

**EFFECTO DE PROCESOS FISICOS SOBRE LA VARIACION
DE CLOROFILA, SESTON Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN
LA ENSENADA NORTE DE BAHIA DE LOS ANGELES (VERANO 1986)**

**EFFECT OF PHYSICAL PROCESSES ON THE VARIATION OF
CHLOROPHYLL, SESTON AND PRIMARY PRODUCTIVITY IN THE
NORTHERN INLET OF BAHIA DE LOS ANGELES (SUMMER 1986)**

Sergio Raúl Canino Herrera ¹
Gilberto Gaxiola Castro ²
José Antonio Segovia Zavala ¹

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

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). Effect of physical processes on the variation of chlorophyll, seston and primary productivity in the northern inlet of Bahía de los Angeles (summer 1986). *Ciencias Marinas*, 16(2): 67-85.

RESUMEN

Del 25 de agosto al 2 de septiembre de 1986 se tomaron muestras de la superficie y a 10 m para estudiar la variación de la clorofila *a* y seston en la ensenada norte de Bahía de los Angeles, Baja California. Para investigar dicha variación se realizó un muestreo cuasicontinuo de clorofila *a* y seston con una periodicidad de dos y seis horas, respectivamente. Durante el mismo período se estudió la productividad primaria en tres experimentos diferentes: (1) una determinación diaria a dos profundidades (superficie y 5 m) al mediodía durante los nueve días de estudio; (2) seis determinaciones superficiales durante el día, en una fecha representativa de mareas muertas y otra de mareas vivas; y (3) determinaciones en la columna de agua a cinco profundidades durante dos días secuenciales en mareas vivas. La estratificación en la columna de agua solamente fue evidente en el período de mareas muertas coincidiendo con una baja intensidad de viento; con diferencias de 7.0 mg.m⁻³ entre las concentraciones de clorofila *a* de superficie (1.3 mg.m⁻³) y a 10 m (8.3 mg.m⁻³). La productividad primaria a 5 m durante mareas muertas fue ligeramente mayor (9.7 a 17.0 mgC.m⁻³.h⁻¹) que en mareas vivas (2.0-12.6 mgC.m⁻³.h⁻¹). Sin embargo, la razón de asimilación después del mediodía fue menor en mareas muertas (\bar{x} = 3.48 mgC.mgcl⁻¹.h⁻¹) que en mareas vivas (\bar{x} = 7.96 mgC.mgcl⁻¹.h⁻¹) como resultado del mayor tiempo de residencia del fitoplancton a una misma profundidad. Las razones de asimilación del fitoplancton en la columna de agua (1.23 a 13.08 mgC.mgcl⁻¹.h⁻¹) fueron similares a los números de asimilación reportados para el área del Canal de Ballenas, adyacente a la bahía. La acción combinada del viento y la marea son los principales procesos físicos que contribuyeron a la variabilidad de clorofila *a*, seston y productividad primaria. Sin embargo, son la velocidad y dirección del viento los factores determinantes de la heterogeneidad y transporte del fitoplancton en la bahía.

ABSTRACT

Surface and 10 m water samples were taken between 25 August and 2 September 1986 to study chlorophyll *a* and seston variability in the northern inlet of Bahía de los Angeles, Baja California. Chlorophyll *a* and seston were sampled every two and six hours, respectively. During the same period, three different primary productivity measurements were made: (1) daily noon experiments at surface and 5 m, (2) six surface determinations throughout the day, during neap and spring tides, and (3) two-day experiments in the water column at five depths during spring tide. Stratification in the water column was only present during neap tide and low wind conditions, with chlorophyll *a* differences of $7.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ between the surface ($1.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) and 10 m ($8.3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Primary productivity at 5 m during neap tide was higher (9.7 to $17.0 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) than during spring tide (2.0 to $12.6 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$). However, the assimilation ratios in the afternoon were lower during neap tide ($\bar{x} = 3.48 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) than spring tide ($\bar{x} = 7.96 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$), as a result of the phytoplankton adaptation to irradiance. Phytoplankton assimilation ratios in the water column (1.23 to $13.8 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) were similar to the assimilation numbers reported for the adjacent Canal de Ballenas. Combined effects of wind and tide were the most important physical processes which contributed to the variability of chlorophyll *a*, seston and primary productivity. Nevertheless, wind speed and direction were the main factors controlling phytoplankton heterogeneity and transport in the bay.

INTRODUCCION

Los organismos planctónicos están sujetos a la dinámica del medio en el que se encuentran, por lo que el estudio de las variaciones de éstos deberá estar asociado al de las fluctuaciones físicas del ambiente. La marea es uno de los principales factores físicos que afectan a las variables químicas y biológicas de la zona costera. El área de estudio localizada dentro de la región norte-central del Golfo de California, está influenciada fuertemente por efectos de la marea y el viento en escalas diversas (Alvarez-Borrego, 1983; Alvarez-Sánchez *et al.*, 1984). Es en esta región donde se encuentra el agua superficial más fría del Golfo (Badan-Dangon *et al.*, 1985) y las más altas concentraciones de nutrientes (Alvarez-Borrego *et al.*, 1978), ambos originados por el efecto de las mareas.

La forma apropiada para estudiar las fluctuaciones de las principales variables del fitoplancton es la de generar series de tiempo continuas o semicontinuas. Sin embargo, no siempre es posible tomar datos biológicos con una baja periodicidad y durante un intervalo adecuado de tiempo, debido a la dificultad en la colecta, costos del muestreo, falta de facilidades, etc.

En este trabajo se generó una serie de tiempo de nueve días de algunas variables asociadas al fitoplancton costero, para enten-

INTRODUCTION

Planktonic organisms are subject to the dynamics of the environment in which they are found. Therefore, the study of their variations should be associated to that of physical fluctuations in the environment. The tide is one of the main physical factors which affect chemical and biological parameters in the coastal zone. The study area, located in the northern-central region of the Gulf of California, is strongly influenced by effects of tides and winds on a different scale (Alvarez-Borrego, 1983; Alvarez-Sánchez *et al.*, 1984). The coldest surface water of the Gulf (Badan-Dangon *et al.*, 1985) and the highest concentrations of nutrients (Alvarez-Borrego *et al.*, 1978) are found in this region, both caused by tidal effects.

The proper way to study the fluctuations of the main phytoplankton variables is to generate continuous or semicontinuous time series. However, it is not always possible to obtain biological data with low periodicity and for an adequate period of time due to difficulties during the collection, sampling costs, lack of facilities, etc.

In this study, a nine day time series was done of some variables associated to coastal phytoplankton, in order to understand their relation to physical changes in the environment. The objective was to study the

der su relación con los cambios físicos del medio. El objetivo fue el de estudiar el comportamiento temporal de corto plazo de la clorofila, seston y productividad primaria asociadas a los cambios del ciclo de marea durante el verano de 1986 en un punto de Bahía de los Angeles, Baja California.

AREA DE ESTUDIO

Bahía de los Angeles se encuentra localizada en la costa oeste del Golfo de California, entre 28°54' y 29°03' de latitud Norte y de 113°30' a 113°35' de longitud Oeste. Esta bahía es una de las más profundas (~40 m) del Golfo de California, con una serie de islas pequeñas que la aísla parcialmente del Canal de Ballenas adyacente. La salinidad superficial dentro de la bahía es similar a la reportada en el Golfo norte, con valores de 35.25 y 35.55% para abril y octubre respectivamente (Barnard y Grady, 1968) y un promedio superficial de 35.5% en agosto (Gilmartin y Revelante, 1978). Los valores mínimos de temperatura superficial (15°C) se han medido en febrero y los máximos (28.5 a 29.8°C) en agosto (Barnard y Grady, 1968). Bahía de los Angeles se encuentra dentro de una zona afectada fuertemente por las mareas, por lo que posee características distintas a las de otras bahías y lagunas costeras de la costa este de Baja California. El oxígeno disuelto superficial fluctúa de 3.0 a 7.0 ml/l (Barnard y Grady, 1968) y entre 3.35 y 5.04 ml/l en agosto (Gilmartin y Revelante, 1978); con una libre circulación del agua en relación al área adyacente. De acuerdo con Serrano-Guzmán y Amador-Buenrostro (1987), el viento es el principal factor que determina la circulación superficial dentro de la bahía. La onda de marea es semidiurna mixta, la cual se incrementa progresivamente desde la boca hacia la cabeza del Golfo. La concentración de nutrientes es variable con máximos superficiales de 5.04 μM de NO_3 y 2.24 μM de PO_4 durante agosto de 1972 (Gilmartin y Revelante, 1978). La clorofila *a* superficial en agosto varía entre 0.2 a 0.5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, con una productividad primaria promedio de 5.0 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ y dominancia de diatomeas (*Chaetoceros* sp.) y algunos dinoflagelados como *Prorocentrum micans* (Gilmartin y Revelante, 1978). Dentro de la bahía se han observado pequeños pero densos florecimientos de dinoflagelados durante la primavera de 1961, 1962, y 1963

short-term temporal behaviour of chlorophyll, seston and primary productivity associated to changes in the tidal cycle during the summer of 1986 at a site in Bahía de los Angeles, Baja California, Mexico.

