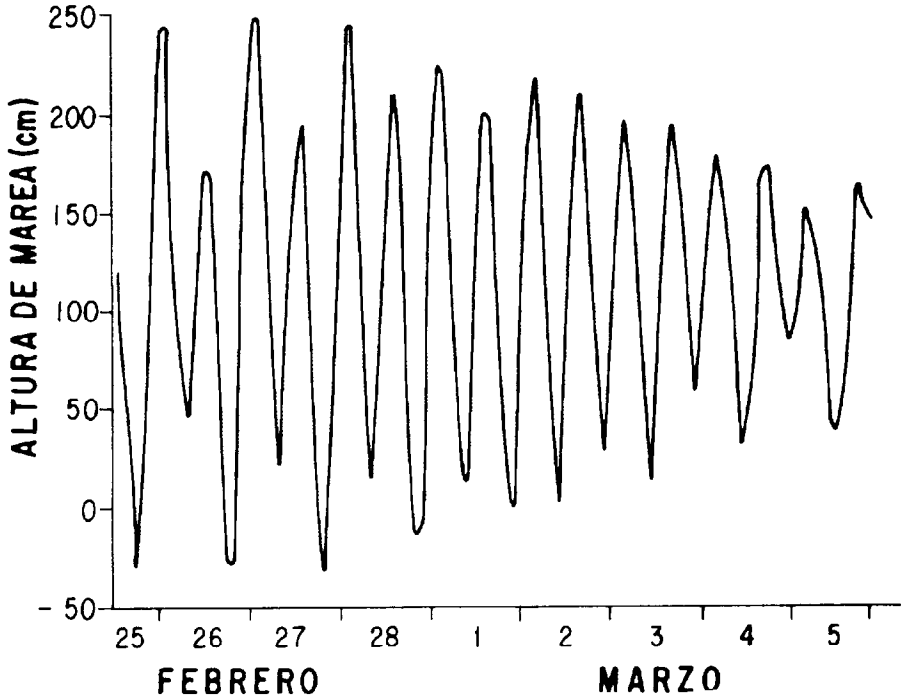


Figura 2. Variación de la altura de marea durante el período de muestreo. Datos tomados del calendario de mareas del CICESE.

Figure 2. Tide height variation during the sampling period. Data taken from the CICESE tide chart.

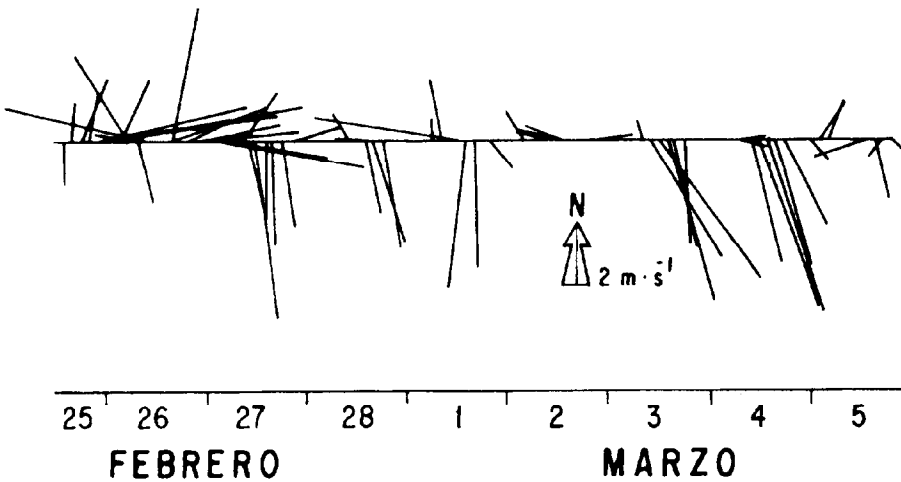


Figura 3. Magnitud y dirección del viento medido cada dos horas en el punto de muestreo.

Figure 3. Intensity and direction of the wind measured every two hours at the sampling site.

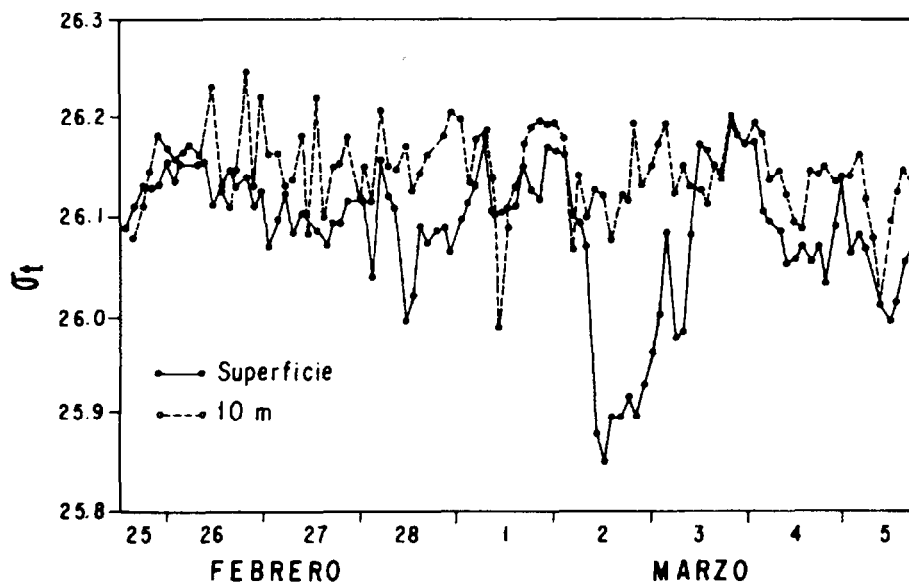


Figura 4. Variabilidad de la densidad (σ_t) en la superficie (●) y 10 m de profundidad (○).
Figure 4. Variability of the density (σ_t) in the surface (●) and at 10 m depth (○).

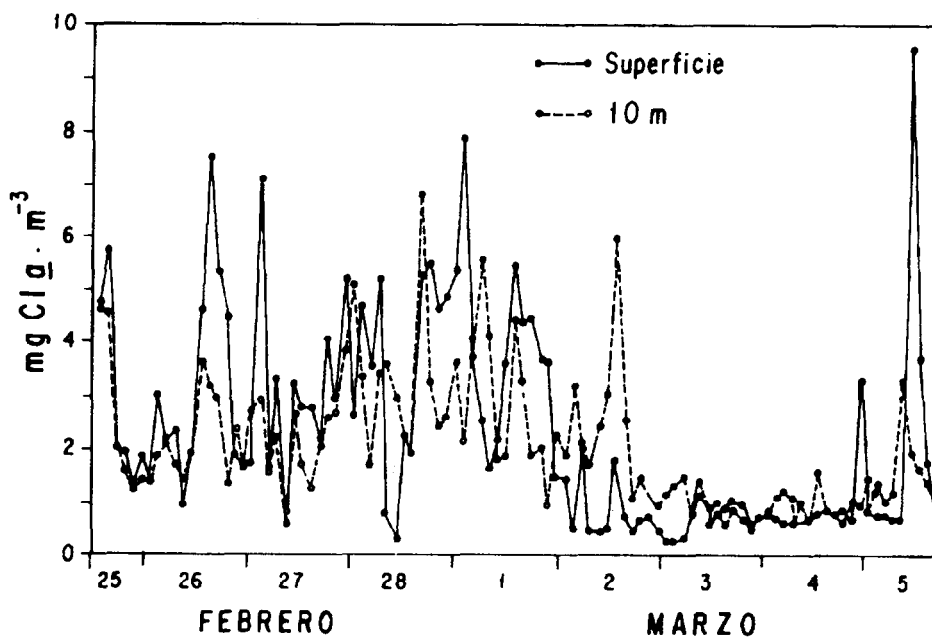


Figura 5. Series de tiempo de la concentración de clorofila *a* en la superficie (●) y a 10 m de profundidad (○).
Figure 5. Time series of the concentration of chlorophyll *a* in the surface (●) and at 10 m depth (○).

