

MARCO AMBIENTAL

Oceanografía Química

Distribución horizontal de nutrientes y clorofila-*a* sobre la plataforma continental del estado de Colima durante 2002

Aramis Olivos Ortiz'
José de Jesús Salas Pérez**
Geraldine García Uribe***
Marco Antonio Galicia Pérez'
Ernesto Torres Orozco***
Sonia I. Quijano Scheggia'

Resumen

En la plataforma continental del estado de Colima se realizaron campañas oceanográficas durante febrero, mayo, agosto y noviembre de 2002, sobre cuatro transectos paralelos, situados a dos, seis, 11 y 18 km de la línea de costa, con el objetivo de conocer la distribución horizontal de los nutrientes inorgánicos, la clorofila-*a* y su relación con las corrientes. En la primavera se detectaron las máximas concentraciones de nutrientes; los nitratos ($3.82 \mu\text{M}$), silicatos ($6.46 \mu\text{M}$) y ortofosfatos ($1.72 \mu\text{M}$) fueron más abundantes en los transectos más alejados de la costa, mientras que el amonio ($1.27 \mu\text{M}$) en el más cercano. La clorofila-*a* fue más abundante en el verano ($3.83 \text{ mg chl-}a \cdot \text{m}^{-3}$), a 25 m de profundidad y estuvo relacionada con la disponibilidad de nutrientes y la hidrodinámica. El patrón de circulación sobre la plataforma, descrito con el método geostrófico, presentó remolinos ciclónicos y anticiclónicos en forma alternada, lo que dio lugar a zonas de frentes (convergentes/divergentes). Estas características aparentemente influyeron en la distribución de los nutrientes y la clorofila. Los aportes continentales sobre la zona de estudio fueron de menor importancia comparados con la fertilización generada por la circulación.

Palabras clave: Nutrientes, clorofila-*a*, circulación geostrófica, Colima.

Introducción

El fitoplancton marino requiere ciertos elementos disueltos para su óptimo desarrollo, entre los que destacan el nitrógeno, el fósforo y el sílice, los cuales se presentan en varias especies que a su vez están influenciadas por fenómenos climáticos e hidrodinámicos (Riley y Chester, 1989).

En el océano Pacífico mexicano se han realizado algunas investigaciones interdisciplinarias con el propósito de describir la distribución de pigmentos fotosintéticos y su relación con las principales componentes de la circulación marina. Lluch-Cota *et al.* (1997) promediaron las concentraciones mensuales de los pigmentos, obtenidas a partir de imágenes de color del sensor Coastal Zone Color Scanner (czcs), y encontraron que la región del Pacífico mexicano, comprendida entre las coordenadas $100\text{-}105^\circ \text{O}$ y $8\text{-}18^\circ \text{N}$, es permanentemente oligotrófica ya que esos valores fueron menores a $0.2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, en comparación con las regiones central (Golfo de Tehuantepec) y oriental (Golfo de Papagayo), definidas como eutróficas, donde superaron los $0.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Müller-Karger y Fuentes-Yaco (2000) cuantificaron los pigmentos fotosintéticos en los remolinos que se forman entre la costa y el océano abierto en la región del Pacífico Oriental, y sugirieron que los distintos mecanismos de fertilización que ocurren en los primeros 70 km a partir de la costa, hacen que los pigmentos varíen de ~ 2 a más de $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, lo que contrasta con la concentración detectada a 600 km de la costa de $1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. En el Golfo de Tehuantepec se han observado cantidades elevadas de clorofila entre octubre y marzo, que han sido relacionadas con los procesos de mezcla y el bombeo de Ekman generados por los vientos Tehuanos (Trasviña *et al.*, 1995; Fiedler, 2002), que inducen el enriquecimiento de nutrientes (nitratos y fosfatos) de las capas superficiales (Vázquez-Gutiérrez *et al.*, 1998).

* Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas–Universidad de Colima. Carretera Manzanillo–Barra de Navidad km. 20. Col. El Naranjo, CP 28860. Manzanillo, Col. México.

** Centro Universitario de la Costa–Universidad de Guadalajara. Avenida Universidad 203. Delegación Ixtapa. CP P 48280. Puerto Vallarta, Jal. México.

*** Facultad de Ciencias Marinas – Universidad de Colima. Carretera Manzanillo–Barra de Navidad km. 20. Col. El Naranjo, CP 28860. Manzanillo, Col. México.

En el Pacífico central mexicano se han caracterizado los sistemas de circulación en gran escala, los procesos de inestabilidad de meso-escala y la presencia de remolinos (Fiedler, 1994; Peña *et al.*, 1990; Rodríguez *et al.*, 2001); pero no se ha prestado atención a los procesos dinámicos costeros, tales como las corrientes residuales, que pueden llegar a ser de gran importancia en los procesos locales de fertilización.

En la zona costera del estado de Colima se han realizado algunos trabajos puntuales sobre la disponibilidad de nutrientes en las bahías de Manzanillo y Barra de Navidad, que analizan las relaciones estequiométricas de estos compuestos y su efecto en la productividad primaria (expresada como concentración de clorofila-*a*), así como la influencia de los aportes continentales sobre la abundancia y la diversidad de grupos fitoplanctónicos (López-Sandoval y Olivos-Ortiz, 2002; Quijano-Scheggia *et al.*, 2003; Olivos-Ortiz *et al.*, 2003). Se desconocen los mecanismos de fertilización de la plataforma continental de esta región, aunque es probable que estén relacionados con escurrimientos continentales (aportes de ríos o de asentamientos urbanos) y con la circulación costera (distribución de nutrientes a lo largo de la columna de agua debido a eventos dinámicos tales como los remolinos). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue conocer la distribución horizontal de nutrientes inorgánicos sobre la plataforma continental de Colima y de la abundancia de clorofila-*a* durante el año 2002, ya que a partir de las áreas en las que se acumulan estos compuestos y su relación con las corrientes, es posible inferir la forma en que ahí llegan.

Métodos y materiales

El estado de Colima está situado en la costa meridional del océano Pacífico, entre los 103°19'20" y los 104°41'12" Oeste y entre los 18°41'17" y los 19°31'20" Norte. La línea de costa mide 142 km y comprende los municipios de Manzanillo, Armería y Tecomán. El litoral está formado por playas rocosas y abruptas, a excepción de las áreas con influencia de ríos. El perfil costero se caracteriza por un declive pronunciado y un fondo casi uniforme (Zepeda-Gutiérrez, 1987). La plataforma continental es estrecha y abarca un total de 1 320 km². El clima es cálido subhúmedo, con un promedio anual de precipitación pluvial de 1 205.9 mm. La temporada de lluvias inicia en junio, alcanza su máximo entre agosto y septiembre, y disminuye en diciembre (Quijano y Vidaurri, 1987). Los principales

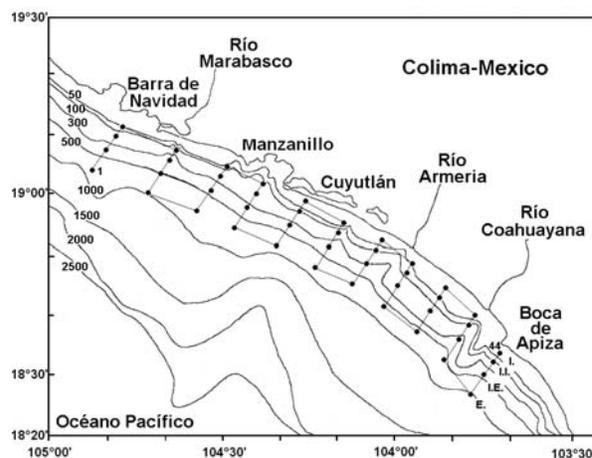
ríos son el Marabasco, el Armería y el Coahuayana (INEGI¹, 2002).

