

**Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada**



**IMPACTO DEL CULTIVO DE MOLUSCOS
FILTROALIMENTADORES EN EL FITOPLANCTON
Y CALIDAD DEL AGUA DE BAHIA SAN QUINTIN**

**TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS**

ALICIA ISABEL OSORNO VELAZQUEZ

Ensenada, B. Cfa., Mexico.

Junio del 2000.

TESIS DEFENDIDA POR
Alicia Isabel Osorno Velázquez
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



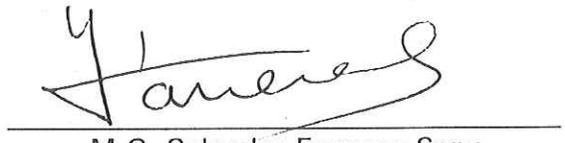
Dr. Saúl Alvarez Barrego

Director del Comité



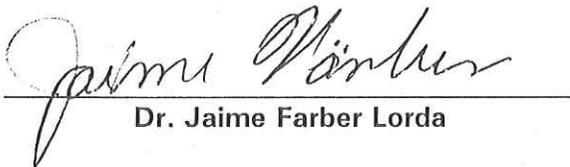
Dr. Gilberto Gaxiola Castro

Miembro del Comité



M.C. Salvador Ferreras Sanz

Miembro del Comité



Dr. Jaime Farber Lorda

*Jefe del Departamento de
Ecología*



Dr. Federico Graef Ziehl

Director de Estudios de Posgrado

7 de Junio del 2000

CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA Y DE
EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA

DIVISION DE OCEANOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

**Impacto del cultivo de moluscos filtroalimentadores en el fitoplancton y calidad del
agua de Bahía San Quintín.**

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

ALICIA ISABEL OSORNO VELAZQUEZ

Ensenada, B.C., Junio de 2000

RESUMEN de la Tesis de Alicia Isabel Osorno Velázquez, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ECOLOGIA MARINA. Ensenada, Baja California, México. Junio de 2000.

IMPACTO DEL CULTIVO DE MOLUSCOS FILTROALIMENTADORES EN LAS COMUNIDADES FITOPLANCTONICAS DE BAHIA SAN QUINTIN.

Resumen aprobado por:



Dr. Saúl Álvarez Borrego

A partir de 1977 se inició el maricultivo comercial del ostión en Bahía San Quintín, Baja California. En una década, este cultivo de ostión pasó a ser una actividad económica importante, constituyendo en gran medida la producción ostrícola del estado de Baja California. Esta bahía aún conserva características que no se han alterado a pesar de los maricultivos y otras actividades humanas. Los organismos filtroalimentadores como el ostión consumen las partículas orgánicas en suspensión. Un componente importante de estas partículas en suspensión es el fitoplancton. Por otro lado, los moluscos filtroalimentadores producen cantidades elevadas de excretas que aumentan la demanda bioquímica de oxígeno, potencialmente pueden disminuir el pH y aumentar la turbidez del agua a su alrededor. El objetivo de este trabajo fue determinar si existen alteraciones en las comunidades fitoplanctónicas de Bahía San Quintín, tanto en su abundancia como en su composición taxonómica, así como en variables ambientales como la concentración de oxígeno disuelto (O_2), pH, y concentración de nutrientes (PO_4 , NO_3 , NO_2 y NH_4), ocasionadas a través de casi un cuarto de siglo de cultivos comerciales de moluscos filtroalimentadores. Se utilizaron los mismos métodos que en los 1970's para generar los nuevos datos para que fueran comparables directamente. La salinidad, O_2 , pH, nutrientes y la concentración de clorofila no han cambiado significativamente en el último cuarto de siglo en Bahía San Quintín. La abundancia total del fitoplancton se ha mantenido básicamente igual que en décadas anteriores cuando el cultivo de los moluscos filtroalimentadores no existía o era muy incipiente. La turbidez dentro de las áreas de cultivo es significativamente mayor que fuera de las mismas, posiblemente debida a las excreciones abundantes de los moluscos. Bahía San Quintín puede considerarse como un sistema todavía muy saludable.

Palabras clave: Bahía San Quintín, cultivo de moluscos, fitoplancton, clorofila, nutrientes

ABSTRACT of the thesis presented by **Alicia Isabel Osorno Velázquez** as partial requirement to obtain the **MASTER OF SCIENCE** degree in **MARINE ECOLOGY**.
Ensenada, Baja California, México. June 2000.

**IMPACT OF FILTERFEEDER MOLLUSKS CULTURE ON THE
PHYTOPLANKTON COMMUNITIES OF SAN QUINTIN BAY.**

ABSTRACT

Commercial oyster culture started in San Quintin Bay, Baja California, in 1977. During the following decade, this oyster culture became an important economic activity, supporting to a great extent the oyster production of the whole state of Baja California. San Quintín is still in a very pristine state, with almost no alterations as a marine ecosystem, in spite of the aquaculture enterprise development and other human activities. Filterfeeder organisms, such as oysters, consume suspended organic particles. An important component of these suspended particles is the phytoplankton. On the other hand, filterfeeder mollusks produce great quantities of excreted organic matter. These excretions increase the biochemical oxygen demand, they may decrease the pH and increase the turbidity of the surrounding waters. The objective of this study was to find out if there are alterations in the phytoplankton communities of San Quintin Bay, both in their abundance and taxonomic composition. Also, the possibility of significant changes of environmental variables such as dissolved oxygen concentration (O_2), pH, and nutrient concentrations (PO_4 , NO_3 , NO_2 and NH_4), caused by more than a quarter of a century of filterfeeder mollusks commercial cultures. Essentially the same methodology of the 1970's was used to generate the new data, so that comparisons could be made directly. Salinity, O_2 , pH, nutrients and chlorophyll concentration have not change significantly during the last 25 years in San Quintín Bay. Total phytoplankton abundance is basically the same as that of a quarter of a century ago, when the oyster culture did not exist or when it was just starting. Inside the areas where they culture the oysters, turbidity is greater than outside. This may be due to the abundant organic excretions of these mollusks. San Quintín Bay may still be considered as a very healthy coastal marine ecosystem.

Key words: San Quintin Bay, culture of mollusks, phytoplankton, chlorophyll, nutrients

DEDICATORIA

**A MEZLI Y A GUS
CON TODO MI AMOR**

AGRADECIMIENTOS

Con sinceridad, admiración y afecto a mi asesor y maestro Dr. Saúl Alvarez Borrego por la confianza que mostró hacia mi y por el gran apoyo que siempre me dio.

Al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada .

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Esta tesis es parte del proyecto 28321N apoyado por CONACYT.

Al Dr. Eduardo Millán Núñez por su gran ayuda en el trabajo de campo y laboratorio.

Al M. en C. José Martín Hernández Ayón, del Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California, por su amable apoyo con los análisis de laboratorio.

A la Dra. Ma. Refugio González Esparza por su ayuda en el laboratorio.

Al M. en C. Oscar Angeles Reyes por las fotografías del fitoplancton que me obsequió.

A la Dra. Lucila Lares por todas sus enseñanzas, su gran ayuda y su valiosa amistad.

A la Dra. Alma Delia Giles por sus enseñanzas y su amable apoyo.

Al Dr. Josué Alvarez Borrego por sus enseñanzas y su amable apoyo.

A mi amiga la Dra. Rosa Reyna Mouriño Pérez por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi amiga Lorena Linacre Rojas por todas sus enseñanzas, su ayuda y su amistad.

A mi amiga Adriana Orozco Meyer por su amable disposición y ayuda.

A todos mis compañeros y amigos, que de una u otra forma contribuyeron para que yo pudiera seguir adelante (Emmanuel, Rosina, Mary, Marisol, José Luis, Mireya, Carmen, Bety, Ana, Laura, Dantenoc, Beny, Amelia e Ivon`).

Al Dr. Horacio De la Cueva por abrirme la puerta de entrada al CICESE.

A mis padres Arturo e Isabel por transmitirme fuerza y perseverancia.

CONTENIDO

	Página
I INTRODUCCION	1
II MATERIALES Y METODOS	4
III RESULTADOS	11
IV DISCUSION	34
V CONCLUSIONES	44
LITERATURA CITADA	45

Lista de figuras

Figura		Página
1	Area de estudio. Los puntos indican las localidades de muestreo. ST indica donde se generaron las series de tiempo.	7
2	Mareogramas para las fechas de muestreo.	8
3	Series de tiempo de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del agua generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b).	12
4	Distribución espacial de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del agua. Los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b).	13
5	Serie de tiempo de salinidad generada el 27 de enero de 2000 (a); y distribución espacial de salinidad del 28 de enero del 2000 (b). En el panel b los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo.	14
6	Variación espacial de las lecturas del disco de Secchi. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades.	16
7	Series de tiempo de pH generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b).	17
8	Variación espacial de pH. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades.	18
9	Variación espacial de la concentración de oxígeno disuelto. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades.	20
10	Series de tiempo de nutrientes generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b). La barra de la izquierda es PO_4 , la de en medio es NO_2+NO_3 , y la de la derecha es NH_4 .	21
11	Variación espacial de nutrientes de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo. La barra de la izquierda es PO_4 , la de en medio es NO_2+NO_3 , y la de la derecha es NH_4 .	22
12	Series de tiempo de concentración de clorofila <i>a</i> y feopigmentos generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b). La línea continua representa a la clorofila y la punteada a los feopigmentos.	24
13	Distribución espacial de concentración de clorofila <i>a</i> y feopigmentos. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo. La línea continua es clorofila y la punteada son feopigmentos.	26
14	Series de tiempo de abundancia total de fitoplancton generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b).	28
15	Distribución espacial de la abundancia total de fitoplancton. Datos de septiembre (a) y datos de enero (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo.	32

Lista de tablas

Tablas		Página
I	Abundancia del fitoplancton por géneros. Serie de tiempo del 16 de septiembre de 1999.	27
II	Abundancia del fitoplancton por géneros. Serie de tiempo del 27 de enero de 2000.	29
III	Abundancia del fitoplancton por géneros. Distribución espacial de septiembre de 1999.	31
IV	Abundancia del fitoplancton por géneros. Distribución espacial de enero de 2000.	33

(Islas Olivares, 1975). A partir de 1977 se inició el maricultivo comercial del ostión en Bahía San Quintín por grupos de agricultores de la localidad, integrados en una sociedad cooperativa ejidal pesquera. En una década, el cultivo de ostión en San Quintín pasó a ser una actividad económica importante, constituyendo en gran medida la producción ostrícola del estado de Baja California (SEPESCA, 1988).

Esta bahía aún conserva características que no se han alterado a pesar de los maricultivos y otras actividades humanas. Esta condición tan especial es un motivo muy importante para su estudio y comparación con otros ambientes altamente modificados de la costa de California (E.U.A.). Los organismos filtroalimentadores como el ostión consumen partículas orgánicas en suspensión. Un componente importante de estas partículas en suspensión es el fitoplancton. Morton (1977) reportó que la alimentación y digestión de *Crassostrea gigas* son afectados por la abundancia de fitoplancton, además de fenómenos físicos como las mareas. Por otro lado, los moluscos filtroalimentadores producen cantidades elevadas de excretas (Acosta Ruiz, 1985) que aumentan la demanda bioquímica de oxígeno, potencialmente pueden disminuir el pH y aumentar la turbidez del agua a su alrededor. La intensificación de los cultivos de ostión y otros moluscos hace reflexionar al respecto y justifica la realización de un estudio del posible impacto de estos cultivos de moluscos filtroalimentadores en las comunidades fitoplanctónicas de esta bahía y en sus variables ambientales.

El objetivo principal de este trabajo fue determinar si existen alteraciones en Bahía San Quintín después de casi un cuarto de siglo de cultivos comerciales de moluscos. Se exploraron cambios en las comunidades fitoplanctónicas, tanto en su abundancia como en su composición taxonómica. Así mismo, se analizaron variables ambientales como la

II MATERIALES Y METODOS

Bahía San Quintín es una laguna costera localizada en la parte noroccidental de la península de Baja California, de 30° 24' a 30° 30' N y de 115° 57' a 116° 01' W, a 200 km al Sur de Ensenada. Tiene un área de 41.6 km² y se divide en dos brazos orientados en dirección NW: el brazo oeste, llamado Bahía Falsa, y el brazo este, llamado propiamente Bahía San Quintín. Bahía Falsa tiene 5.6 km de largo, y consiste en una plataforma submarina poco profunda. La otra rama, de 11.5 km de largo, se caracteriza por un fondo más irregular, con un canal de 10 m en su primer tercio. La laguna tiene una sola conexión con el mar a través de una boca un poco mayor a un km de ancho y de 2 a 7 m de profundidad. La profundidad promedio de la laguna es un par de metros, excepto en los canales de navegación, en donde llega a tener hasta 15 m en la cercanía de la boca (Ballesteros-Grijalva y García-Lepe, 1993).

Carece de aportes continuos de agua dulce superficial. Ambos brazos se encuentran protegidos por barras; sin embargo, durante marea alta y oleaje de cierta altura, el agua puede sobrepasar la parte más angosta de la barra de Bahía Falsa. Una tercera zona es la cabeza del brazo de Bahía San Quintín, la cual está limitada por el antiguo espigón artificial de Molino Viejo. Esta zona se caracteriza por una profundidad promedio de 2 m, y temperaturas y salinidades más altas que el resto de la laguna costera (Alvarez Borrego *et al.*, 1975) y una menor amplitud y altura de la marea y velocidad de la corriente (Del Valle Lucero y Cabrera Muro, 1981).

La circulación de la laguna es inducida por la marea astronómica, interviniendo aunque en menor proporción los vientos y los gradientes de densidad (Monreal Gómez, 1980). Una gran zona del fondo lodoso está cubierta por pastos marinos, predominando *Zostera marina* (Dawson, 1951). Esta bahía está calificada como un antiestuario, o estuario

negativo. En general, durante todo el año existe un gradiente horizontal de salinidad y temperatura con valores que se incrementan de la boca a los extremos internos de la laguna (Chávez de Nishikawa y Alvarez Borrego, 1976). Esto es debido a que la precipitación pluvial de la región es escasa, la evaporación es elevada y no hay aportes por ríos. También existe un gradiente horizontal similar de fosfato inorgánico y silicato con los valores aumentando hacia el interior de la laguna (Alvarez Borrego *et al.*, 1977; Alvarez Borrego y Chee Barragán, 1976). Debido a la poca profundidad y a la turbulencia causada por las corrientes de marea no existen gradientes verticales significativos de las diferentes propiedades del agua de mar (Lara Lara y Alvarez Borrego, 1975).

El intercambio de agua entre Bahía San Quintín y el océano adyacente es muy intenso, y esto puede constituir un mecanismo natural de limpieza y mantenimiento. Se ha estimado que en mareas vivas bajas hasta el 80% de agua de la Bahía sale al océano adyacente (Millán-Núñez *et al.*, 1982). Juárez Villarreal (1982) aplicó un modelo unidimensional para un estuario ramificado a Bahía San Quintín e hizo mediciones directas de dispersión de material en suspensión mediante un trazador fluorescente. Este autor encontró que el trazador inyectado el 5 de julio de 1979 en la cabeza de Bahía Falsa presentó niveles no detectables el 11 del mismo mes. Mientras que el trazador inyectado en la parte más interna de Bahía San Quintín se evacuó en menos de 48 horas.