En general la concentración de clorofila *a* superficial fue más alta en mareas vivas y transicionales ($4.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), con respecto a mareas muertas ($\sim 1.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), excepto un valor del 5 de marzo ($9.7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), el cual fue el máximo de toda la serie (Fig. 5). La variación de la concentración de clorofila fue muy irregular, con diferencias entre los valores de superficie (0.25 a $9.7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y 10 m (0.50 a $7.00 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) sólo en algunos períodos cortos (Fig. 5). Una parte de la variabilidad de la clorofila *a* parece estar asociada a las variaciones en la marea, con una fuerte disminución de la clorofila *a* en ambas profundidades a partir del 2 de marzo.

El seston orgánico tuvo una alta contribución al seston total, tanto en superficie como a 10 m (Fig. 6). Los valores más altos de seston total se midieron a 10 m ($13.18 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$), con aproximadamente el 97% constituido por la fracción orgánica. Las concentraciones mayores de seston a 10 m se midieron el 28 de febrero y 1 de marzo, con los valores más bajos durante las mareas muertas (Fig. 6). Los máximos de seston superficial fueron hasta tres veces menores a los valores más altos medidos en la subsuperficie.

La productividad primaria durante los nueve días de muestreo fue muy variable, con un valor superficial máximo de $27 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ durante mareas vivas y el subsuperficial de $30 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ en mareas muertas (Fig. 7a). La productividad primaria superficial tuvo valores menores durante la transición de la marea, con un ligero incremento hacia el inicio de mareas muertas. La concentración de clorofila *a* superficial en las muestras incubadas siguió una tendencia similar a la productividad primaria, con valores altos de clorofila en los máximos de productividad (Fig. 7b). La concentración subsuperficial de clorofila *a* sólo fue mayor a la superficial durante mareas transicionales y con baja velocidad del viento. La razón de asimilación (PB) en general fue menor a $10 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ durante todo el período de estudio, a excepción del valor superficial durante el 28 de febrero de $19 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Fig. 7c), el cual presentó la más baja concentración de clorofila *a* de toda la serie de experimentos (Fig. 7b). Excepto este alto valor de PB, no hubo una clara diferencia entre las razones de asimilación de superficie y la profundidad del 10% de irradiancia.

Organic seston had a high contribution to total seston both in the surface and at 10 m (Fig. 6). The highest values of total seston were found at 10 m ($13.18 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), of which the organic fraction constituted approximately 97%. The highest concentrations of seston at 10 m were measured on February 28th and March 1st, with the lowest values during neap tides (Fig. 6). The highest values of surface seston were up to three times lower than the highest ones measured in the subsurface.

The primary productivity during the nine days of the sampling was very variable, with a maximum surface value ($27 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) during spring tides and a maximum subsurface one ($30 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) in neap tides (Fig. 7a). Primary productivity in the surface had lower values during the transition of the tide, with a slight increase towards the beginning of the neap tides. The concentration of surface chlorophyll *a* in the incubated samples followed a tendency similar to that of primary productivity, with high values of chlorophyll in the maximum ones of productivity (Fig. 7b). The surface concentration of chlorophyll *a* was higher than the surface one only during transitional tides and with low wind speed. In general, the assimilation ratio (PB) was lower than $10 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ during the whole period, except for the surface value of February 28th, of $19 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ (Fig. 7c), which presented the lowest concentration of chlorophyll *a* of the whole series of experiments (Fig. 7b). Except for this high value of PB, there was no clear difference between the assimilation ratios in the surface and at a depth of 10% of irradiance.

The surface primary productivity in spring tides decreased during the second incubation period (09:20 to 11:00 hours) and increased in the fourth period, to decrease slightly in the last one. In spring tides the highest values of productivity were measured during the first and fourth incubation, with $35 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. The primary productivity at a depth of 10% of I_0 followed the tendency of the irradiance cycle, with the highest values in the fourth incubation, of $23 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ (Fig. 8a). The surface chlorophyll *a* and assimilation ratio presented a distribution similar to that of primary productivity, with a decrease of chlorophyll *a* at 09:00 and 15:30 hours (Figs. 8b and 8c). The assimilation ratios at depths of 10% of I_0 increased towards

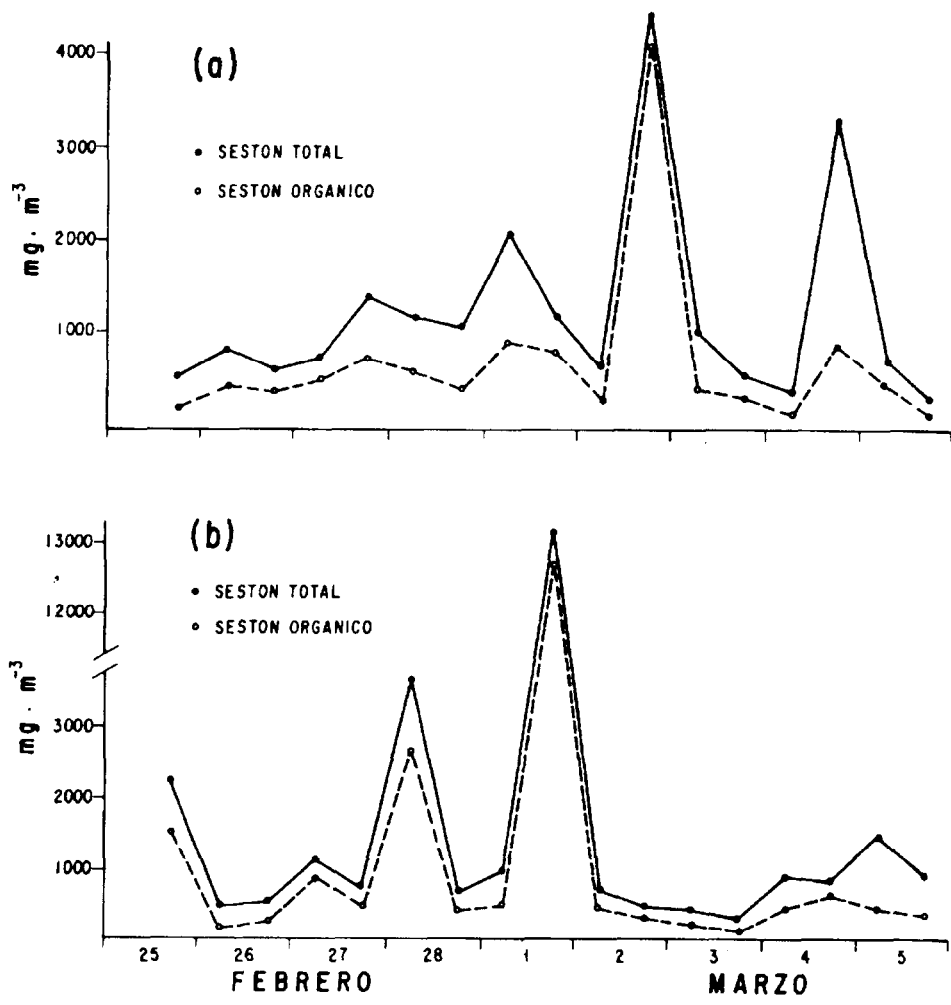


Figura 6. Series de tiempo del seston total y orgánico en: (a) superficie y (b) 10 m de profundidad.
Figure 6. Time series of total and organic seston in: (a) surface and (b) 10 m depth.

