

VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON
EN UNA LAGUNA COSTERA, A FINALES DE VERANO.

por:

Eduardo Millán Nuñez
Estación de Investigación Oceanográfica
Dirección General de Oceanografía
Secretaría de Marina
Adolfo López Mateos y Balboa
Ensenada, Baja California, México.

Felipe de Jesús Ortiz Cortéz
y
Saúl Alvarez Borrego
Departamento de Oceanografía
Centro de Investigación Científica y
de Educación Superior de Ensenada, B.C.
Espinoza 843
Ensenada, Baja California, México.

RESUMEN

Se generaron series de tiempo de diez días de marea, salinidad, temperatura, fosfato, silicato, clorofila a, b y c, y sus feofitinas, abundancia de fitoplancton, productividad del fitoplancton, transparencia del agua y velocidad del viento, en la boca y en un punto interior del Estero de Punta Banda, Baja California, México, en verano de 1979. Las muestras se tomaron cada dos horas, con excepción del fitoplancton y nutrientes que se tomaron cada cuatro horas. Esto se hizo para describir la variación espacial y temporal de estas propiedades ecológicas y dilucidar los principales factores que causan esta variación. Dadas las condiciones apropiadas en la dinámica de la Bahía de Todos Santos, al fondo de la cual se encuentra el Estero, el agua de surgencia de la zona oceánica adyacente es acarreada hasta la región frente a la boca del Estero, y luego a su interior por las corrientes de marea. Esta agua ha sido condicionada en la trayectoria para una mayor productividad del fitoplancton, y llega al Estero con relativamente bajas temperaturas y concentraciones de nutrientes, y altas abundancias de fitoplancton, clorofila a y productividad primaria. En el extremo interno del Estero, la remineralización de nutrientes en los sedimentos y el efecto de la turbulencia inducida por el viento y las corrientes de marea incrementa la concentración de nutrientes en las aguas superficiales. Comparando la información disponible sobre concentraciones de nutrientes limitantes para el crecimiento del fitoplancton con nuestros datos,

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

se sugiere que los nutrientes en el Estero no fueron limitantes durante el período de muestreo. Los gradientes horizontales de las diferentes propiedades del agua de mar fueron más intensos en el extremo interno del Estero que en la región cercana a la boca. La abundancia de fitoplancton en el punto interior de muestreo fué en general menor que la de la boca del Estero, debido a una mayor turbidez del agua; mientras que las concentraciones de clorofila a y la productividad del fitoplancton fueron similares en ambos puntos. La productividad fué comparable a las productividades máximas de las aguas de surgencias costeras en otras regiones del mundo. Las diatomeas fueron en general el grupo fitoplanctónico más abundante en ambos puntos de muestreo. La incidencia de las aguas de surgencia en el Estero fué más importante que la secuencia de mareas vivas y muertas en la variación de baja frecuencia (<0.01 cph) de las propiedades ecológicas. Las mareas fueron la causa principal de las amplias variaciones diurnas y semidiurnas. La clorofila a presentó una variación diurna mayor que la semidiurna, quizá por el efecto del ciclo de radiación solar.

ABSTRACT

Sea level, salinity, temperature, phosphate, silicate, chlorophylls a, b and c, and their phaeophytins, phytoplankton abundance, phytoplankton productivity, Secchi disk readings and wind velocity time series were generated for the mouth and one interior location of Estero de Punta Banda, a coastal lagoon of Baja California, México, for ten days during summer of 1979. Samples were taken once every two hours, with the exception of phytoplankton and nutrients, which were taken once every four hours. This was done to describe space and time variability of these ecological properties and to elucidate the main factors that cause this variability. Given the appropriate conditions of the Todos Santos Bay dynamics, upwelled water from the adjacent oceanic region is carried to the area off the Estero's mouth, and then into the Estero by tidal currents. The Estero is inside Todos Santos Bay. During the trajectory to the Estero, upwelled water is conditioned for higher phytoplankton productivity. It arrives to the Estero with relatively low temperatures and nutrient concentrations, and high chlorophyll a concentrations, abundance of phytoplankton and primary productivity. At the extreme of the Estero, nutrient remineralization at the sediments, and the effect of turbulence induced by tidal currents and winds, increase nutrient concentrations in surface waters. In comparison with available information on nutrients limited growth of planktonic algae, nutrients seemed not to be limiting to phytoplankton growth during the sampling period. Horizontal gradients of the different seawater properties were greater in the extreme of the Estero than near the mouth. Phytoplankton

cell abundances at the extreme of the Estero in general were lower than at the mouth, due to greater turbidity; at the same time, chlorophyll a concentrations and phytoplankton productivity were similar at both sampling points. Productivity was comparable to the productivity maxima of other upwelling coastal areas of the world. Diatoms were in general the most abundant phytoplanktonic group at both sampling points. Incidence of upwelling waters in the Estero was more important than the sequence of spring and neap tides, in producing low frequency (<0.01 cph) temporal variability of ecological properties in the Estero. Tides were the main factor causing diurnal and semidiurnal variability. Chlorophyll a presented a diurnal variability larger than the semidiurnal one, possibly due to the effect of the solar radiation cycle.

INTRODUCCION

Desde el comienzo de la década de los setentas, ha habido un interés creciente por el desarrollo de la maricultura en las lagunas costeras de Baja California. La mayoría de estas lagunas están prácticamente en su estado natural. Algunas comienzan a ser alteradas principalmente por desarrollos turísticos y pequeños campos de pescadores ribereños. Todavía existe la oportunidad de llevar a cabo estudios ecológicos básicos en ellas, antes de que ocurran cambios significativos por las actividades del hombre. Estos estudios pueden darnos la base contra la cual hacer comparaciones con condiciones del futuro. Se pueden tomar medidas preventivas de la degradación de su ecología si las comparamos con lagunas costeras de zonas muy desarrolladas en el sur de California. El Estero de Punta Banda es una de las lagunas costeras con mayor desarrollo turístico en la península de Baja California. Los objetivos de este trabajo fueron el estudiar el Estero para determinar el efecto de las mareas diurnas y semidiurnas, de la alternancia de mareas vivas y muertas, y de otros factores físicos tales como la dinámica de Bahía Todos Santos en la variabilidad espacial y temporal de corto período de nutrientes inorgánicos, abundancia de fitoplancton y su productividad orgánica, a finales de verano. Se han realizado estudios similares en invierno en el Estero de Punta Banda, y en verano en Bahía San Quintín (Millán Nuñez y Alvarez Borrego, 1978; Zertuche González y Alvarez Borrego, 1978; Alvarez Borrego y Nájera de Muñoz, 1979; Lara Lara, Alvarez Borrego y Small, 1980; y Millán Nuñez, Alvarez Borrego y Nelson, en prensa). Esto nos permitirá hacer comparaciones para conocer mejor la dinámica estacional del Estero y su fertilidad relativa con respecto a otras lagunas costeras.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

AREA DE ESTUDIO

El Estero de Punta Banda se localiza entre $31^{\circ}42'$ - $31^{\circ}47'N$ y $116^{\circ}37'$ - $116^{\circ}40'W$, en la costa del Pacífico de Baja California, en el extremo sureste de Bahía Todos Santos, a 13 km de Ensenada (Fig. 1). El Estero tiene forma de L. En el extremo principal se extiende un solo canal, a lo largo del cual la profundidad va decreciendo hacia el vértice de la L, de 7.5 m a 1 m en forma no uniforme. El área superficial y el volumen total del Estero son respectivamente: 3.6 km^2 y $5.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ en bajamar media inferior; y 11.6 km^2 y $17.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ en pleamar media superior. El ancho promedio del Estero es ~ 345 m en bajamar media inferior, aumentando a ~ 1100 m en pleamar media superior; con extensas zonas de bajos que se cubren y descubren cíclicamente con el flujo y reflujo (Pritchard, De la Paz Vela, Cabrera Muro, Farreras Sanz y Morales, 1978). Esto provee las condiciones para el desarrollo de dos tipos de macrovegetación dominante. Uno es el pasto marino, *Zostera marina*, que forma amplios y densos desarrollos ocupando la mayor parte del fondo lodoso del Estero. El otro es flora de marisma de extenso desarrollo en las márgenes bajas y sujeta a inundaciones de marea.

La boca de entrada es permanente, y se encuentra aproximadamente a 14 km de la zona de surgencias de Punta Banda, que está fuera de Bahía Todos Santos. Bakun (1973) calculó índices de surgencia para la costa occidental de Norteamérica. Sus resultados muestran que hay condiciones favorables de surgencia a través de todo el año para las latitudes entre 27° y $33^{\circ}N$. Los índices máximos de surgencia ocurren de marzo a junio. Datos de temperatura sugieren que el agua de surgencia de la zona de Punta Banda es acarreada algunas veces, en primavera y verano, por corrientes costeras hasta la zona frente a la boca del Estero, y luego a su interior por las corrientes de marea. Esta agua llega al Estero modificada por procesos físicos y bioquímicos en la trayectoria (Alvarez Borrego y Alvarez Borrego, en prensa). Estos autores registraron las más altas temperaturas de un año de observaciones en el Estero hacia finales de septiembre, y lo atribuyeron a una todavía alta radiación solar acoplada con índices de surgencia relativamente bajos en ese mes.