Las fluctuaciones de las variables físicas, químicas y biológicas son predominantemente semidiurnas y diurnas, inducidas por las fuertes corrientes de marea (Lara Lara *et al.*, 1980; Millán-Núñez *et al.*, 1982; Martori Oxamendi, 1989). Además, el viento también produce corrientes que contribuyen al intercambio de agua (Martori Oxamendi, 1989).

Bahía San Quintín es una laguna costera con aguas ricas en nutrientes, lo que la ha llevado a ser una de las lagunas costeras con mayor producción de ostión de Baja California. Su fertilidad se debe principalmente a los procesos de surgencia costera en el océano adyacente y a las corrientes de marea que introducen esta agua prácticamente a todo el interior de la Bahía (Chávez de Nishikawa y Alvarez Borrego, 1976).

Se realizaron dos muestreos: el primero el 16 y 17 de septiembre de 1999, y el segundo el 27 y 28 de enero de 2000. En ambos casos se estableció un laboratorio de campo en Molino Viejo. En cada uno, unas dos horas después de arribar a la Bahía se comenzaban los muestreos para generar una serie de tiempo de 6 horas, frente a Molino Viejo, tomando una muestra cada hora. Al siguiente día, se tomaron muestras en 10 estaciones a lo largo de los dos brazos de la bahía (Fig.1). El recorrido se realizaba con una lancha con motor fuera de borda y duraba una hora y media de la estación uno a la diez. La toma de muestras de agua de mar se realizó a un metro de profundidad, con una botella Niskin. En cada localidad se tomó la lectura del disco de Secchi. La temperatura del agua fue tomada con termómetro de cubeta. Abordo se separó el agua de mar en botellas respectivas para posteriormente realizar la determinación de pH, salinidad, concentración de nutrientes, concentración de oxígeno disuelto (O_2), abundancia y clasificación del fitoplancton y concentración de clorofila a (Chl) y feofitina a (Pheo).

Las condiciones de marea se tomaron de un calendario elaborado con base en datos generados por un mareógrafo instalado en Molino Viejo. La figura 2 muestra la marea en los períodos de muestreo para las series de tiempo y para las estaciones 1-10.

En el laboratorio de campo se determinó el pH, mediante un electrodo de vidrio Ag/AgCl y un potenciómetro Orión, modelo 611, con una resolución de 0.01. Se utilizaron

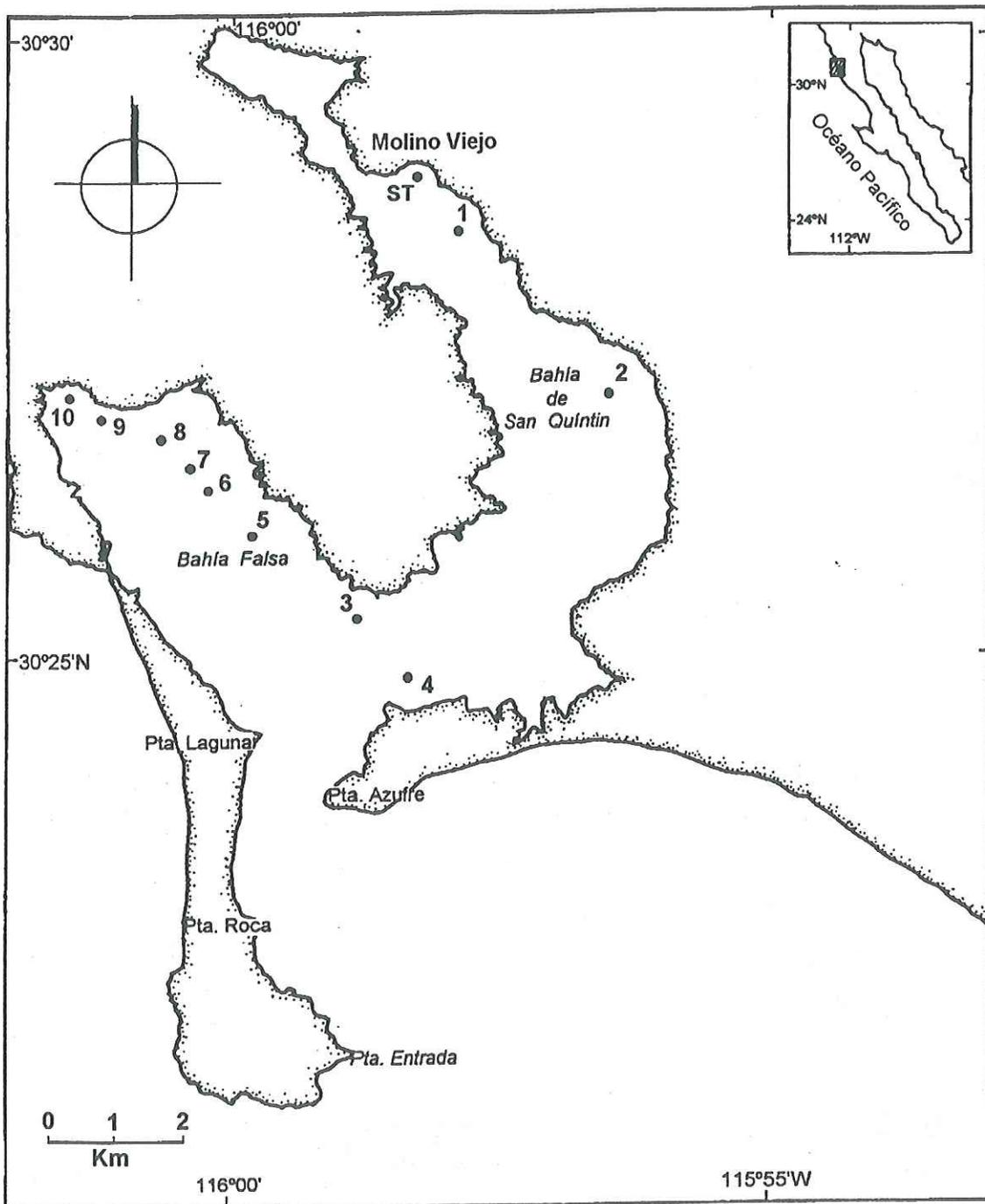


Figura 1.- Area de estudio. Los puntos indican las localidades de muestreo. ST indica donde se generaron las series de tiempo.

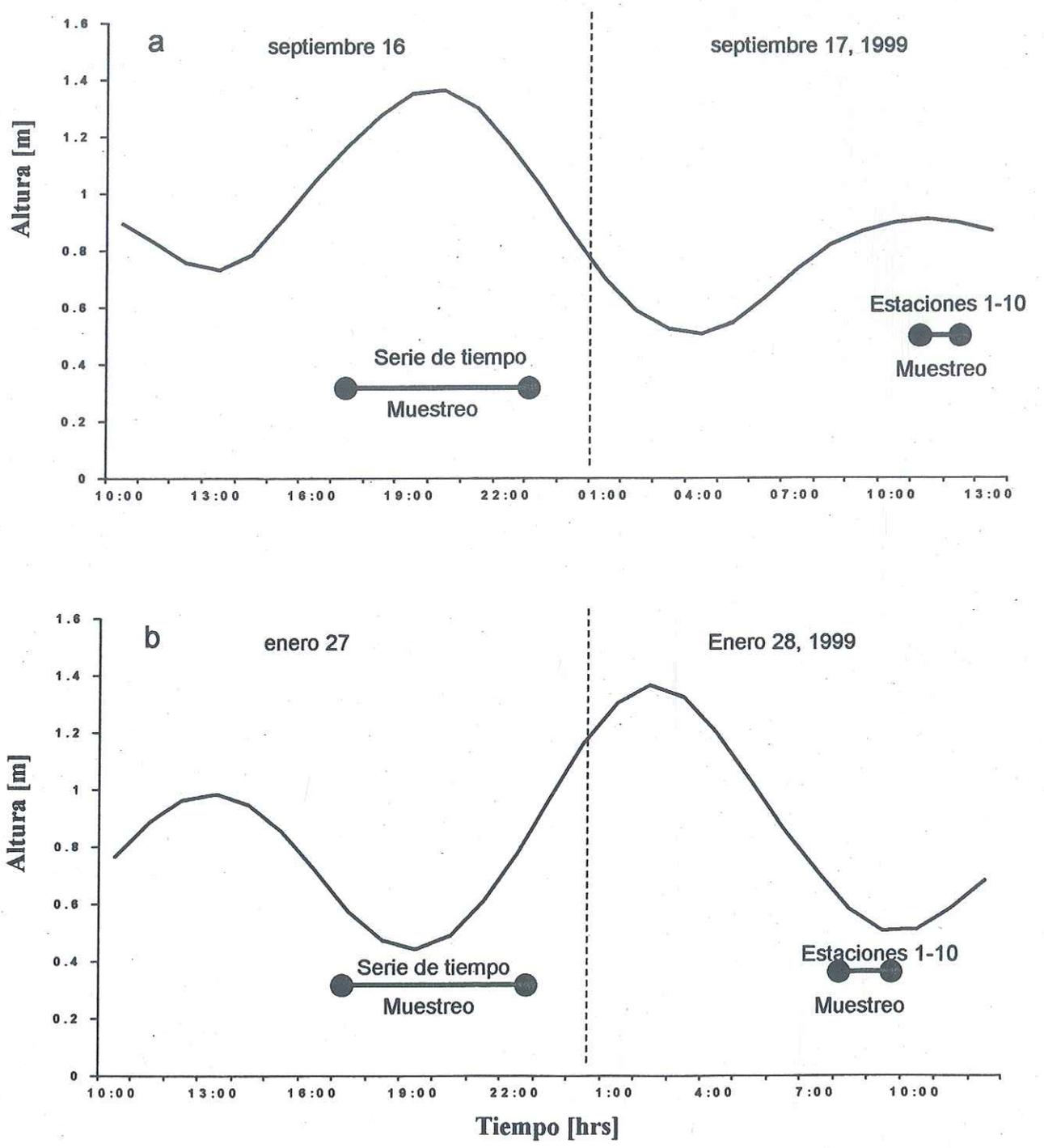


Figura 2. Mareogramas para las fechas de muestreo

soluciones amortiguadoras de pH 4 y 7 para calibrar la respuesta del electrodo. La salinidad se determinó por medio de un salinómetro conductímetro Beckman. Para la calibración se utilizaron ampollas de agua de mar estándar, con clorinidad igual a 19.373‰ que es equivalente a una salinidad de 34.998. La calibración del salinómetro se realizó antes y después de analizar todas las muestras de ese día.

En el campo, las muestras de nutrientes se colocaron en hielo con sal y se transportaron de esa manera hasta Ensenada donde se colocaron en un congelador eléctrico. La concentración de nutrientes fue determinada en la Universidad de California en Santa Barbara, con un autoanalizador, siguiendo básicamente lo descrito por Atlas *et al.* (1971). Se determinaron las concentraciones de fosfato (PO_4), nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y amonio (NH_4). La concentración de oxígeno disuelto se determinó por el método microWinkler, de acuerdo con Strickland y Parsons (1972). Las muestras de O_2 se fijaron en el campo y se analizaron en Ensenada. Las del primer muestreo se analizaron en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California; y las del segundo en la Estación Ensenada de la Dirección General de Oceanografía Naval.

Para la determinación de la concentración de clorofila α (Chl) y feofitina α (Pheo) se tomaron muestras de un litro de agua de mar, mismas que se filtraron a través de filtros de fibra de vidrio GF/F. Luego se colocaron en portafiltros y se introdujeron inmediatamente en nitrógeno líquido para su preservación y su traslado a Ensenada. Una vez en el laboratorio, se procedió a disolver el filtrado en acetona al 90%, en tubos de ensayo de 15 ml, durante 24 horas. Luego se centrifugaron y se cuantificaron la clorofila y feofitina por medio de fluorimetría (Holm-Hansen *et al.*, 1965; Strickland y Parson, 1972; Venrick y Hayward, 1984). Se utilizó un fluorímetro Turner modelo 111.

La abundancia y clasificación del fitoplancton se determinaron por medio del método Utermohl (1958) del microscopio invertido. Se dejaron las muestras a sedimentar por 24 horas en cámaras de sedimentación de 50 ml. Se utilizó un microscopio invertido Carl Zeiss, a 16x y 40x, siguiendo una secuencia horizontal y hasta contar 100 campos. El fitoplancton se identificó hasta el nivel de géneros. La abundancia se calculó con la siguiente fórmula: $(\text{número de células}) \text{ litro}^{-1} = (\text{número total de campos})(\text{número de células contadas})1000(\text{volumen de muestra sedimentado})^{-1}(\text{numero de campos contados})^{-1}$.

El procesado estadístico de los datos y la elaboración de las gráficas se llevó a cabo con el paquete comercial Excel para Windows. Se realizaron pruebas "t" de student para comparación de medias, y se realizaron pruebas no paramétricas de Wilcoxon.

III RESULTADOS

Temperatura

Los valores de temperatura del agua en la serie de tiempo de septiembre de 1999 variaron desde un máximo de 22 °C a las 18:00 horas hasta un mínimo de 20 °C a las 22:00 horas, con un promedio de 20.75 °C (Fig. 3a). Las temperaturas de la serie de tiempo de enero de 2000 disminuyeron monótonicamente de 17.5 °C a las 18:30 horas a 16.0 °C a las 00:30 horas, con un promedio de 16.7 °C (Fig. 3b). Las temperaturas registradas en las 10 estaciones del muestreo de septiembre variaron de un mínimo de 20.0 °C en las estaciones 3, 5 y 6, localizadas en el canal cercano a la base de la "Y", por el lado de Bahía Falsa, hasta un máximo de 21 °C en las estaciones 2, 4, 7, 8, 9 y 10, localizadas en la parte somera de Bahía San Quintín y en la parte más interna de Bahía Falsa (Fig. 4a). La media fue 20.65 °C. Las temperaturas de enero de 2000 de las 10 estaciones oscilaron entre 14.8 y 15.8 °C, con los valores máximos en el extremo interno de Bahía Falsa, y con un promedio de 15.4 °C (Fig. 4b).