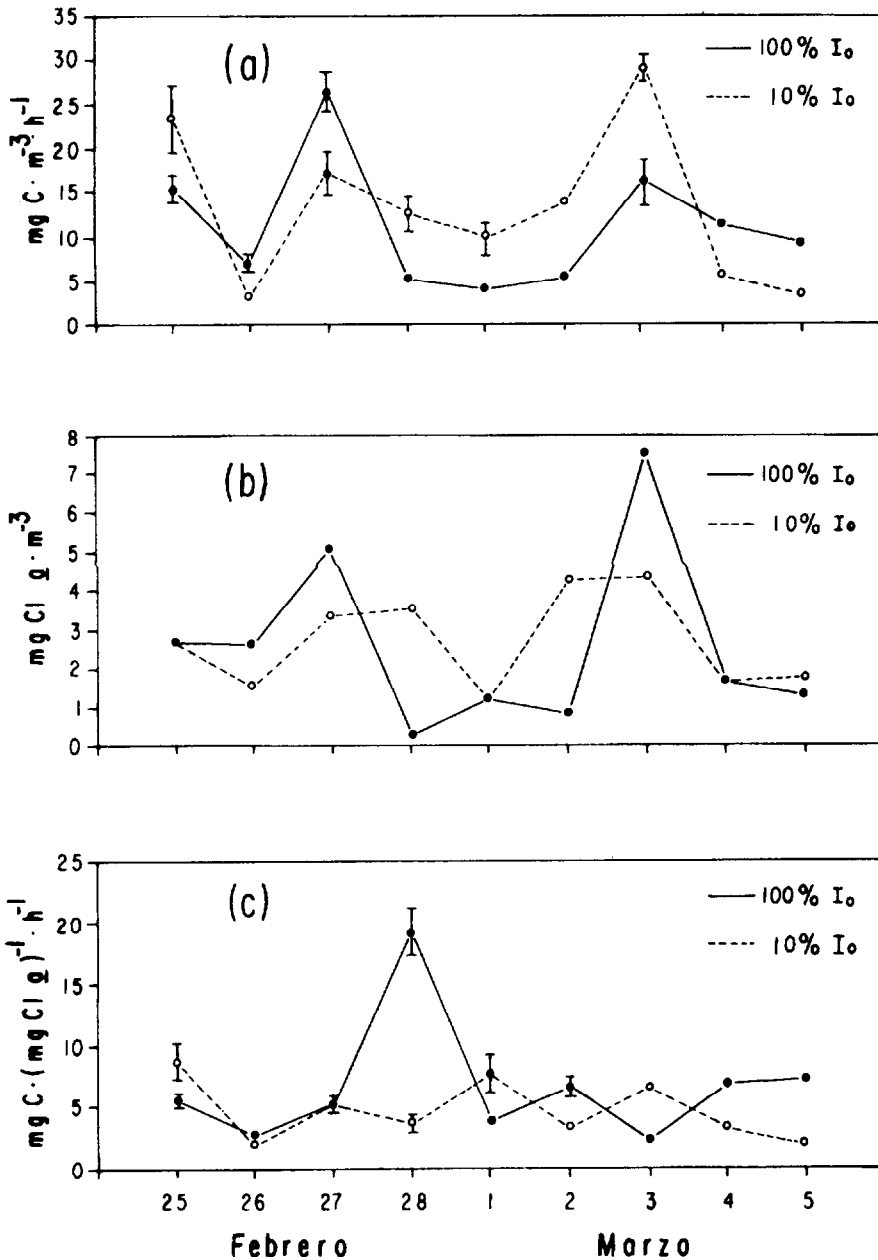


Figura 7. Series de tiempo a dos profundidades de: (a) productividad primaria, (b) concentración de clorofila *a* y (c) razón de asimilación. Las barras representan el intervalo de variación de las réplicas y el punto la media de las mismas.

Figure 7. Time series at two depths of: (a) primary productivity, (b) concentration of chlorophyll *a* and (c) assimilation ratio. The bars represent the variation limits of the replicas and the point, their mean.

La productividad primaria superficial en mareas vivas disminuyó durante el segundo período de incubación (09:20 a 11:00 horas), para incrementarse hasta el cuarto período y disminuir ligeramente en el último. En mareas vivas los valores más altos de productividad se midieron durante la primera y cuarta incubación, con $35 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. La productividad primaria a la profundidad del 10% de I_0 siguió la tendencia del ciclo de irradiancia, con los más altos valores de $23 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ en la cuarta incubación (Fig. 8a). La clorofila *a* y la razón de asimilación superficiales presentaron una distribución similar a la productividad primaria, con una disminución en la clorofila *a* a las 09:00 y 15:30 horas (Figs. 8b y 8c). Las razones de asimilación a las profundidades del 10% de I_0 aumentaron hacia el medio día y disminuyeron de nuevo por la tarde (Fig. 8c). La productividad primaria integrada durante el día en mareas vivas fue más alta en superficie ($195.5 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$) que a la profundidad del 10% de I_0 ($114.6 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$).

Los valores de productividad primaria y clorofila *a* superficiales durante el día en mareas muertas fueron aproximadamente constantes, excepto los dos últimos muestreos del día (Figs. 9a y 9b). Se presentaron altos valores superficiales de productividad primaria ($\sim 39 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) asociados a concentraciones altas de clorofila ($\sim 7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) (Figs. 9a y 9b) y relativamente bajos valores de razón de asimilación ($4.5 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) (Fig. 9c). Las altas concentraciones de clorofila *a* superficial ($12 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en la quinta incubación estuvieron relacionadas con un florecimiento de fitoplancton. Debido a la posición superficial de la mancha fitoplanctónica, las altas concentraciones de clorofila *a* no se detectaron en la profundidad del 10% de I_0 , la cual tuvo concentraciones casi invariantes. En este nivel se presentaron valores bajos de productividad primaria ($5 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), clorofila *a* ($2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y razón de asimilación ($\sim 2 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) durante el día muestreado (Figs. 9a, 9b y 9c). La productividad primaria integrada para la superficie fue de $131.2 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$, con $28.5 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ al 10% de I_0 .

La productividad primaria en la columna de agua en mareas vivas presentó un máximo subsuperficial de $24.7 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ a la profundidad del 50% de I_0 , con valores de clorofila *a* casi constantes (1.5 a $2.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) y

noon and decreased again in the evening (Fig. 8c). The primary productivity integrated during the day in spring tides was higher in the surface ($195.5 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$) than at a depth of 10% of I_0 ($114.6 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$).

The surface values of primary productivity and chlorophyll *a* during the day in neap tides were approximately constant, except for the last two samplings of the day (Figs. 9a and 9b). High values of surface primary productivity were found ($\sim 39 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), associated with high concentrations of chlorophyll ($\sim 7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) (Figs. 9a and 9b) and relatively low values of assimilation ratio ($4.5 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) (Fig. 9c). The high concentrations of surface chlorophyll *a* ($12 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) in the fifth incubation were related with a blooming of the phytoplankton. Due to the surface position of the phytoplanktonic patch, the high concentrations of chlorophyll *a* were not detected at the depth of 10% of I_0 , which had almost invariant concentrations. This level presented lower values of primary productivity ($5 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), chlorophyll *a* ($2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) and assimilation ratio ($\sim 2 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) during the sampled day (Figs. 9a, 9b and 9c). The integrated primary productivity for the surface was of $131.2 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$, with $28.5 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ at 10% of I_0 .

The primary productivity in the water column in spring tides presented a subsurface maximum of $24.7 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, at the depth of 50% of I_0 , with almost constant values of chlorophyll *a* (1.5 to $2.2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), and assimilation ratios associated with the vertical distribution of primary productivity (Figs. 10a, 10b and 10c). The highest assimilation ratio, of $15.7 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$, was measured at the depth of 50% of I_0 , with a distribution similar to that of primary productivity (Fig. 10c). The primary productivity integrated with depth in spring tides was of $115 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, with an integrated biomass of $31.2 \text{ mgCl}a^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

During transitional tides, the primary productivity and the chlorophyll *a* in the water column had similar distributions, with maximum values at depths of 50 and 25% of I_0 (Figs. 11a and 11b). The assimilation ratio had subsurface maxima between 6 and $9 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}a)^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ at depths of 50, 25 and 10% of I_0 , with a decrease towards the depth of 1% of I_0 (Fig. 11c). The value of the integrated primary productivity was of