El Estero se clasifica en general como laguna neutra de acuerdo con Pritchard (1967). Las densidades de sus aguas son casi iguales a las de Bahía Todos Santos, y el movimiento del agua es causado solamente por las mareas y el viento. El Es-

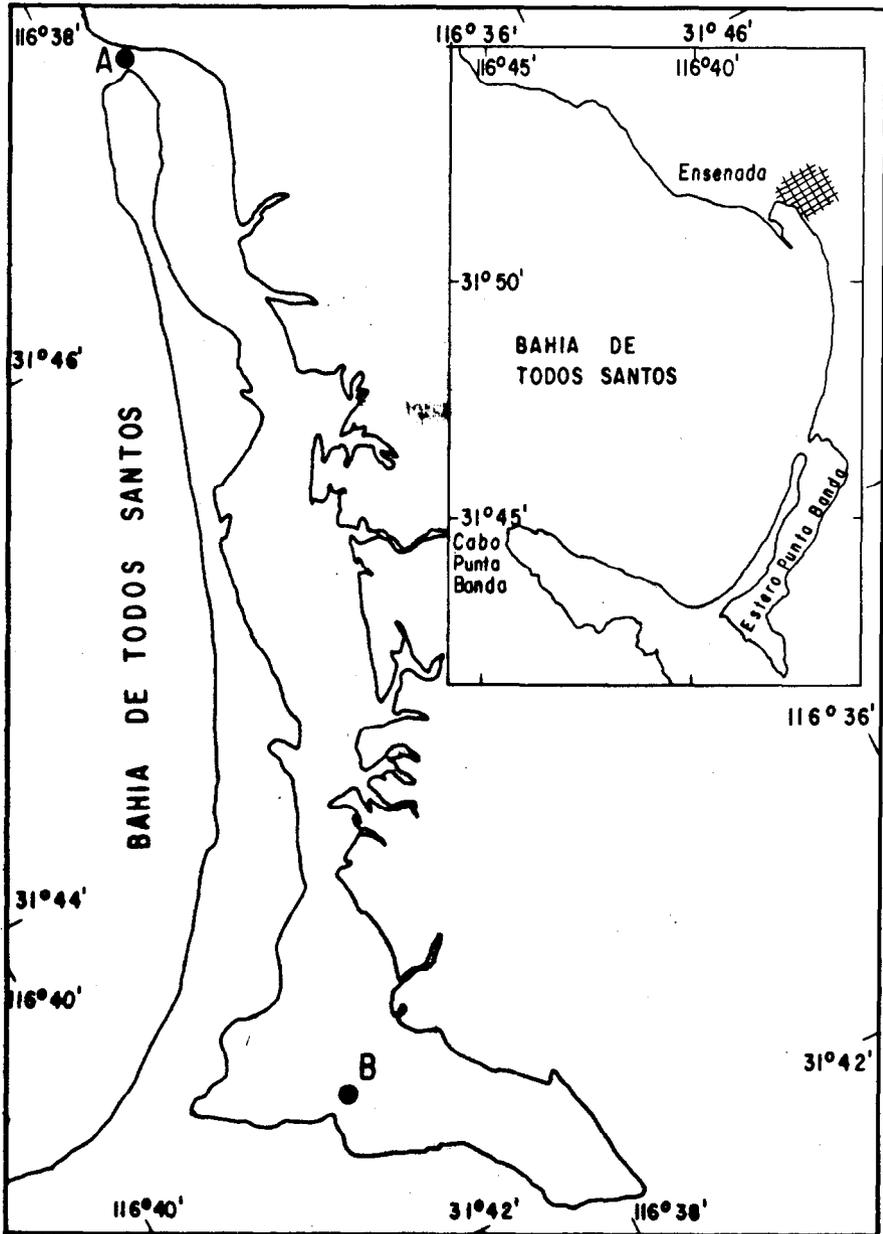


Fig. 1 Localización del área de estudio y los puntos de muestreo A y B.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

tero es una cuenca de evaporación, no tiene aporte continuo de agua dulce. Sin embargo, con las lluvias de invierno puede haber un aporte considerable. Esto ocurrió de manera muy significativa con las elevadas lluvias de los inviernos de 1978 a 1980. En general, durante todo el año existen gradientes horizontales de salinidad y temperatura con valores aumentando hacia el interior del Estero (Acosta Ruíz y Alvarez Borrego, 1974; Celis Ceceña y Alvarez Borrego, 1975; Alvarez Borrego y Alvarez Borrego, en prensa).

Resultados de muestreos no simultáneos, cubriendo todo el Estero en ocho horas una vez al mes, mostraron concentraciones de fosfato y silicato más altas en verano que en invierno en el extremo interno, los valores de la región de la boca al vértice de la L fueron similares todo el año; en verano se detectó un gradiente de estos nutrientes, con valores aumentando ligeramente de la boca al vértice de la L y luego abruptamente hacia el extremo interno; el nitrato no presentó gradientes claros en ningún mes y sus valores fueron similares todo el año (Sánchez Hernández, 1978).

El gradiente vertical de temperatura en la boca del Estero cambia con las corrientes de marea. En general la temperatura disminuye con la profundidad. Con altas velocidades de corriente de marea el gradiente a menudo se anula por turbulencia, y algunas veces se invierte por períodos muy cortos con agua más fría en la superficie. En mareas muertas el agua de superficie es del orden de 4°C más caliente que la de fondo, en verano. Generalmente no hay un gradiente vertical de salinidad; cuando existe, la salinidad es mayor en la superficie (Alvarez Borrego, Acosta Ruíz y Lara Lara, 1977). En una serie de tiempo de 26 horas, con muestras cada dos horas, en primavera, se observó que la concentración de clorofila a generalmente disminuye con la profundidad. En algunos casos el gradiente fué cero o se invirtió (Alvarez Borrego, Lara Lara y Acosta Ruíz, 1977).

MÉTODOS Y MATERIALES

Se generaron series de tiempo mediante muestreos realizados día y noche, simultáneamente en dos puntos: la boca del Estero y el vértice de la L (puntos A y B, Fig. 1), del 1 al 11 de septiembre de 1979. Solamente se hicieron muestreos de superficie. Las temperaturas se leyeron cada dos horas con termómetros de cubeta. También cada dos horas, se tomaron muestras para análisis de salinidad, clorofilas a, b y c y sus feofitinas; y durante el día se tomaron lecturas del disco de Sechii. Cada cuatro horas se tomaron muestras para análisis de fosfato y silicato, y de abundancia de fitoplancton. La salinidad se analizó mediante un salinómetro Beckman, modelo

118 WA200. Las muestras de clorofila se obtuvieron usando filtros Milipore^R de poro de 0.45 μm . Los filtros se congelaron para ser transportados al laboratorio del CICESE en Ensenada. El análisis de los pigmentos fué realizado básicamente por el método SCOR-UNESCO (1966), con algunas modificaciones. De acuerdo con Lorenzen (1967), después de acidificar se hicieron segundas lecturas a 665, 645 y 630 nm. Se utilizó una solución de 1 a 1 en volúmen, de acetona al 90% y sulfóxido de dimetilo, para mejorar la extracción de los pigmentos (Shoaf y Lium, 1976). Se utilizaron las ecuaciones espectrofotométricas desarrolladas por Millán Nuñez y Alvarez Borrego (1978) para estimar las concentraciones de las clorofilas a, b y c y sus feofitinas. La ecuación de la clorofila a es exactamente igual a la propuesta por Lorenzen (1967), debido a que las razones clorofila b: feofitina b y clorofila c: feofitina c son igual a uno.

Inmediatamente después de tomar las muestras de nutrientes se les agregaba tres gotas de solución saturada de HgCl_2 . Luego se congelaban para después ser transportadas al laboratorio en Ensenada. Para el análisis se utilizaron los métodos descritos por Strickland y Parsons (1972), y un espectrofotómetro Spectronic UV-210 digital de Shimadzu y Bausch & Lomb.

La abundancia de fitoplancton por grandes grupos taxonómicos se determinó por el método de Utermöhl (1958), usando un microscopio invertido American Optical, modelo 1810.

Tres veces al día, durante las horas con luz, se realizaron incubaciones de muestras superficiales (0.5 m) de agua con carbono 14, de una hora de duración, en marea alta, intermedia y baja. Las muestras para las incubaciones de carbono 14 no fueron tomadas de los mismos muestreos de clorofila y fitoplancton. Después de las incubaciones, las muestras se obtuvieron en filtros Milipore^R de poro de 0.45 μm . La radioactividad se midió por centelleo líquido en la Escuela de Oceanografía de la Universidad Estatal de Oregon, en Corvallis. El carbono 14 inorgánico se purgó con nitrógeno antes de medir la radioactividad. La conversión de radioactividad a productividad orgánica se hizo como se describe en Strickland y Parsons (1972).

La altura de la marea se tomó de mareogramas generados por el grupo de Dinámica de Lagunas Costeras del CICESE. La velocidad del viento se midió en una estación meteorológica a 1 km de la boca del Estero, operada por el grupo de meteorolo-

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

gía del CICESE. Además nosotros hicimos mediciones con anemómetros manuales marca Kahlsico, modelo 03AM1120, en el punto B.

Para la realización de los muestreos se anclaron las embarcaciones Sirius de 35 pies de eslora y Atenea de 24, a manera de plataformas fijas, en los puntos A y B (Fig. 1), utilizando lanchas con motor fuera de borda para la comunicación con tierra.