La toma de muestras se realizó en colaboración con la Armada de México, a bordo de los Buques Oceanográficos *Altair* y *A.V. Humboldt*, dentro del programa Oceanografía Descriptiva del Estado de Colima (ODECOL) en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2002, los cuales se tomaron como representativos de invierno, primavera, verano y otoño.

El área de estudio comprendió la plataforma continental del estado de Colima, sobre la que se trazaron 11 transectos perpendiculares a la costa, en los que se ubicaron cuatro estaciones oceanográficas (a dos, seis, 11 y 18 km de la línea de costa), que a su vez formaron cuatro transectos paralelos a la costa, que de forma arbitraria se nombraron: Interno (I), Intermedio Interno (II), Intermedio Externo (IE) y Externo (E), para facilitar la interpretación de los resultados (Fig. 1).

Figura 1

Área de estudio y estaciones de muestreo



Las muestras para la medición de los nutrientes, nitritos+nitratos ($N-NO_2^-+NO_3^-$), amonio ($N-NH_4^+$), fosfatos ($P-PO_4^{3-}$) y silicatos ($Si-SiO_2$), se colectaron con botellas Niskin de cinco litros a 0, 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150 y 200 m de profundidad, e inmediatamente se almacenaron a $-4^\circ C$ hasta su análisis en el laboratorio. Las concentraciones se determinaron colorimétricamente con un autoanizador de flujo segmentado SKALAR SanPlus II con las técnicas descritas

1. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) 2001. <http://www.inegi.gob.mx>

por Solórzano (1969), Strickland y Parsons (1972) y Grasshoff *et al.* (1983).

Las muestras de agua para clorofila-*a* (*chl-a*) se tomaron sobre las estaciones costeras y oceánicas a 5, 25 y 50 m de profundidad y se analizaron con la técnica colorimétrica descrita por Strickland y Parsons (1972). Los volúmenes de muestra utilizados variaron entre 350 y 750 ml, en función de la cantidad de material suspendido; se emplearon filtros de membrana de 0.45 μm de apertura de poro (Millipore) que permanecieron congelados ($-4\text{ }^{\circ}\text{C}$) y en total oscuridad hasta su análisis. La extracción del pigmento se realizó en 10 ml de acetona a 90% en total oscuridad y a 6 $^{\circ}\text{C}$ por 24 hrs. La lectura de la absorción se realizó con un espectrofotómetro Spectronic 20 Genesys con celdas de cuarzo de 10 cm. La cantidad de *chl-a* se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Ec. 1} \quad \text{mg } chl-a \cdot \text{m}^{-3} = \text{CV}^{-1}$$

Donde V es el volumen de agua filtrado y C es el valor obtenido, a partir de las diferentes longitudes de onda, de la ecuación específica para *chl-a* propuesta por Richards y Thompson (citados por Strickland y Parsons, 1972) previa corrección de las lecturas a 750 nm.

$$\text{Ec. 2} \quad C = 15.6 E_{665} - 2.0 E_{645} - 0.8 E_{630}$$

La temperatura y la salinidad se midieron a lo largo de la columna de agua en intervalos de 1 m ($\Delta Z = 1$ m), con un CTD Sea Bird 19-Plus (precisión $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0.0001\text{ S m}^{-1}$), en cada una de las estaciones de muestreo (Fig. 1). Con estos datos se calcularon los campos de velocidad geostrofica mediante el Modelo de Alturas Dinámicas (Pond y Pickard, 1983):

$$\text{Ec. 3} \quad v = (g/f) \partial h / \partial x$$

Donde g es la gravedad, f es el parámetro de Coriolis, ∂h es la altura dinámica y ∂x la variación en la horizontal.

Se calcularon las velocidades geostroficas ortogonales asumiendo que la velocidad era cero a la profundidad de 100 m (nivel de referencia o no movimiento) y se consideraron únicamente las velocidades resultantes conforme la variación de la altura dinámica. El modelo realizó interpolaciones en cada celda (a partir de los perfiles de densidad) para generar los vectores de velocidad geostrofica y se graficó el promedio en el centro de cada una de ellas, por lo que los rasgos de la circulación obtenidos pueden considerarse una aproximación razonable (véase Galicia *et al.* en este mismo libro). Por las variaciones de la

profundidad en el área de estudio y las características del modelo, se consideró que los vectores estimados a 25 m de profundidad eran representativos de las condiciones del medio y, por esta razón, los mapas de distribución de nutrientes se elaboraron con esa misma profundidad.

El análisis estadístico practicado a las cantidades de nutrientes se realizó con el programa Statistica 5.0 (StatSoft Inc., 2000): primero se comprobó que los datos satisficieran las condiciones de homogeneidad de varianza y de distribución normal con las pruebas de Levene y Kolmogorov-Smirnov (κ -s), respectivamente; después, a los datos de cada temporada se les aplicó un Análisis de Varianza de una Vía (ANDEVA con una significancia α de 0.05) para determinar la existencia de diferencias en su distribución con el propósito de ubicar la nutriclina y determinar la influencia de las descargas de origen continental en la zona de estudio. En el primer caso los datos se clasificaron como superficiales y de fondo, de acuerdo con los perfiles de cada nutriente; mientras que en el segundo, las estaciones se agruparon longitudinalmente (en paralelo a la costa) en los cuatro transectos paralelos a la costa (I, II, IE, E).

Resultados

Los resultados se exponen con la siguiente secuencia. En primer lugar se describe la distribución vertical de los nutrientes, las variaciones estacionales de las *chl-a* y las comparaciones del contenido de nutrientes en los transectos paralelos a la costa; posteriormente se presentan la circulación y la distribución horizontal de estos compuestos y de la *chl-a* y se contrastan entre ellos, de manera cualitativa.