STUDY AREA

Bahía de los Angeles is located on the western coast of the Gulf of California, between 28°54' and 29°03' latitude North and from 113°30' to 113°35' longitude West. This bay is one of the deepest (~40 m) in the Gulf of California, with a series of small islands which partially isolate it from the adjacent Canal de Ballenas. Surface salinity in the bay is similar to that reported for the northern Gulf, with values of 35.25 and 35.55% for April and August, respectively (Barnard and Grady, 1968), and a surface average of 35.5% in August (Gilmartin and Revelante, 1978). The lowest surface temperature values (15°C) have been recorded in February and the highest (28.5 to 29.8°C) in August (Barnard and Grady, 1968). Bahía de los Angeles is located in a zone which is strongly affected by tides and, therefore, has different characteristics to that of other bays and coastal lagoons on the eastern coast of Baja California. The dissolved surface oxygen fluctuates from 3.0 to 7.0 ml/l (Barnard and Grady, 1968) and between 3.35 and 5.04 ml/l in August (Gilmartin and Revelante, 1978), with free circulation of water in relation to the adjacent area. According to Serrano-Guzmán and Amador-Buenrostro (1987), wind is the main factor determining the surface circulation in the bay. The tide wave is mixed semidiurnal, increasing progressively from the mouth to the head of the Gulf. The concentration of nutrients is variable with surface maxima of 5.04 μM of NO_3 and 2.24 μM of PO_4 during August 1972 (Gilmartin and Revelante, 1978). Surface chlorophyll *a* in August varies between 0.2 and 0.5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, with an average primary productivity of 5.0 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ and dominance of diatoms (*Chaetoceros* sp.) and some dinoflagellates like *Prorocentrum micans* (Gilmartin and Revelante, 1978). Small but dense dinoflagellate blooms have been observed in the bay during the spring of 1961, 1962 and 1963 (Barnard and Grady, 1968). However, no further information exists regarding the phytoplanktonic species present.

(Barnard y Grady, 1968), pero no existe una mayor información sobre las especies fitoplanctónicas presentes.

MATERIALES Y METODOS

El punto de muestreo se localizó en la ensenada norte de la bahía, frente a Punta la Gringa (Fig. 1), con una profundidad aproximada de 20 m en marea alta. El período de estudio comprendió del 25 de agosto al 2 de septiembre de 1986; con muestreos cada dos horas para clorofila *a* de superficie y 10 m, y cada seis horas para seston a los mismos niveles. La muestra de clorofila se tomó con botellas Van Dorn, filtrándose una alícuota a través de filtros GF/C de 25 mm de diámetro, los cuales se congelaron hasta su análisis. Estas muestras se analizaron por el método fluorimétrico descrito por Yentsch y Menzel (1963), con un fluorímetro TURNER 112. La muestra para seston se colectó de la misma forma que para clorofila y se pasó a través de filtros de membrana de 0.45 μm de poro y 47 mm de diámetro, previamente pesados y etiquetados. Los filtros con la muestra se almacenaron en cajas de plástico de 5 cm de diámetro y se congelaron inmediatamente. Estos se analizaron por el método de Banse *et al.* (1963), determinándose las fracciones orgánica e inorgánica del seston por la técnica de Peterson (1977).

La productividad primaria *in situ* se determinó con tres tipos de experimentos: (1) incubaciones diarias al mediodía durante nueve días a 0 y 5 m de profundidad; (2) dos experimentos con incubaciones superficiales a lo largo del día; y (3) dos mediciones de productividad a cinco profundidades en la columna de agua durante el mediodía. Las incubaciones diarias al mediodía se hicieron del 25 de agosto al 2 de septiembre, con muestras de la superficie (100% de I_0) y de 5 m (50% de I_0) de profundidad. Las determinaciones de productividad primaria a lo largo del día se hicieron de las 6:00 a las 18:00 horas, con seis incubaciones de aproximadamente dos horas cada una. Estos experimentos se realizaron el 27 de agosto (mareas muertas) y 2 de septiembre (mareas vivas) con muestras superficiales. Las mediciones de productividad primaria en la columna de agua se realizaron el 31 de agosto y 1 de septiembre durante el mediodía (11:00-13:00 horas aproximada-

MATERIALS AND METHODS

Samples were taken at a site located in the northern inlet of the bay, in front of Punta la Gringa (Fig. 1), having an approximate depth of 20 m during high tide. The study period was from 25 August to 2 September, 1986. Surface and 10 m samples of chlorophyll *a* were taken every two hours and of seston every six hours. The chlorophyll samples were collected with Van Dorn bottles, filtering an aliquot through GF/C filters 25 mm in diameter, and were then frozen until further analysis. These samples were analysed using the fluorometric method described by Yentsch and Menzel (1963), with a 112 TURNER fluorometer. The seston samples were collected in the same way and passed through filters with 0.45 μm pore and 47 mm in diameter, previously weighed and labelled. The filters with the samples were stored in plastic boxes 5 cm in diameter and immediately frozen. These were analysed using Banse *et al.*'s (1963) method and the organic and inorganic fractions of seston were determined using Peterson's (1977) technique.

Primary productivity *in situ* was determined with three types of experiments: (1) daily incubations at noon during nine days at depths of 0 and 5 m, (2) two experiments with surface incubations throughout the day and (3) two productivity measurements at five depths in the water column at noon. The daily noon incubations were carried out from 25 August to 2 September, with surface (100% I_0) and 5 m (50% I_0) samples. The determinations of primary productivity throughout the day were done at 6:00 and 18:00 hours, with six incubations of approximately two hours each. These experiments were carried out on 27 August (neap tide) and 2 September (spring tide) with surface samples. The measurements of primary productivity in the water column were done on 31 August and 1 September at noon (11:00-13:00 hours approximately) with samples collected at 100, 50, 25, 10 and 1% of surface irradiance. The percentages of irradiance penetration were determined with a Kahlsico 258WA210 submarine photometer.

A similar routine was followed for all the incubations. The samples were collected using Van Dorn bottles, with a 150 μm mesh in