ANALISIS ESTADISTICO

Se realizó el análisis espectral de las series de tiempo generadas. Esta operación estadística puede ser considerada como un análisis de variancia en el cual la variancia total de una propiedad se reparte entre las componentes que resultan de procesos con diferentes períodos característicos (Platt y Denman, 1975). Los resultados presentados en este trabajo se computaron mediante un algoritmo de la transformada rápida de Fourier. Se utilizó un programa de la biblioteca del Centro de Cómputo del CICESE, y la computadora PRIME 400 del mismo. Los resultados se presentan en componentes de frecuencia expresados en ciclos por hora.

RESULTADOS

Descripción de las series de tiempo.

La serie de tiempo de la altura de marea muestra un comportamiento semidiurno y la secuencia de mareas vivas y muertas. Los tres últimos días de muestreo el rango de marea claramente disminuyó. El máximo rango de altura de marea fue 2.2 m (Fig. 2a). En ambos puntos de muestreo, la salinidad también mostró un comportamiento semidiurno, con valores altos correspondiendo en general con bajas alturas de marea y viceversa (Fig. 2b y c). En los primeros cinco días de muestreo se presentó una clara variación diurna de salinidad, muy posiblemente asociada a la variación diurna de la marea. El rango diurno de salinidad disminuyó con el tiempo en el punto A, de ~ 1.1 ‰ el primer día a ~ 0.3 ‰ el último día de muestreo. En el punto B, el rango diurno de S ‰ aumentó primero hasta el quinto día, y luego disminuyó del sexto día en adelante, mas en concordancia con la secuencia del rango de marea. Los valores de salinidad fueron más altos en el punto B que en A. Sin embargo, es interesante notar que los valores mínimos de B son solamente ligeramente mayores (~ 0.1 ‰) que los mínimos de A; mientras

MILLAN-ORTIZ-ALVAREZ

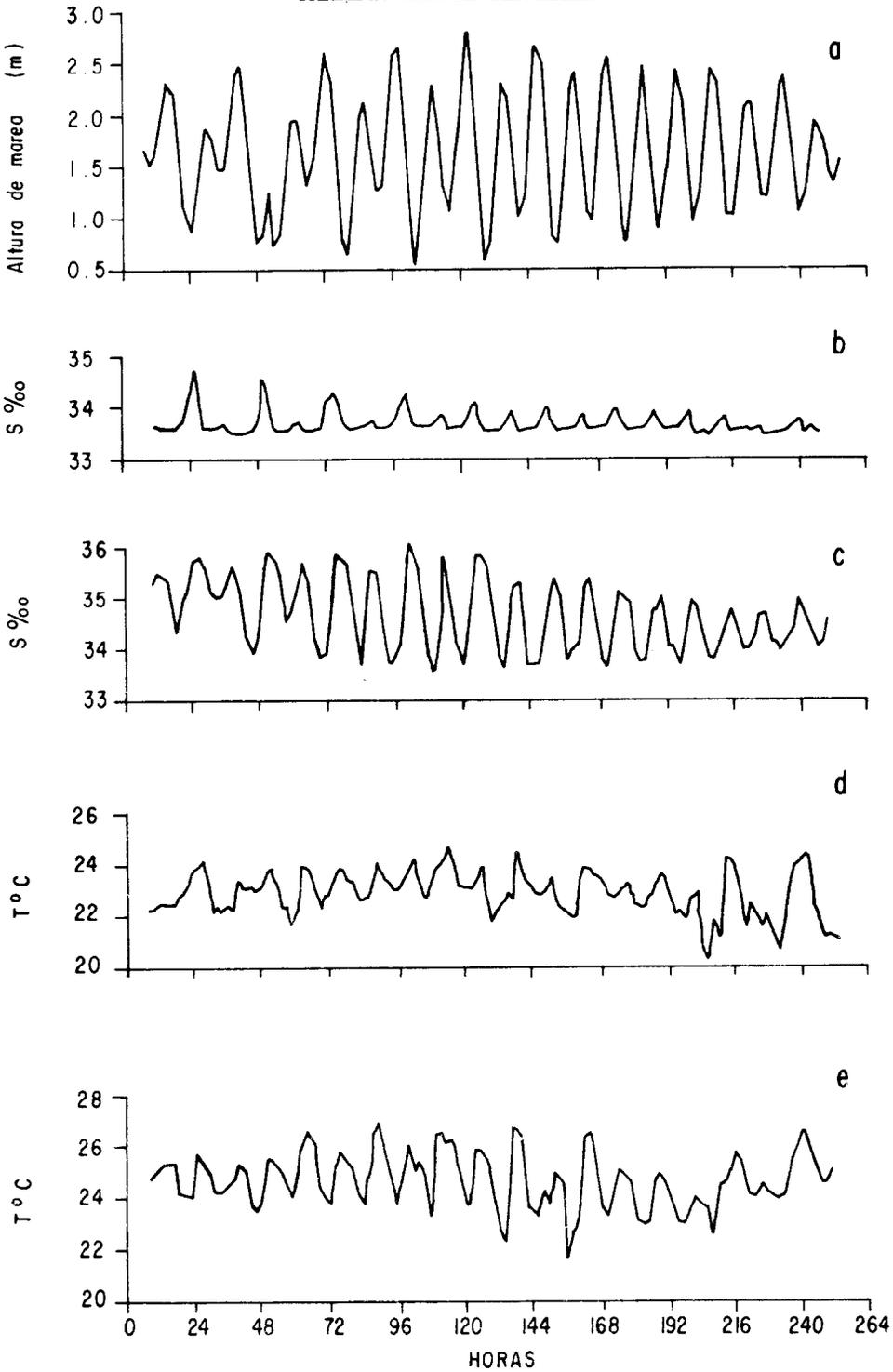


Fig. 2 Series de tiempo de altura de marea (a), salinidad en el punto A (b), Salinidad en el punto B (c), temperatura en el punto A (d) y temperatura en el punto B (e). En el eje de las equis los números marcan las medias noches.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

que los máximos de B son ~ 1.3 ‰ mayores que los máximos de A. Esto implica un gradiente horizontal de S ‰ entre A y B, débil en marea alta y fuerte en marea baja. Los rangos de S ‰ fueron: 33.52 a 34.77 ‰ en A; y 33.57 a 36.06 ‰ en B.

La temperatura aumentó, en general, de la boca hacia el interior del Estero. A bajas alturas de marea correspondieron en general altas temperaturas y viceversa. Las series de temperatura muestran un comportamiento semidiurno (Figs. 2d y e). Sin embargo, son diferentes a las series de salinidad en varios aspectos. Los rangos diurnos de temperatura no presentaron una variación claramente asociada a la de los rangos de marea, sobre todo en el punto A. En el punto B, los rangos diurnos de $T^{\circ}\text{C}$ aumentaron los primeros días, de acuerdo con el aumento del rango de marea. Pero los rangos de marea disminuyeron a partir del sexto día, mientras los de $T^{\circ}\text{C}$ siguieron aumentando hasta el séptimo. Además, es interesante notar que el aumento del rango diurno de $T^{\circ}\text{C}$ en el punto B se debió casi exclusivamente a la disminución de los valores mínimos de cada día, mientras que los máximos se mantuvieron relativamente constantes. Del octavo al décimo día de muestreo los rangos diurnos de $T^{\circ}\text{C}$ disminuyeron con respecto al del séptimo día, en el punto B. En el punto A, la serie de temperatura mostró una componente de variancia de largo período. En general, la $T^{\circ}\text{C}$ diaria promedio tendió a aumentar los primeros cinco días y a disminuir los últimos días del muestreo. En el punto A los rangos diurnos más amplios se presentaron los últimos dos días del muestreo, y se debieron principalmente a la disminución de los valores mínimos mientras los máximos se mantuvieron relativamente constantes. Los rangos de $T^{\circ}\text{C}$ fueron: 20.0 a 24.7 $^{\circ}\text{C}$ en A, y 21.7 a 26.9 $^{\circ}\text{C}$ en B.

En general, las concentraciones de fosfato y silicato tendieron a ser mayores en el punto B que en la boca del Estero (Figs. 3a, b, c y d). Las series de tiempo de estos nutrientes no muestran una clara correlación con la de altura de marea. Se encontraron altos valores de nutrientes en altas y bajas mareas indistintamente. En general se aprecia una alta correlación entre los nutrientes mismos; altos valores de fosfato están asociados con altos valores de silicato y viceversa. Los rangos de fosfato y silicato (μM) fueron respectivamente: 0.2 a 1.2 y 1.1 a 7.8 para el punto A; y 0.5 a 1.9 y 1.8 a 16.9 para el punto B.