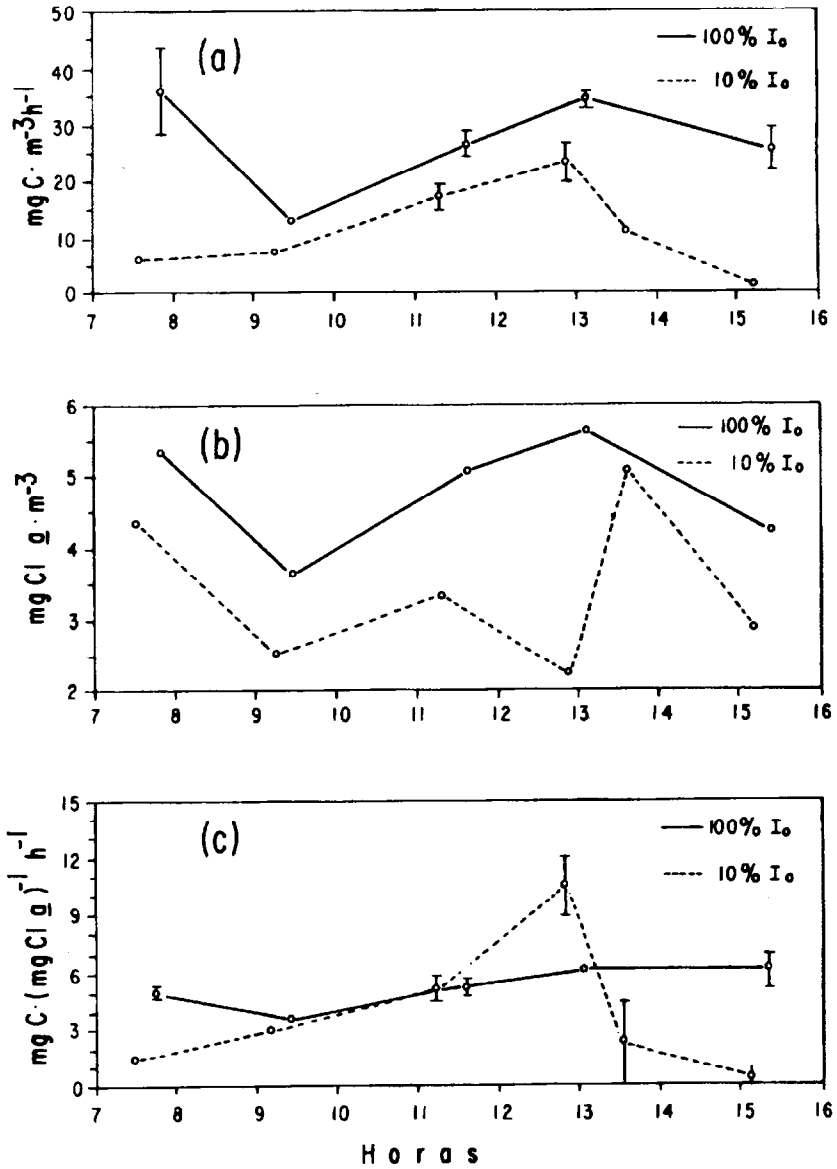


Figura 8. Variación durante el día en mareas vivas de: (a) productividad primaria, (b) concentración de clorofila *a* y (c) razón de asimilación del fitoplancton. Las barras representan el intervalo de variación de las réplicas y el punto la media de las mismas.

Figure 8. Diurnal variation in spring tides of: (a) primary productivity, (b) concentration of chlorophyll *a* and (c) assimilation ratio. The bars represent the variation limits of the replicas and the point, their mean.

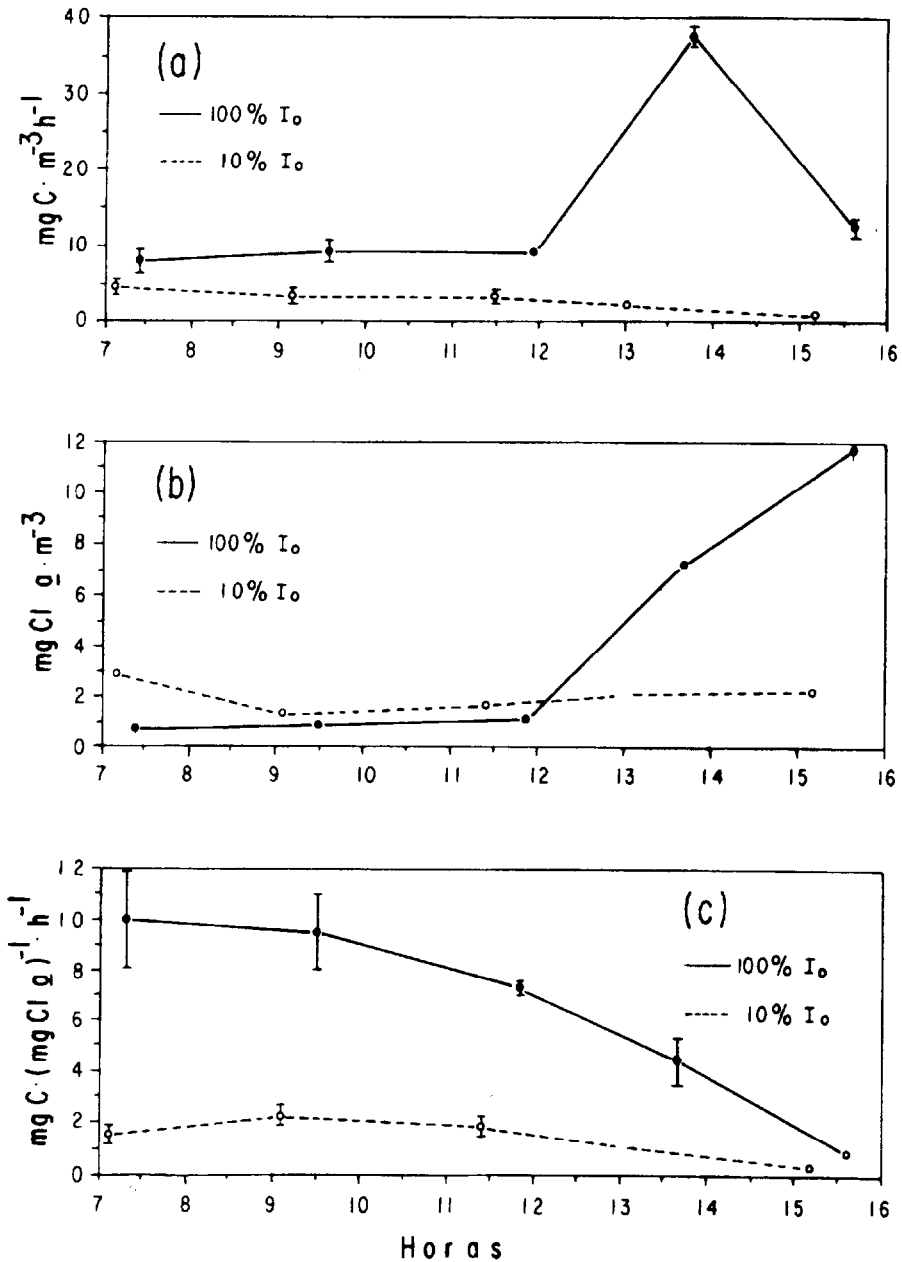


Figura 9. Variación durante el día en mareas muertas de: (a) productividad primaria, (b) concentración de clorofila *a* y (c) razón de asimilación del fitoplancton. Las barras representan el intervalo de variación de las réplicas y el punto la media de las mismas.

Figure 9. Diurnal variation in neap tides of: (a) primary productivity, (b) concentration of chlorophyll *a* and (c) assimilation ratio. The bars represent the variation limits of the replicas and the point, their mean.

razones de asimilación asociadas a la distribución vertical de la productividad primaria (Figs. 10a, 10b y 10c). La razón de asimilación máxima de $15.7 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ se midió a la profundidad del 50% de Io, con una distribución similar a la productividad primaria (Fig. 10c). La productividad primaria integrada con la profundidad en mareas vivas fue de $115 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, con una biomasa integrada de $31.2 \text{ mgCl}\cdot\text{m}^{-2}$.

Durante mareas transicionales la productividad primaria y la clorofila *a* en la columna de agua tuvieron una distribución similar, con valores máximos a las profundidades del 50 y 25% de Io (Figs. 11a y 11b). La razón de asimilación tuvo máximos subsuperficiales entre 6 y 9 $\text{mgC}\cdot(\text{mgCl}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ a las profundidades de 50, 25 y 10% de Io, con una disminución hacia la profundidad del 1% de Io (Fig. 11c). El valor de la productividad primaria integrada fue de $243 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, con una biomasa de $37.5 \text{ mgCl}\cdot\text{m}^{-2}$.