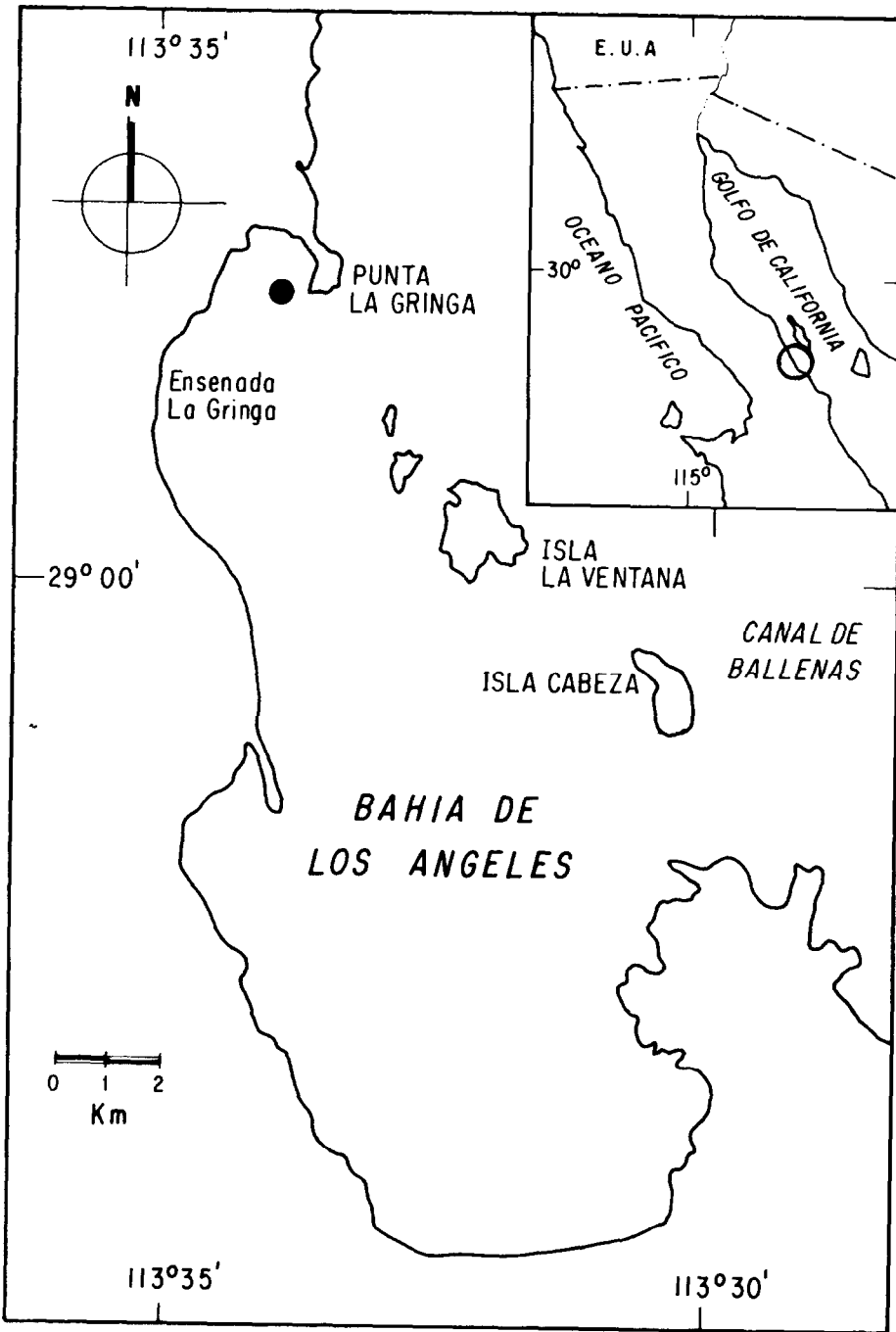


Figura 1. Localización del área de estudio y estación de muestreo.
Figure 1. Location of the study area and sampling station.

mente) con muestras colectadas a 100, 50, 25, 10 y 1% de la irradiancia superficial. Los porcentajes de penetración de la irradiancia se determinaron con un fotómetro submarino Kahlsico 258WA210.

Para todas las incubaciones se siguió una rutina similar. Las muestras se tomaron por medio de botellas Van Dorn, con una malla de 150 μm en el orificio de salida para eliminar al macrozooplancton dentro de las botellas de incubación. Las muestras de cada profundidad se colocaron en tres botellas de 125 ml y se les agregó 3 μCi de $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$. Estas botellas se depositaron en canastas de alambre rígido y con un tejido que permitía el paso de la luz. Las canastas con las botellas se llevaron a las profundidades de las cuales fueron colectadas las muestras y se incubaron por aproximadamente dos horas. De estas mismas muestras se tomaron alícuotas para el análisis de clorofila, pasándose a través de filtros de membrana de 0.45 μm de poro y 47 mm de diámetro. El análisis de clorofila se hizo como se describió anteriormente. Después de la incubación, las muestras de productividad se pasaron a través de filtros de membrana de 0.45 μm de poro y 47 mm de diámetro. Los filtros, sin ningún tratamiento posterior, se almacenaron en frascos de 20 ml para centelleo y se congelaron lo más pronto posible (aproximadamente 20 minutos después). A estos filtros se les agregó 10 ml de solución para centelleo líquido y se les cuantificó su radiactividad con un contador Beckman LS-100. El cálculo del carbono asimilado se hizo a partir de las fórmulas descritas por Parsons *et al.* (1984).

RESULTADOS

La curva de altura de marea se obtuvo de los datos reportados por el Grupo de Mareografía del CICESE. El período de marea para la bahía fue del tipo mixto, con predominancia semidiurna (Fig. 2). A lo largo del período muestreado se tuvieron tres regímenes de marea: mareas muertas (25 al 27 de agosto), mareas transicionales (28 al 29 de agosto) y mareas vivas (30 de agosto al 2 de septiembre). El viento fue muy variable tanto en dirección como en intensidad (Fig. 3). Los más altos valores ($\sim 11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) se midieron al inicio de las mareas transicionales y al final del muestreo durante mareas vivas.

order to eliminate the macrozooplankton in the incubation bottles. The samples from each depth were placed in three 125 ml bottles to which 3 μCi of $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ was added. These bottles were placed in rigid wire baskets that allowed the passage of light. The baskets with the bottles were left at the depths from which the samples were collected and incubated for approximately two hours. Aliquots were taken from these samples for the analysis of chlorophyll, passing them through 0.45 μm pore and 47 mm diameter filters. The analysis of chlorophyll was done as described previously. After incubation the productivity samples were passed through 0.45 μm pore and 47 mm diameter filters. The filters, with no further treatment, were stored in 20 ml flasks for scintillation and were frozen as soon as possible (approximately 20 minutes later). A 10 ml solution for liquid scintillation was added to these filters and the radioactivity was quantified with a Beckman LS-100 counter. The calculation of assimilated carbon was done using the formulae described by Parsons *et al.* (1984).

RESULTS

The tide height curve was obtained from the data reported by the mareographic group from CICESE. The tidal period for the bay was of the mixed type, with semidiurnal predominance (Fig. 2). Throughout the study period there were three tidal regimes: neap tide (25 to 27 August), transitional tide (28 to 29 August) and spring tide (30 August to 2 September). The wind was very variable, both in direction and in intensity (Fig. 3). The highest values ($\sim 11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) were measured at the beginning of the transitional tide and at the end of the study period during spring tide.

There were differences in the concentrations of chlorophyll *a* between the surface and 10 m values during neap and transitional tides, with maxima of 2.5 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ at the surface and 8.3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ at 10 m (Fig. 4). The biggest difference between the two depths was 7 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. As of the fifth day the chlorophyll values for both depths were very similar. This could indicate similar phytoplankton abundances at both levels as a result of mixing by effects of the spring tide. In general, the highest concentrations of chloro-

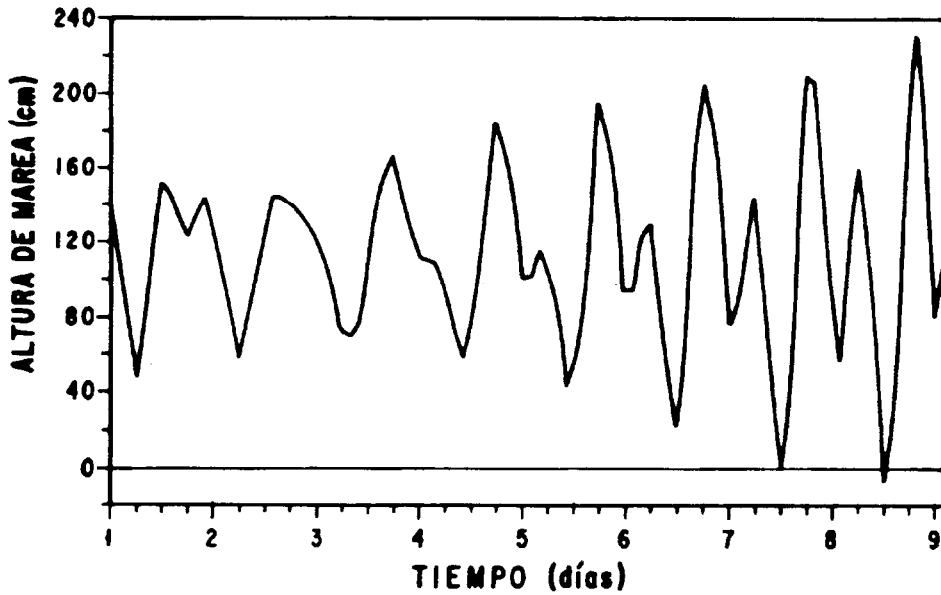


Figura 2. Variación de la altura de marea predicha durante el período muestreado. Los números de las abscisas indican las 18:00 horas de cada día.
Figure 2. Variation of the predicted tide height during the study period. The numbers in the abscissae indicate 18:00 hours of each day.

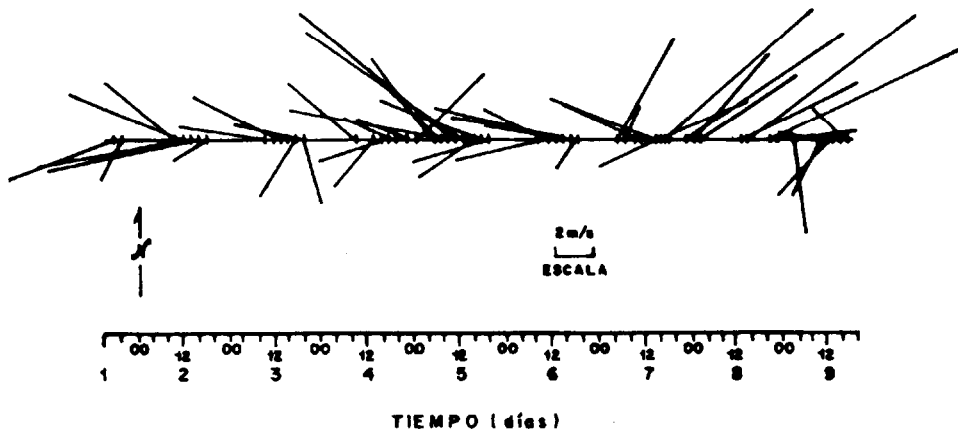


Figura 3. Variación de la magnitud y dirección del viento durante el período muestreado.
Figure 3. Variation of the magnitude and direction of the wind during the study period.