Las series de tiempo de las clorofilas a, b y c muestran una distribución del fitoplancton en forma de manchas con un espectro muy amplio de tamaños (Fig. 4, clorofilas b y c no se ilustran). En el punto A, la clorofila a incrementó significativamente su concentración en los últimos tres días de muestreo,

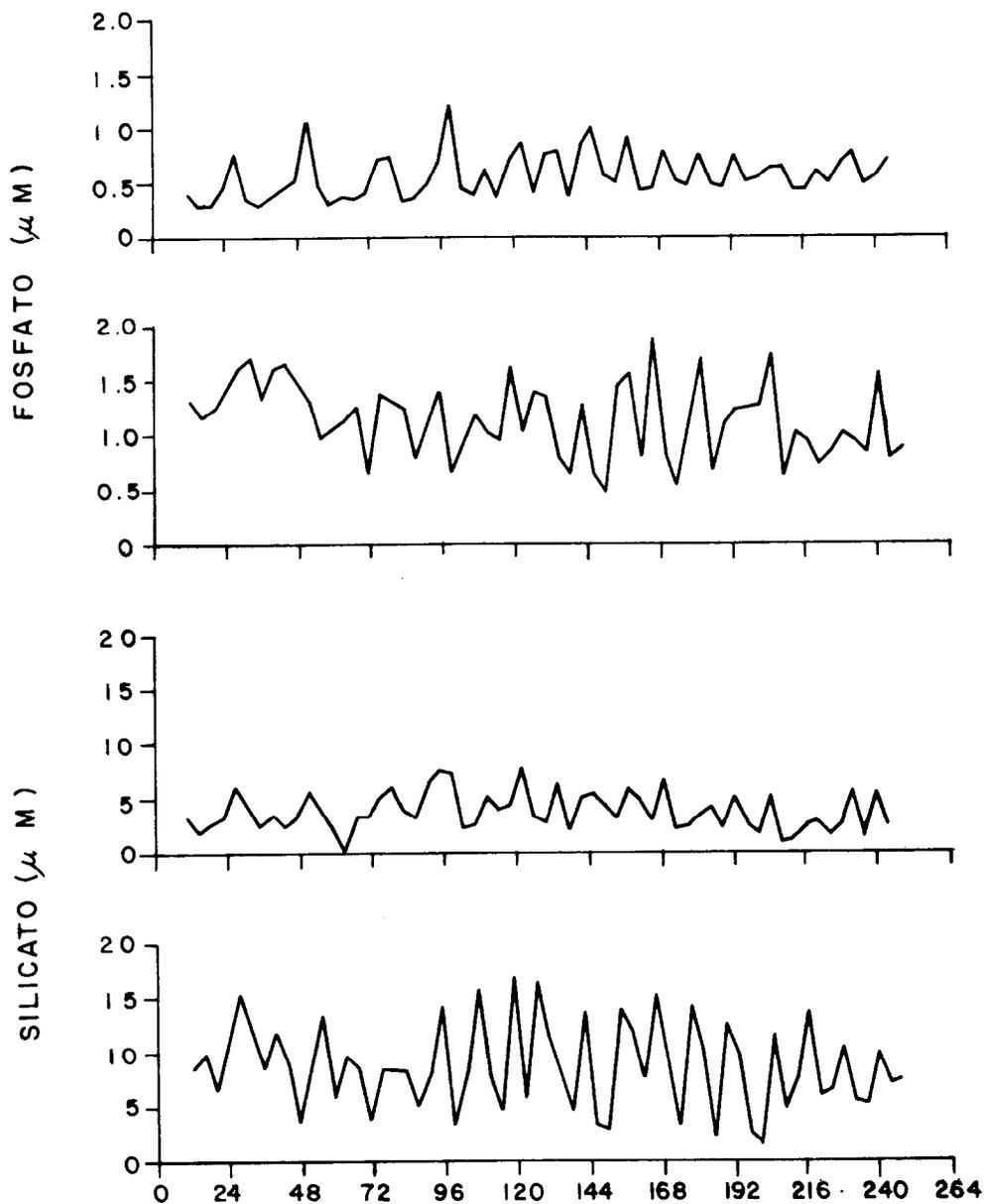


Fig. 3 Series de tiempo de fosfato, en el punto A (a) y en el punto B (b); y silicato, en el punto A (c) y en el punto B (d). En el eje de las equis los números marcan las medias noches.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

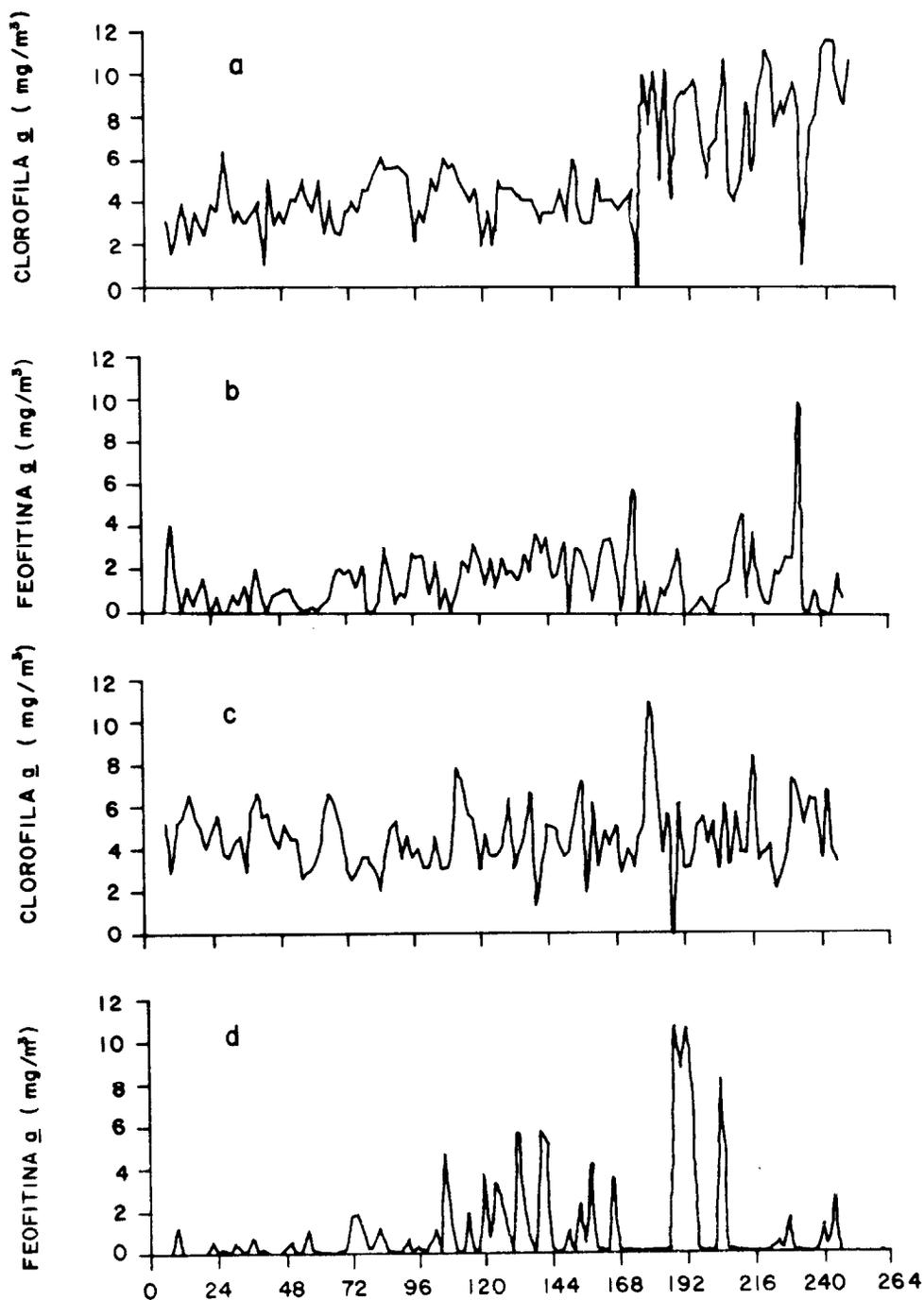


Fig. 4 Series de tiempo de clorofila a (a) y feofitina a (b) en el punto A, y (c) y (d) respectivamente en el punto B. En el eje de las equis los números marcan las medias noches.

aunque se presentaron también manchas con muy baja concentración de clorofila a en ese período (Fig. 4a). En los primeros seis días hubo una clara variación diurna de clorofila a en el punto A, con tendencia a presentar valores mínimos a medianoche, con marea en flujo. En el punto B, en los primeros cinco días de muestreo también se puede apreciar una componente diurna fuerte, con valores máximos en la tarde (Fig. 4c). En general, las concentraciones de clorofila a fueron similares en ambos puntos de muestreo, con excepción de los últimos tres días en que la concentración se duplicó en el punto A. Las concentraciones de clorofila b en el punto A fueron un orden de magnitud menor que las de clorofila a. Sin embargo, en el punto B fueron como la mitad de las de clorofila a. Es decir, las concentraciones de clorofila b fueron mayores en el interior del Estero que en la boca. Las concentraciones de clorofila c presentaron una ligera tendencia a ser mayores en el interior del Estero que en la boca. Muy a menudo las concentraciones de clorofila c fueron mayores que las de clorofila a, hasta del orden del doble, principalmente en el interior del Estero. Los rangos de las clorofilas a, b y c fueron respectivamente (mg m^{-3}): 0 a 11.6, 0 a 1.6 y 0 a 14.4 en el punto A; y 0 a 10.8, 0 a 8.4 y 0 a 25.0 en el punto B.

Las series de tiempo de las feofitinas a, b y c muestran una distribución en forma de manchas. La feofitina a tuvo valores en general menores, aunque del mismo orden de magnitud, que su clorofila (Fig. 4). En el punto B en muchos casos la feofitina a no fué significativamente diferente a cero (Fig. 4d). La feofitina b presentó en algunos pocos casos concentraciones de hasta 6 mg m^{-3} en ambos puntos de muestreo; pero en un alto porcentaje de casos su concentración no fué significativamente diferente de cero (no ilustrada). La feofitina c en muchos casos no fué significativamente diferente de cero, pero también en muchos casos alcanzó concentraciones del doble de su clorofila (no ilustrada).