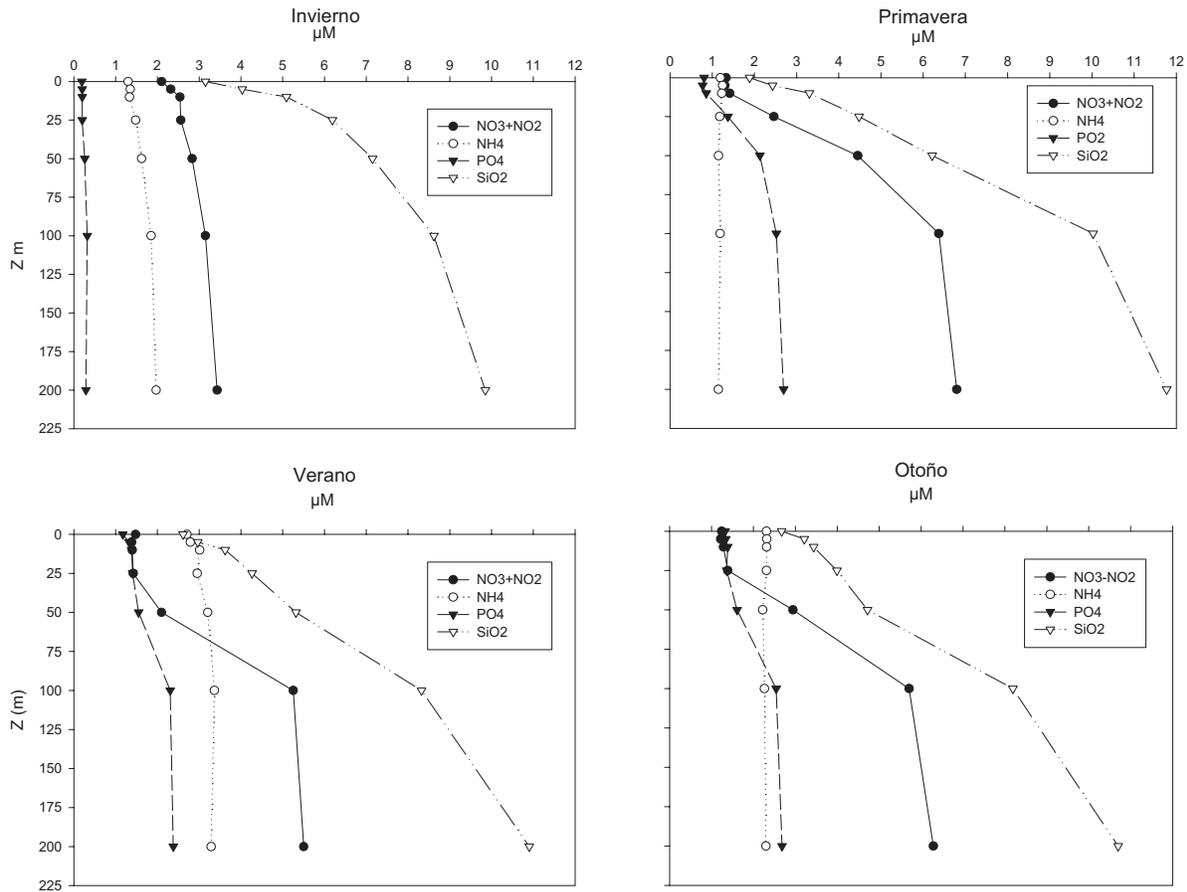
Ubicación de la nutriclina

La distribución vertical de las concentraciones promedio de los nutrientes a lo largo de la columna de agua (Fig. 2) y su análisis estadístico ($p < 0.05$) mostraron que la ubicación de la nutriclina varió estacionalmente; en invierno y primavera se situó aproximadamente a partir de los 50 m, mientras que en verano y otoño a los 75 metros.

Distribución de la biomasa fitoplanctónica

Las cantidades promedio de *chl-a* mostraron cambios estacionales: en invierno se presentaron los valores más bajos, excepto en el transecto I (Fig. 3a). En primavera (Fig. 3b y 3c) las concentraciones se

Figura 2
Perfiles promedio de nutrientes en cada temporada.



incrementaron y alcanzaron el máximo en verano, en especial a los 50 m de profundidad ($3.7 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$) sobre el transecto E; mientras que en otoño (Fig. 3d) el contenido de *chl-a* disminuyó, aunque sin llegar a ser indetectable, como ocurrió a los cinco metros de profundidad en el transecto E durante el invierno.

Comparación entre los transectos paralelos a la costa

En la *tabla 1* se aprecia que los valores promedio más altos de nitratos, fosfatos y silicatos ocurrieron sobre el transecto IE en invierno y sobre el borde de la plataforma (transecto E) el resto del año; en contraste, los más bajos se detectaron cerca de la costa (transecto I) o en sus inmediaciones (transecto II). La distribución del amonio fue más variable, en primavera y otoño las mayores cantidades se registraron en el transecto I, mientras que en invierno y verano, en los transectos IE y E, respectivamente. Las concentraciones más bajas de los cuatro nutrientes no mostraron algún patrón definido ni la existencia de gradientes a partir de la línea de costa.

Sin embargo, a pesar de las diferencias descritas, al aplicar el ANDEVA, el cociente de varianzas (F^2) resultó menor a 2.35 (cuando el valor límite de $F^2_{0.05,3}$ es 2.60), lo que indica que no había diferencia significativa entre las medias de los cuatro transectos. Esto sugiere que los aportes continentales no modificaron de manera significativa la cantidad de estos compuestos a lo largo del transecto I.

Descripción de las corrientes y de la distribución de los nutrientes

Durante el invierno la circulación geostrofica mostró una componente general hacia el sureste (Fig. 4). Desde Barra de Navidad se generó un flujo de la costa al océano que alimenta un chorro que llega hasta Cuyutlán y generó un remolino anticiclónico entre los transectos I e IE de aproximadamente 15 km de diámetro que en su parte externa (transectos IE y E) generó un contraflujo que se desvía hacia la parte oceánica frente a las bahías de Manzanillo. Esta estructura se conecta con un ciclón de 12 km de diámetro (entre

Figura 3
Variación estacional de clorofila-a durante el periodo de estudio.