La concentración de clorofila *a* tuvo diferencias entre los valores de superficie y 10 m durante las mareas muertas y de transición, con máximos de 2.5 mg.m⁻³ en superficie y 8.3 mg.m⁻³ a 10 m (Fig. 4). La mayor diferencia entre las dos profundidades fue de 7 mg.m⁻³. A partir del quinto día de muestreo los valores de clorofila para ambas profundidades fueron muy similares; lo cual podría indicar abundancias de fitoplancton semejantes en los dos niveles debido a la mezcla por el efecto de las mareas vivas. En general, las mayores concentraciones de clorofila *a* (8.3 mg.m⁻³) se midieron a 10 m durante las mareas muertas y las menores (0.3 mg.m⁻³) en superficie durante el mismo período (Fig. 4). La clorofila medida a 10 m durante la marea transicional disminuyó 3 mg.m⁻³ en seis horas y a partir de esto no fue muy diferente que la clorofila superficial. Las concentraciones de clorofila en ambas profundidades presentaron pequeñas fluctuaciones durante mareas de transición y vivas; aunque las concentraciones no fueron nunca mayores de 3.0 mg.m⁻³. Durante las mareas muertas se presentó una relación casi directa entre las variaciones de la marea y las concentraciones de clorofila *a*; sin embargo, esta relación se perdió a partir del cuarto día y hasta el final del muestreo.

El seston total y orgánico presentaron una variación irregular con la marea, con máximos aislados durante los períodos de transición y mareas vivas para ambas profundidades (Fig. 5). Los máximos de seston total están relacionados con los valores máximos de material orgánico particulado, en ambas profundidades. Durante el cuarto día el seston inorgánico superficial comprendió a la casi totalidad del seston, sin presentar la misma relación los valores medidos a 10 m. En general, durante las mareas vivas aumentó la variabilidad y la cantidad total del material particulado, tanto orgánico como inorgánico, con valores máximos de seston total entre 5 y 6 g.m⁻³.

La productividad primaria superficial y a 5 m medida al mediodía durante los nueve días del muestreo fue mayor en mareas muertas (4 a 17 mgC.m⁻³.h⁻¹) que durante la transición (0.5 a 11 mgC.m⁻³.h⁻¹), con un incremento en mareas vivas (7 a 13 mgC.m⁻³.h⁻¹) durante los dos últimos días muestreados (Fig. 6a). La variación de la

phyll *a* (8.3 mg.m⁻³) were measured at 10 m and the lowest (0.3 mg.m⁻³) at the surface, both during neap tide (Fig. 4). The chlorophyll measured at 10 m during transitional tide decreased 3 mg.m⁻³ in six hours and, after this, was not very different from the surface chlorophyll. The concentrations of chlorophyll at both depths showed small fluctuations during transitional and spring tides, even though the concentrations were never higher than 3.0 mg.m⁻³. During neap tide, a nearly direct relation was found between the variations of the tide and the concentrations of chlorophyll *a*. However, this relation disappeared on the fourth day and until the end of the study period.

The total and organic seston showed an irregular variation with the tide, with isolated maxima during transitional and spring tides for both depths (Fig. 5). The total seston maxima are related to the maximum values of particulate organic matter at both depths. During the fourth day, the surface inorganic seston made up nearly the total of the seston, while the values measured at 10 m did not show the same relation. In general, variability and the total quantity of particulate matter, both organic and inorganic, increased during spring tide, with maximum values of total seston between 5 and 6 g.m⁻³.

The surface and 5 m primary productivity measured at noon during the nine days of the study period was higher at neap tide (4 to 17 mgC.m⁻³.h⁻¹) than during the transition (0.5 to 11 mgC.m⁻³.h⁻¹), with an increase during spring tide (7 to 13 mgC.m⁻³.h⁻¹) on the last two days (Fig. 6a). The variation of primary productivity was, in general, similar to that of the incubated samples of chlorophyll *a* (Fig. 6c), except that the increase of productivity at the end of the study period was more evident than that of chlorophyll. The assimilation ratio of phytoplankton (*r_a*) was very variable, with the highest values at 5 m during the transition (16.8 mgC.mgchl⁻¹.h⁻¹) (Fig. 6b). The variation of *r_a* at the surface was very similar to primary productivity, since the variation of surface chlorophyll *a* was very low; *r_a* showed an increase in its values at 5 m during transition and the same configuration as that of productivity during spring tide.

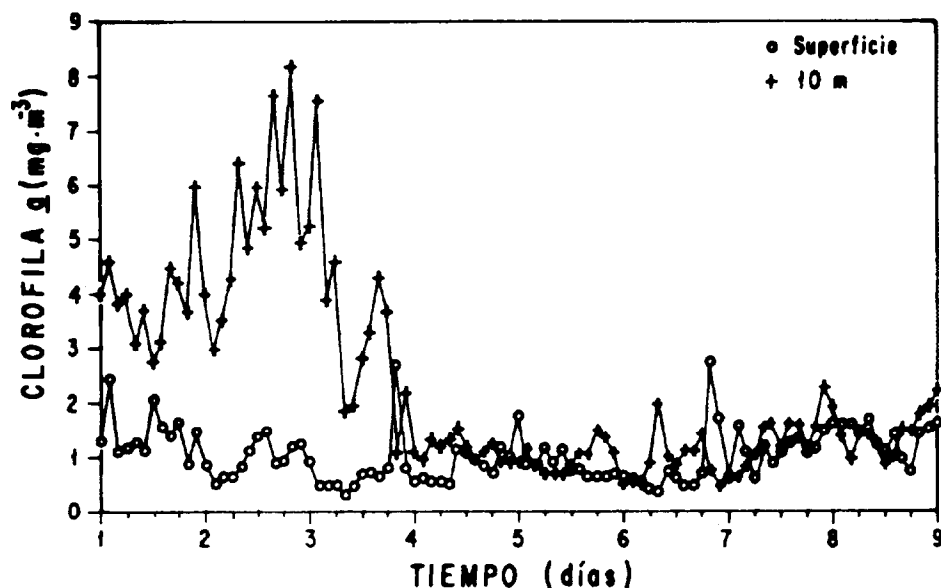


Figura 4. Serie de tiempo de clorofila *a* en superficie (o) y 10 m (+). Los números en las abscisas indican las 18:00 horas de cada día.

Figure 4. Time series of chlorophyll *a* at the surface (o) and 10 m (+). The numbers in the abscissae indicate 18:00 hours of each day.

productividad primaria fue similar en general a la de clorofila *a* de las muestras incubadas (Fig. 6c), excepto que el incremento de productividad al final del muestreo fue más evidente que el de clorofila. La razón de asimilación del fitoplancton (P^*) fue muy variable, con los valores más altos a 5 m de profundidad durante la transición (16.8 $\text{mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) (Fig. 6b). La variación de P^* en la superficie fue muy similar a la productividad primaria, ya que la variación de la clorofila *a* superficial fue muy baja; P^* presentó un incremento de sus valores a 5 m durante transición y la misma configuración que la productividad en mareas vivas.

La variación diurna de la productividad primaria superficial medida durante mareas muertas (27 agosto) fue muy irregular (Fig. 7a). El valor más alto se obtuvo en la muestra de las 11:00 horas ($\sim 11 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) y el más bajo a las 13:00 horas ($\sim 2 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$). La productividad primaria durante el día en mareas vivas se incrementó en las primeras horas de la mañana, con valores constantes ($\sim 10 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) a partir del mediodía (Fig. 7a). Debido a que la concentración de cloro-

The diurnal variation of the surface primary productivity measured during neap tide (27 August) was very irregular (Fig. 7a). The highest value was obtained for the sample taken at 11:00 hours ($\sim 11 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) and the lowest at 13:00 hours ($\sim 2 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$). Diurnal primary productivity at spring tide increased during the first hours of the morning, with constant values ($\sim 10 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$) as of noon (Fig. 7a). Since the concentration of incubation chlorophyll remained constant throughout the day (Fig. 7c), during neap tide ($\sim 1.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) as well as spring tide ($\sim 1.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), the variation of the assimilation ratio for both experiments was very similar to that of primary productivity (Fig. 7b). The highest values of P^* were measured at 11:00 hours, with $11.5 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ for neap tide, and at 15:00 hours with $9.4 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ for spring tide (Fig. 7b).