Las series de tiempo de abundancia de fitoplancton muestran que durante el período de muestreo la abundancia de fitoplancton disminuyó de la boca hacia el interior del Estero. Muy a menudo las concentraciones de fitoplancton del punto B fueron un tercio o menos que las del punto A. En algunos pocos casos las abundancias fueron similares (Fig. 5a y b). En el punto A, en los primeros seis días se puede apreciar una clara variación diurna, con valores mínimos a medianoche o después de medianoche. Esta variación de fitoplancton concuerda muy bien con la de clorofila a descrita anteriormente. Del séptimo día de muestreo en adelante la abundancia de fitoplancton del punto A aumentó significativamente, de nuevo de acuerdo con la variación de clorofila a (Figs. 4 y 5). En el punto B, del séptimo al

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

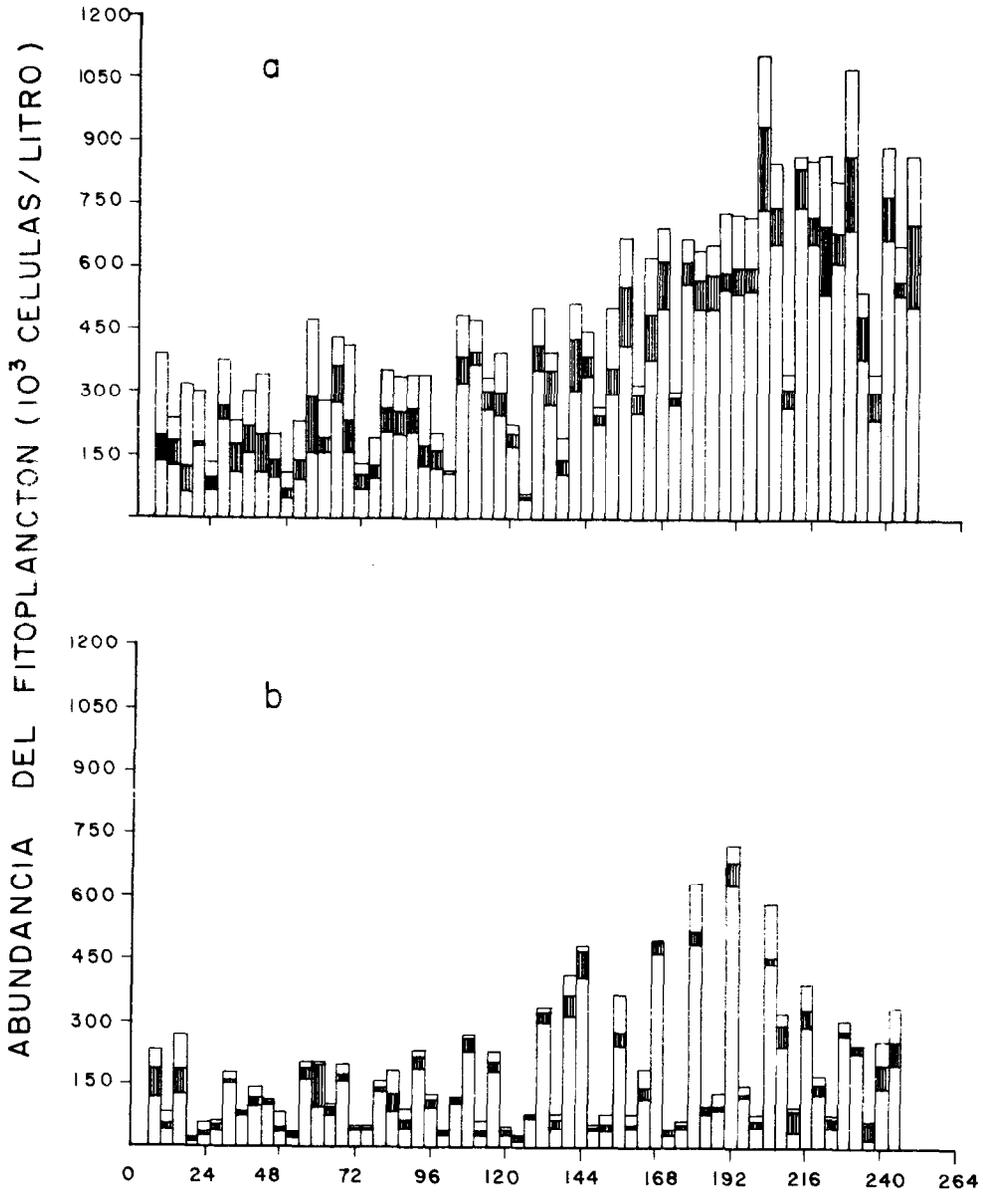


Fig. 5 Series de tiempo de abundancia de fitoplancton en el punto A (a) y en el punto B (b). La porción de abajo de las barras representan a las diatomeas. La porción achurada los dinoflagelados. Y la porción superior los microflagelados. En el eje de las equis los números marcan las medias noches.

noveno día de muestreo también se presentaron algunos altos valores de abundancia de fitoplancton, mas no en el décimo. En el punto B, en los primeros días del muestreo los valores bajos de abundancia de fitoplancton estuvieron claramente asociados a mareas bajas, pero en la segunda mitad del muestreo no sucedió así. En general las diatomeas fueron el grupo taxonómico más abundante en ambos puntos. En el punto A, en los primeros tres días de muestreo hubo casos en que los microflagelados fueron el grupo más abundante. Es interesante notar que en el punto A la mayor parte del aumento de abundancia del fitoplancton del séptimo día hacia adelante se debió al aumento de abundancia de diatomeas, mientras que los dinoflagelados y los microflagelados mantuvieron su concentración mas o menos igual que al inicio. En el punto B las diatomeas también fueron el grupo más abundante, y de nuevo en los casos en que hubo una abundancia elevada de fitoplancton se debió principalmente al incremento de la abundancia de diatomeas. El rango de abundancia de fitoplancton en la boca fué 60×10^3 a 1100×10^3 células/litro; y en el punto B fué 20×10^3 a 725×10^3 células/litro. Dentro de un mismo grupo taxonómico no se encontró una diferencia significativa de tamaño de células entre los puntos A y B.

Las series de tiempo de la productividad del fitoplancton mostraron una variación muy irregular en ambos puntos (Fig. 6). Del sexto al séptimo día en el punto A se presentaron valores en general mayores que los de los primeros días de muestreo, de acuerdo con el comportamiento de las series de clorofila a y abundancia de fitoplancton (Figs. 4, 5 y 6). En el punto B se presentaron valores altos de productividad el segundo y tercer día. En general la productividad del fitoplancton tuvo niveles similares en ambos puntos de muestreo. Las razones de asimilación (productividad del fitoplancton por unidad de clorofila a) mostraron en ambos puntos una variación similar a la de productividad. Los valores de razón de asimilación no fueron significativamente diferentes en ambos puntos. Las medias y los rangos de productividad del fitoplancton ($\text{mgCm}^{-3} \text{hr}^{-1}$) fueron: 24, 3 a 62 en el punto A; y 26, 5 a 60 en el punto B. Las medias y los rangos de la razón de asimilación ($\text{mgC}(\text{mgCl a})^{-1} \text{hr}^{-1}$) fueron: 5.6, 0.7 a 16.3 en el punto A; y 6.2, 0.8 a 16.0 en el punto B.

Las lecturas del disco de Sechii en el punto A tuvieron un rango de 1.1 a 3.5 m (no ilustrada). En general las lecturas del disco disminuyeron los últimos días de muestreo en el punto A. En ambos puntos, la variación irregular de las lecturas del disco indican una distribución de la turbidez del agua en forma de manchas. En el punto B las lecturas fueron menores que en el A. El rango del punto B fué de 0.2 a 1.5 m. Esto se debe a la mayor cantidad de detritus en suspensión en el punto B que en el A, producto de la degradación de los pastos marinos.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