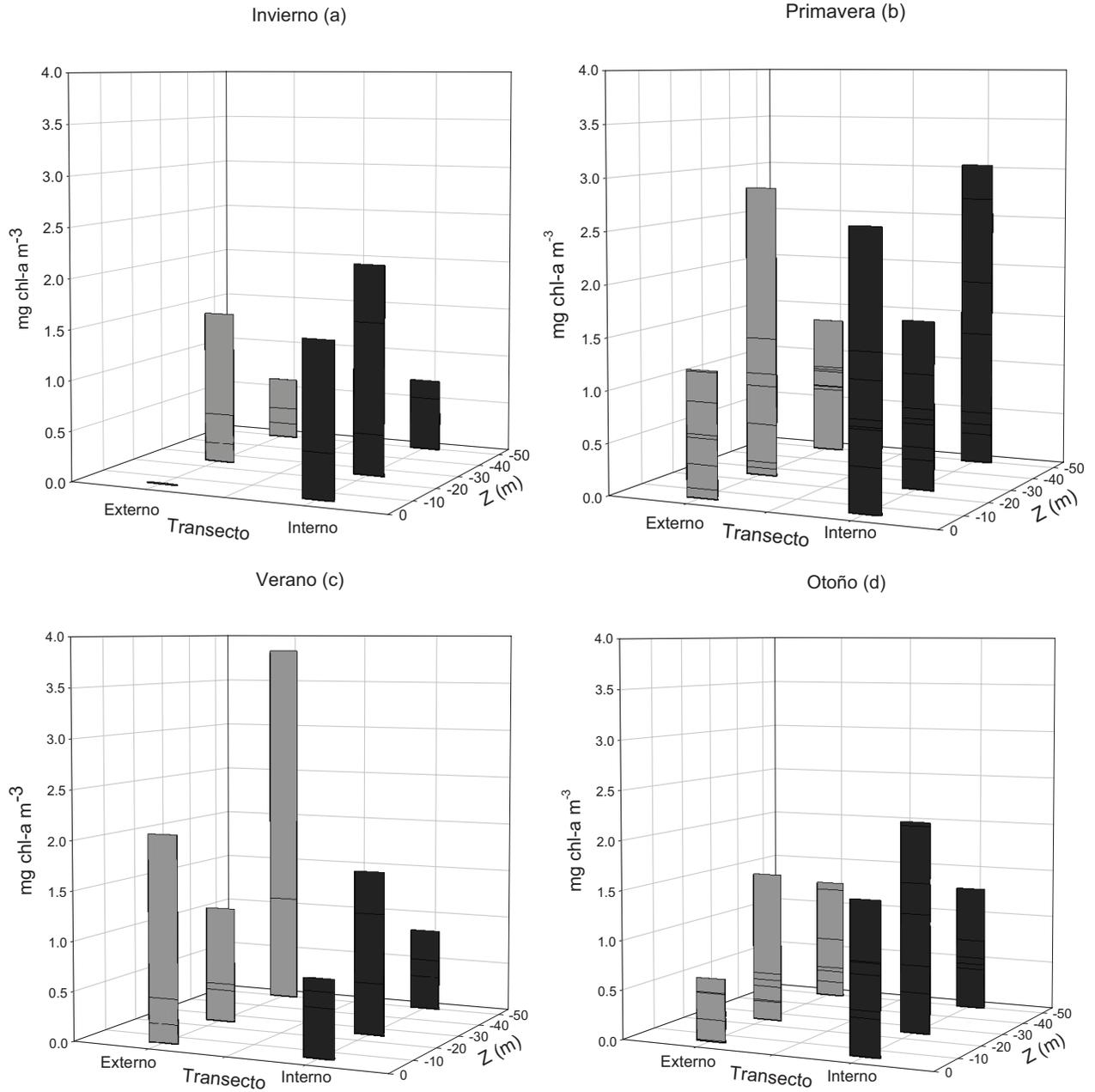
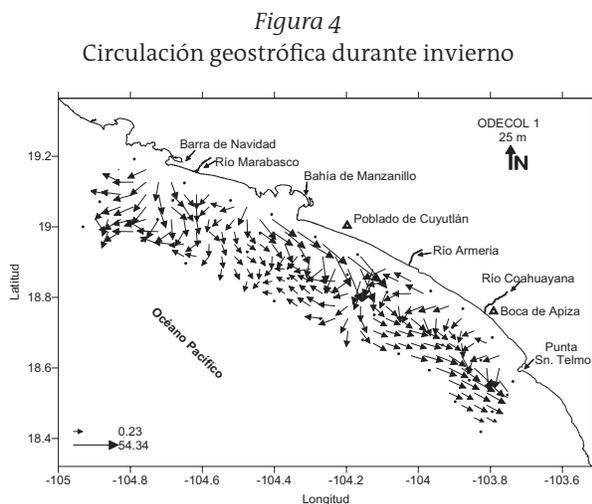


Tabla 1
Promedios estacionales de la concentración de nutrientes (μM) por transecto

Transecto	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
Interno	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.	Media	Desv. Std.
NO_2+NO_3	2.55	0.69	3.38	0.28	2.18	0.38	2.61	0.49
NH_4	1.58	0.74	1.27	0.25	3.00	0.33	2.29	0.37
PO_4	0.19	0.08	1.58	0.84	1.54	0.49	1.18	0.28
SiO_2	5.26	1.70	4.67	1.69	4.39	1.27	4.20	1.51
<i>Int. Interno</i>								
NO_2+NO_3	2.64	0.75	3.39	0.40	2.41	0.66	3.01	0.16
NH_4	1.62	0.78	1.11	0.30	2.74	0.47	2.28	0.26
PO_4	0.22	0.16	1.42	0.87	1.60	0.50	1.23	0.39
SiO_2	5.42	2.33	5.38	1.33	4.87	1.47	4.84	1.58
<i>Int. Externo</i>								
NO_2+NO_3	2.75	0.83	3.29	0.73	2.90	0.48	3.30	0.39
NH_4	1.59	0.68	1.21	0.22	3.07	0.37	2.02	0.48
PO_4	0.26	0.12	1.72	0.16	1.78	0.41	1.31	0.27
SiO_2	6.49	2.91	5.59	1.37	5.93	2.10	5.36	1.57
<i>Externo</i>								
NO_2+NO_3	2.56	0.75	3.82	0.42	3.34	0.22	3.59	0.57
NH_4	1.27	0.40	1.20	0.25	3.30	0.41	2.16	0.41
PO_4	0.24	0.15	1.68	0.72	1.70	0.33	1.54	0.21
SiO_2	6.33	2.52	6.46	2.93	6.37	2.12	6.09	2.38

los transectos I y II) el cual se une con un flujo hacia el sureste sobre los transectos externos que frente a Boca de Apiza generó un segundo flujo ciclónico de menores dimensiones entre los transectos I y II.



Los mapas de distribución de cada nutriente fueron diferentes entre sí (Fig. 5a, 5b, 5c, 5d). Las concentraciones de nitratos más bajas se detectaron hacia el talud, mientras que las más altas entre Barra de Navidad y Manzanillo (II e IE). En el caso del