Primary productivity in the water column measured on 31 August and 1 September showed maxima at 50% I_0 , with 6.4 and 13.3 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ respectively (Fig. 8a). The values of primary productivity per cubic meter in the water column for 31 August were

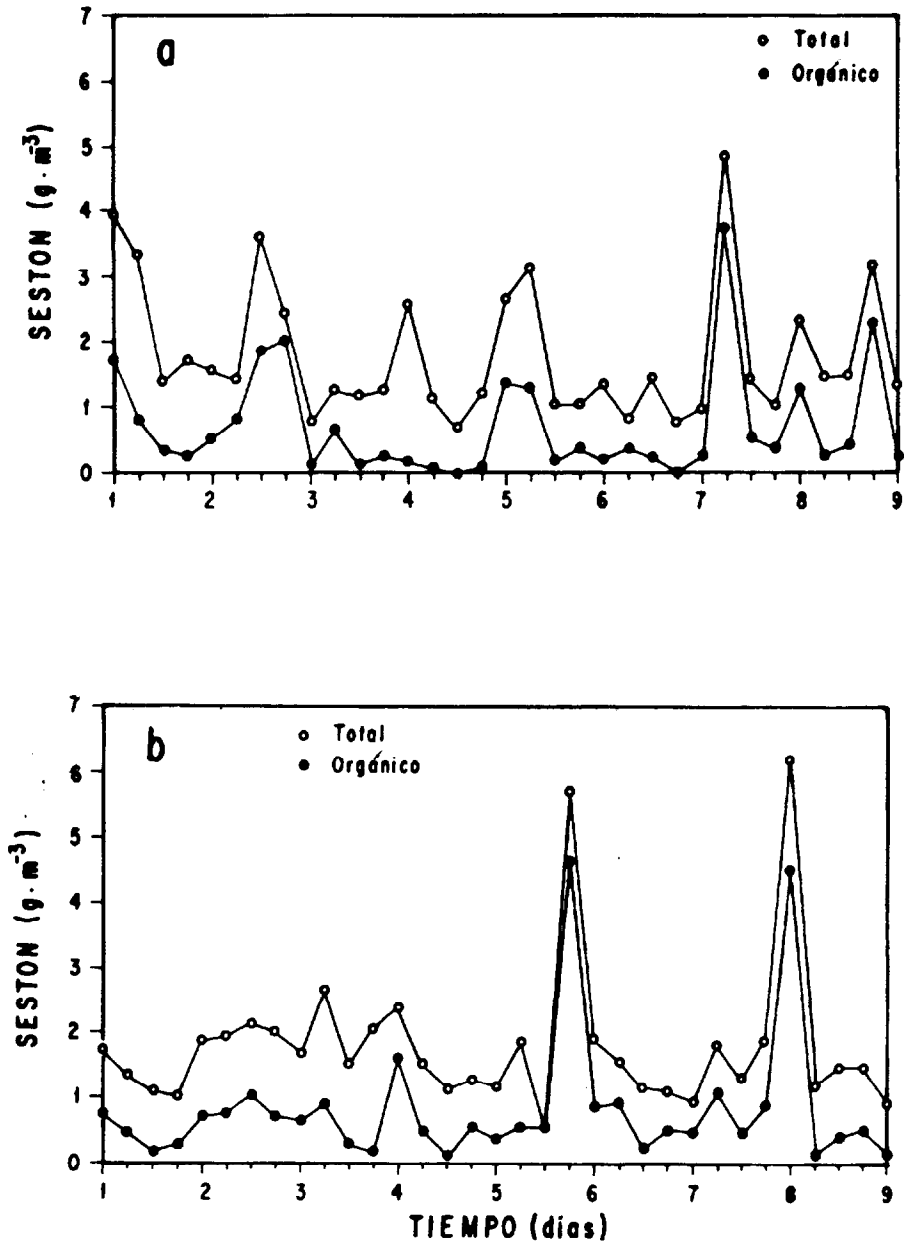


Figura 5. Variación del seston total (o) y orgánico (●) para superficie (a) y 10 m (b) de profundidad. Los números en las abscisas indican las 18:00 horas de cada día.

Figure 5. Variation of total (o) and organic (●) seston for the surface (a) and 10 m (b). The numbers in the abscissae indicate 18:00 hours of each day.

fila de incubación se mantuvo constante durante el día (Fig. 7c), tanto en mareas muertas ($\sim 1.0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) como en mareas vivas ($\sim 1.4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), la variación de la razón de asimilación para ambos experimentos fue muy similar a la de productividad primaria (Fig. 7b). Los valores más altos de P^* se midieron a las 11:00 horas, con $11.5 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para mareas muertas y a las 15:00 horas de $9.4 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para mareas vivas (Fig. 7b).

La productividad primaria en la columna de agua medida el 31 de agosto y 1 de septiembre presentó máximos al 50% de I_0 , con 6.4 y $13.3 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ respectivamente (Fig. 8a). Los valores de productividad primaria por metro cúbico en la columna de agua para el 31 de agosto fueron aproximadamente la mitad que los del 1 de septiembre, con valores de productividad integrada de 44.8 y $165.8 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ respectivamente. Las razones de asimilación variaron de 2.0 a $7.5 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para el 31 de agosto y de 1.0 a $13.1 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ para el 1 de septiembre (Fig. 8b). El valor más alto de P^* se midió al 50% de I_0 el 31 de agosto y al 25% el 1 de septiembre; sin embargo este último fue aproximadamente el doble que el día anterior (Fig. 8b). Los valores de clorofila a de las muestras incubadas tuvieron la tendencia de aumentar con la profundidad para ambos días (Fig. 8c), con concentraciones menores para el 31 de agosto ($0.68\text{-}0.95 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) que para el 1 de septiembre ($0.95\text{-}1.48 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

DISCUSION

La concentración de clorofila a fue hasta ocho veces mayor a 10 m que en la superficie durante las mareas muertas, como resultado del acondicionamiento del fitoplancton a la luz en aguas estratificadas. La concentración de la clorofila a cuando no hubo estratificación vertical fue muy similar en ambas profundidades muestreadas, como un resultado de la mezcla producida por el efecto combinado del viento y la marea. La temperatura entre la superficie y 10 m tuvo una diferencia de hasta 2.8°C durante el período de mareas muertas (Ibarra-Sañudo, 1988), lo cual indicó la presencia de estratificación entre esas profundidades. A partir del cuarto día del muestreo se inició un proceso de mezcla de la columna de agua, con valores homogéneos de

aproximadamente half those of 1 September, with integrated productivity values of 44.8 and $165.8 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ respectively. The assimilation ratios varied from 2.0 to $7.5 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ on 31 August and from 1.0 to $13.1 \text{ mgC}\cdot\text{mgchl}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ on 1 September (Fig. 8b). The highest value of P^* was measured at 50% I_0 on 31 August and at 25% on 1 September. However, the latter was approximately double that of the previous day (Fig. 8b). The values of chlorophyll a of the incubated samples tended to increase with depth on both days (Fig. 8c), with lower concentrations on 31 August ($0.68\text{-}0.95 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) than on 1 September ($0.95\text{-}1.48 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$).

DISCUSSION

The concentration of chlorophyll a during neap tide was up to eight times higher at 10 m than at the surface, as a result of the adaptation of phytoplankton to light in stratified waters. When there was no vertical stratification, the concentration of chlorophyll a was very similar at both depths sampled, as a result of mixing produced by the combined effect of wind and tide. There was a difference in temperature between the surface and 10 m of up to 2.8°C during neap tide (Ibarra-Sañudo, 1988), indicating the presence of stratification between those depths. A mixing process in the water column began as of the fourth day, with homogeneous values of temperature, salinity, dissolved oxygen (Ibarra-Sañudo, 1988) and chlorophyll a . This mixing occurred due to the increase in the intensity of southeasterly winds ($\sim 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), which transported warmer water and with less amounts of chlorophyll a , probably from the interior of the bay.