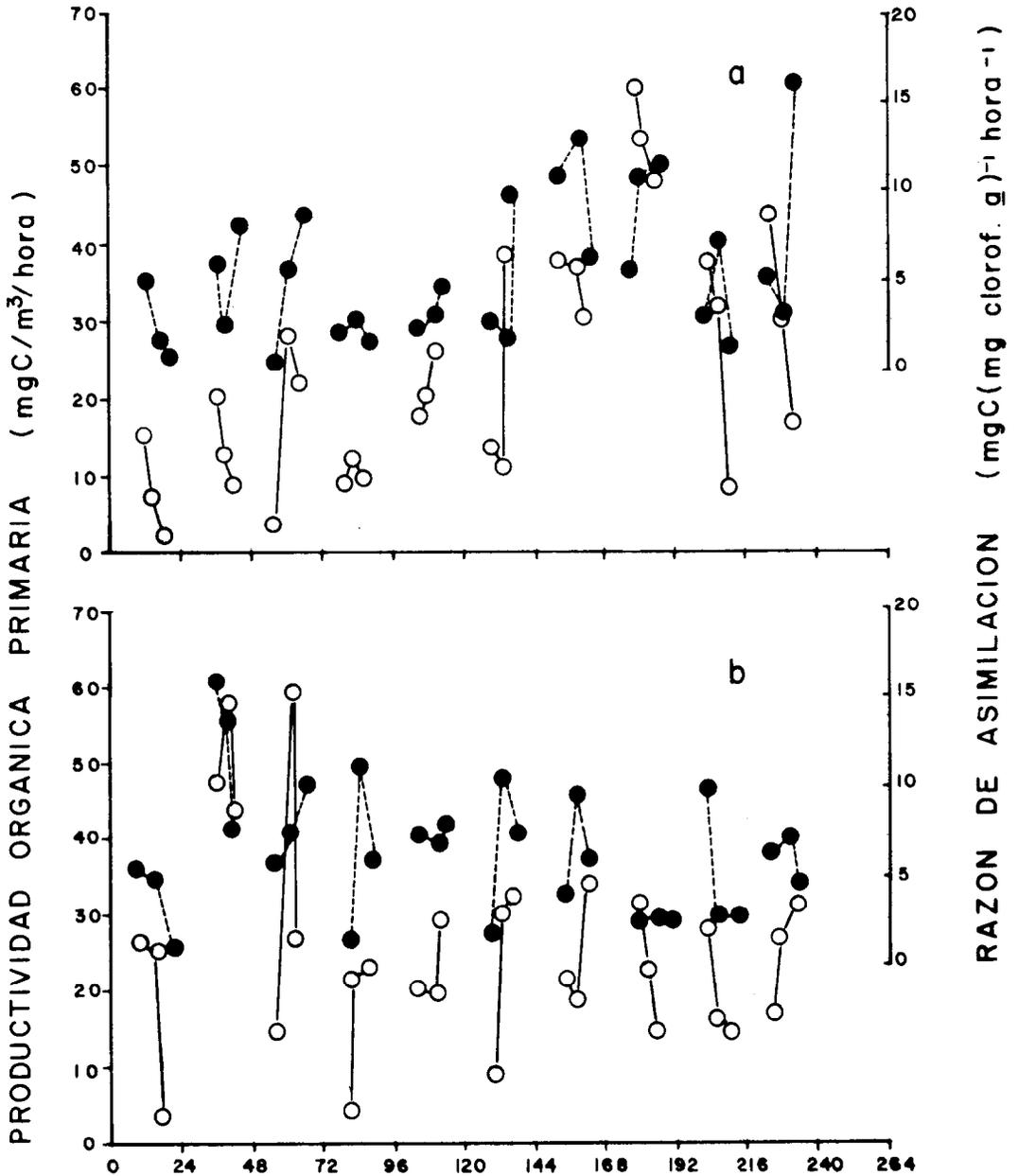


Fig. 6 Productividad del fitoplancton y razón de asimilación en el punto A (a) y en el punto B (b). Los círculos claros representan la productividad. En el eje de las equis los números marcan las medias noches.

En ambos puntos de muestreo se presentaron los vientos más débiles durante la noche, con valores hasta de 0 m seg^{-1} (no ilustrado). Los valores máximos se registraron durante el día. En la boca del Estero los períodos de calma fueron más frecuentes y de mayor duración que en el punto B. En la boca el rango fué $0 \text{ a } 5 \text{ m seg}^{-1}$; y en el punto B fué $0 \text{ a } 7 \text{ m seg}^{-1}$.

Análisis espectral de las series de tiempo.

El espectro de variancia de la marea muestra la mayor parte de la variancia en los períodos diurno (frec 0.041 cph) y semidiurno (frec 0.083 cph) (Fig. 7a). Los espectros de variancia de las otras propiedades del agua mostraron en general componentes altas de variancia en estas dos frecuencias, aunque en algunos casos no se mostraron picos bien diferenciados (Fig. 7). La salinidad, temperatura, fosfato, silicato y fitoplancton (principalmente diatomeas) mostraron una componente semidiurna mayor que la diurna en ambos puntos, además, una más intensa variación semidiurna en el punto B que en la boca (silicato no ilustrado). Pero la clorofila a mostró un comportamiento similar en ambos puntos (Fig. 7h, punto B no ilustrado), con una componente diurna mayor que la semidiurna. La temperatura, clorofila a y abundancia de fitoplancton mostraron una alta componente de variancia en las más bajas frecuencias ($\sim 4 \times 10^{-3} \text{ cph}$). En el caso de la clorofila a y el fitoplancton esta alta componente de baja frecuencia sólo se observó en la boca del Estero. La clorofila a mostró picos de alta variancia en las altas frecuencias ($> 10^{-1}$); quizá el fitoplancton no muestra estos picos con claridad porque sólo tenemos un valor cada cuatro horas en nuestras series.

DISCUSIONES

Alvarez Borrego y Alvarez Borrego (en prensa) generaron series de temperatura de un año, continuamente de las dos localidades de nuestro muestreo, de mayo de 1979 a mayo de 1980. Además, también generaron una serie de temperatura para la boca de Bahía San Quintín que se encuentra directamente influenciada por las surgencias del océano inmediatamente adyacente. Su serie de San Quintín muestra un evento de intensificación de surgencia ocurriendo del 31 de agosto al 8 de septiembre, es decir, durante los días que realizamos nuestro muestreo. Dadas las condiciones apropiadas en la dinámica de Bahía Todos Santos, el agua de la zona de surgencias de Punta Banda es acarreada hacia el interior de la bahía hasta

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

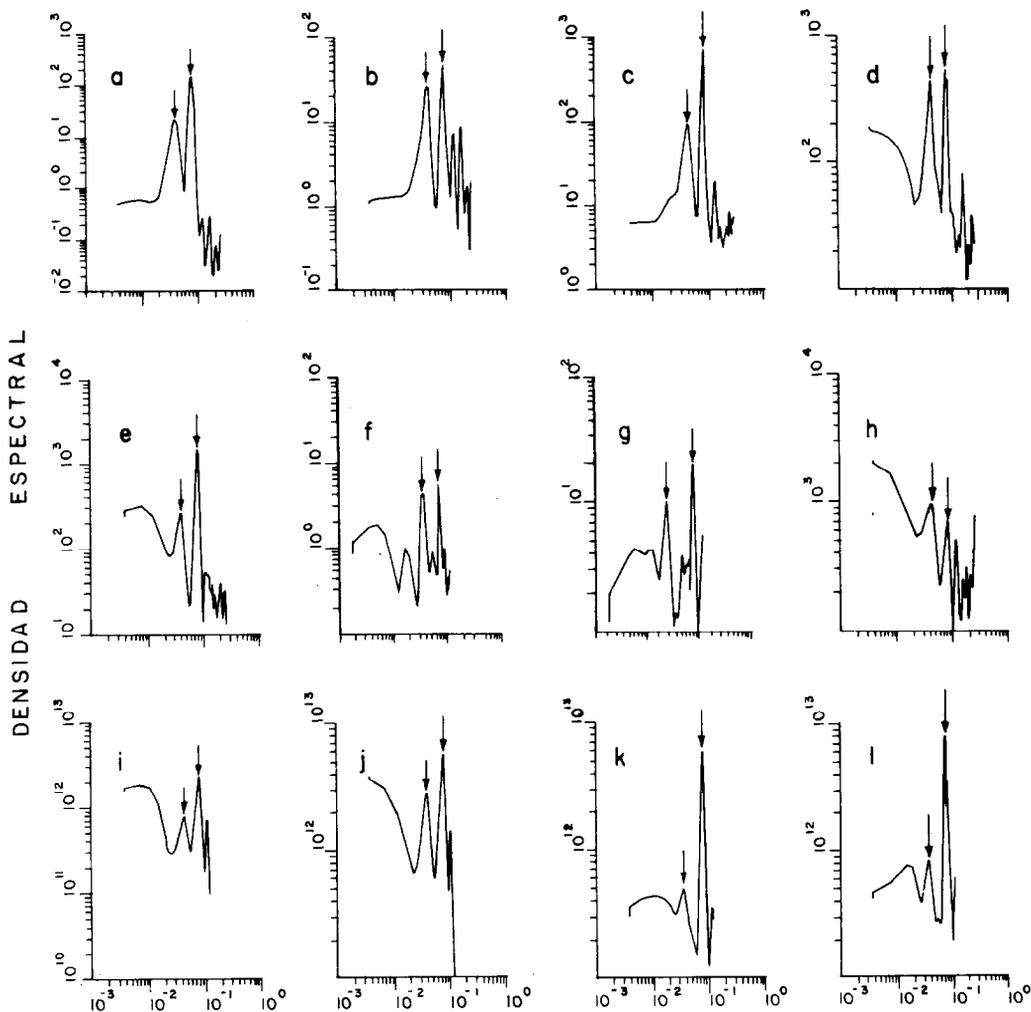


Fig. 7 Espectros de variancia de marea (a), salinidad en A (b), salinidad en B (c), temperatura en A (d), temperatura en B (e), fosfato en A (f), fosfato en B (g), clorofila en A (h), diatomeas (i) y fitoplancton total (j) en A y diatomeas (k) y fitoplancton total (l) en B. Las flechas indican las frecuencias diurna y semidiurna. En el eje de las equis las frecuencias están dadas en ciclos por hora.