La productividad primaria y la clorofila *a* en la columna de agua durante mareas muertas presentaron máximos subsuperficiales a la profundidad del 50% de Io, con $170 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ de productividad primaria y $33 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de clorofila *a* (Figs. 12a y 12b). Estos altos valores se midieron como resultado de un fuerte florecimiento del dinoflagelado *Gymnodinium splendens*, con abundancias aproximadas de 10^8 células por litro (A.D. Giles-Guzmán, comunicación personal). La razón de asimilación en mareas muertas se incrementó con la profundidad, con un máximo de $7.0 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ al 10% de Io (Fig. 12c). Durante mareas muertas la productividad primaria integrada con la profundidad fue de $337 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, con una biomasa integrada de $79.0 \text{ mgCl}\cdot\text{m}^{-2}$.

La serie de tiempo de clorofila *a* presentó períodos significantes asociados con la variación de la marea semidiurna (Figs. 13a y 13b). La mayor contribución a la varianza se presentó en la clorofila *a* superficial, con predominio en los períodos de 6 y 12 horas. La concentración de clorofila *a* a 10 m mostró una alta varianza en el espectro durante el período de tres horas (Fig. 13b) sin relación aparente con un proceso físico determinado.

DISCUSION

El efecto de la alternancia de mareas sobre el fitoplancton fue notoria en la alta

$243 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, with a biomass of $37.5 \text{ mgCl}\cdot\text{m}^{-2}$.

The primary productivity and the chlorophyll *a* in the water column during neap tides presented subsurface maxima at the depth of 50% of Io, with $170 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ of primary productivity and $33 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ of chlorophyll *a* (Figs. 12a and 12b). These high values were the result of a strong blooming of the dinoflagellate *Gymnodinium splendens*, with approximate abundances of 10^8 cells per liter (A.D. Giles-Guzmán, personal communication). The assimilation ratio in neap tides increased with depth, with a maximum of $7.0 \text{ mgC}\cdot(\text{mgCl}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ at 10% of Io (Fig. 12c). During neap tides, the primary productivity integrated with depth was of $337 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$, with an integrated biomass of $79.0 \text{ mgCl}\cdot\text{m}^{-2}$.

The time series of chlorophyll *a* presented significant periods associated with the variation of the semidiurnal tide (Figs. 13a and 13b). The highest contribution to variance was presented in surface chlorophyll *a*, with prevalence in the 6 and 12 hour periods. The concentration of chlorophyll *a* at 10 m showed a high variance in the spectrum during the three hour period (Fig. 13b), without an apparent relation with any physical process.

DISCUSSION

The effect of the tide alternation on phytoplankton was notorious in the high concentration and variability of phytoplanktonic biomass during the first four days of the sampling and its marked decrease from March 2nd on. The increases of chlorophyll *a* during spring tides were also related with wind speeds over $4.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, which were recorded during February 26th and 27th. High subsurface concentrations of chlorophyll *a* were only found associated with a strong stratification in the water column, as in noon of March 2nd. This stratification brought as consequence low surface values of chlorophyll *a* and high subsurface ones, between 20 and 30 times higher than those of the surface, as a result of the conditioning of the phytoplankton to the irradiance levels. The intermediate mixing allowed high values of surface and subsurface values of chlorophyll *a*, without an evident differentiation between both depths, by transporting to the surface waters from intermediate depths, with high concentrations of

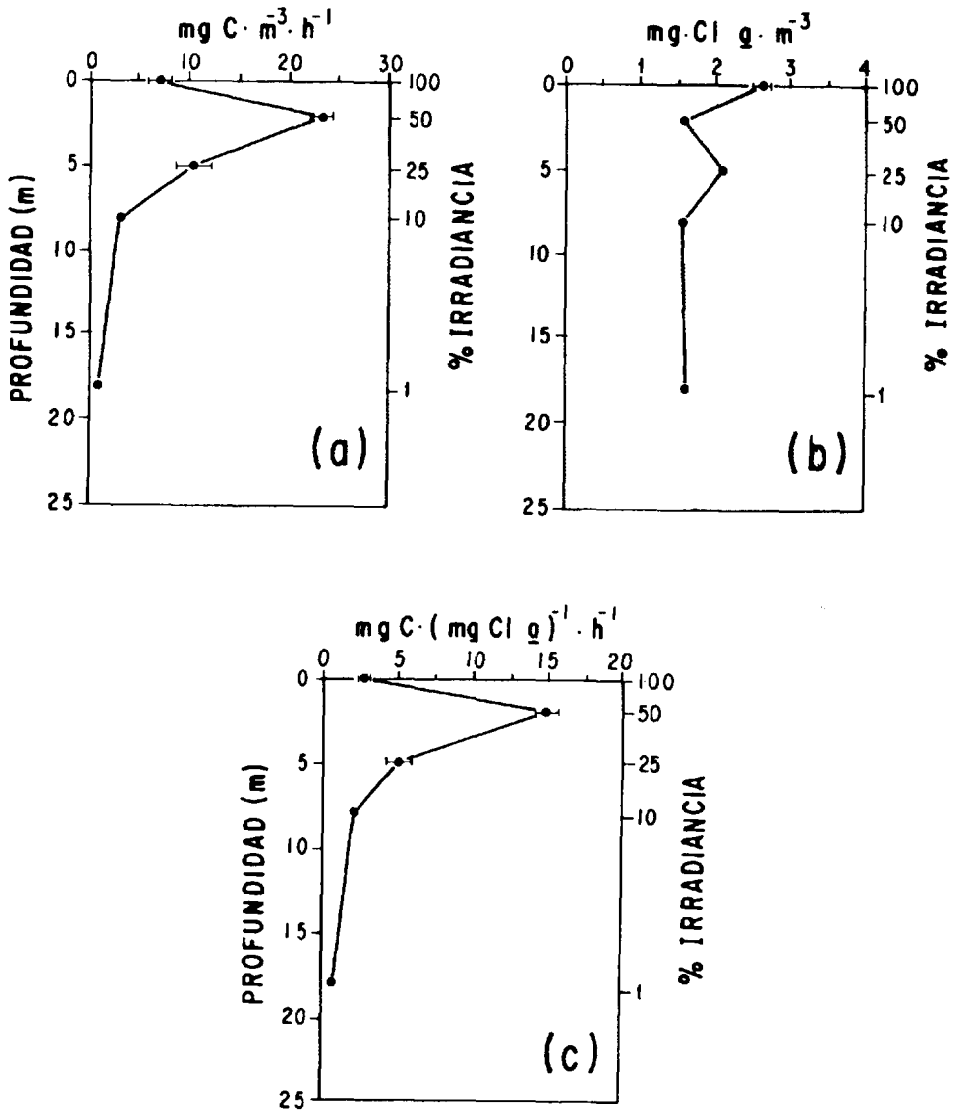


Figura 10. Variación vertical durante mareas vivas (26 de febrero) de: (a) productividad primaria, (b) concentración de clorofila *a* y (c) razón de asimilación. Las barras representan el intervalo de variación de las réplicas y el punto la media de las mismas.

Figure 10. Vertical variation during spring tides (February 26th) of: (a) primary productivity, (b) concentration of chlorophyll *a* and (c) assimilation ratio. The bars represent the variation limits of the replicas and the point, their mean.