The start of the spring tide period coincided with intense southwesterly winds (6 to $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), which caused an abrupt decrease in the surface and 10 m temperature (Ibarra-Sañudo, 1988) and strong mixing in the water column without an apparent increase in the concentration of chlorophyll. Apparently, the combined action of wind and tide mixed deeper waters with low concentrations of chlorophyll. According to Serrano-Guzmán and Amador-Buenrostro (1987), southerly winds with velocities similar to those measured during this study can transport surface water from the exterior of the bay, entering by the

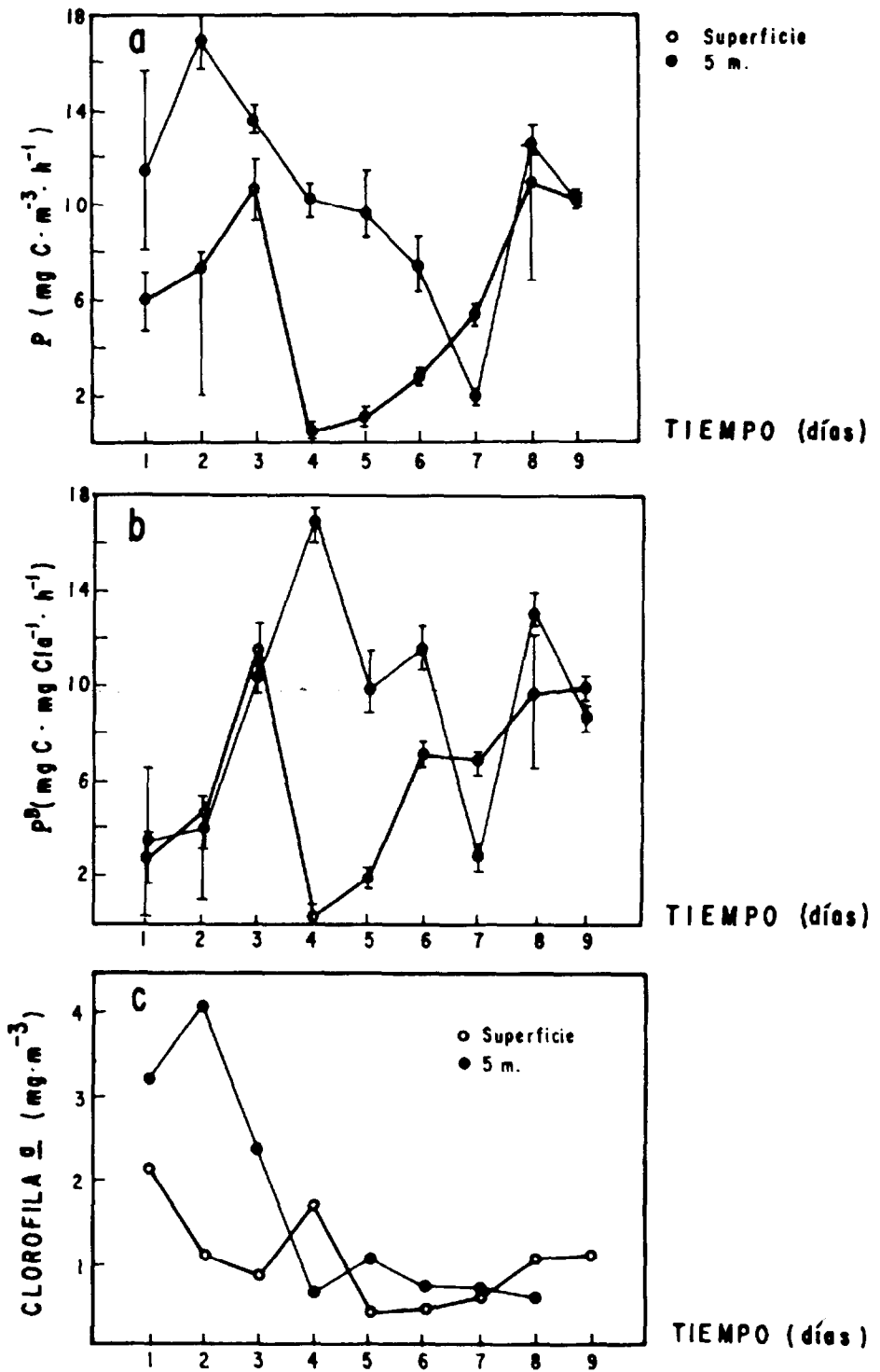


Figura 6. Productividad primaria (a), razón de asimilación (b) y clorofila *a* de las muestras incubadas (c) durante el mediodía, para superficie (○) y 5 m de profundidad (●). Los símbolos indican el valor promedio y las barras el intervalo de las tres determinaciones.

Figure 6. Primary productivity (a), assimilation ratio (b) and chlorophyll *a* of the incubated samples (c) at noon, for the surface (○) and 5 m (●). The symbols indicate the average value and the bars the ranges of the three determinations.

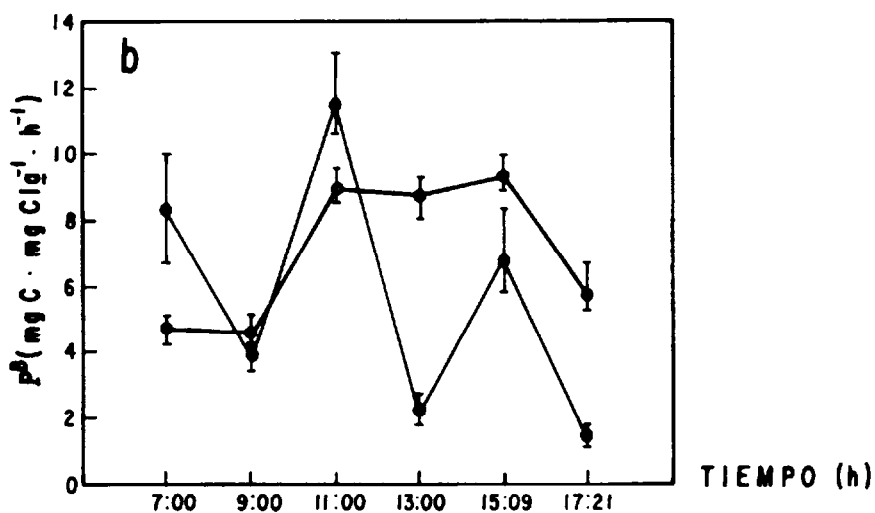
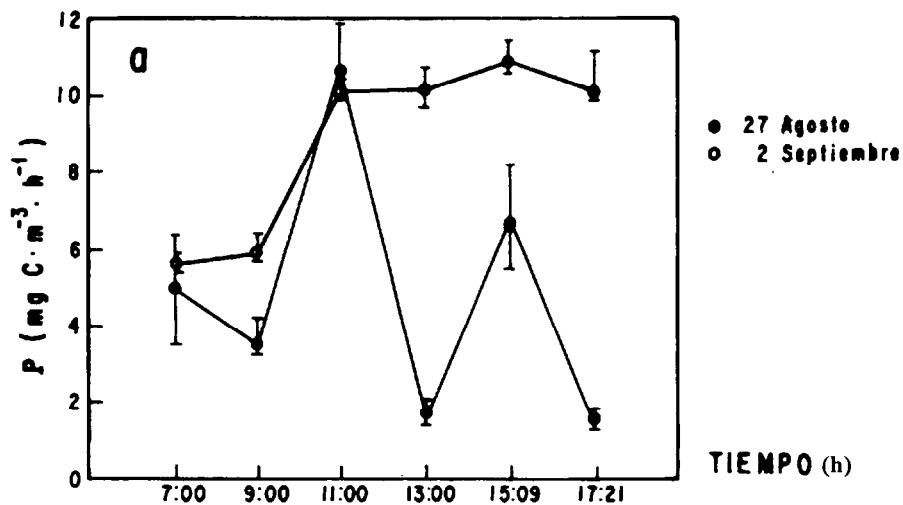


Figura 7. Variación diurna superficial de: (a) productividad primaria, (b) razón de asimilación y (c) clorofila *a* de las muestras incubadas durante mareas muertas (●) y mareas vivas (○). Los símbolos indican el promedio, y las barras el intervalo de tres determinaciones.

Figure 7. Diurnal surface variation of: (a) primary productivity, (b) assimilation ratio and (c) chlorophyll *a* of the incubated samples, during neap tide (●) and spring tide (○). The symbols indicate the average and the bars the ranges of the three determinations.

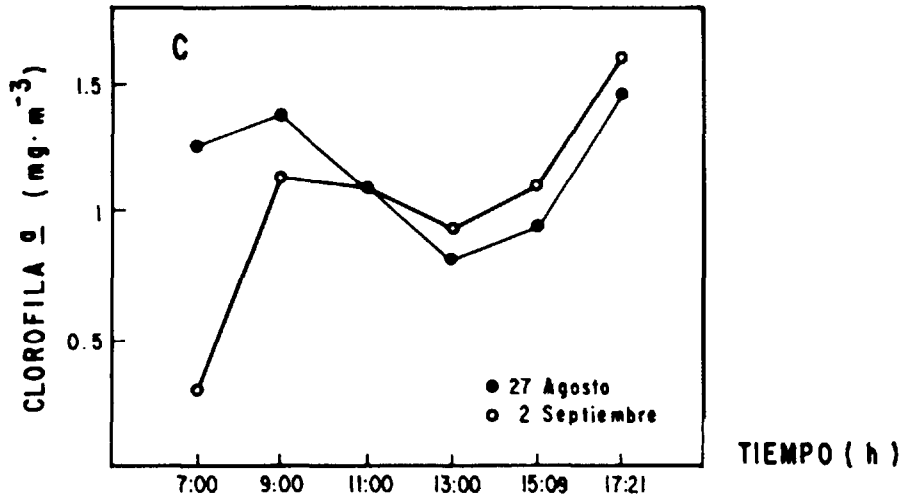


Fig. 7 (Cont.)

temperatura, salinidad, oxígeno disuelto (Ibarra-Sañudo, 1988) y clorofila *a*. Esta mezcla se originó por el incremento en la intensidad del viento ($\sim 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) proveniente del sureste, el cual transportó agua más caliente y con menor contenido de clorofila *a*, probablemente del interior de la bahía.