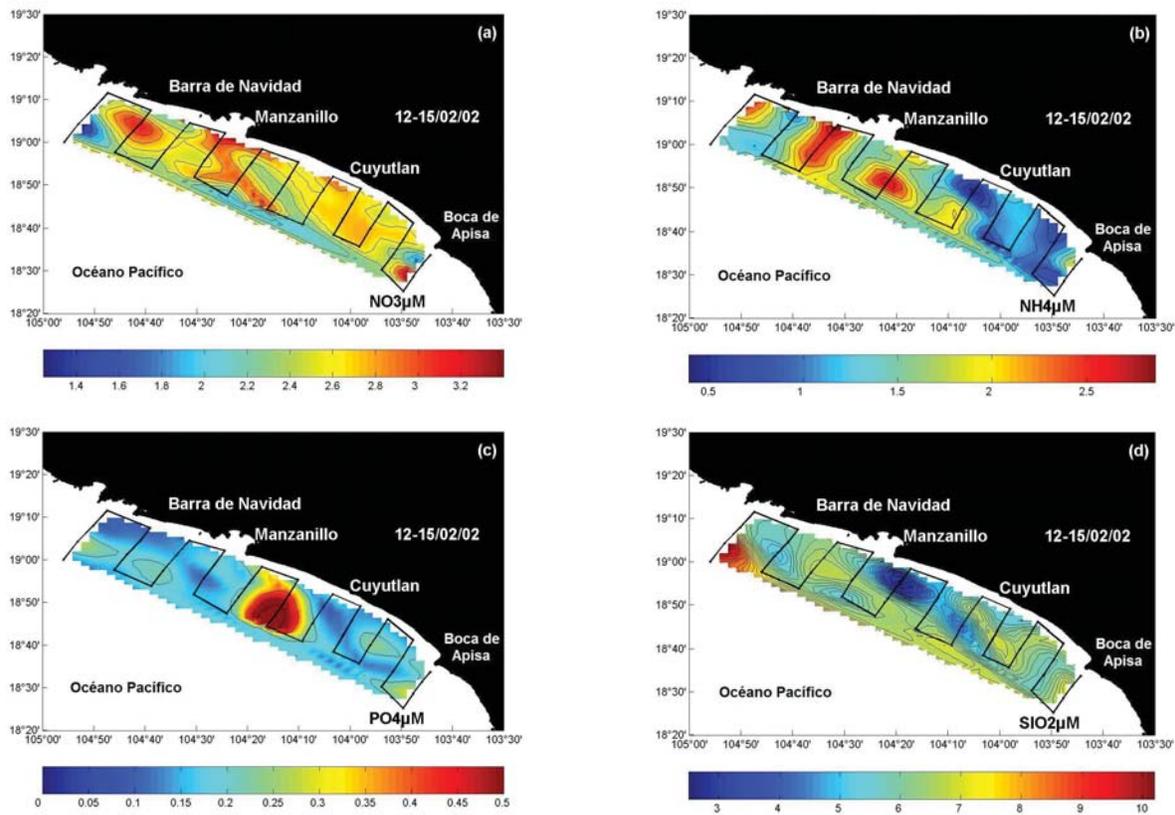
amonio, los valores más bajos se registraron al sur de Cuyutlán, mientras que los más elevados en una franja perpendicular a la costa ubicada entre el meridiano 104.6° o y Manzanillo. El fósforo fue escaso ($<0.04 \mu\text{M}$), excepto en un punto ubicado entre Manzanillo y Cuyutlán, mientras que los silicatos fueron ligeramente más abundantes sobre el talud y en una especie de "lengüeta" detectada entre el borde de la plataforma y las estaciones intermedias entre Barra de Navidad y Manzanillo.

La distribución de los nutrientes aparentemente mantiene alguna relación con la hidrodinámica. En el interior del remolino anticiclónico el contenido de los cuatro compuestos fue menor que el detectado en la periferia de esas estructuras. Por el contrario, al centro de los vórtices de los remolinos ciclónicos y en su zona de influencia las concentraciones de los cuatro nutrientes fueron elevadas.

Las variaciones de la clorofila también estuvieron relacionadas con la ubicación de los remolinos y las corrientes. Los mapas de distribución de estos pigmentos a 25 m de profundidad mostraron que las cantidades más grandes ($>1 \text{ mg chl-a}\cdot\text{m}^{-3}$) coincidieron con los remolinos ciclónicos, mientras que las más bajas ($<1 \text{ mg chl-a}\cdot\text{m}^{-3}$) con los anticiclones.

Durante la primavera la dirección dominante de la corriente fue al sureste; empero, mientras que en el

Figura 5
Gráficos representativos de la distribución de nutrientes durante invierno

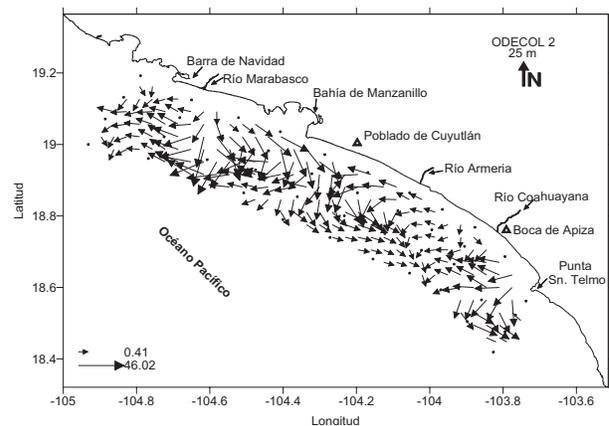


a) Nitrato, b) amonio, c) fosfato y d) silicato.

borde del talud continental (trayecto E) el flujo fue estable, sobre la plataforma se formaron meandros, que al converger dieron origen a una secuencia alternada de remolinos ciclónicos y anticiclónicos (Fig. 6). Frente a las bahías de Manzanillo, entre los trayectos IE y E se formó un anticiclón de 18 km de diámetro aproximadamente, que se contrapone con un remolino ciclónico de dimensiones similares. Entre estos dos remolinos se genera un flujo “zigzagueante” que sobre el trayecto E es más definido desde Cuyutlán hasta Boca de Apiza.

En esta temporada los mapas mostraron que hubo un incremento de fosfatos y amonio desde Barra de Navidad hasta Boca de Apiza, aunque su distribución no fue homogénea (Fig. 7). Los fosfatos y silicatos fueron más abundantes sobre el núcleo del remolino ciclónico y en las zonas de divergencia que se produjeron entre las bahías de Manzanillo y Cuyutlán, donde también se incrementó la concentración de nitratos (Fig. 7a). Por su parte, en el anticiclón y las zonas de convergencia los cuatro nutrientes fueron escasos (Figs. 7a, 7b, 7c y 7d).