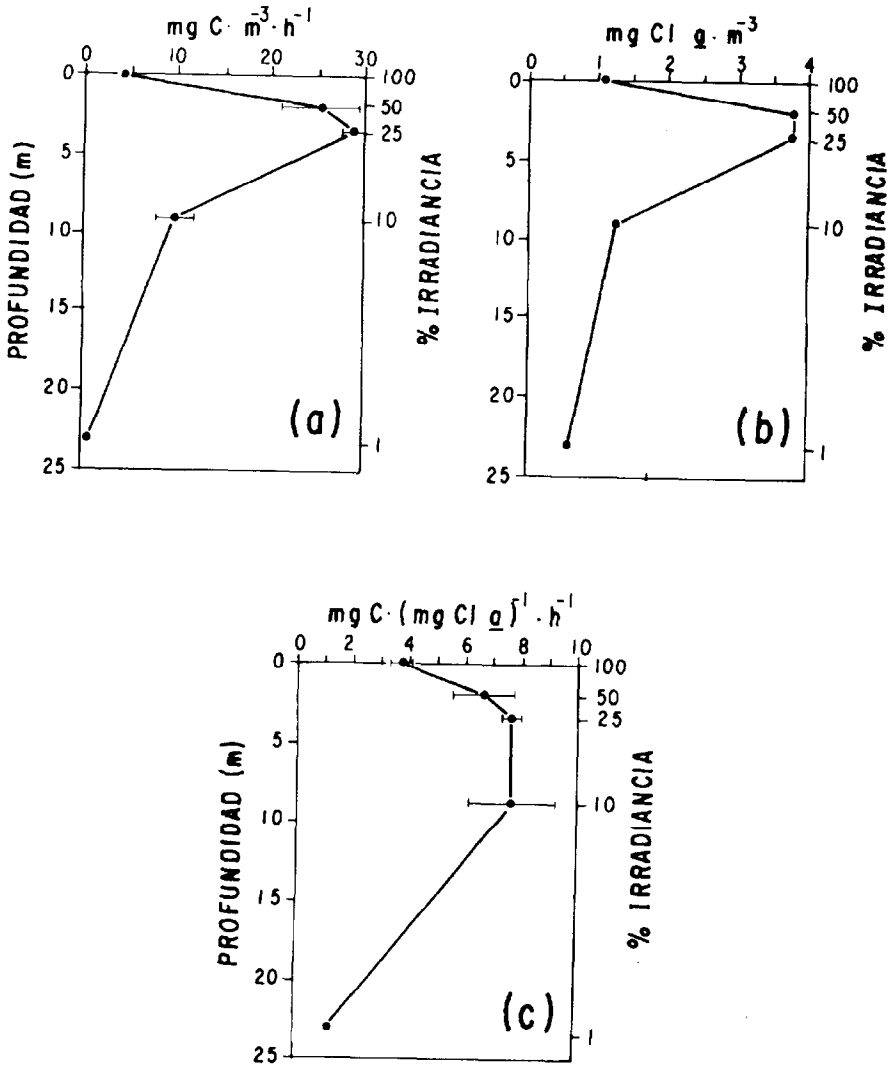


Figura 11. Variación vertical durante la transición de la marea (1 de marzo) de: (a) productividad primaria, (b) concentración de clorofila *a* y (c) razón de asimilación. Las barras representan el intervalo de variación de las réplicas y el punto la media de las mismas.

Figure 11. Vertical variation during the transition of the tide (March 1st) of: (a) primary productivity, (b) concentration of chlorophyll *a* and (c) assimilation ratio. The bars represent the variation limits of the replicas and the point, their mean.

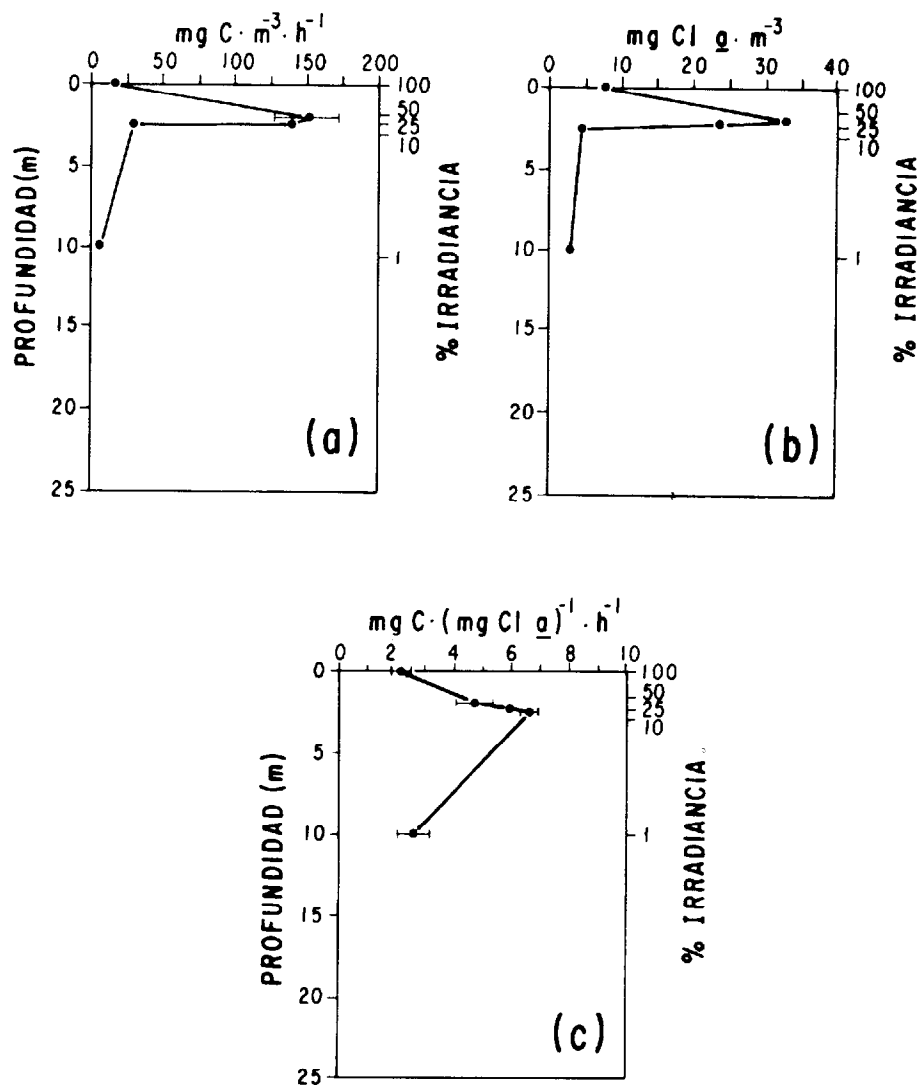


Figura 12. Variación vertical durante mareas muertas (3 de marzo) de: (a) productividad primaria, (b) concentración de clorofila *a* y (c) razón de asimilación. Las barras representan el intervalo de variación de las réplicas y el punto la media de las mismas.

Figure 12. Vertical variation during neap tides (March 3rd) of: (a) primary productivity, (b) concentration of chlorophyll *a* and (c) assimilation ratio. The bars represent the variation limits of the replicas and the point, their mean.

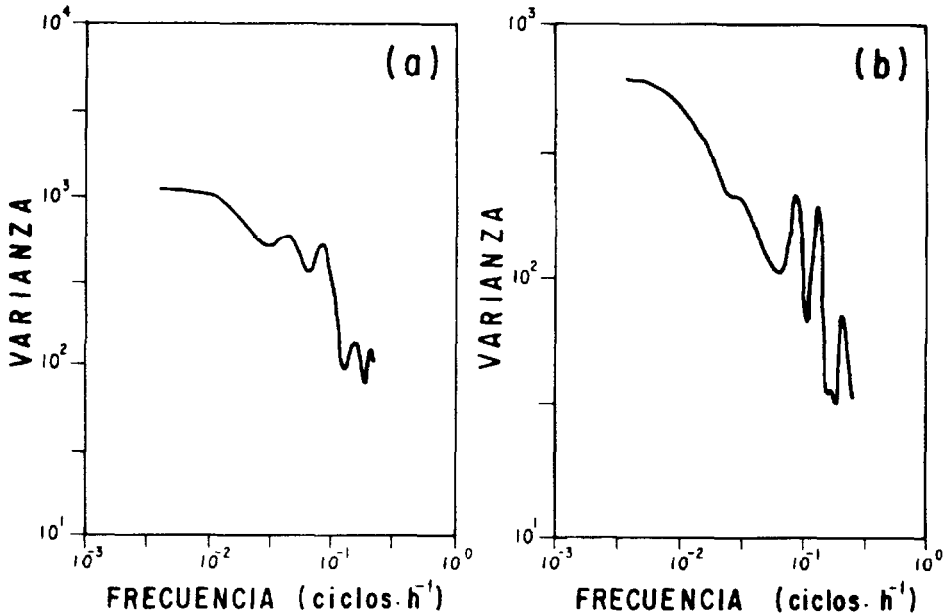


Figura 13. Espectros de variancia de la concentración de clorofila *a* en: (a) superficie y (b) 10 m de profundidad.