El inicio del período de mareas vivas coincidió con viento intenso ($6 \text{ a } 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) proveniente del suroeste, el cual originó una disminución abrupta de la temperatura en superficie y 10 m (Ibarra-Sañudo, 1988) y una fuerte mezcla en la columna de agua sin un incremento aparente en la concentración de clorofila. Al parecer, la acción combinada del viento y la marea mezcló agua más profunda con bajas concentraciones de clorofila. De acuerdo con Serrano-Guzmán y Amador-Buenrostro (1987), viento con componente del sur y con las velocidades medidas durante este muestreo puede transportar agua superficial del exterior de la bahía, la cual ingresa por la boca sur y sale por la norte. Este proceso de transporte no se desarrolla en lagunas costeras y bahías con una sola boca, en donde la corriente de marea es el principal factor de la advección.

El efecto de la marea sobre la variabilidad de la clorofila sólo fue evidente en los primeros cuatro días del muestreo, antes de la intensificación del viento. Esto parece indicar

southern and exiting by the northern mouth. This transportation process does not occur in coastal lagoons and bays with only one mouth, where the tidal current is the principal advection factor.

The effect of the tide on the variability of chlorophyll was only evident during the first four days, before the intensification of the wind. This seems to indicate a transportation of phytoplankton from the contiguous Canal de Ballenas towards the interior of the bay, which changes abruptly when the wind blows from different directions and with variable intensities.

The average concentration of surface chlorophyll *a* ($\sim 1.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) was five times higher than the mean reported by Gilmartin and Revelante (1978) for this bay during the summer of 1972. The average concentration of chlorophyll *a* measured in this work was similar to that reported for Willard Bay on the northwestern coast of the Gulf of California by Merino-Paredes (1987), in a study of diurnal variation carried out in the summer of 1985. The chlorophyll measured at 10 m was three times higher than that estimated for the same depth during the summer of 1982 in the zone of the Canal de Ballenas by Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro (1988). However, the surface chlorophyll values reported by

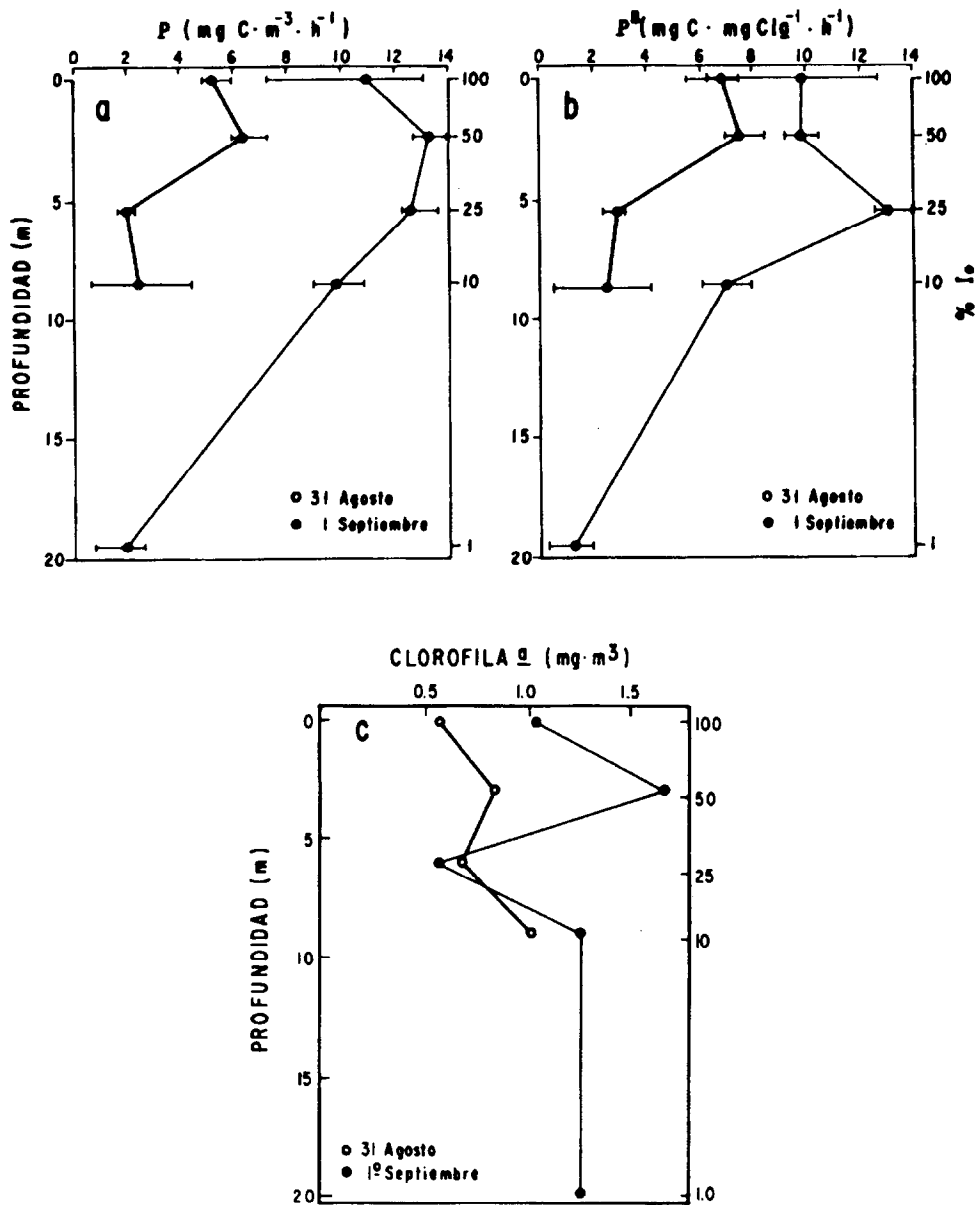


Figura 8. Productividad primaria (a), razón de asimilación (b) y clorofila *a* de las muestras incubadas (c) en la columna de agua para 31 de agosto (o) y 1 de septiembre (●) de 1986. Los símbolos indican el promedio y las barras el intervalo de tres determinaciones.

Figure 8. Primary productivity (a), assimilation ratio (b) and chlorophyll *a* of the incubated samples (c) in the water column for 31 August (o) and 1 September (●), 1986. The symbols indicate the average and the bars the ranges of the three determinations.

un transporte del fitoplancton del Canal de Ballenas contiguo hacia el interior de la bahía; el cual cambia abruptamente cuando el viento se hace presente con diferentes direcciones e intensidades variables.

La concentración promedio de la clorofila *a* superficial ($\sim 1.5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) fue cinco veces mayor a la media reportada por Gilmartin y Revelante (1978) para esta bahía durante el verano de 1972. La concentración promedio de clorofila *a* medida en este trabajo fue similar a la reportada para Bahía Willard en la costa noroeste del Golfo de California por Merino-Paredes (1987), en un estudio de variación diurna realizado en verano de 1985. La clorofila medida a 10 m fue tres veces mayor a la estimada para la misma profundidad durante el verano de 1982 en la zona del Canal de Ballenas por Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988). Sin embargo, los valores de clorofila superficial reportados por estos autores ($3.47 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) son ligeramente mayores a los medidos en este trabajo. Al parecer se presentan condiciones características de esta área, donde la marea y el efecto del viento son los principales reguladores de la variabilidad de la biomasa del fitoplancton.

La alta concentración de seston total ($1 \text{ a } 4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) parece estar relacionada con la cercanía a la costa del punto de muestreo y la facilidad con la que es resuspendido el material orgánico e inorgánico por la acción de las mareas y el viento. Algunos máximos del seston total están asociados al incremento en la velocidad del viento, sobre todo durante el séptimo día del muestreo (Figs. 5a y 5b). Estos valores de seston total son cerca de un orden de magnitud mayor al promedio estimado por Zeitzschel (1970) durante el invierno de 1968 en el Golfo de California y la zona del Canal de Ballenas. Este autor reportó que el detritus total contribuye con cerca del 89% al total del material particulado. Merino-Paredes (1987) midió una alta concentración y variabilidad del seston total en Bahía Willard durante el verano de 1985. Los valores más altos reportados por ella son dos veces mayores a los encontrados en este estudio.

La mayor productividad primaria medida durante las mareas muertas y con intensidad del viento menor a $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, parece estar asociada a la estabilidad de la columna de

these authors ($3.47 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) are slightly higher than those recorded in this work. Apparently, conditions characteristic to this area occur, where the tide and effect of the wind are the main regulators of the variability of phytoplankton biomass.