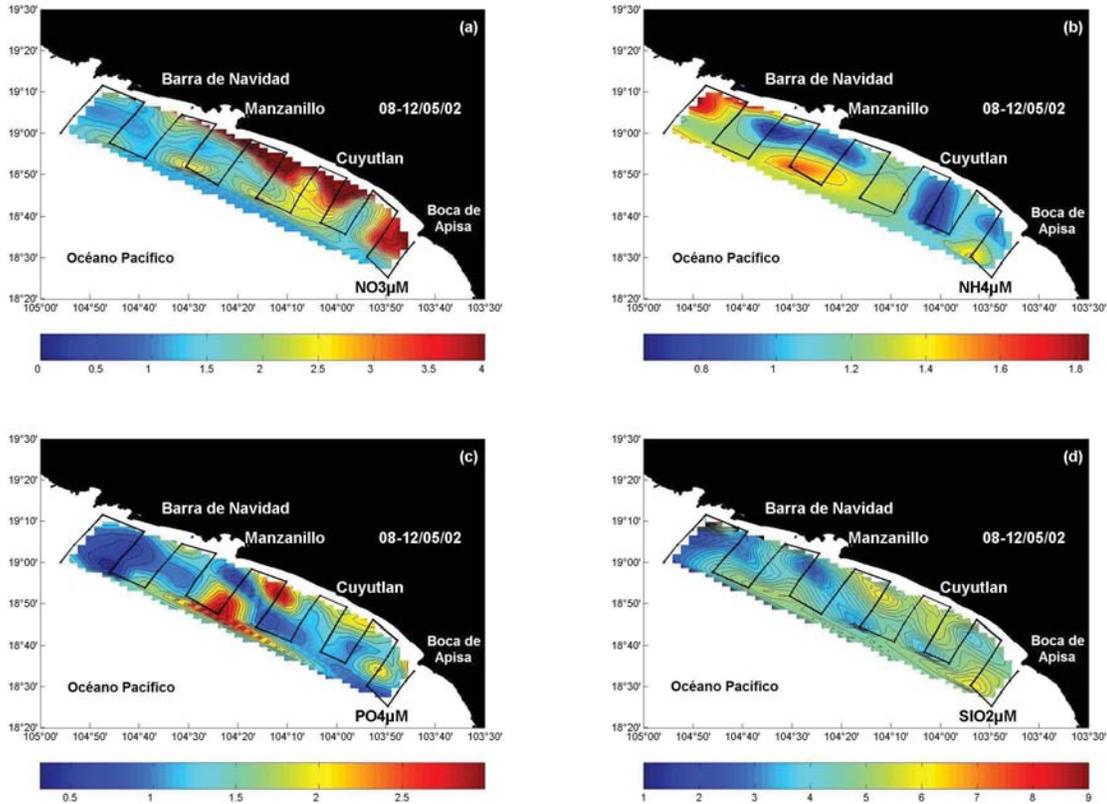
Figura 6
Circulación geostrófica durante primavera.



La distribución de *chl-a* en la profundidad de 25 m, aparentemente estuvo relacionada con la presencia del remolino anticiclónico y la convergencia frente al río Coahuayana, entre los trayectos IE y E, donde

Figura 7

Gráficos representativos de la distribución de nutrientes durante primavera



a) Nitrato, b) amonio, c) fosfato y d) silicato.

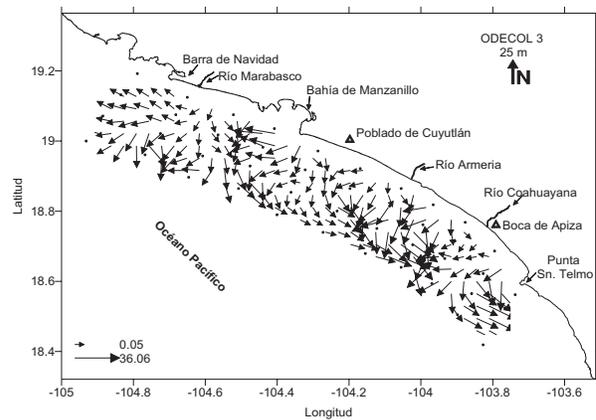
la concentración fue inferior a $0.7 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$, mientras que sobre el vórtice ciclónico se triplicó ($2.4 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$ desde los 25 hasta los 50 m). Frente a Punta San Telmo, en la parte interna, el valor fue de 2.1 y en la externa de $1.1 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$.

En verano, sobre el transecto E, la dirección de la corriente fue hacia el sureste; mientras que sobre la plataforma hacia el noroeste, como en primavera, se formaron meandros que, si bien no dan paso a la formación de remolinos bien definidos, forman un flujo alternado que genera frentes (divergentes/convergentes) bien marcados. Entre el río Marabasco y las bahías de Manzanillo se forma un flujo que va de la costa al océano y pasa entre Cuyutlán y el río Armería y frente a Boca de Apiza donde se registran velocidades considerables durante esta época.

Los mapas de distribución de los cuatro nutrientes correspondientes a esa temporada no mostraron alguna tendencia. Los valores más altos se presentaron en puntos específicos (Fig. 9 a, b, c y d), algunos de los cuales coincidieron con las divergencias que se formaron frente a Barra de Navidad, entre los transectos IE y E, como fue el caso del amonio y los sili-

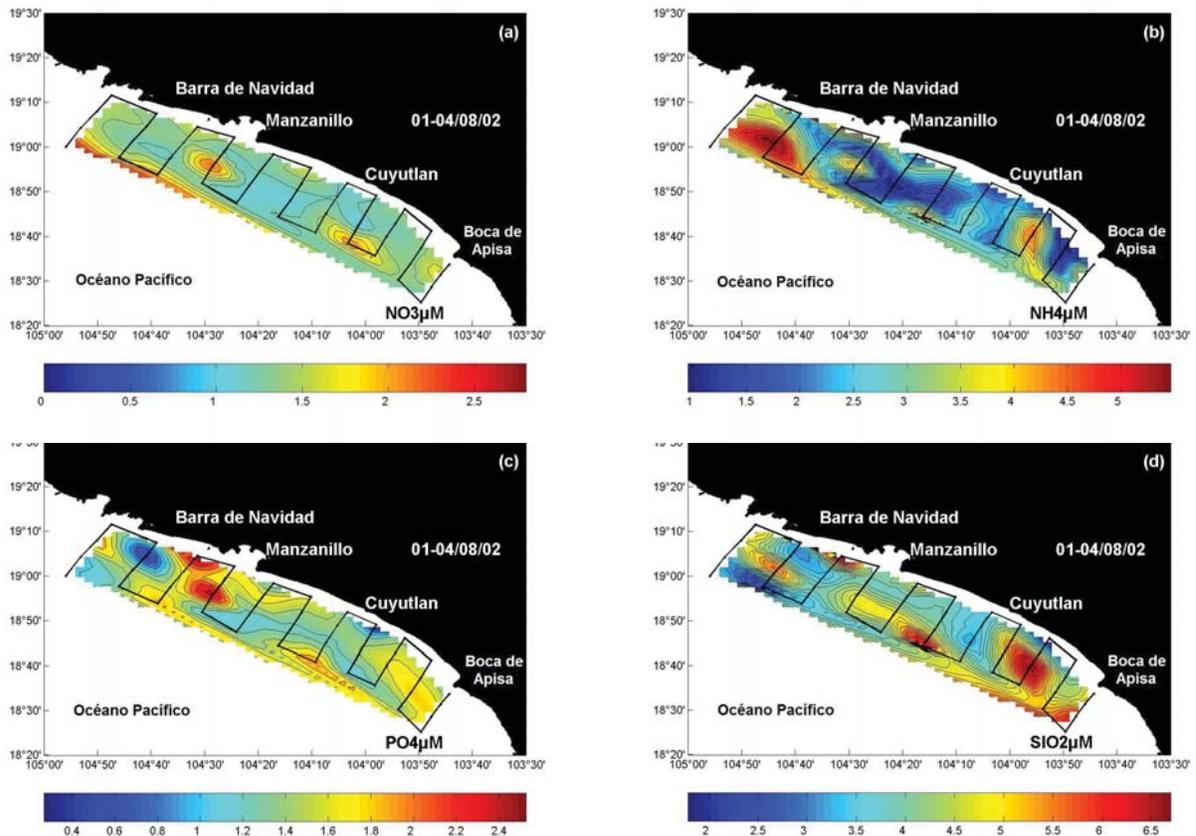
Figura 8

Circulación geostrófica durante verano



catos; en esa zona se registró el mayor contenido de amonio (Fig. 9b) ($5.02 \mu\text{M}$) del año a 25 m de profundidad, después de eso disminuyó hasta los 100 m y fue indetectable. Los nitratos, el amonio y los fosfatos formaron un núcleo con altas concentraciones frente a la bahía de Manzanillo, entre los transectos