Figure 13. Variance spectrums of the concentration of chlorophyll *a* in: (a) surface and (b) 10 m depth.

concentración y variabilidad de la biomasa fitoplanctónica durante los cuatro primeros días del muestreo y el marcado decremento a partir del 2 de marzo. Los incrementos de clorofila *a* durante mareas vivas estuvieron relacionados además con velocidades del viento mayores a $4.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, los cuales se registraron durante el 26 y 27 de febrero. Altas concentraciones subsuperficiales de clorofila *a* sólo se muestrearon asociadas a una fuerte estratificación de la columna de agua, como la del medio día del 2 de marzo. Esta estratificación trajo como consecuencia bajos valores superficiales de clorofila *a* y altos valores subsuperficiales, entre 20 y 30 veces mayores que los de superficie, como resultado del acondicionamiento del fitoplancton a los niveles de irradiancia. La mezcla intermedia permitió altos valores de la clorofila *a* superficial y subsuperficial, sin una diferenciación evidente entre ambas profundidades, al ser transportada hacia la superficie agua de profundidades intermedias con alta concentración de clorofila *a*. La situación de mezcla

chlorophyll *a*. Strong mixing gave as result a decrease of the concentration of chlorophyll *a* in both sampled depths, due to the advection of waters from areas with low chlorophyll *a* or deeper areas, where it decreases because of the low abundance of phytoplankton.

Horizontal advection, originated by the combined action of wind and tides, is the main source of the variability of the phytoplanktonic biomass. With southwest winds, as in the beginning of the sampling, the sampled water came from the inner part of the bay, according to the circulation model of Serrano-Guzmán and Amador-Buenrostro (1986). On the contrary, with north and northeast winds, waters from the adjacent Canal de Ballenas penetrated the bay through its northern mouth. With a moderate mixing, the chlorophyll *a* from the Canal de Ballenas could be from 2 to 3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, according to data reported for winter of 1981 by Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro (1987).

The concentration of particles in suspension in the bay is determined mainly by

fuerte dio como resultado una disminución de la concentración de clorofila *a* en las dos profundidades muestreadas, por el efecto del transporte de agua de zonas con baja clorofila *a*, o de áreas más profundas, donde la clorofila *a* disminuye por la baja abundancia fitoplanctónica.

El transporte horizontal, originado por la acción combinada del viento y las mareas, es la principal fuente de la variabilidad en la biomasa fitoplanctónica. Con viento proveniente del suroeste, como al inicio del muestreo, el agua muestreada provenía del interior de la bahía, de acuerdo al modelo de circulación propuesto por Serrano-Guzmán y Amador-Buenrostro (1987). Por el contrario, con viento proveniente del norte y noreste el agua del Canal de Ballenas adyacente penetró hacia la bahía por la boca norte. Con una situación de mezcla moderada, la clorofila *a* proveniente del Canal de Ballenas podría ser de 2 a 3 mg·m⁻³, según los datos reportados para el invierno de 1981 por Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1987).

La concentración de partículas en suspensión dentro de la bahía está determinada principalmente por la contribución orgánica. Debido a que la bahía no tiene un aporte pluvial significativo, el transporte eólico es casi la única fuente del seston inorgánico de origen terrestre. La concentración del seston a 10 m de profundidad fue principalmente orgánico; con valores inorgánicos superficiales solamente cuando hubo viento fuerte (>8 m·s⁻¹), al inicio y final del período muestreado. Los valores de seston total y orgánico fueron similares a los reportados por Canino-Herrera *et al.* (1990) para el mismo punto durante el verano de 1986; excepto la concentración medida a las 18:00 horas del 1 de marzo, la más grande de toda la serie.

Los cambios de la productividad primaria durante la serie parecen tener una mayor relación con el efecto del viento que con la variación de las mareas. Sólo durante mareas muertas (3 de marzo) hubo diferencias entre la productividad primaria en la superficie y a 10 m de profundidad. Los máximos superficiales y subsuperficiales de la productividad primaria, en la serie de tiempo, estuvieron asociados con los incrementos de la concentración de clorofila *a*, por lo que las razones de asimilación fueron similares y menores a 10 mgC·(mgCl_a)⁻¹·h⁻¹; excepto el valor del 28 de febrero, debido a un decremento en la concentración de clorofila *a* superfi-

the organic contribution. Since the bay does not have a significant pluvial contribution, aeolian transport is almost the only source of terrestrial inorganic seston. The concentration of seston at 10 m of depth was mainly organic, with surface inorganic values only when there was strong wind (>8 m·s⁻¹), at the beginning and end of the sampled period. The values of total and organic seston were similar to those reported by Canino-Herrera *et al.* (1990) for the same site during the summer of 1986, except for the concentration measured at 18:00 hours on March 1st, which was the highest of the whole series.

The changes of primary productivity during the series seem to be more related with the effect of the wind than with the tide variation. There were differences between surface and 10 m deep primary productivity only during neap tides (March 3rd). The surface and subsurface maxima of primary productivity in the time series were associated with the increases of the chlorophyll *a* concentration, so the assimilation ratios were similar and lower than 10 mgC·(mgCl_a)⁻¹·h⁻¹, except for the value of February 28th, due to a decrease in the concentrations of surface chlorophyll *a*. The average of the assimilation ratios was 4 to 5 times lower than the ones reported for the Canal de Ballenas by Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro (1987).

The diurnal primary productivity in spring tides was characterized by fluctuations, without following a certain pattern in its distribution. The irregular behaviour in the diurnal variation of the surface primary productivity was reported by Prezelin *et al.* (1987) in California coastal waters, with variable results regarding size of the phytoplankton and its conditioning to irradiance previous to sampling. Despite the mixing of the water column, surface values of primary productivity were higher than subsurface ones, as a result, perhaps, of the conditioning of the phytoplankton to high irradiances. During neap tides the diurnal variations of primary productivity, chlorophyll and assimilation ratio were very uniform, except for the last two samplings, which were influenced by small phytoplanktonic patches. This abundance of phytoplankton increased the biomass but not the productivity per chlorophyll unit, since the assimilation ratios decreased abruptly towards the end of the day, due perhaps to the fast decrease of the nutrients used by the phytoplankton.

cial. El promedio de las razones de asimilación fue de 4 a 5 veces menor que los números de asimilación reportados para el Canal de Ballenas por Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1987).

La productividad primaria durante el día en mareas vivas estuvo caracterizada por fluctuaciones, sin seguir un patrón determinado en su distribución. El comportamiento irregular en la variación diurna de la productividad primaria superficial ha sido reportado por Prezelin *et al.* (1987) en aguas costeras de California, con resultados variables en relación al tamaño del fitoplancton y a su acondicionamiento a la irradiancia previo al muestreo. A pesar de la mezcla presente en la columna de agua, los valores de la productividad primaria superficiales fueron mayores que los subsuperficiales, como resultado, quizás, del acondicionamiento del fitoplancton a altas irradiancias. Durante las mareas muertas la variación diurna de los valores de productividad primaria, clorofila y razón de asimilación fueron muy uniformes, excepto los dos últimos muestreos que estuvieron influenciados por pequeñas manchas fitoplanctónicas. Esta abundancia del fitoplancton aumentó la biomasa pero no la productividad por unidad de clorofila, ya que las razones de asimilación bajaron abruptamente hacia el final del día, debido quizás a la rápida disminución de los nutrientes utilizados por el fitoplancton.

En todas las determinaciones de productividad primaria y razones de asimilación en la columna de agua se midieron máximos subsuperficiales. Estos máximos se deben al acondicionamiento del fitoplancton a las profundidades de irradiancias intermedias (25 al 50% de I_0) y a la mayor biomasa presente a estos niveles. Los altos valores de productividad primaria y clorofila durante mareas muertas estuvieron influenciados por viento del noroeste de hasta $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, el cual transportó un pequeño pero denso florecimiento de fitoplancton del interior norte de la bahía hacia el punto de muestreo. Debido a la dinámica del lugar, esta mancha fitoplanctónica no se muestreó en la serie de tiempo semicontinua pues pasó entre el intervalo del muestreo (2 horas). Este tipo de florecimientos densos, pequeños en magnitud y de rápido desarrollo, ha sido reportado durante la primavera dentro de la bahía (Barnard y Grady, 1968). Es posible que estas manchas se hayan formado durante la máxima estratificación de la colum-

Subsurface maxima were measured in all the determinations of primary productivity and assimilation ratios. These maxima are due to the conditioning of the phytoplankton to the depths of intermediate irradiance (25 to 50% of I_0) and to the higher biomass found in these levels. The high values of primary productivity and chlorophyll during neap tides were influenced by northwest winds of up to $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, which transported a small but dense blooming of phytoplankton from the inner-north part of the bay towards the sampling site. Due to the dynamics of the place, this phytoplanktonic patch was not sampled in the semicontinuous time series since it passed between the interval of the sampling (2 hours). This type of dense bloomings, small in magnitude and of fast development, has been reported during spring in the bay (Barnard and Grady, 1968). It is possible that these patches were formed during the maximum stratification (March 2nd and 3rd) and were later carried out by the wind, without staying very long in the area.