The high concentration of total seston ($1 \text{ to } 4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$) seems to be related to the proximity of the sampling station to the coast and to the facility with which organic and inorganic matter is resuspended by the action of the tide and wind. Some maxima of the total seston are associated to increases in wind velocity, especially during the seventh day (Figs. 5a and 5b). These values of total seston are nearly an order of magnitude greater than the average estimated by Zeitzschel (1970) during the winter of 1968 in the Gulf of California and the Canal de Ballenas. This author reported that the total detritus contributes nearly 89% of the total of particulate matter. Merino-Paredes (1987) measured a high concentration and variability of the total seston in Willard Bay during the summer of 1985. The highest values reported by this author are twice as high as those found in this study.

The highest primary productivity measured during neap tide and with wind intensity below $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, seems to be associated to the stability of the water column, allowing the phytoplankton to adapt to light. The highest productivity values at 5 m are related to the adaptation to light of the phytoplankton at that depth and not to an increase in the productivity per unit biomass since the values of the assimilation ratio (P^*) (Fig. 6b) were similar to those of the surface. Apparently, the strong mixing generated first by the wind and later by tidal action caused a decrease in the primary productivity but an increase in the assimilation ratio. Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro (1988), in a study on the phytoplankton from the Gulf of California, concluded that extreme turbulence and stratification result in lower values of the assimilation number (P^*) in comparison to moderate turbulence which increases them.

During neap tide there was large variability in the diurnal surface primary productivity, which was more homogeneous during spring tide. Apparently this variability could

agua, lo que permite al fitoplancton acondicionarse a la luz. Los valores de productividad más altos a 5 m están relacionados con el tiempo de residencia del fitoplancton a esa profundidad y su acondicionamiento a la luz, y no con un incremento en la productividad por unidad de biomasa, ya que los valores de la razón de asimilación (P^*) (Fig. 6b) fueron similares a los de superficie. Al parecer la fuerte mezcla generada primeramente por el viento y después por la acción de las mareas causó una disminución en la productividad primaria, pero un aumento en la razón de asimilación. Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988) en un estudio del fitoplancton del Golfo de California, concluyeron que la turbulencia extrema y la estratificación dan como resultado valores más bajos del número de asimilación (P^*) en comparación con la turbulencia moderada la cual los incrementa.

Durante las mareas muertas se presentó una gran variabilidad de la productividad primaria superficial medida durante el día, la cual fue más homogénea en las mareas vivas. Al parecer esta variabilidad podría estar asociada al petacheo (heterogeneidad) de la distribución del fitoplancton, los cuales se reportan en otro trabajo. El valor promedio de P^* en mareas vivas fue ligeramente mayor que en mareas muertas, sin una diferencia aparente entre ellos para las primeras horas de la mañana. Los valores más altos de la razón de asimilación fueron aproximadamente dos veces mayores que los números de asimilación promedio ($5.7 \text{ mgC.mgchl}^{-1}.\text{h}^{-1}$) reportados para esta bahía por Gilmartin y Revelante (1978) en agosto de 1972 y similares a los de Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988) para junio de 1982 en el Canal de Ballenas.

Una evidencia de la alta variabilidad que se presenta en esta zona fue el resultado de los experimentos de productividad primaria que se hicieron el 31 de agosto y el 1 de septiembre (Fig. 8). Los valores de productividad primaria integrada fueron cuatro veces mayores para el día 1 de septiembre, con una mayor razón de asimilación a todas las profundidades; sin embargo, fueron tres veces menores que los reportados por Gaxiola-Castro y Alvarez-Borrego (1986) para una estación al sur del Canal de Ballenas en junio de 1982. Los valores de P^* para el 1 de septiembre fueron similares a los de P^* reportados por

be associated to patchiness (heterogeneity) in the distribution of the phytoplankton, reported elsewhere. The average value of P^* during spring tide was slightly higher than during neap tide, without an apparent difference between them for the first hours of the morning. The highest values of the assimilation ratio were approximately two times higher than the values of average assimilation ($5.7 \text{ mgC.mgchl}^{-1}.\text{h}^{-1}$) reported for this bay by Gilmartin and Revelante (1978) in August 1972 and similar to those of Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro (1988) for the Canal de Ballenas in June 1982.

Evidence of the high variability which occurs in this zone was the result of the experiments on primary productivity carried out on 31 August and 1 September (Fig. 8). The values of integrated primary productivity were four times higher for 1 September, with a higher assimilation ratio at all depths. However, they were three times lower than those reported by Gaxiola-Castro and Alvarez-Borrego (1986) for a station to the south of the Canal de Ballenas in June 1982. The P^* values for 1 September were similar to those of P^* reported by Alvarez-Borrego and Gaxiola-Castro (1988) for the Canal de Ballenas in June 1982, with a similar decrease in relation to depth. These authors reported that this station was one of moderate turbulence and it had one of the highest values of the assimilation number ($\sim 9 \text{ mgC.mgchl}^{-1}.\text{h}^{-1}$).

Due to the dynamics present in the study area and to the short study period, it was not possible to adequately characterize the relation between the physical processes and the variations in the phytoplankton. Sporadic events of strong winds (greater than 10 m.s^{-1}) occurring in the area do not allow the results to be associated to physical processes, in which periodicity (tide, day-night) has been demonstrated. However, these apparently aperiodic wind events are the factors which mostly determine the variability and transportation of the phytoplankton in the bay.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the students from the Facultad de Ciencias Marinas, UABC, who helped

Alvarez-Borrego y Gaxiola-Castro (1988) para el Canal de Ballenas en junio de 1982, con una disminución similar con respecto a la profundidad. Esta estación fue reportada por estos autores como de turbulencia moderada y tuvo uno de los valores del número de asimilación más altos ($\sim 9 \text{ mgC.mgcl}^{-1}.\text{h}^{-1}$).

Debido a la dinámica presente en el área de estudio y al corto período muestreado, no fue posible caracterizar adecuadamente la relación entre los procesos físicos y las variaciones en el fitoplancton. Eventos esporádicos de fuertes vientos (mayores a 10 m.s^{-1}) que se presentan en la zona, hacen que los resultados no puedan ser asociados a procesos físicos, en los cuales se ha demostrado su periodicidad (mareas, día-noche). Sin embargo, estos eventos de vientos aparentemente aperiódicos, son los factores que determinan en mayor grado la variabilidad y el transporte del fitoplancton en la bahía.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la ayuda durante el muestreo de estudiantes y tesis de la Facultad de Ciencias Marinas, particularmente a Albino Muñoz quien nos auxilió durante los experimentos. Francisco Delgadillo, Salvador Galindo y Gustavo González por su apoyo durante el trabajo de campo. Este estudio fue financiado por la Secretaría de Educación Pública bajo convenio 87-01-0138. El primer autor tuvo una beca-tesis de la UABC. Este trabajo se desarrolló durante el período sabático del segundo autor en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas, el cual contó con el apoyo de la UABC.

LITERATURA CITADA

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

Alvarez Borrego, S. and Gaxiola Castro, G. (1988). Photosynthetic parameters of northern Gulf of California phytoplankton. *Continental Shelf Res.*, 8: 37-47.

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

during the sampling period, particularly Albino Muñoz who helped with the experiments. Francisco Delgadillo, Salvador Galindo and Gustavo González for their assistance during the field work. This study was financed by the Secretaría de Educación Pública, project No. 87-01-0138. The first author had a scholarship from the UABC. The second author was on sabbatical leave at the Instituto de Investigaciones Oceanológicas when this work was carried out and acknowledges the support received from the UABC.

English translation by Christine Harris.

Alvarez Sánchez, L.G., Badan Dagon, A. and Robles, J.M. (1984). Langragian observations of near-surface currents in Canal de Ballenas. *CalCOFI Rep.* XXV: 35-42.

Badan Dagon, A., Koblinsky, C.J. and Baumgartner, T. (1985). Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanol. Acta*, 8: 13-22.

Banse, K., Falls, C.P. and Hobson, L.A. (1963). A gravimetric method for determining suspended matter in seawater using millipore filters. *Deep-Sea Res.*, 10: 639-642.

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.

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

Gilmartin, M. and Revelante, N. (1978). The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Est. Coast. Marine Science*, 7: 29-47.

Ibarra Sañudo, S. (1988). Serie de tiempo de variables hidrológicas al norte de Bahía de los Angeles, B.C., condiciones de verano. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, 58 p.

Merino Paredes, M.I. (1987). Variación estacional de la productividad primaria, clorofila y seston en Bahía Willard, costa oeste del Golfo

de California. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, UABC, 68 p.

Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C.M. (1984). A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 p.

Peterson, R.E. (1977). A study of suspended particulate matter. Arctic Ocean and Northern Oregon Continental Shelf. Ph.D. Thesis, Oregon State University, 122 p.

Serrano Guzmán, 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.

Zeitzschel, B. (1970). The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the Gulf of California. *Marine Biology*, 7: 305-318.