Figura 9
Gráficos representativos de la distribución de nutrientes durante verano



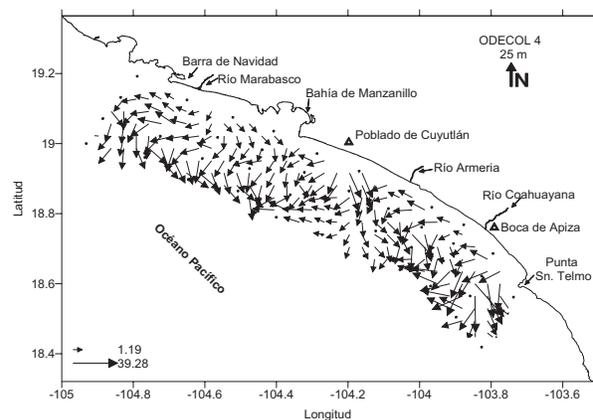
a) Nitrato, b) amonio, c) fosfato y d) silicato.

II e IE, en donde la circulación fue de tipo ciclónico y las velocidades fueron más elevadas. La *chl-a* fue muy abundante en las zonas con alto contenido de nutrientes, donde se registraron $3.83 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$ y $2.21 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$, respectivamente.

Durante el otoño no se aprecia una dirección bien definida en la corriente general sobre toda la plataforma continental; al igual que en el verano, sobresale la generación de meandros de la costa al océano que alimentan trayectorias “zigzagueantes” que dan paso a zonas con frentes bien marcados (Fig. 10). En la parte sur de las bahías de Manzanillo y entre Cuyutlán y el río Armería se observan dos frentes convergentes sobre el transecto I con su contraparte sobre el transecto E. Entre el río Coahuayana y Punta San Telmo se aprecia una zona con las velocidades más altas pero sin una dirección bien definida, que deja ver un transporte neto hacia el océano (Fig. 10).

En esta época, frente a Manzanillo y Cuyutlán, las máximas concentraciones de nitratos, amonio y silicatos se alternaron entre los transectos I y E (Fig. 11a, 11b y 11c), mientras hacia la parte externa del frente, situado a la altura de las bahías de Manzanillo,

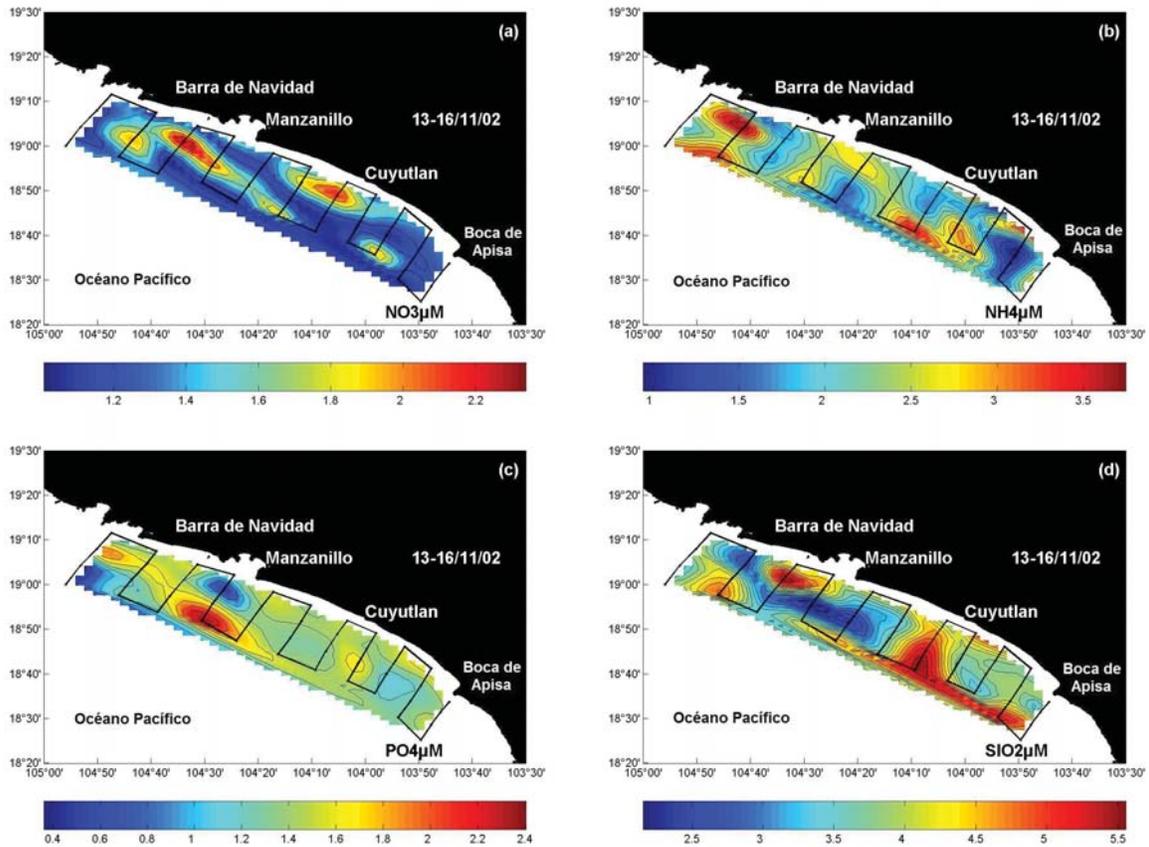
Figura 10
Circulación geostrofica durante otoño



llo, las cantidades de amonio fueron bajas y coincidieron con perturbaciones en las estaciones intermedias ubicadas entre Cuyutlán y Boca de Apiza (Fig. 11b), en el sureste de la zona de estudio. El contenido de fosfatos fue pequeño, en especial frente a Manzanillo sobre el transecto interno y frente a Barra de Navidad

Figura 11

Gráficos representativos de la distribución de nutrientes durante otoño



a) Nitrato, b) amonio, c) fosfato y d) silicato.

sobre las estaciones externas; el valor más alto se registró en la parte externa frente a Manzanillo, donde se detectó una contracorriente con dirección sureste. Los silicatos fueron escasos en los transectos II e IE, entre Barra de Navidad y Cuyutlán, así como entre el río Coahuayana y Punta San Telmo (Fig. 11d).

La cantidad de *chl-a* fue de $1.2 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$ a 25 m de profundidad frente a Barra de Navidad, mientras que enfrente a Manzanillo fue de $0.7 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$ en el transecto interno; en contraparte, sobre las estaciones externas, donde aparentemente iniciaba un flujo en contracorriente, se presentaron las mayores concentraciones ($2.82 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$), en tanto que entre Cuyutlán y Boca de Apiza, donde se presentó una marcada inestabilidad, se registró alrededor de los $0.82 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$.