Salinidad

Para septiembre de 1999, sólo se tienen datos de salinidad para tres estaciones, 3, 4 y 6. En las primeras dos la salinidad fue 34.49 y 34.57, respectivamente. En la estación seis, la salinidad fue 35.00. Los valores de salinidad de la serie de tiempo de enero de 2000 fluctuaron entre 33.49 y 37.35, con un promedio de 35.34 (Fig. 5a). Especialmente la salinidad osciló entre un mínimo de 33.68, que correspondió a la estación 4 adyacente a Punta Azufre, y un máximo de 34.18 para la estación 7, localizada en el área del cultivo. El

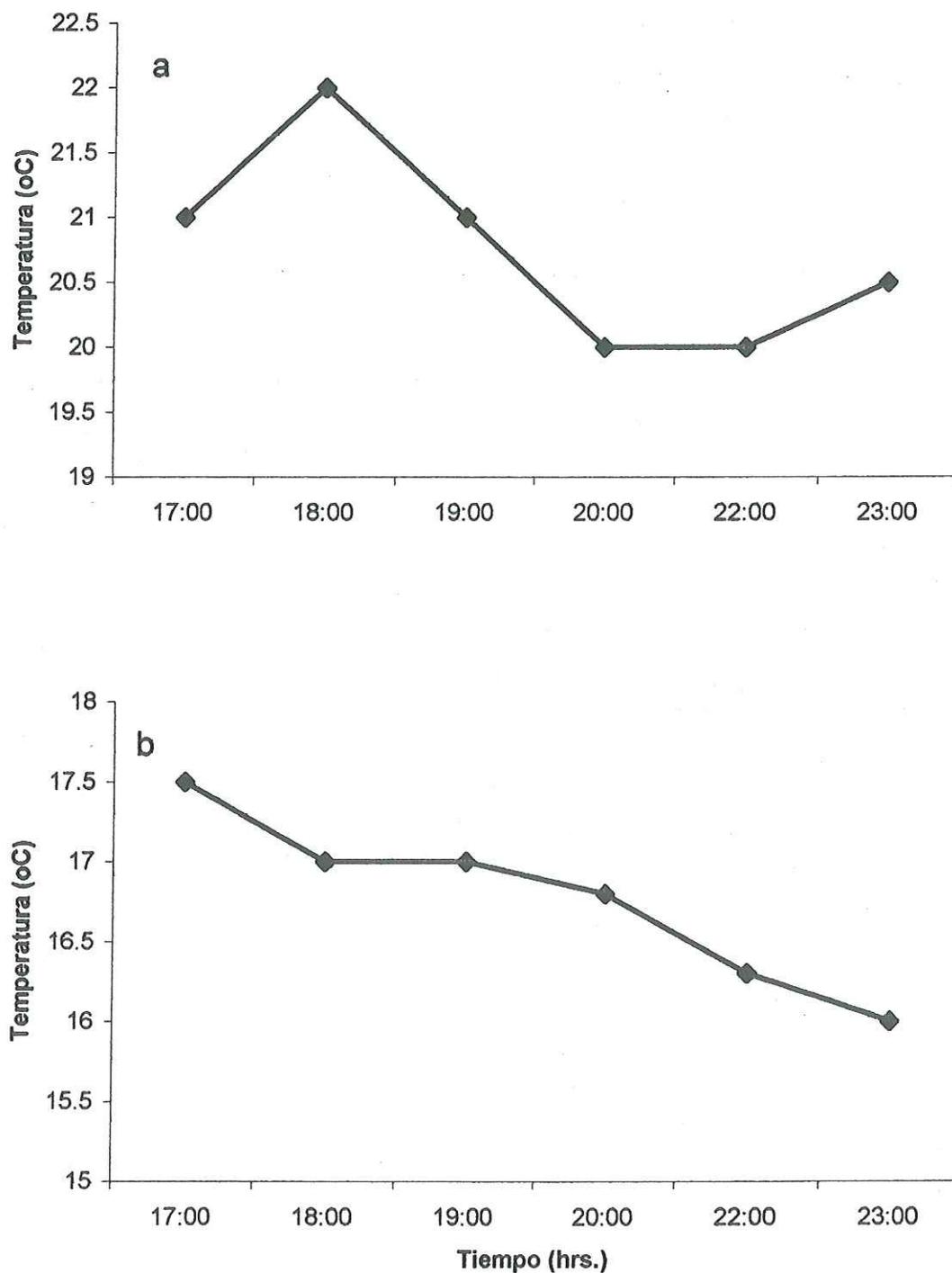


Figura 3.- Series de tiempo de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) del agua generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b).

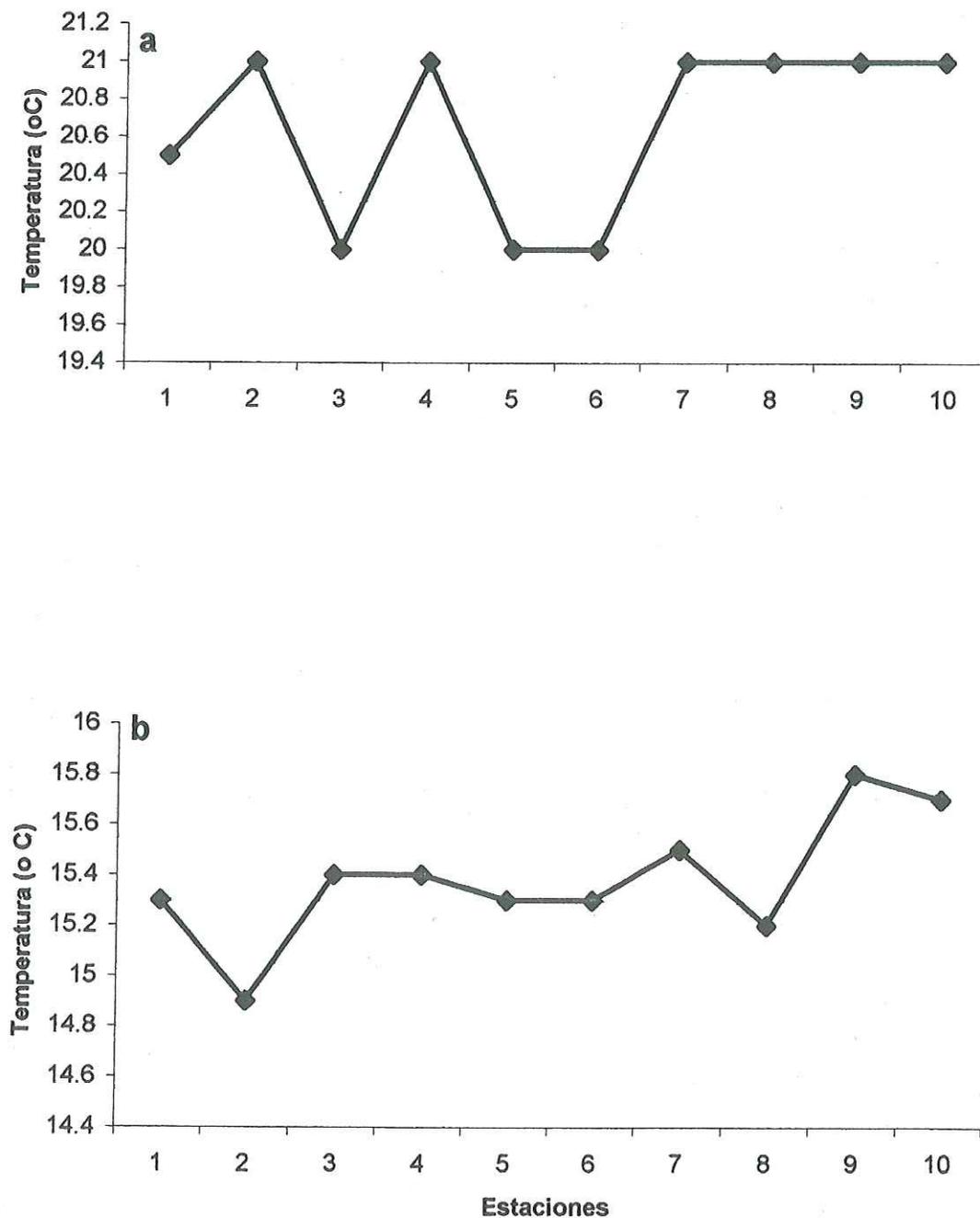


Figura 4.- Distribución espacial de la temperatura (°C) del agua. Los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b).

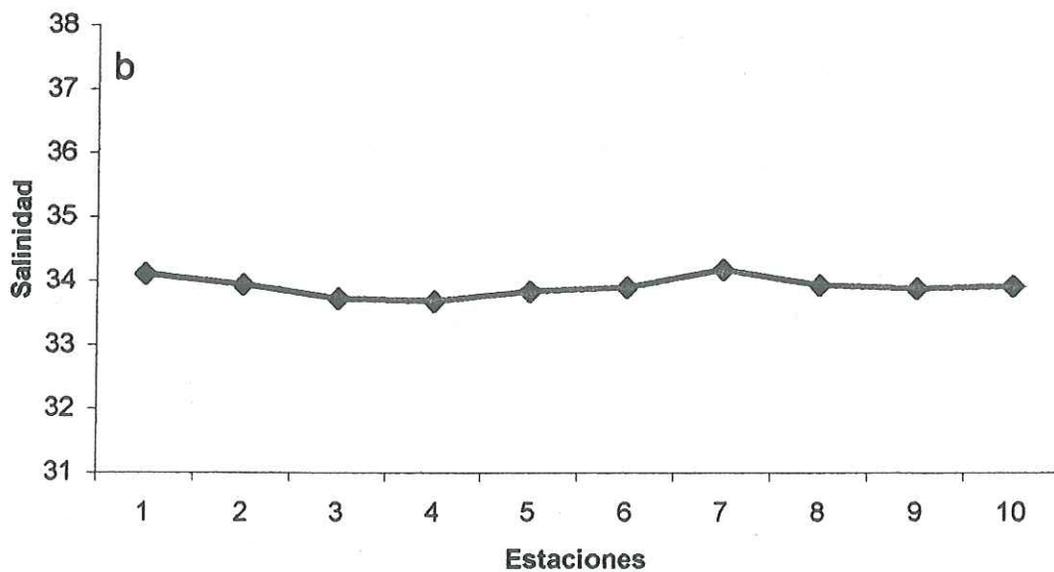
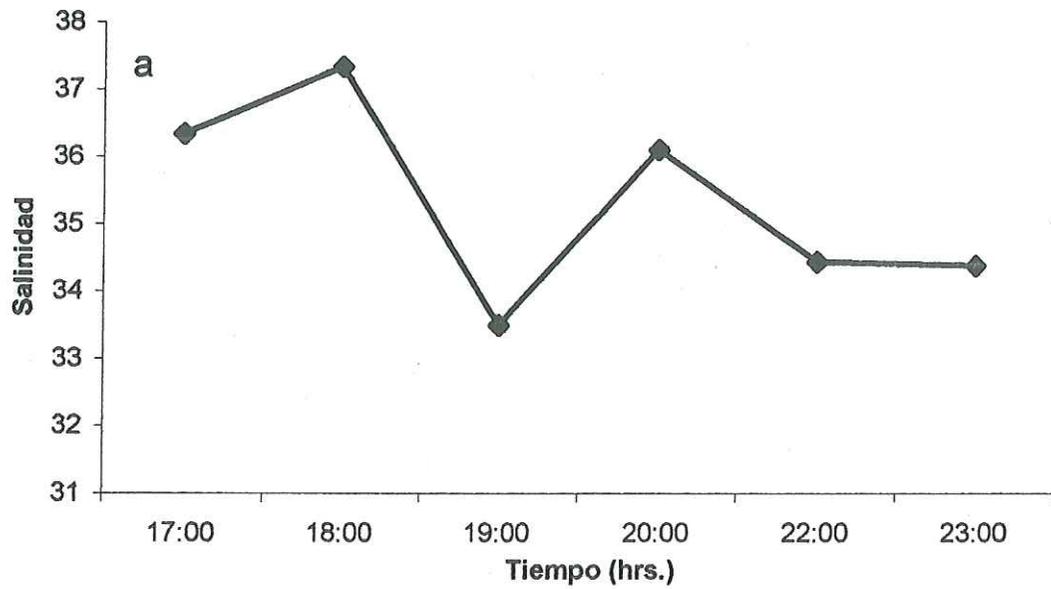


Figura 5.- Serie de tiempo de salinidad generada el 27 de enero de 2000 (a); y distribución espacial de salinidad del 28 de enero del 2000 (b). En el panel b los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo.

extremo interno de Bahía San Quintín también presentó un valor alto de 34.12. El promedio fue 33.91 (Fig. 5b).

Profundidad del disco de Secchi

Las lecturas del disco de Secchi variaron entre uno y 3.5 m en septiembre de 1999. La aguas más turbias fueron las del interior de Bahía Falsa (1.5 m) y la parte adyacente a Punta Azufre (un m), y las más transparentes fueron las del canal profundo de la base de la "Y" y las aguas de Bahía San Quintín (3 - 3.5 m). El promedio fué 2.4 m (Fig. 6a). En enero de 2000, de nuevo el agua más turbia fue la del extremo interno de Bahía Falsa (estaciones 7, 9 y 10 con uno a dos m) y las más transparentes fueron las de Bahía San Quintín (6 m en la estación uno) (Fig. 6b). El promedio fue 2.7 m.

pH

En general, los valores de pH de enero fueron menores que los de septiembre. Los valores de pH registrados en la serie de tiempo de septiembre de 1999 oscilaron entre un mínimo de 8.44 y un máximo de 8.55, con un promedio de 8.50 (Fig. 7a). En la serie de tiempo de enero de 2000 el valor mínimo registrado fue 8.02 y el máximo fue 8.27, con un promedio de 8.16 (Fig. 7b). En septiembre, se obtuvo un valor mínimo de 7.97 en la estación 2, en Bahía San Quintín, y un máximo de 8.19 en la estación 4. El promedio fue 8.02 (Fig. 8a). En cuanto a la variación espacial de enero, el valor mínimo obtenido fue 7.74, en la estación 4 cercana a la boca, y el máximo fue 7.99 en la estación 10, ubicada en el extremo interno de Bahía Falsa. El promedio fue 7.8 (Fig. 8b).

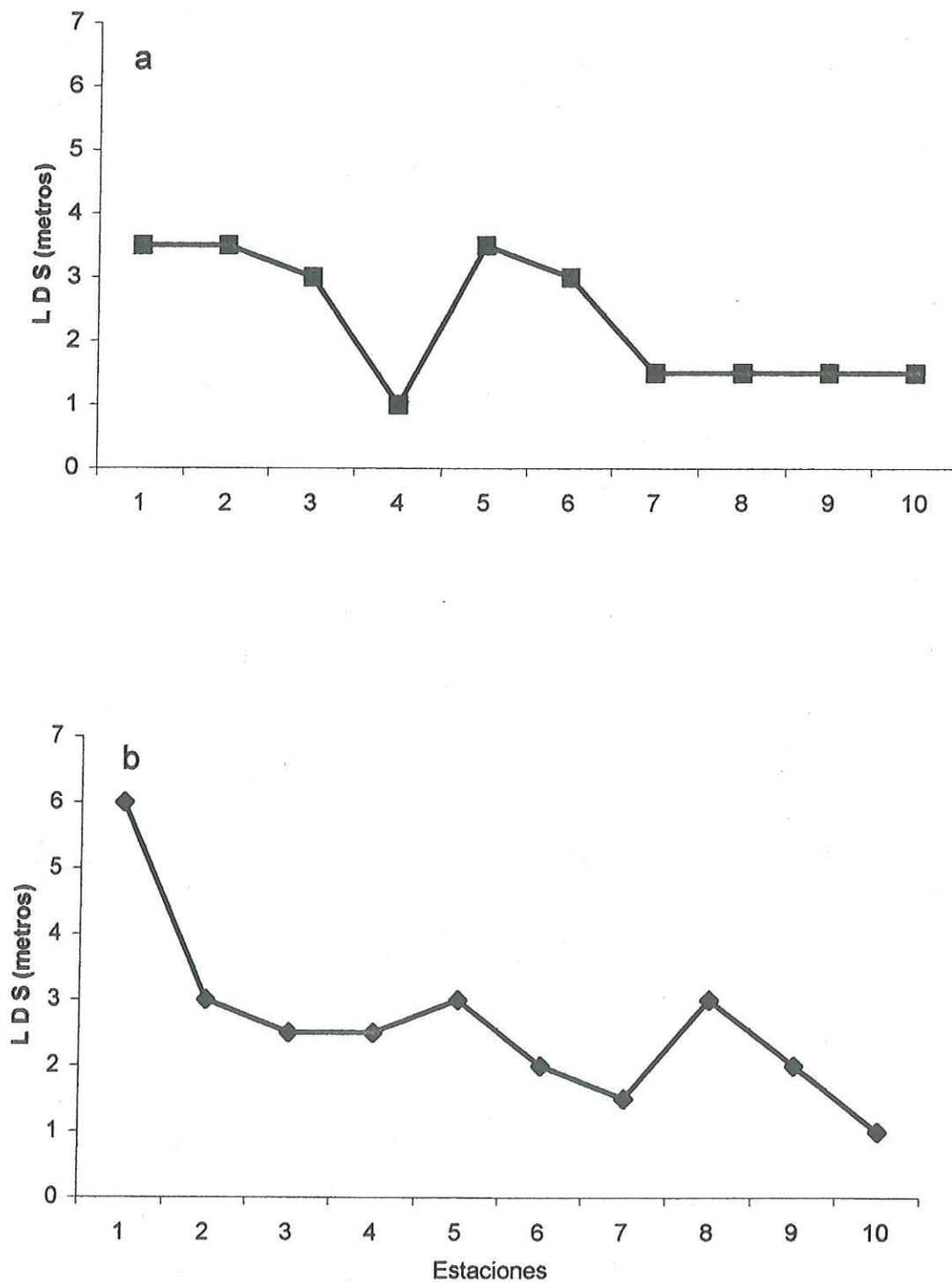


Figura 6.- Variación espacial de las lecturas del disco de Secchi. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades.