Since the amounts of nutrient concentrations were not limitant for the phytoplankton of the bay (Durand-Sarmiento, 1989), the productivity seems to be mainly in function of the concentration of the phytoplanktonic biomass. During this work, a significative relation ($p < 0.05$) was found between the phytoplankton biomass (Cl_a) and the primary productivity (P); $P = 4.76 \cdot Cl_a - 0.91$ ($r = 0.93$; $n = 43$). This lineal model is simpler than the one proposed by Cole and Cloern (1984, 1987) for estuarine systems and coastal zones with a great amount of inorganic particles in suspension. To extend the applicability of the model proposed for the bay, it would be necessary to obtain more information under different conditions and seasons of the year.

The relation between the variation of the chlorophyll concentration and the tide height seems to be more associated with the effect of the tide wave over the vertical mixing of the water column than with the horizontal advection of the phytoplankton in the bay. To prove this hypothesis, it would be necessary to separate the effect of the vertical mixing of wind and tide over the chlorophyll, and the advection of phytoplankton by the tidal currents in the bay.

Apparently, some periods of the sampling presented both physical processes. How-

na de agua (2 y 3 de marzo) y fueron transportadas, posteriormente, hacia afuera por el viento, sin permanecer por mucho tiempo en el área.

Debido a que las concentraciones de nutrientes no estuvieron en cantidades limitantes para el fitoplancton de la bahía (Durand-Sarmiento, 1989), la productividad parece estar principalmente en función de la concentración de la biomasa fitoplanctónica. Durante este trabajo se encontró una relación significativa ($p < 0.05$) entre la biomasa del fitoplancton (Cl_a) y la productividad primaria (P); $P = 4.76 \cdot Cl_a - 0.91$ ($r = 0.93$; $n = 43$). Este es un modelo lineal más sencillo que el propuesto por Cole y Cloern (1984, 1987) para sistemas estuarinos y zonas costeras con gran cantidad de partículas inorgánicas en suspensión. Para extender la aplicabilidad del modelo propuesto para la bahía, sería necesario obtener más información bajo diferentes condiciones y estaciones del año.

La relación entre la variación de la concentración de clorofila y la altura de marea parece estar asociada, más que al transporte horizontal del fitoplancton en la bahía, al efecto de la onda de marea sobre la mezcla vertical de la columna de agua. Para probar esta hipótesis sería necesario separar el efecto de la mezcla vertical del viento y la marea sobre la clorofila, y el transporte del fitoplancton por las corrientes de marea en la bahía.

Al parecer, en algunos períodos del muestreo se presentó una combinación de ambos procesos físicos. Sin embargo, de acuerdo al modelo de circulación propuesto por Serrano-Guzmán y Amador-Buenrostro (1987), el principal transporte superficial en la bahía está determinado por el viento y en mucho menor grado por la marea.

Con los resultados obtenidos es posible determinar que dentro de la bahía la variabilidad de la productividad primaria estuvo regulada por la biomasa fitoplanctónica y la fluctuación de ésta por la variación del transporte horizontal y la mezcla vertical, originadas principalmente por el efecto del viento. Debido a que la zona estudiada es muy dinámica, es necesario hacer más determinaciones y experimentos de productividad primaria para poder relacionar los resultados con los diferentes procesos presentes en la bahía.

ever, according to the circulation model proposed by Serrano-Guzmán and Amador-Buenrostro (1987), the main surface transport in the bay is determined by the wind, and in much lower degree by the tide.

With the results obtained, it is possible to determine that in the bay the variability of the primary productivity was regulated by the phytoplanktonic biomass, and the fluctuation of this by the variation of the horizontal advection and the vertical mixing, originated mainly by the effect of the wind. Since the studied zone is very dynamic, it is necessary to make more determinations and experiments of primary productivity to be able to relate the results with the different processes present in the bay.

AKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank Francisco Delgadillo and Salvador Velázquez Magaña for their valuable cooperation in the field work, and the students of the Facultad de Ciencias Marinas for the samplings. This work was financed by the Secretaría de Educación Pública under agreement 87-01-0138. The UABC supported the sabbatical stay of the second author at the IIO.

English translation by Lucrecia Orensanz.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Francisco Delgadillo y Salvador Velázquez Magaña su valiosa cooperación en el trabajo de campo y a los estudiantes de la Facultad de Ciencias Marinas en el muestreo. Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Educación Pública bajo convenio 87-01-0138. La UABC apoyó la estancia sabática del segundo autor en el IIO.

LITERATURA CITADA

Alvarez Borrego, S., Rivera, J., Gaxiola Castro, G., Acosta Ruíz, M.J. y Schwartzlose, R.A. (1978). Nutrientes en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 5: 53-71.

- Alvarez Borrego, S. and Gaxiola Castro, G. (1987). Photosynthetic parameters of northern Gulf of California phytoplankton. *Continental Shelf Res.*, 8: 37-47.
- Badan Dagon, A., 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.
- Banase, K., Falls, C.P. and Hobson, L.A. (1963). A gravimetric method for determining suspended matter in seawater using millipore filters. *Deep-Sea Research*, 10: 635-642.
- Barnard, J.L. and Grady, J.R. (1968). A biological survey of Bahía de los Angeles, Gulf of California, Mexico. I. General account. *San Diego Soc. Nat. Hist., Trans.*, 15: 51-66.
- Canino Herrera, S.R., Gaxiola Castro, G. y Segovia Zavala, J.A. (1990). Efecto de procesos físicos sobre la variación de clorofila, seston y productividad primaria en la ensenada norte de Bahía de los Angeles (verano 1986). *Ciencias Marinas*, 16(2): 67-85.
- Castro Montoya, H.D. (1988). Variabilidad de nutrientes en la ensenada norte de Bahía de los Angeles, B.C. (verano de 1986). Tesis Profesional, Fac. Ciencias Marinas, UABC, 44 pp.
- Cole, B.E. and Cloern, J.E. (1984). Significance of biomass and light availability to phytoplankton productivity in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 17: 15-24.
- Cole, B.E. and Cloern, J.E. (1987). An empirical model for estimating phytoplankton productivity in estuaries. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 36: 299-305.
- Durand Sarmiento, L.F. (1989). Variabilidad temporal de nitratos, nitritos y amonio en la ensenada norte de Bahía de los Angeles, B.C. en condiciones de invierno. Tesis Profesional, Fac. Ciencias Marinas, UABC, 40 pp.
- Gaxiola Castro, G. y Alvarez Borrego, S. (1986). Productividad primaria del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*, 12(3): 26-33.
- Gilmartin, N. and Revelante, N. (1978). The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Estuarine and Coastal Science*, 7: 29-47.
- Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M. (1984). *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Peterson, R.E. (1977). *A Study of Suspended Particulate Matter*. Arctic Ocean and Northern Oregon Continental Shelf. Tesis Doctoral, Oregon State University, 122 pp.
- Prezelin, B.B., Bidigare, R.R., Matlick, H.A., Putt, M. and Ver Hoven, B. (1987). Diurnal patterns of size-fractioned primary productivity across a coastal front. *Marine Biology*, 96: 563-574.
- Serrano Guzman, S.J. y Amador Buenrostro, A. (1987). Incidencia de larvas de bivalvos y corrientes residuales en Bahía de los Angeles, B.C. *Memorias del II Congreso Nacional de Acuicultura*, 24-26 Octubre 1987. La Paz, B.C.S. (en prensa).
- 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.