la zona frente a la boca del Estero, y luego hacia el interior del Estero por las corrientes de marea. Esto parece ser lo que en efecto ocurrió durante nuestro muestreo. El aumento del rango diurno de temperatura en el punto A en los últimos días del muestreo (Fig. 2d), se debió a la disminución de los mínimos diurnos, mientras los máximos se mantuvieron relativamente constantes. Esto último ocurrió cuando las mareas vivas ya habían pasado (Fig. 2a). Las mareas vivas de mayor rango se presentaron del tercer al sexto día de muestreo. En el punto B las temperaturas mínimas comenzaron a disminuir el quinto día, y más drásticamente el sexto (Fig. 2e). Esto sugiere un mayor intercambio de agua con la Bahía Todos Santos a partir del quinto día, es decir un menor tiempo de residencia del agua en el Estero, a partir del día que el rango de marea empezó a disminuir. Si se asume que el evento de intensificación de surgencia ocurrió al mismo tiempo frente a la boca de San Quintín y frente a Punta Banda, observando los termogramas de Alvarez Borrego y Alvarez Borrego (en prensa) se puede estimar que el agua de surgencia tardó en llegar de Punta Banda a la boca del Estero aproximadamente cinco días. Este es a "grosso modo" el mismo tiempo del inicio de la disminución de los mínimos de $T^{\circ}C$ en el punto B a la presentación de los mínimos muy bajos de $T^{\circ}C$ en el punto A. En el punto B las temperaturas mínimas disminuyen principalmente por un fuerte intercambio con agua de la zona cercana a la boca. En el punto A las temperaturas mínimas disminuyen principalmente por que la corriente externa paralela a la playa acarrea el agua de reflujó del Estero alejandola de la boca, de tal manera que en el flujo entra agua "nueva" al Estero. En los últimos días de muestreo, ésta era agua de surgencia con origen en la zona oceánica frente a Punta Banda. La velocidad promedio del flujo de esta agua, de Punta Banda a la boca del Estero. Alvarez Sánchez (comunicación personal) ha medido esta corriente con boyas superficiales a la deriva. La velocidad varía en magnitud y dirección. Las máximas velocidades medidas hacia la boca del Estero son de 30 cm seg^{-1} . El aumento de los mínimos de temperatura hacia el final del muestreo en el punto B posiblemente se debió a las mareas muertas y a la atenuación de la corriente costera frente a la boca, aumentando el tiempo de residencia del agua en el extremo interno del Estero y disminuyendo el intercambio de agua. Observando los termogramas de Alvarez Borrego y Alvarez Borrego se puede apreciar que el evento de intensificación de surgencia se manifestó en la boca de Bahía San Quintín durante nueve días mientras que en la boca del Estero sólo se registró durante seis días. El que no se haya registrado los tres días subsecuentes, y en su lugar se hayan registrado temperaturas mayores, indica que el agua no fluía más de Punta Banda a la boca del Estero.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

Los rangos diarios de salinidad disminuyeron con el tiempo durante el muestreo en el punto A. Es interesante notar que en el punto B esto ocurrió a partir del quinto día, indicando un mas fuerte intercambio de agua a partir de ese día, en concordancia con la temperatura. También, en el punto B el rango diario aumentó el último día del muestreo indicando un aumento del tiempo de residencia.

El aumento de clorofila, abundancia de fitoplancton y productividad primaria, en el punto A, en los últimos días de muestreo (Figs. 4, 5 y 6) se explican en el contexto de lo descrito anteriormente. Esta agua rica en fitoplancton es agua de surgencia de cinco días de "edad", condicionada en el sentido expresado por Barber y Ryther (1969). Lara Lara, Alvarez Borrego y Small (1980) reportaron que en la boca de Bahía San Quintín, durante un evento de intensificación de surgencia la concentración de nutrientes inorgánicos es alta, la de clorofila es baja y la productividad del fitoplancton y la razón de asimilación también son bajas. El agua recién aflorada requiere de cierto tiempo para ser acondicionada para una mejor productividad del fitoplancton. Durante el período de relajamiento, 5 días después de la atenuación de la surgencia, la concentración de nutrientes ha disminuido, y la concentración de clorofila, la productividad primaria y la razón de asimilación se han incrementado significativamente. En el caso nuestro, el agua ha sido condicionada en la trayectoria de Punta Banda a la boca del Estero, arriivando al Estero con alta abundancia de fitoplancton y alta productividad primaria.

Pocas lagunas costeras similares al Estero de Punta Banda han sido estudiadas como para establecer comparaciones. En Baja California sólo se han generado series de tiempo de clorofila y productividad primaria para Bahía San Quintín, además del Estero (Lara Lara, Alvarez Borrego y Small, 1980; Millán Núñez, Alvarez Borrego y Nelson, en prensa). Las lagunas costeras tropicales en otras regiones del mundo tienen una macroflora diferente (manglares); o bien son sistemas estuarinos con aporte continuo de agua dulce. Los datos mostrados en este trabajo indican que, dadas las condiciones apropiadas en la dinámica de la Bahía de Todos Santos para que el agua de surgencia de Punta Banda llegue al Estero, éste es tan productivo como Bahía San Quintín. Previas ideas sobre la relativa baja abundancia del fitoplancton del Estero de Punta Banda se habían obtenido comparando datos de invierno del Estero con datos de verano de Bahía San Quintín (Alvarez Borrego y Nájera de Muñoz, 1979), lo cual no es apropiado. Sin embargo, por estar inmediatamente

conectada a una zona de surgencia, Bahía San Quintín debe tener una alta productividad del fitoplancton más sostenida que el Estero. Alvarez Borrego, Lara Lara y Acosta Ruiz (1977) generaron series de tiempo de clorofila a de 26 horas, una en primavera y otra en verano, en la boca de ambas lagunas costeras, y encontraron en el Estero concentraciones de alrededor de un tercio de las de San Quintín. Parra Valdez (1976), continuando el trabajo de estos últimos autores, encontró concentraciones similares de clorofila a en ambas lagunas en otoño e invierno. Lara Lara y Alvarez Borrego (1975) encontraron en enero y marzo en la boca de San Quintín concentraciones de clorofila a el doble o triple que las encontradas por Millán Núñez y Alvarez Borrego (1978) en la boca del Estero en febrero. Por lo anterior se deduce que el Estero tiene una abundancia de fitoplancton menor o similar a la de Bahía San Quintín, dependiendo de la dinámica de Bahía Todos Santos.

Ambas lagunas costeras, San Quintín y el Estero, tienen productividad del fitoplancton en verano similar a las mas altas productividades estimadas por Small y Menzies (1981) en bandas estrechas del sistema de surgencia costera en Oregon. Estas altas productividades han sido reportadas por Beers, Stevenson, Eppley y Brooks (1971), y por Barber, Dugdale, Mac Isaac y Smith (1971) para la zona de surgencia de Perú; y por Huntsman y Barber (1977) y Smith, Barber y Huntsman (1977) para la zona de surgencia del noroeste de Africa. Los valores de razón de asimilación obtenidos para el Estero también son similares a los de Bahía San Quintín. Estos valores son comparables a los obtenidos por Curl y Small (1965) para la zona de surgencia de Oregon y son indicativos de aguas ricas en nutrientes.

Los valores de fosfato en el punto B del Estero son similares a los encontrados por Millán Núñez, Alvarez Borrego y Nelson (en prensa) en los extremos internos de Bahía San Quintín; pero los máximos valores de fosfato y silicato de la boca del Estero son menores a los máximos de la boca de San Quintín. Esto se debe a que en el Estero de Punta Banda, al llegar el agua de surgencia con ~5 días de "edad" los nutrientes ya han sido consumidos parcialmente por el fitoplancton. En San Quintín el agua recién aflorada alcanza mínimos de T°C menores a 11°C, mientras que en la boca del Estero las temperaturas mínimas son un poco menores a 16°C (Alvarez Borrego y Alvarez Borrego, en prensa). En los extremos internos de Bahía San Quintín. la concentración de silicato es el doble que en el punto B del Estero en verano. Sánchez Hernández (1978) determinó la concentración de nutrientes (nitrato, fosfato y silicato) en julio de 1973 en el Estero, y encontró valores relativamente bajos y uniformes de todos ellos en la región de la boca al punto B.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

Pero fosfato y silicato aumentaron abruptamente del punto B al extremo interno con valores de hasta más de 5 μM de fosfato y 30 μM de silicato, lo cual es comparable con lo encontrado en los extremos internos de Bahía San Quintín. Valores de fosfato del orden de 5 μM como los reportados por Sánchez Hernández (1978) para el extremo interno del Estero, y 4.1 μM reportado por Lara Lara, Alvarez Borrego y Small (1980) para la boca de Bahía San Quintín, ambos en verano, no pueden originarse en el océano adyacente. Son producto de la remineralización por actividad bacteriana en los sedimentos de estas lagunas costeras y del efecto de turbulencia por las corrientes de marea y el viento que al suspender los sedimentos en la columna de agua acarrea los nutrientes a la superficie. Los altos valores de silicato se deben a la disolución de exoesqueletos, principalmente de diatomeas. Las concentraciones de nitrato no son similarmente altas porque el nitrógeno se encuentra en formas reducidas. Farfán y Alvarez Borrego (en preparación) estimaron concentraciones de amoníaco de hasta 3 μM en la boca de Bahía San Quintín en verano. Además, debe haber compuestos orgánicos disueltos de nitrógeno, tales como urea. Algo similar debe encontrarse en el Estero. Al comparar los niveles de concentración de los nutrientes de estas lagunas costeras con los resultados reportados sobre las concentraciones que limitan el crecimiento del fitoplancton (Paasche, 1973; Conway, 1977; Fineko y Krupatkina-Akinina, 1974; y Eppley, Roger y McCarthy, 1969) podemos concluir que las concentraciones de nutrientes no fueron limitantes para el crecimiento del fitoplancton durante los períodos de muestreo en verano.