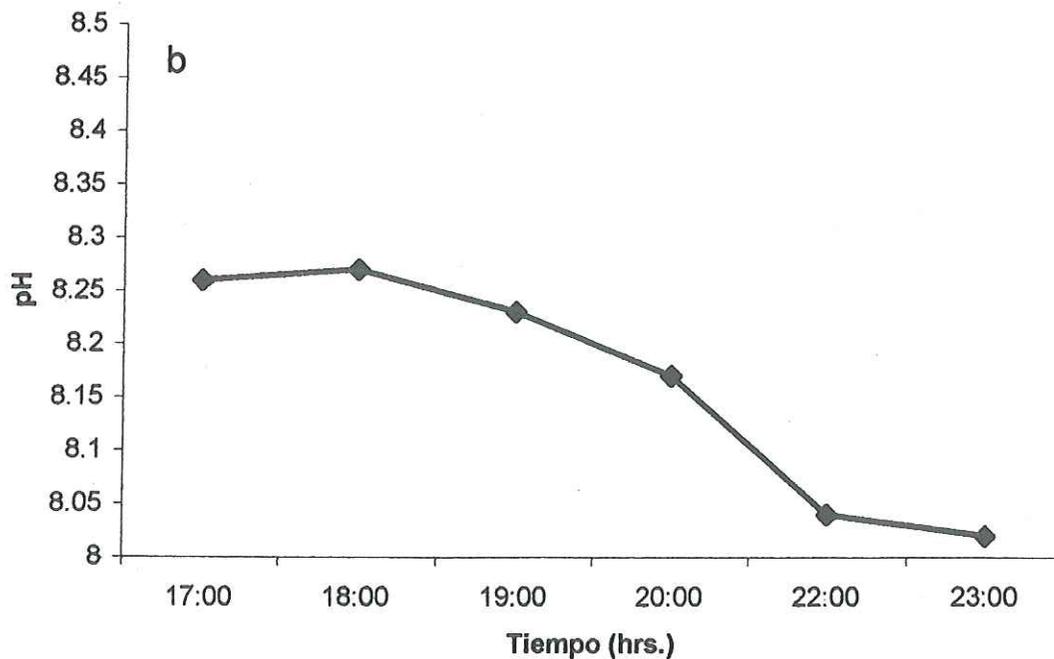
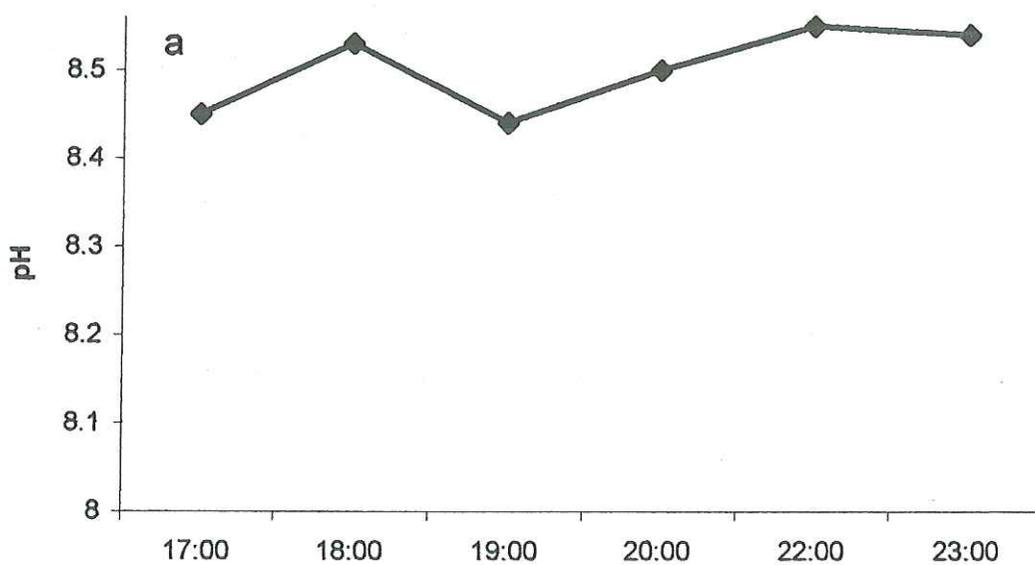


Figura 7.- Series de tiempo de pH generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b).

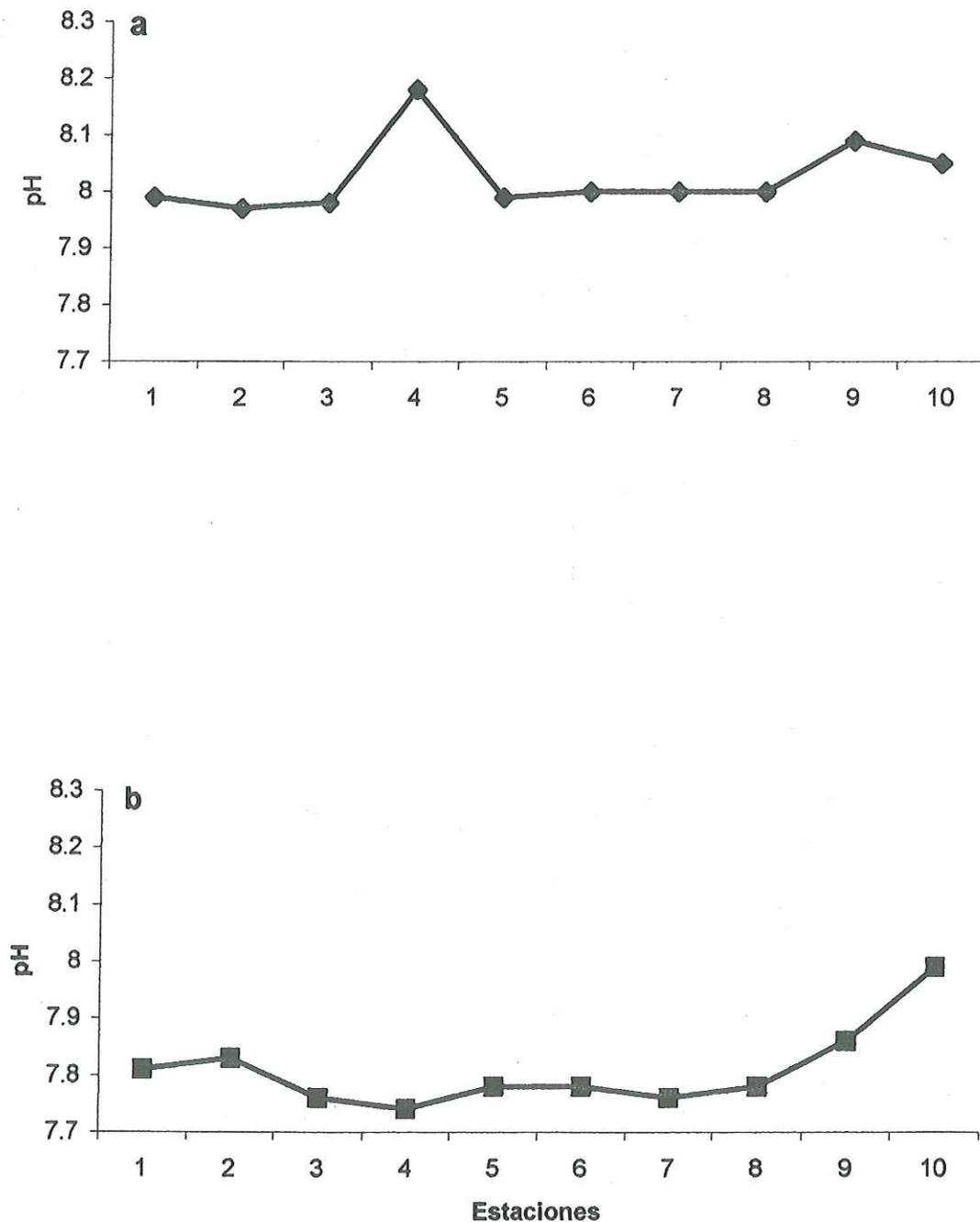


Figura 8.- Variación espacial de pH. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades.

Oxígeno disuelto

No se generaron series de tiempo para O_2 . Los valores obtenidos en septiembre fluctuaron de 5.4 ml l^{-1} en la estación 1 hasta 7.9 ml l^{-1} en la estación 4, con un promedio de 6.03 ml l^{-1} (Fig. 9a). Los valores de enero de 2000 variaron de un mínimo de 4.0 ml l^{-1} , en la estación 4, a un máximo de 4.9 ml l^{-1} , en la estación 9, con un promedio de 4.2 ml l^{-1} (Fig. 9b).

Concentración de nutrientes

En cuanto a las concentraciones de nutrientes, en general los valores de NH_4 fueron los más altos (Figs. 10 y 11). En la serie de tiempo de septiembre, los valores fluctuaron entre 1.38 y $1.63 \text{ } \mu\text{M}$ para PO_4 , entre 0.7 y $1.8 \text{ } \mu\text{M}$ para NO_2+NO_3 , y entre 1.7 y $5.0 \text{ } \mu\text{M}$ para NH_4 . En la serie de tiempo de enero, los valores fluctuaron entre 0.98 y $3.02 \text{ } \mu\text{M}$ para PO_4 , entre 0.2 y $1.0 \text{ } \mu\text{M}$ para NO_2+NO_3 , y entre 1.7 y $7.4 \text{ } \mu\text{M}$ para NH_4 .

Espacialmente, los valores de NH_4 también fueron los más altos (hasta $5 \text{ } \mu\text{M}$ en la estación 2), con excepción de los correspondientes a las estaciones 7, 8 y 9 de septiembre, que fueron muy bajos (Fig. 11a). Los valores de PO_4 variaron relativamente poco en septiembre, de un mínimo de $1.23 \text{ } \mu\text{M}$ en la estación 3 a un máximo de $1.52 \text{ } \mu\text{M}$ en la estación 9 (situada dentro del área de cultivo), con un promedio de $1.38 \text{ } \mu\text{M}$. Los valores de NO_2+NO_3 variaron entre $0.5 \text{ } \mu\text{M}$ en la estación 8 y $2.2 \text{ } \mu\text{M}$ en la estación 5, con promedio de 1.48 . El valor mínimo de NH_4 fue $0.22 \text{ } \mu\text{M}$ en la estación 9 (Fig. 11a).

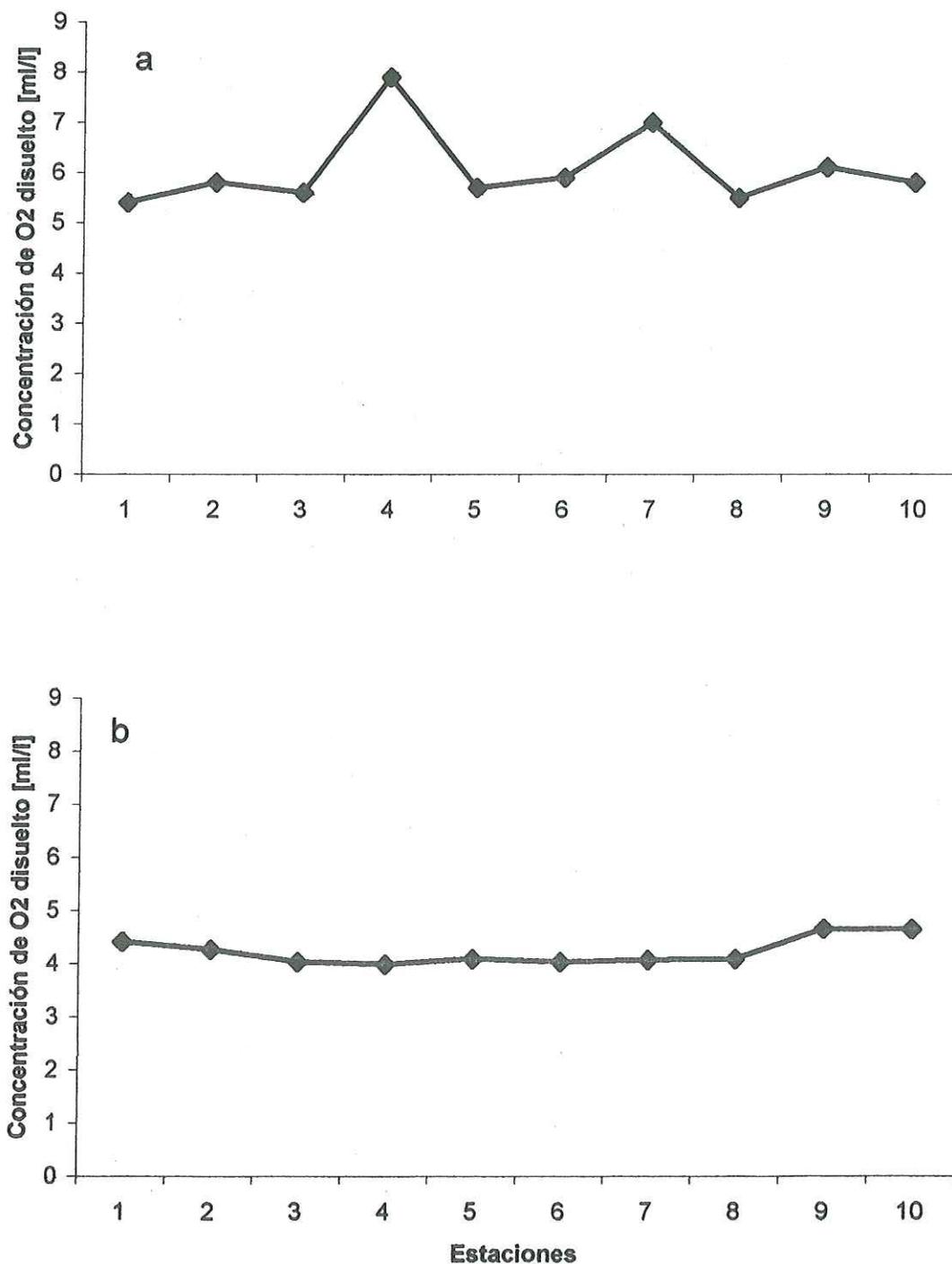


Figura 9.-Variación espacial de la concentración de oxígeno disuelto. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades.

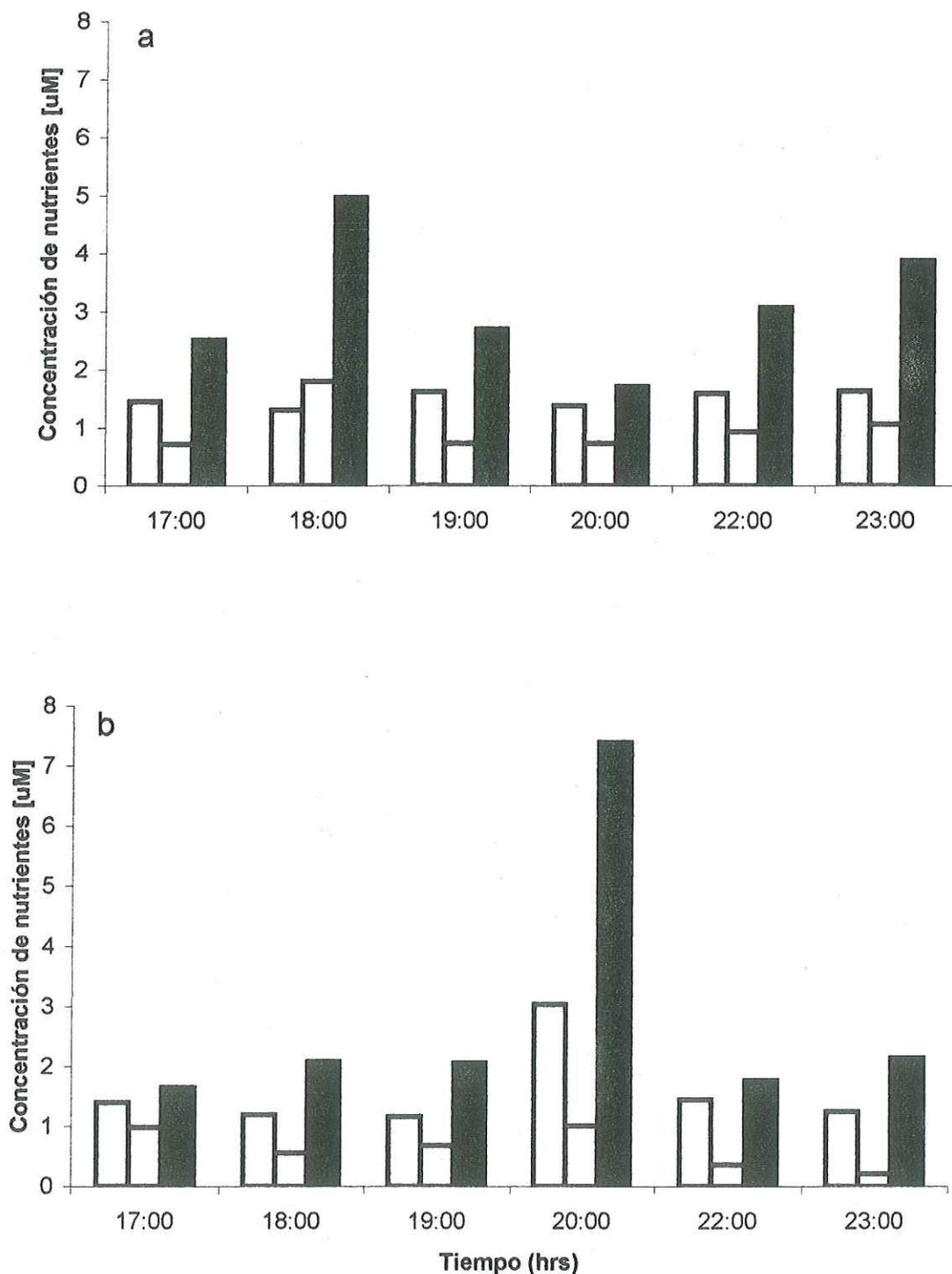


Figura 10.-Series de tiempo de nutrientes generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b). La barra de la izquierda es PO_4 , la de en medio es $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$, y la de la derecha es NH_4 .

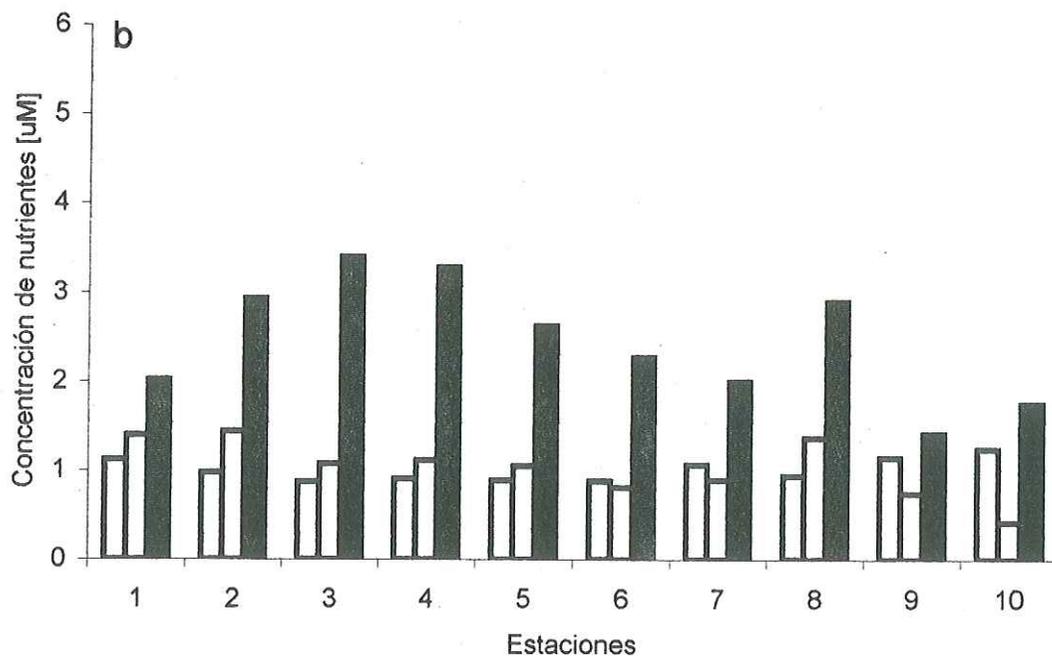
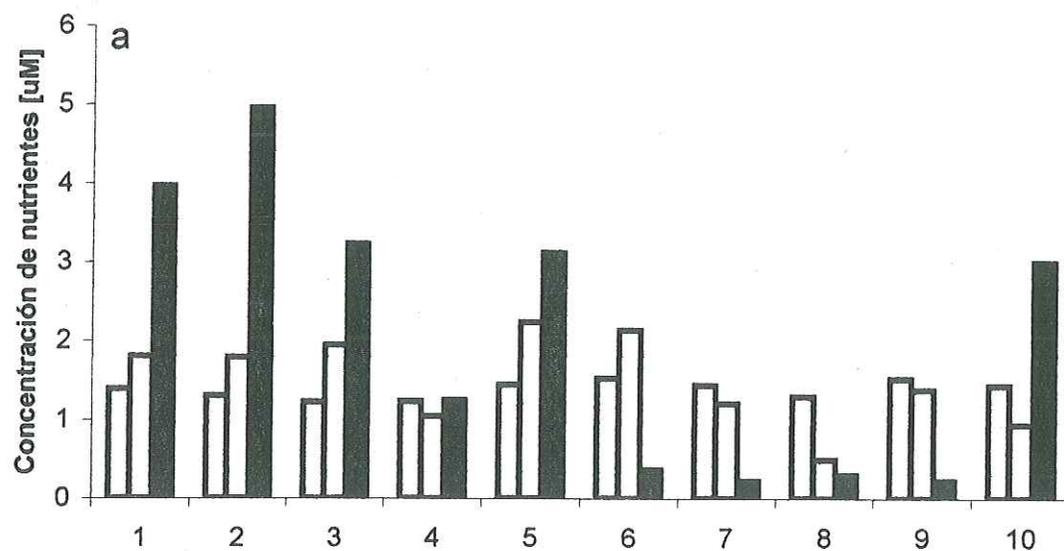


Figura 11.-Variación espacial de nutrientes de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo. La barra de la izquierda es PO₄, la de en medio es NO₂+NO₃, y la de la derecha es NH₄.

Las concentraciones de nutrientes de enero fueron menores que las de septiembre. Oscilaron, las de PO_4 de 0.88 a 1.24 μM , las de NO_2+NO de 0.4 a 1.4 μM y las de NH_4 de 1.4 a 3.4 μM (Fig. 11b). Los valores de PO_4 casi no variaron espacialmente en enero. Los valores de NO_2+NO_3 tampoco variaron mucho espacialmente, con excepción del valor de la estación 10, en el extremo interno de Bahía Falsa, que fue significativamente menor que los de las otras estaciones. En enero, los valores más altos de NH_4 se encontraron en las estaciones de la base de la "Y" (Fig. 11b).

Concentración de clorofila *a* y feopigmentos

Las concentraciones de clorofila *a* (Chl) de la serie de tiempo de septiembre presentaron variaciones principalmente entre 2.44 y 4.88 mg m^{-3} , con excepción de una elevación importante a las 18:00 horas de 12.5 mg m^{-3} . El promedio fue 5.29 mg m^{-3} . Las feofitinas (Pheo) no se detectaron en la mayoría de los casos, sólo hubo un par de concentraciones significativas: 1.36 mg m^{-3} a las 19:00 horas y 0.82 mg m^{-3} a las 23:00 (Fig. 12a). En la serie de tiempo de enero la mayoría de los valores de Chl oscilaron entre 3.0 y 6.4 mg m^{-3} , pero al principio se presentó un valor extremadamente alto de 27.8 mg m^{-3} . Los valores de Pheo tuvieron un comportamiento similar con un valor elevado al principio de 18.5 mg m^{-3} , y la mayoría fluctuando entre 0.12 y 0.8 mg m^{-3} (Fig. 12b).

En la distribución espacial de septiembre hubo una variación muy intensa de Chl con los valores mínimos en los extremos internos de los dos brazos de la Bahía. Mientras que en los extremos internos los valores fluctuaron entre 5 y 8 mg m^{-3} , en las estaciones cercanas a la base de la "Y" alcanzaron valores tan altos como 34.7 mg m^{-3} . Hubo cuatro

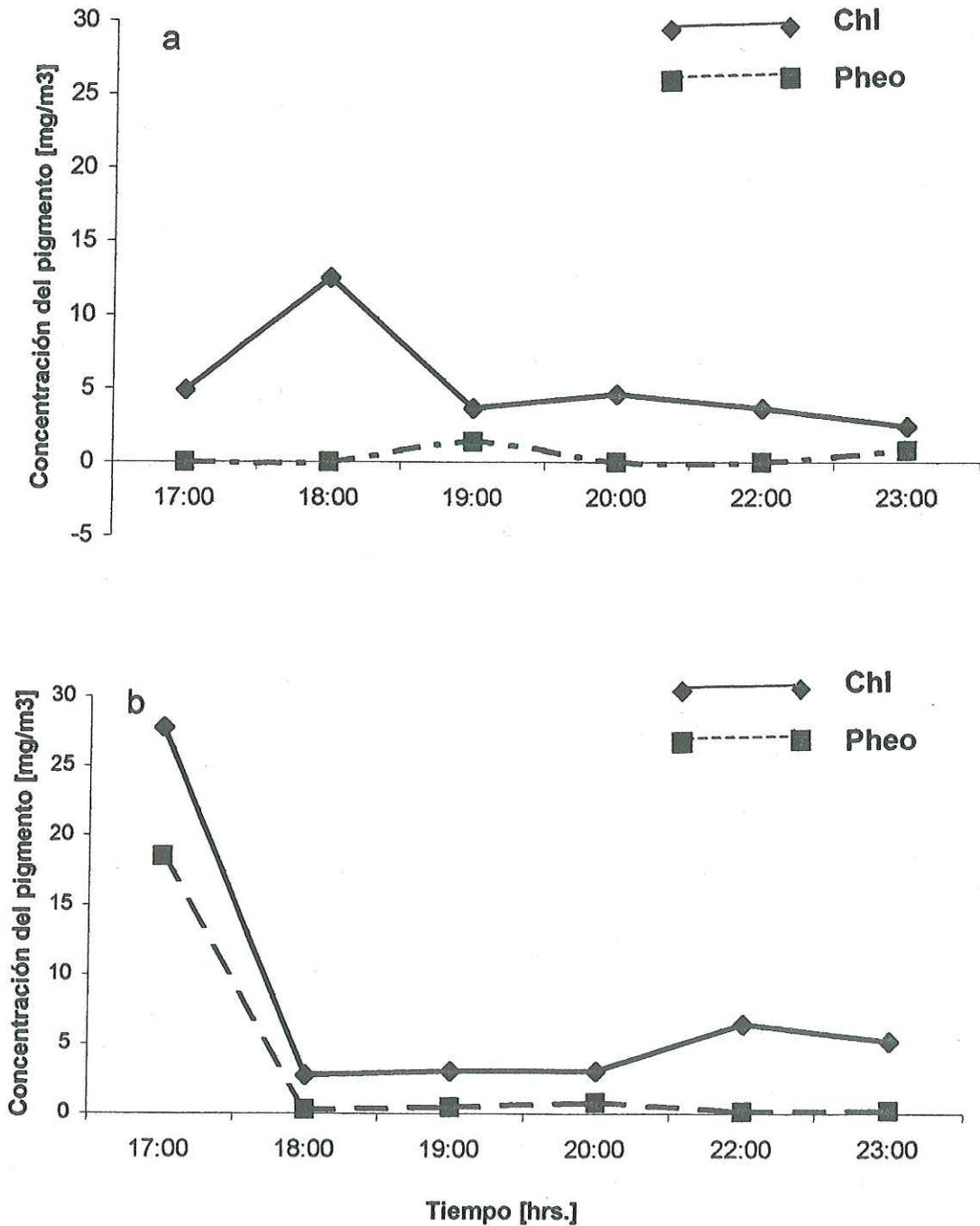


Figura 12.-Series de tiempo de concentración de clorofila *a* y feopigmentos generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b). La línea continúa representa a la clorofila y la punteada a los feopigmentos.

determinaciones muy elevadas (34.7 mg m^{-3} en las estaciones 2 y 4, y 27.7 mg m^{-3} en las estaciones 3 y 5), tres de ellas en el área fuera del cultivo de ostión y una dentro de ella. Los valores de Pheo tuvieron de nuevo un comportamiento similar a los de Chl, aunque fueron en general más bajos. Fluctuaron entre 0.4 y 27.0 mg m^{-3} (Fig. 13a). En la distribución espacial de enero, los valores de Chl fluctuaron de 2.4 a 6.4 mg m^{-3} , con valores similares en los extremos internos a los de septiembre, pero con valores más bajos en enero en la base de la "Y" (Figs. 13 a y b). Los valores de Pheo también fueron más bajos en enero. Oscilaron entre 0.4 y 1.4 mg m^{-3} , con un promedio de 0.8 mg m^{-3} (Fig. 13b).