En general, los valores de las diferentes propiedades del agua de mar indican que hay un fuerte intercambio entre la boca del Estero y el vértice de la "L". Es decir, esta zona debe tener relativamente bajos tiempos de residencia. El hecho de que en marea baja el gradiente de S ‰ entre A y B sea considerablemente mayor, indica que en el extremo interno del Estero las salinidades deben ser significativamente mayores que en el punto B. El tiempo de residencia del agua del extremo interno debe ser relativamente alto, permitiendo una mayor evaporación y remineralización de nutrientes. Además, este mayor tiempo de residencia permite un enriquecimiento de detritus en suspensión que a su vez aumenta la turbidez del agua. Esta mayor turbidez causa intensidades de luz limitantes para el crecimiento del fitoplancton. Con baja intensidad de luz, el fitoplancton del punto B y del extremo interno disminuye su abundancia y aumenta su concentración de clorofila por célula. Por ello la concentración de clorofila en el punto B fué similar, en los primeros días de muestreo, a la de la boca del Estero, a pesar de que la abundancia de fitoplancton fué en el punto B del orden

de la mitad o un tercio que la del punto A (Figs. 4 y 5). La abundancia de fitoplancton en general varió mas de acuerdo a la concentración de clorofila a que a la de las otras clorofilas. El que las diferentes propiedades del agua de mar hayan presentado una más intensa variación semidiurna en el punto B que en el punto A indica que los gradientes del punto B hacia el extremo interno son más intensos que entre los puntos A y B (Fig. 7).

Durante el período de muestreo las diatomeas fueron más abundantes que los otros dos grupos en ambos puntos, A y B. Alvarez Borrego y Nájera de Muñoz (1979) encontraron para febrero una mayor abundancia de microflagelados, seguidos generalmente por los dinoflagelados y con relativamente bajas concentraciones de diatomeas, en la boca del Estero. Lara Lara, Alvarez Borrego y Small (1980) encontraron que las diatomeas fueron el grupo más abundante en la boca de Bahía San Quintín, seguidas por dinoflagelados y microflagelados en verano. También encontraron que los dinoflagelados y microflagelados fueron más abundantes que las diatomeas hacia los extremos internos de la bahía. Pero, los resultados de verano de Bahía San Quintín, de Millán Nuñez, Alvarez Borrego y Nelson (en prensa), muestran que las diatomeas no siempre fueron más abundantes que los dinoflagelados en la boca; y las diatomeas fueron a menudo más abundantes que los dinoflagelados en los extremos internos de la bahía. Todavía no es claro cual es el patrón de variación de estos grupos de fitoplancton en estas lagunas costeras.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos al M. en C. Roberto Millán Nuñez su colaboración valiosa en la determinación de la radioactividad de las muestras de carbono 14 en la Universidad Estatal de Oregon. Agradecemos grandemente la valiosa ayuda de Manuel de Jesús Acosta Ruiz, Gilberto Gaxiola Castro, Teresa Gutiérrez y Sila Nájera de Muñoz en el muestreo, y a los grupos de apoyo del CICESE, principalmente el de Cruceros Oceanográficos. Nuestro agradecimiento también a Esthela Elsie Millán de Alvarez por su ayuda en el análisis de las muestras de fitoplancton.

BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA RUIZ, M.J. y S. Alvarez Borrego, 1974. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en otoño e invierno. *Ciencias Marinas (México)* V 1(1):16-45.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

- ALVAREZ BORREGO, S. y S. Nájera de Muñoz, 1979. Series de tiempo de fitoplancton en dos lagunas costeras de Baja California. *Ciencias Marinas (México)* V 6(1 y 2):75-88.
- ALVAREZ BORREGO, J. y S. Alvarez Borrego, 1981. Variabilidad espacial y temporal de temperatura en dos lagunas costeras. *Ciencias Marinas (México)*, en prensa.
- ALVAREZ BORREGO, S., M.J. Acosta Ruíz y J.R. Lara Lara, 1977. Hidrología comparativa de las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas (México)* V 4(1):1-11.
- ALVAREZ BORREGO, S., J.R. Lara Lara y M.J. Acosta Ruíz, 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas (México)* V 4(1):12-22.
- BAKUN, A., 1973. Coastal upwelling indices, west coast of North America, 1964-1971, NOAA Technical Report NMFS SSRF-671, 103 p.
- BEERS, J.R., M.R. Stevenson, R.W. Eppley y E.R. Brooks, 1971. Plankton populations and upwelling off the coast of Peru, June 1969. *Fishery Bull.*, 69:859-876.
- BARBER, R.T. y J.H. Ryther, 1969. Organic chelators: factors affecting primary production in the Cromwell Current upwelling. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. V 3:191-199.
- BARBER, R.T., R.C. Dugdale, J.J. Mac Isaac y R.L. Smith, 1971. Variations in phytoplankton growth associated with the source and conditioning of upwelling water. *Inv. Pesq.* V 35:171-193.
- CELIS CESEÑA, R. y S. Alvarez Borrego, 1975. Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos en el Estero de Punta Banda, B.C. en primavera y verano. *Ciencias Marinas (México)* V 2(1):98-105.
- CONWAY, H.L., 1977. Interactions of inorganic nitrogen in the uptake and assimilation by marine phytoplankton. *Mar. Biol.* V 39:221-232.
- CURL, H. Jr. y L.F. Small. 1965. Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural marine phytoplankton communities. *Limnol. Oceanogr.* V 10 supp.:R67-R73.

MILLAN-ORTIZ-ALVAREZ

- EPPLEY, R.W., J.N. Roger y J.J. McCarthy, 1969. Half saturation constant for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* V 14:912-920.
- FARFAN, B.C. y S. Alvarez Borrego. (en preparación). Variability and tidal exchange of dissolved inorganic nitrogenous nutrients and suspended organic matter in San Quintin Bay, Baja California.
- FINEKO, Z.Z. y Krupatkina Akinina, 1974. Effect of inorganic phosphorus on the growth rate of diatoms. *Mar. Biol.* V 26: 193-201.
- HUNTSMAN, S.A. y R.T. Barber, 1977. Primary productivity off Northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. *Deep-Sea Res.*, V 24:25-33.
- LARA LARA, J.R. y S. Alvarez Borrego. 1975. Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía de San Quintín, B.C. *Ciencias Marinas (México)* V 2(1):77-97.
- LARA LARA, J.R., S. Alvarez Borrego y L.F. Small, 1980. Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. *Estuarine and Coastal Marine Science.* V 11:613-637.
- LORENZEN, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* V 12:343-346.
- MILLAN NUÑEZ, R. y S. Alvarez Borrego. 1978a. Ecuaciones espectrofotométricas tricromáticas para la determinación de clorofilas a, b y c y sus feofitinas. *Ciencias Marinas (México)* V 5(1):47-55.
- MILLAN NUÑEZ, R. y S. Alvarez Borrego, 1978b. Series de tiempo de clorofilas a, b y c y sus feofitinas en las bocas de dos lagunas costeras. *Ciencias Marinas (México)* V 5(2): 41-52.
- MILLAN NUÑEZ, R., S. Alvarez Borrego y D.M. Nelson, (en prensa) Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *J. Estuarine, Coastal and Shelf Science.*
- PAASCHE, E., 1973. Silicon and the ecology of marine plankton diatoms. II Silicate uptake kinetics in five diatoms species. *Mar. Biol.* V 19(3):262-269.

VARIABILIDAD DE NUTRIENTES Y FITOPLANCTON

- PLATT, T y K.L. Denman, 1975. Spectral analysis in ecology. Ann. Rev. of Ecol. and Syst. V 6:189-210.
- PRITCHARD, D.W., 1967. What is an estuary?: Physical viewpoint. En: Estuaries (Lauff, G.H., ed.). Publicación de la AAAS, No. 83:3-5. Washington, D.C.
- PRITCHARD, D.W., R. De la Paz Vela, H.R. Cabrera Muro, S. Farre-ras Sanz y E. Morales, 1978. Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. Ciencias Marinas (México) V 5(2):1-23.
- SANCHEZ HERNANDEZ, J.L., 1978. Distribución superficial de micro-nutrientes en el Estero de Punta Banda, Baja California, en un ciclo anual. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California. 82p.
- SCOR-UNESCO, 1966. Determination of photosynthetic pigments. Monogr. Oceanogr. Methodol. 18 p.
- SHOAF, W.T. y B.W. Lium, 1976. Improved extraction of chloro-phyll a and b from algae using dimethyl sulfoxide. Limnol. Oceanogr. V 21:926-928.
- SMALL, L.F. y D. Menzies, 1981. Patterns of primary productivity and biomass in a coastal upwelling region. Deep-Sea Research. V 28A:123-149.
- SMITH, W.O., Jr., R.T. Barber y S. Huntsman, 1977. Primary production off the coast of Northwest Africa: Excretion of dissolved organic matter and its heterotrophic up-take. Deep-Sea Research. V 24:35-47.
- STRICKLAND, J.D. y T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada. 167p.
- UTERMOHL, H., 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik. Int. Verein Theur. Angew. Limnol. V 9:1-38.
- ZERTUCHE GONZALEZ, J.A. y S. Alvarez Borrego, 1978. Series de tiempo de variables fisicoquímicas en las bocas de dos antiestuarios de Baja California. Ciencias Marinas (México) V 5(1):91-103.