Abundancia de fitoplancton

En la serie de tiempo de septiembre de 1999, las *monadas* presentaron la más elevada abundancia con un máximo de $87,000 \text{ células litro}^{-1}$, seguida de los géneros *Nitzschia*, *Navícula*, *Pleurosigma* y *Cocconeis*. Los demás géneros fueron muy escasos (Tabla I). En este mes *Nitzschia* tuvo una abundancia total máxima de $8,000 \text{ células litro}^{-1}$. La abundancia total fluctuó entre $29,000$ y $99,000 \text{ células litro}^{-1}$ en la serie de tiempo de este mes (Fig. 14a). En general, los valores de la serie de tiempo de enero fueron mayores que los de septiembre, fluctuaron entre $17,000$ y $261,000 \text{ células litro}^{-1}$ (Fig. 14b). En enero también las monadas fueron las más abundantes, seguidas de los géneros *Cocconeis* y *Nitzschia*. La presencia de otros géneros fue escasa. (Tabla II).

La distribución espacial de la abundancia de fitoplancton en el muestreo de septiembre de 1999 presentó también predominio de monadas, de una manera similar a las series de tiempo. Después de las monadas, los géneros más abundantes fueron *Cocconeis*,

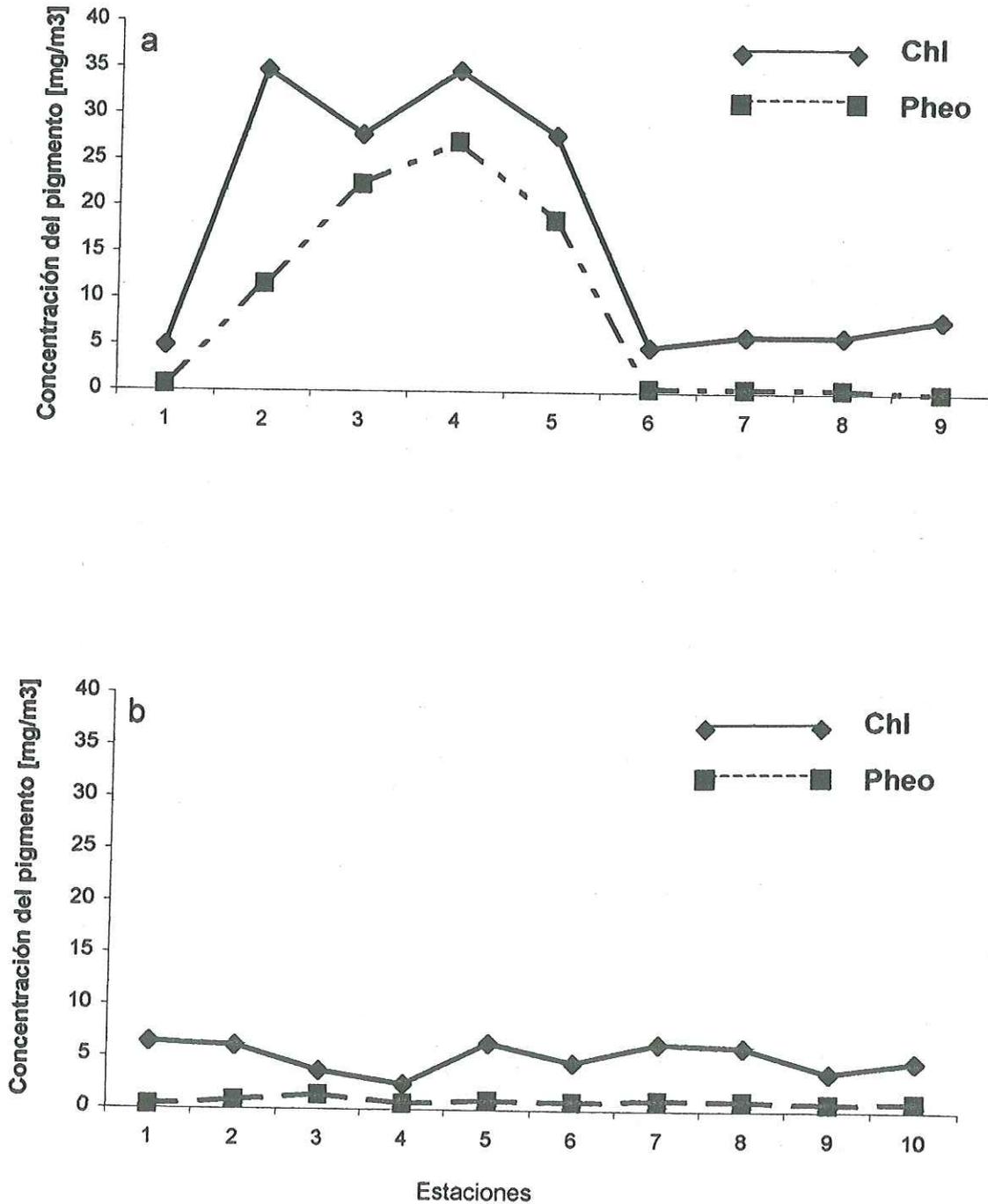


Figura 13.-Distribución espacial de concentración de clorofila *a* y feopigmentos. Datos de septiembre de 1999 (a) y de enero de 2000 (b). Los números en el eje horizontal representan las localidades de muestreo. La línea continua es clorofila y la punteada son feopigmentos.

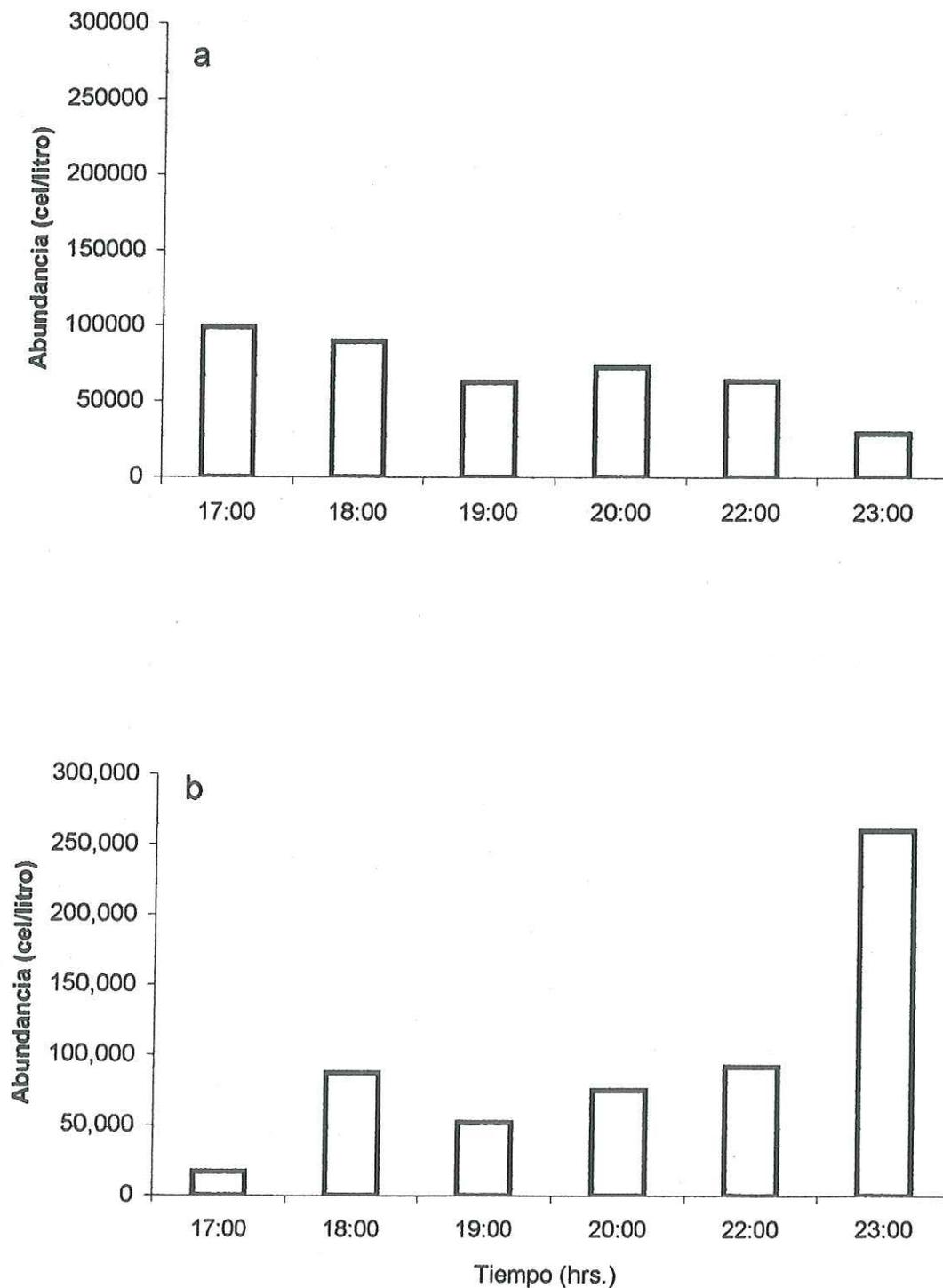


Figura 14.-Series de tiempo de abundancia total de fitoplancton generadas el 16 de septiembre de 1999 (a) y el 27 de enero de 2000 (b).

Tabla I.- Abundancia del fitoplancton por géneros. Serie de tiempo del 16 de septiembre de 1999.

Género	17:00 hrs	18:00 hrs	19:00 hrs	20:00 hrs	22:00 hrs	23:00 hrs
<i>Achnanthes</i>	0	0	0	68	0	68
<i>Amphora</i>	343	343	68	0	0	68
<i>Climalosphenia</i>	0	0	275	68	0	137
<i>Cocconeis</i>	0	0	275	206	412	68
<i>Coscinodiscus</i>	0	343	137	137	0	137
<i>Cryptomonas</i>	86929	78843	57118	66713	56605	23754
<i>Diploneis</i>	0	0	137	0	0	0
<i>Eucampia</i>	0	13	0	0	0	0
<i>Lauderia</i>	34	2	137	68	137	137
<i>Licmophora</i>	206	343	0	68	68	0
<i>Melosira</i>	0	0	0	0	0	137
<i>Navicula</i>	2268	2131	68	0	206	68
<i>Nitzschia</i>	8044	6462	4056	5019	4881	3781
<i>Oxyttoxum</i>	0	0	0	0	0	68
<i>Pleurosigma</i>	0	275	137	0	687	343
<i>Prorocentrum</i>	687	0	0	0	0	0
<i>Rhizozolenia</i>	0	0	0	0	68	0
<i>Skeletonema</i>	137	206	0	0	0	0
<i>Stephanopyxis</i>	0	0	0	68	68	137
<i>Thalasiothrix</i>	0	0	68	0	0	0
<i>Thalassiosira</i>	0	0	0	0	137	0
<i>Triceratium</i>	0	68	0	0	137	68
total	98648	89029	62476	72415	63406	28971

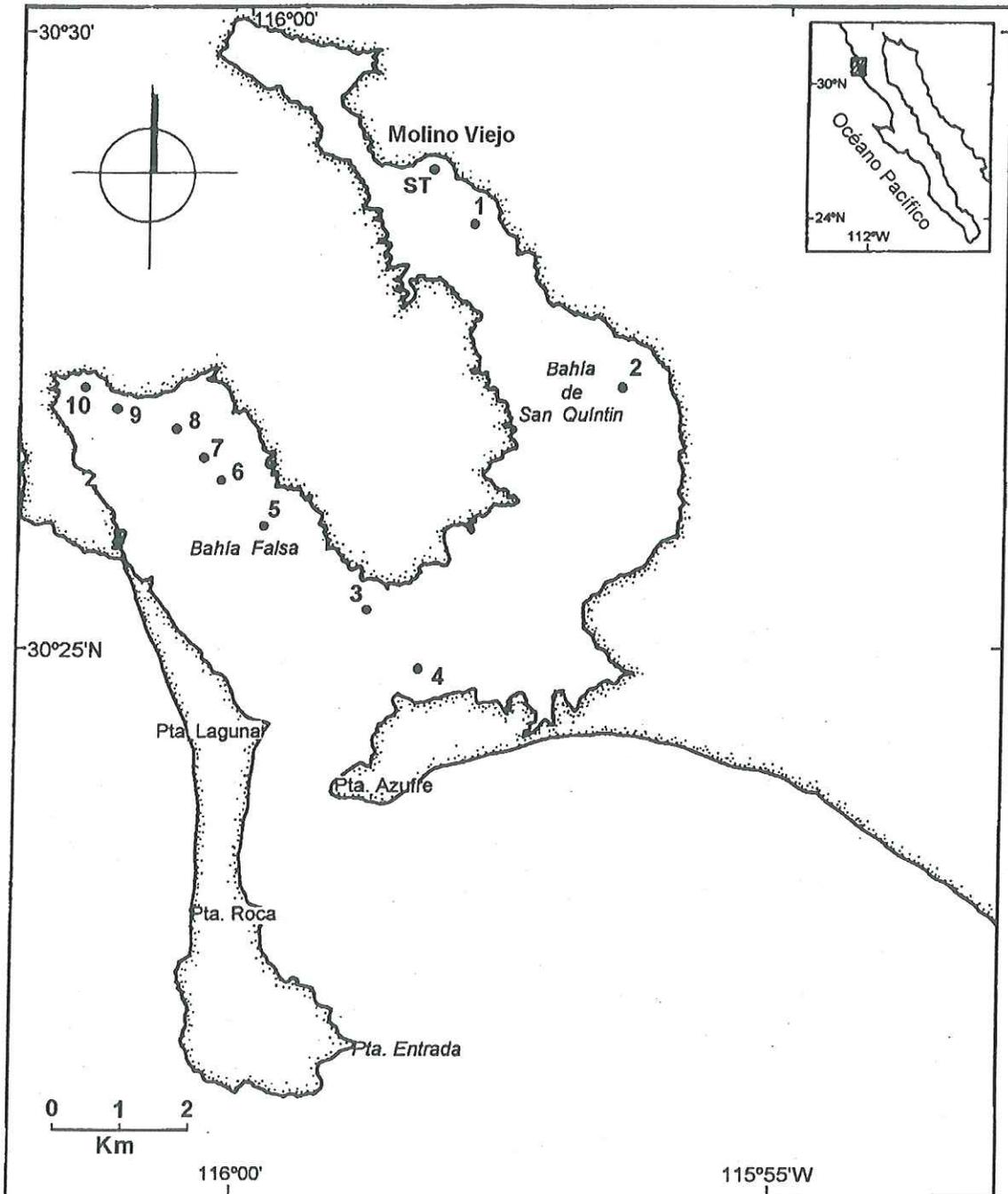


Figura1. Localización del área de estudio. Los puntos (•) indican las estaciones de muestreo.

Tabla II.-Abundancia del fitoplancton por géneros Serie de tiempo del 27 de enero de 2000.

Género	17:00 hrs	18:00 hrs	19:00 hrs	20:00 hrs	22:00 hrs	23:00 hrs
<i>Achnanthes</i>	0	0	0	0	68	68
<i>Amphora</i>	343	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis</i>	687	2337	3437	2956	2406	1581
<i>Coscinodiscus</i>	0	0	0	68	0	0
<i>Cryptomonas</i>	15162	81875	47002	70756	87435	258767
<i>Diploneis</i>	0	68	0	68	68	68
<i>Guinardia</i>	0	412	68	0	0	68
<i>Licmophora</i>	0	0	0	0	0	137
<i>Navicula</i>	0	206	137	68	412	137
<i>Nitzschia</i>	1031.31	2200.128	1306.326	962.556	1306.326	550.032
<i>Pleurosigma</i>	0	275	0	0	0	0
<i>Podolampas</i>	0	68	137	137	68	0
<i>Prorocentrum</i>	0	0	206	68	275	0
<i>Stephanopyxis</i>	0	0	68	0	0	0
<i>Triceratium</i>	0	0	0	0	68	0
total	17223.31	87441.128	52361.326	75083.556	92106.326	261376.03

Nitzschia, *Gymnodinium* y *Prorocentrum*; los géneros restantes fueron muy escasos (Tabla III). La abundancia total varió de un mínimo de 19,000 células litro⁻¹ en la estación 3, hasta un máximo de 98,000 células litro⁻¹ en la estación 1 (Fig. 15a).

La variación espacial de enero de 2000 también presentó valores de abundancias totales mayores que las de septiembre de 1999 (Fig. 15 a y b). Las diferencias entre los promedios de las abundancias totales por estación, entre los meses de septiembre y enero, son significativas con una $t = 3.54$ ($p = 0.006$). En enero la estación uno tuvo una abundancia particularmente elevada de 707,000 células litro⁻¹, con el resto de las estaciones fluctuando entre 98,000 y 291,000 células litro⁻¹ (Fig. 15b). Tanto en septiembre como en enero no se presentó una diferencia significativa entre la media de las estaciones dentro y fuera del área de cultivo. La distribución espacial de la abundancia de fitoplancton en el muestreo de enero de 2000 presentó también predominio de monadas, de una manera similar a las series de tiempo. Después de las monadas, los géneros más abundantes fueron *Nitzschia* y *Cocconeis*, los géneros restantes fueron muy escasos (Tabla IV).

Tabla III.- Abundancia del fitoplancton por géneros. Distribución espacial de septiembre de 1999.

Género	est1	est2	est3	est4	est5	est6	est7	est8	est9	est10
<i>Achnanthes</i>	68	206	137	137	0	0	0	0	0	0
<i>Amphora</i>	137	68	137	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium</i>	0	68	68	206	68	0	0	0	206	0
<i>Climalosphenia</i>	0	275	0	0	0	0	0	0	68	0
Cocconeis	2406	1306	1581	10931	2818	2887	5019	5707	1925	3506
<i>Coscinodiscus</i>	68	825	68	206	137	1512	0	68	0	68
Criptomonas	93500	24259	11624	45487	23248	40432	47508	41443	17689	32346
<i>Diploneis</i>	0	0	137	137	0	687	0	0	0	0
<i>Gomphonema</i>	0	68	0	0	0	0	68	0	0	0
<i>Guinardia</i>	0	0	0	0	0	0	137	0	343	0
Gymnodinium	0	3712	2268	962	2612	3644	1100	137	1788	825
<i>Gyrodinium</i>	0	206	137	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrosigma</i>	68	137	0	0	137	0	0	0	68	0
<i>Halosphaera</i>	0	0	0	68	0	0	0	0	0	0
<i>Lauderia</i>	0	68	68	0	0	68	68	68	0	0
<i>Melosira</i>	0	0	0	0	0	68	0	0	0	0
<i>Navicula</i>	137	68	206	0	68	481	68	206	68	0
Nitzschia	1237	687	1031	8731	962	3437	687	1100	1100	893
<i>Oxittoxum</i>	0	206	0	0	206	68	137	0	68	0
<i>Podolampas</i>	0	137	137	0	137	68	137	0	0	0
Prorocentrum	618	618	756	68	412	1237	481	550	275	275
<i>Rhizozolenia</i>	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0
<i>Skeletonema</i>	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalasiothrix</i>	0	0	68	68	0	68	0	0	0	0
<i>Thalassiosira</i>	0	68	0	68	68	0	0	0	0	0
<i>Triceratium</i>	0	343	550	343	137	0	137	0	0	0
total	98239	33325	19109	67412	31010	54657	55547	49279	23598	37914

Tabla IV.- Abundancia del fitoplancton por géneros. Distribución espacial de enero de 2000.

Género	ets1	est2	est3	est4	est5	est6	est7	est8	est9	est10
<i>Achnanthes</i>	0	0	0	0	0	0	68	0	0	0
<i>Amphora</i>	0	0	0	0	0	68	68	0	0	0
<i>Asterionella</i>	0	0	0	0	68	68	0	137	0	0
<i>Chaetoceros</i>	0	0	68	0	0	68	481	68	0	68
<i>Climalosphenia</i>	0	0	0	0	0	0	137	0	0	0
Cocconeis	15126	1237	1031	1443	825	1718	3781	1237	3368	1100
<i>Coscinodiscus</i>	0	343	0	0	68	0	137	0	0	68
Criptomonas	674717	134438	136965	273930	87435	122308	243606	101587	158697	277468
<i>Diploneis</i>	0	206	68	0	0	0	0	0	68	0
<i>Guinardia</i>	1375	412	0	0	137	0	68	68	137	893
<i>Lauderia</i>	0	68	343	137	68	0	0	0	0	0
Navicula	1718	275	206	618	343	550	893	137	206	137
Nitzschia	11001	6394	12719	13201	8456	9488	10382	4950	6600	4331
<i>Pleurosigma</i>	0	68	0	68	0	137	137	0	0	0
Podolampas	1718	893	343	1031	206	618	687	412	68	68
Prorocentrum	687	618	687	68	343	1100	412	137	893	0
<i>Skeletonema</i>	0	0	68	0	0	68	0	0	0	0
<i>Stephanopyxis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	206	0
<i>Thalassiosira</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	68	0
<i>Triceratium</i>	343	68	0	0	0	0	0	0	0	0
total	706685	145020	152499	290496	97949	136191	260857	108733	170311	284133

IV DISCUSION

En las lagunas costeras la abundancia del fitoplancton es afectada por las variaciones de propiedades físicas, químicas y biológicas. En Bahía San Quintín, la temperatura, salinidad, Chl, nutrientes y la abundancia del fitoplancton tienen una gran variabilidad principalmente por los eventos de surgencia, las corrientes de marea y las irregularidades de la batimetría (Alvarez Borrego y Nájera de Muñoz, 1979; Lara Lara *et al.*, 1980; Millán-Nuñez *et al.*, 1982). La variación interanual de estas propiedades ha sido reconocida desde las contribuciones de los 1970's e inicio de los 1980's (por ejemplo Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982). La más dramática variación interanual es la que se debe al efecto de El Niño. Silva-Cota y Alvarez-Borrego (1988) documentaron el efecto de El Niño 1982-1984 con datos generados con un muestreo en el interior de San Quintín en verano de 1984, y concluyeron entre otras cosas que la abundancia de nanofitoplancton ($<5 \mu\text{m}$) aumentó y la del microfitoplancton ($>5 \mu\text{m}$) disminuyó significativamente con relación a la de años No-Niño.

En el proceso de analizar el posible impacto del cultivo de moluscos en Bahía San Quintín es muy importante considerar estos cambios interanuales naturales y tratar de separarlos de los efectos antropogénicos. Desgraciadamente este estudio no fue diseñado del todo para realizar la separación apropiada de los componentes natural y antropogénico de la variación interanual de las propiedades físicas, químicas y biológicas en Bahía San Quintín. Se requeriría de series de tiempo muy largas que rebasarían la escala temporal de un trabajo de tesis de Maestría. Sin embargo, como existen muestreos previos que generaron reportes de abundancia de fitoplancton para años no-Niño (v.g.: Lara Lara y Alvarez Borrego, 1975; Alvarez Borrego y Nájera de Muñoz, 1979; Lara Lara *et al.*, 1980;

Millán-Nuñez *et al.*, 1982), y el presente muestreo también fue con condiciones no-Niño, se puede realizar una comparación para concluir sobre el posible efecto de los cultivos.

Es ampliamente conocido que propiedades como O₂, pH, nutrientes y abundancia de fitoplancton tienen una distribución en forma de manchas, lo cual causa gran variación temporal cuando se está generando una serie de tiempo en un punto determinado, y también al tomar muestras en diferentes localidades (Lara-Lara *et al.*, 1980). Los datos presentados en este trabajo muestran esta gran variabilidad, tanto temporal como espacialmente.

Alvarez Borrego *et al.* (1975) reportaron valores de O₂ para toda la Bahía, medidos en julio y octubre de 1973, en el intervalo 4.5 - 7.5 ml l⁻¹, con valores más altos en octubre que en julio. Estos autores no generaron series de tiempo. Los valores de O₂ de septiembre de 1999 oscilaron entre 5.4 y 7.9 ml l⁻¹ (Fig. 9a), similares a los de octubre de 1973. Los valores de pH reportados por Alvarez Borrego *et al.* (1975) para septiembre de 1973 fluctuaron entre 8.0 y 8.3, mientras que los valores de septiembre de 1999 fluctuaron entre 7.97 y 8.55, con los valores más altos correspondiendo a la serie de tiempo de Molino Viejo. La distribución del pH está correlacionada estrechamente con la de O₂ ya que los factores que afectan al pH son esencialmente los mismos que afectan al O₂. Los valores más altos de O₂ reportados por Alvarez Borrego *et al.* (1975) correspondieron al extremo interno de Bahía San Quintín (hasta más de 130% de saturación), posiblemente debidos a la intensa fotosíntesis de las plantas halófitas que son muy abundantes en esa zona de la Bahía. Esto corresponde a los valores altos de pH encontrados en la serie de tiempo de septiembre de 1999.

Chávez de Nishikawa y Alvarez Borrego (1976) reportaron valores de O_2 para toda la Bahía. Sus valores de enero de 1973 variaron en el intervalo 5.25 - 7.5 $ml\ l^{-1}$. Los valores de O_2 de enero de 2000 oscilaron entre 4.0 y 4.9 $ml\ l^{-1}$. Una prueba no paramétrica de comparación de rangos, como la de Wilcoxon, muestra una diferencia clara con todos los valores de enero de 2000 por debajo de los valores de enero de 1973. Estos valores bajos de O_2 de enero de 2000 en principio parecen no estar correctos. Con agua más fría había más solubilidad de gases en enero que en septiembre de 1999. Sin embargo, el pH de enero de 2000 del muestreo en las estaciones 1-10 también fue relativamente bajo, de 7.44 a 7.99, lo cual corresponde con los valores bajos de O_2 . Estos valores bajos de O_2 y pH, en el muestreo para caracterizar la variación espacial de enero de 2000, pueden deberse a que con marea baja se tomaron muestras muy cercanas al fondo. Los valores de pH reportados por Chávez de Nishikawa y Alvarez Borrego (1976) para toda la Bahía, para enero de 1973, fluctuaron entre 8.15 y 8.40, de acuerdo con sus valores altos de O_2 . De nuevo, todos los valores de pH de 1973 fueron más altos que los de enero de 2000. Los más bajos valores de O_2 reportados por Chávez de Nishikawa y Alvarez Borrego (1976) para abril y mayo de 1973 fueron 4.5 y 4.0 $ml\ l^{-1}$, respectivamente, similares a los encontrados para enero de 2000.

Las lecturas del disco de Secchi en el área del cultivo tuvieron un promedio de 1.8 m en ambos meses, septiembre y enero. En el área fuera del cultivo fue de 3.2 m. No hay datos en los años 1970's para hacer comparación de la turbidez, pero se aprecia que debido al aumento de seston, en el área del cultivo existe mayor turbidez que fuera de la misma.

Alvarez Borrego y Chee Barragán (1976) reportaron concentraciones de PO_4 y silicato (SiO_2) para toda la Bahía, para julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre de 1973, y enero de 1974. Para septiembre sólo reportaron el intervalo de variación de PO_4 , de un mínimo de $1.2 \mu\text{M}$ en la boca de la Bahía, a un máximo de $3.2 \mu\text{M}$ en el extremo interno de Bahía San Quintín. El intervalo de variación de PO_4 para septiembre de 1999 fue de $1.23 \mu\text{M}$ en la base de la "Y" a $1.52 \mu\text{M}$ dentro del área de cultivo en Bahía Falsa, y a $1.63 \mu\text{M}$ en Molino Viejo. En enero de 2000 el intervalo de variación fue de $0.88 \mu\text{M}$ en la base de la "Y" a 3.02 en Molino Viejo. Para enero de 1974, los autores mencionados reportaron que la distribución espacial de PO_4 fue muy homogénea y con valores relativamente bajos, aunque se mantuvo un ligero gradiente con valores mayores en los extremos internos de la Bahía. El intervalo de PO_4 de enero de 1974 fue de $0.7 \mu\text{M}$ en la boca a $2.3 \mu\text{M}$ en el extremo interno de Bahía Falsa. Comparando los datos de la distribución espacial de enero de 1974 con los de 2000, mediante una prueba t, al 95% de nivel de confianza, el resultado es que no son significativamente diferentes. Estos autores expresaron que PO_4 y SiO_2 aumentan en general de la boca hacia los interiores de la Bahía. Los datos de PO_4 de septiembre de 1999 y de enero de 2000 corroboran esta aseveración, aunque la variación de es muy ligera.

Millán Núñez *et al.* (1982) generaron series de tiempo de nutrientes en junio-julio de 1979. Sus datos de PO_4 muestran algunos picos de hasta cerca de $3 \mu\text{M}$, similar a la más alta concentración encontrada en la serie de Molino Viejo de enero de 2000. Estos autores indicaron que los datos de nutrientes muestran que la remineralización por oxidación bacteriana, principalmente en los sedimentos, aumenta la concentración de nutrientes en los

interiores de la Bahía. Es decir, la Bahía es heterotrófica. Mis datos corroboran lo que se ha reportado en la literatura sobre los nutrientes de la Bahía, en el sentido que no son limitantes para la fotosíntesis y es más bien la luz (turbidez del agua) lo que podría ser un factor limitante. El hecho de que el NH_4 sea la especie química más abundante del nitrógeno en mis datos concuerda con lo reportado por Farfán y Alvarez-Borrego (1983) que la Bahía es un exportador de amonio al océano adyacente. Desde la contribución de Alvarez Borrego y Chee Barragán (1975) se concluyó que los procesos de respiración son mayores que los de fotosíntesis en el interior de la Bahía, por lo cual es un cuerpo productor de nutrientes; es decir, se oxida más materia orgánica que la que se fotosintetiza en el interior de la Bahía, explicando que la riqueza orgánica de esta bahía se debe a un mecanismo de “trampa” del material en suspensión orgánico e inorgánico, ocasionado por los pastos marinos. Camacho Ibar *et al.* (1997) hicieron cálculos del presupuesto de nitrógeno de la Bahía y concluyeron que es un sistema heterotrófico neto a través de todo el año, y que es un sistema donde la denitrificación excede a la nitrificación.

Millán Núñez *et al.* (1982) y Farfán y Alvarez Borrego (1983) reportaron valores de concentración de especies químicas de nitrógeno inorgánico. Ambos lo hicieron para verano (junio-julio de 1979). Los primeros reportaron valores para los interiores de la Bahía y sólo para NO_2 y NO_3 . La comparación con los datos de septiembre de 1999 y enero de 2000 sólo se puede hacer con los datos de los extremos internos porque, de acuerdo a Millán Núñez *et al.* (1982), la zona de la boca a la base de la “Y” está muy afectada por la región oceánica adyacente a la boca de la Bahía. En esta zona hay surgencias muy intensas en verano, mismas que aportan gran cantidad de nutrientes. Los intervalos de variación de $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ de los extremos internos de la Bahía reportados por Millán Núñez *et al.* (1982)

son 0.4 – 4.7 y 0.2 – 3.0 μM , para Bahía Falsa y Bahía San Quintín, respectivamente. Los intervalos de variación de septiembre de 1999 y enero de 2000 caen dentro de estos intervalos de 1979, hacia la parte más baja. El hecho de que Millán Núñez *et al.* (1982) hayan alcanzado algunos valores más altos de NO_3+NO_2 puede deberse a que con una serie de tiempo más larga (cada dos horas durante diez días) hubo más probabilidad de tomar muestras de parcelas de agua con valores altos de nutrientes, o bien que el efecto del aporte de las aguas de surgencia se manifieste en verano hasta los extremos internos por el acarreo de las corrientes de marea, como lo expresaron Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982). Juárez Villarreal (1982) monitoreó un trazador fluorescente inyectado en la región de la boca de la Bahía y encontró que en sólo 9.5 horas llegó al extremo interno de Bahía San Quintín, y en sólo tres horas llegó al extremo interno de Bahía Falsa.

Los valores de NH_4 reportados por Farfán y Alvarez-Borrego (1983) para la boca de la Bahía, con muestras de junio - julio de 1979 (cada dos horas durante diez días), caen en el intervalo de no detectable a 3.02 μM . Las estaciones 3 y 4 del presente estudio, que son las más cercanas a la boca, tuvieron valores de NH_4 de 1.3 a 3.4 μM .

De la comparación de los datos de nutrientes de 1999 y 2000 con los de 1973, 1974 y 1979, se puede concluir que Bahía San Quintín conserva el mismo estado de calidad de agua. Los cultivos comerciales de los últimos 23 años no están causando eutricación ni empobrecimiento de la Bahía. Esto se debe a que por un lado no se están introduciendo alimentos artificialmente para los animales en cultivo (lo cual quizá se haría si fueran peces o camarones) y por otro lado el intercambio con el océano adyacente y los mecanismos naturales de fertilización de la Bahía compensan la masa de nutrientes que se exporta con la

cosecha de los moluscos. Esto implica que, en cuanto a nutrientes se refiere, la Bahía puede soportar la ampliación de las áreas de cultivo.

Los valores de Chl de 1999 y 2000 también traslapan ampliamente con los reportados por Lara Lara y Alvarez Borrego (1975) y Millán-Núñez *et al.* (1982). Lara Lara y Alvarez Borrego (1975) reportaron una distribución de Chl muy homogénea horizontalmente para septiembre de 1973, con un intervalo de variación de un poco menos que 1.0 mg m^{-3} a un poco más que 3 mg m^{-3} . Los valores de Chl de septiembre de 1999 fluctuaron entre 2.44 y valores extremadamente altos de hasta 34.7 mg m^{-3} . Con una prueba no paramétrica de Wilcoxon se encontró que hay diferencia significativa entre los datos de Chl de 1973 y 1999. Para enero de 1974, ellos reportaron un intervalo de variación de menos de 0.5 hasta 3.5 mg m^{-3} , con los valores más altos en la boca de la Bahía. Los de enero de 2000 variaron entre 2.4 y 6.4 mg m^{-3} , con un valor muy elevado en Molino Viejo de 27.8 mg m^{-3} . Los valores de Chl de Millán-Núñez *et al.* (1982) para los extremos internos de la Bahía variaron entre menos que 1.0 mg m^{-3} y $\sim 5 \text{ mg m}^{-3}$. Estos autores reportaron un valor muy elevado para la boca de la Bahía de 38 mg m^{-3} , y otro de $\sim 20 \text{ mg m}^{-3}$ para la base de la "Y". Los valores de Chl pueden cambiar hasta en un orden de magnitud en menos de diez horas en las lagunas costeras (Alvarez Borrego, 1981).

En septiembre de 1999, hubo valores muy altos en tres estaciones fuera del área de cultivo y una dentro de la misma, (estaciones 2, 3, 4 y 5, Fig. 13a). Sin embargo, en general no hubo diferencia significativa en cuanto a la concentración de Chl entre las estaciones dentro y fuera del cultivo. La concentración de pigmentos fotosintéticos, sobre todo Chl, ha sido interpretada frecuentemente como indicador de la abundancia de fitoplancton. En estas

determinaciones elevadas de Chl no existió correlación con la abundancia de fitoplancton (Figs. 12a y 14 a). Estos datos altos de Chl pueden deberse al aporte por organismos tan pequeños que no fue posible observarlos con el microscopio invertido, y sí fueron incluidos en el análisis de Chl. El filtro para la determinación de Chl tiene 0.45 μm de diámetro de poro y casi la totalidad de los organismos quedan atrapados, aportando pigmento al análisis. La variabilidad de la concentración de los pigmentos tanto en la serie de tiempo como en las estaciones indica una distribución espacial del fitoplancton muy compleja, en forma de manchas de diversos tamaños. La presencia de las feofitinas es explicada por el decaimiento y degradación de las poblaciones fitoplanctónicas por encontrarse en una etapa avanzada de la sucesión, o bien en términos de pastoreo por zooplancton (Millán Nuñez y Alvarez Borrego, 1978).

De acuerdo con Lara Lara y Alvarez Borrego (1975), la sucesión del fitoplancton en Bahía de San Quintín se inicia a mediados del invierno así como los valores de Chl y las condiciones de luz y temperatura empiezan a incrementarse. En primavera avanza la sucesión del fitoplancton, la Chl continúa incrementándose, constituyendo más del 50% del pigmento total. Alcanza su clímax en verano, presentando una comunidad muy productiva, como consecuencia de los fenómenos de surgencia que ocurren en el mar adyacente. De acuerdo con Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982), las surgencias tienen su mayor intensidad en julio. El fitoplancton llega al término de la sucesión al final del otoño, registrándose las concentraciones más bajas de los pigmentos fotosintéticos (Lara Lara y Alvarez Borrego, 1975). Los datos de Chl aquí presentados concuerdan con esta sucesión.

Alvarez Borrego y Nájera de Muñoz (1977) reportaron, para el mes de julio, un predominio de diatomeas en la boca de la bahía, seguido de los dinoflagelados, de las mónadas y microflagelados, no así en los extremos internos de la bahía donde el grupo más

abundante fue el de los dinoflagelados. Lara Lara *et al.* (1980) encontraron, en verano, que las diatomeas fue el grupo más abundante en la boca de Bahía San Quintín, seguidas de los dinoflagelados y microflagelados, mientras que en los extremos internos de la bahía predominaban los microflagelados y los dinoflagelados. Los datos de 1999 y 2000 muestran que la mayor abundancia correspondió a móradas y microflagelados, seguido de las diatomeas y finalmente los dinoflagelados.

En sentido estricto, no es apropiado hacer comparaciones de los datos de abundancia del presente estudio con los datos de la serie de tiempo de Lara-Lara *et al.* (1980), porque ellos tomaron muestras en la boca y en julio. Tampoco es apropiado estrictamente hacer comparaciones con las series de tiempo de abundancia de Millán Núñez *et al.* (1982) porque, de nuevo, ellos tomaron muestras en junio – julio. Sin embargo, con el propósito de utilizar los pocos datos disponibles en la literatura y sin perder de vista que en verano las abundancias tienden a ser mayores, se compararon los datos de 1999 y 2000 con las series de tiempo de Millán Núñez *et al.* (1982) para los extremos internos de la Bahía. Desgraciadamente Millán Núñez *et al.* (1982) no reportaron las abundancias por grupos, sólo las totales, por lo cual no se puede hacer una comparación por grupos taxonómicos. Ellos utilizaron el mismo método Utermohl que se utilizó para el presente estudio. Las series de tiempo de Millán Núñez *et al.* (1982) para los extremos internos (sus puntos C y D en su figura 9) son muy similares y se pueden tomar como un solo conjunto de datos representativos de los dos brazos de la Bahía. Comparando la media de las series de tiempo de Millán Núñez *et al.* (1982) para sus puntos C y D con la media de los datos de 1999 y 2000 de las estaciones 1 a la 10 del presente estudio, se encontró mediante una prueba t que no hay diferencias significativas al 95% de nivel de confianza.

Se compararon las abundancias de fitoplancton de las estaciones fuera del área de cultivo con las de las estaciones dentro del cultivo. En septiembre de 1999 la abundancia total fue de 249,000 células litro⁻¹ y 231,000 células litro⁻¹ respectivamente, con una diferencia no significativa. En enero de 2000 la abundancia total en las estaciones fuera del área de cultivo y dentro del área de cultivo fue 1,387,000 células litro⁻¹ y 962,000 células litro⁻¹, de nuevo con una diferencia no significativa. También se puede concluir que en cuanto a Chl y abundancia de fitoplancton se refiere, la Bahía puede soportar la ampliación de las áreas de cultivo.

V CONCLUSIONES

Bahía San Quintín conserva características que no se han alterado a pesar de los maricultivos y otras actividades humanas. La salinidad, O₂, pH, nutrientes y Chl no han cambiado significativamente en el último cuarto de siglo en Bahía San Quintín.

La abundancia total del fitoplancton se ha mantenido básicamente igual que en décadas anteriores cuando el cultivo de los moluscos filtroalimentadores no existía o era muy incipiente.

La turbidez dentro de las áreas de cultivo es significativamente mayor que fuera de las mismas, posiblemente debida a las excreciones abundantes de los moluscos.

En general, la calidad del agua de Bahía San Quintín es alta, y se puede decir que con relación a los nutrientes, concentración de clorofila y abundancia de fitoplancton la Bahía soporta la ampliación de las áreas de cultivo. Sin embargo, los datos no permiten establecer exactamente qué tanto más se puede hacer esta ampliación.

LITERATURA CITADA

- Acosta Ruiz, M. J. 1985. Eficiencia nutricional del ostión japonés *Crassostrea gigas* en Bahía San Quintín e Isla San Martín, B. C. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Ensenada, 96 pags.
- Alvarez Borrego, S., G. Ballesteros Grijalva y A. Chee Barragán. 1975. Estudio de algunas variables fisicoquímicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano, otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 2: 1-9.
- Alvarez Borrego, S. y A. Chee Barragán. 1976. Distribución superficial de fosfatos y silicatos en Bahía San Quintín, B. C. *Ciencias Marinas*, 3: 51-61.
- Alvarez-Borrego, S., J. R. Lara Lara y M. de J. Acosta Ruiz. 1977. Parámetros relacionados con la productividad orgánica primaria en dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4: 12-21.
- Alvarez-Borrego, S., M. de J. Acosta Ruiz y J. R. Lara Lara. 1977. Hidrología comparativa de las bocas de dos antiestuarios de Baja California. *Ciencias Marinas*, 4: 1-11.
- Alvarez-Borrego, S. y S. Nájera de Muñoz, 1979. Series de tiempo de fitoplancton en dos lagunas costeras de Baja California. *Ciencias Marinas* (1 y 2): 75-88.
- Alvarez Borrego, S. 1981. Problemas del método de clorofila-luz para estimar productividad del fitoplancton en aguas costeras. *Ciencias Marinas*, 7: 67-76.
- Alvarez Borrego, J. and S. Alvarez Borrego. 1982. Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Rep.* 23: 188-197.
- Atlas, E. L., S. W. Hager, L. I. Gordon, and P. K. Park. 1971. A practical manual for use of the Technicon Autoanalyzer in seawater nutrient analysis. Technical Report 215. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, Oregon, 34 pp.

- Ballesteros-Grijalva, G. y M. G. García-Lepe. 1993. Producción y biodegradación de *Spartina foliosa* en Bahía San Quintín, B. C., México. *Ciencias Marinas*, 19: 445-459.
- Camacho Ibar, V. F., J. D. Carriquiry and S. V. Smith. 1997. Bahía San Quintín, Baja California (a teaching example). In: Smith, S.V., S. Ibarra-Obando, P.R. Boudreau, and V.F. Camacho-Ibar (Eds.), *Comparison of carbon, nitrogen and phosphorus fluxes in Mexican coastal lagoons*. LOICZ Reports and Studies No. 10, LOICZ Core Project, Netherlands Institute for Sea Research, Texel, 83 p.
- Chavez de Nishikawa, A. G. y S. Alvarez Borrego. 1976. Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California, en invierno y primavera. *CalCOFI Reports*, Vol. XVIII: 60-72.
- Dawson, E.Y. 1951. A further study of upwelling and vegetation along Pacific Baja California, Mexico, *Journal of Marine Research*, 10: 39-58.
- Del Valle Lucero, I. y H. R. Cabrera Muro. 1981. Aplicación de un modelo numérico unidimensional a Bahía San Quintín, B. C., verano de 1977. *Ciencias Marinas*, 7: 1-15.
- Farfán, C. and S. Alvarez-Borrego. 1983. Variability and fluxes of nitrogen and organic carbon at the mouth of a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, 17: 599-612.
- Holm-Hansen, O., C. Lorenzen, R. W. Holmes, and J. D. H. Strickland. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, 30: 3-15.
- Islas-Olivares, R. 1975. El ostión japonés *Crassostrea gigas* en Baja California. *Ciencias Marinas*, 2: 58-60.

- Juárez Villarreal, M. M. 1982. Modelo unidimensional de dispersión para un estuario ramificado y su aplicación a Bahía de San Quintín. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Ensenada, 79 pags.
- Lara Lara, J. R. y S. Alvarez Borrego. 1975. Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B. C. Ciencias Marinas, 2: 77-97.
- Lara-Lara, J. R., S. Alvarez-Borrego, and L. F. Small. 1980. Variability and tidal exchange of ecological properties in a coastal lagoon. Estuarine and Coastal Marine Science, II, 613-637.
- Martori Oxamendi, J. I. 1989. Variabilidad de la circulación y sus agentes causales en Bahía San Quintín, B. C. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Ensenada, 109 pags.
- Millán Núñez, R., y S. Alvarez Borrego. 1978. Series de tiempo de clorofilas a, b y c, y sus feofitinas en las bocas de dos lagunas costeras. Ciencias Marinas, 5: 41-55.
- Millán Núñez, R., S. Alvarez Borrego and D. M. Nelson. 1982. Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 15: 317-335.
- Monreal-Gómez, M. A. 1980. Aplicaciones de un modelo de dispersión en Bahía San Quintín, B. C. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE, Ensenada, B. C., 88 pags.
- Morton, B. S. 1977. The tidal rhythm of feeding and digestion in the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 26: 135-151.
- Odum, E. P. 1971. Fundamentals of ecology. N. B. Saunders Co., London, 574 p.
- SEPESCA. 1988. Diagnóstico de la situación actual y perspectiva del cultivo de ostión en México. Dirección General de Acuicultura y Dirección General de Comunicación Social de la Secretaría de Pesca. México, D. F., 95 pags.

- Silva-Cota, S. and S. Alvarez-Borrego. 1988. The "El Niño" effect on the phytoplankton of a north-western Baja California coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 27: 109-115.
- Strickland, J. D. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis (2nd ed.). Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada. 167 p.
- Utermohl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton methodik (en alemán). *Mitt. int. Verein theor. Angew. Limnol.* 17, 47.
- Venrick, E. L. y T. L. Hayward. 1984. Determining chlorophyll on the 1984 CalCOFI surveys. *CalCOFI Rep.*, 25: 74-79.