Discusión

La distribución de nutrientes presenta una variación estacional, con los promedios más altos de fosfatos y

amonio (1.6 y $3.0 \mu\text{M}$ respectivamente) en primavera y verano así como de *chl-a*, a 50 m de profundidad, esto como posible resultado de la recirculación de dichos compuestos por procesos de mezcla vertical y del incremento de la biomasa fitoplanctónica, favorecido por mayores temperatura y penetración de la luz (Riley y Chester, 1989; Badan, 1997); lo que pudo causar que durante el verano se registraran los valores más altos de *chl-a* ($3.83 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$) y de NH_4^+ , lo que a su vez sugiere que la actividad fitoplanctónica contribuyó a la remineralización de nutrientes (Vidal y Duarte, 2000; Shen, 2001). Durante el otoño la *chl-a* fue más abundante que en invierno y coincidió con valores altos de los cuatro nutrientes, posiblemente porque en esa época el patrón de circulación fue estable (e.g. no se observaron vórtices) y las condiciones ambientales aún fueron favorables para las microalgas; no obstante, es probable que debido a la disminución de la penetración de luz, la cantidad de biomasa haya sido menor ($1.2 \text{ mg } chl-a \cdot m^{-3}$) que en primavera y verano.

Durante el invierno hubo alta disponibilidad de $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ y SiO_2 pero baja concentración de *chl-a*

por encima de la nutriclina (50 m). En trabajos previos se reportó que la biomasa planctónica era escasa durante el invierno en la zona de estudio (Navarro-Rodríguez *et al.*, 2001), resultado de condiciones ambientales poco favorables (Fiedler *et al.*, 1991; Meave del Castillo *et al.*, 2003). Otros autores señalan que durante el invierno el contenido de *chl-a* en el fitoplancton es menor que en otras épocas del año, porque las condiciones lumínicas y las bajas temperaturas a lo largo de la columna de agua no son las óptimas para su metabolismo y desarrollo celular, lo que favorece la presencia de nutrientes en forma disuelta (Ferrier-Pagès y Rassoulzadegan, 1994; Estrada, 1996; Maso *et al.*, 1998).

La distribución horizontal de nutrientes se comparó con la circulación descrita con el método geostrofico, capaz de generar una aproximación del patrón de las corrientes en el área de estudio (Tolmazin, 1985). Aunque se aplica en aguas abiertas, también se ha utilizado para describir la presencia estacional de remolinos en la parte norte del Golfo de California, donde las profundidades oscilan entre los 40 y 500 m (Carrillo *et al.*, 2002); y la presencia de surgencias durante el invierno en la plataforma continental chilena, donde la profundidad máxima es de 350 m (Moraga *et al.*, 2001).

Los resultados obtenidos muestran que la circulación sobre la plataforma continental del estado de Colima está relacionada con la orientación del talud continental y con la variación estacional, que se caracteriza por la formación de flujos contrapuestos que generan meandros y la presencia alternada de vórtices (cyclónicos/anticiclónicos) con diámetros variables entre ocho y 20 km. Durante el verano, aunque no se detectó la formación clara de vórtices, se presentaron las trayectorias semicíclicas más amplias de los meandros (hasta de 25 km); en este sentido, sobre la zona existen trabajos que señalan que en la capa de 0-100 m de profundidad, la temperatura y salinidad presentan fluctuaciones estacionales debidas a la evaporación, la precipitación y el calentamiento solar que propician la generación de radios de deformación baroclínica de 36 km en verano y 18 km en invierno; mientras que a lo largo del talud continental se reportan remolinos con diámetros de hasta 60 km durante el verano, que se desplazan desde el Golfo de Tehuantepec hasta Cabo Corrientes, hecho que se ve acentuado como resultado de la propagación de eventos de El Niño (Filonov *et al.*, 2000; Zamudio *et al.*, 2001).

El patrón local de circulación puede ser el principal mecanismo de fertilización de la región debido a que los vórtices y los frentes generan movimientos de surgencia o hundimiento a lo largo de la columna de agua, que influyen en la disponibilidad (recirculación) de nutrientes y, por ende, en la biomasa fitoplanctónica expresada en forma de clorofila-*a*. De manera similar a lo reportado por otros autores (Pond y Pickard, 1983; Brown *et al.*, 1995), se encontró que en el centro de las perturbaciones anticiclónicas se presentaron bajas concentraciones de nutrientes y de clorofila-*a* relacionadas con movimientos convergentes, mientras que los remolinos ciclónicos se asociaron a movimientos divergentes que en su centro presentaron altas cantidades de nutrientes y clorofila-*a*.

Sin embargo, también se podría pensar que la fertilización en esta zona se relaciona con los aportes continentales, como se ha descrito en algunas zonas costeras cercanas a la desembocadura de grandes ríos o escorrentías urbanas de poblaciones con más de tres millones de habitantes, donde la abundancia de nutrientes llega a ser de un orden de magnitud más alta que en las aguas circundantes (Marchetti *et al.*, 1989; Justic *et al.*, 1995; Rabalais *et al.*, 1996; Olivos-Ortiz *et al.*, 2002). En el área de estudio los asentamientos urbanos más grandes se ubican en las bahías de Manzanillo y Barra de Navidad, que en conjunto agrupan a menos de 300 000 habitantes (INEGI, 2002), mientras que el aporte de agua dulce que se realiza a través de la Laguna de Cuyutlán es mínimo y la descarga de los ríos Marabasco, Armería y Coahuayana es de temporal y su caudal máximo no ha sobrepasado los 350 m³ seg⁻¹ en la última década (Ortiz, 2000). La influencia de estos aportes en la concentración de los nutrientes a lo largo del transecto interno probablemente es pequeña, ya que las comparaciones estadísticas realizadas no mostraron diferencias significativas entre transectos, lo que sería indicativo del efecto de los aportes continentales.

Conclusiones

Durante el periodo de estudio, los nutrientes fueron abundantes a lo largo de la columna de agua durante la primavera y el verano, lo que favoreció el aumento de la *chl-a* en este último periodo. Por otro lado, los aportes continentales representaron una influencia secundaria frente a los mecanismos de circulación en la distribución de nutrientes en la zona costera del estado de Colima.

Referencias bibliográficas

- BADAN, A. 1997. La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. En: M. Lavín (ed.). *Contribución a la oceanografía física en México*. Monografía 3. Unión Geofísica Mexicana. pp. 99-113.
- BROWN, J., A. Colling, D. Prak, J. Phillips, D. Rothery y J. Wright. 1995. Ocean circulation. En: G. Bearman (ed.). *The oceanography course team*. Open University, Pergamon, England. 238p.
- CARRILLO L., M.F. Lavín y E. Palacios-Hernández. 2002. Seasonal evolution of the geostrophic circulation in the Northern Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 54:157-173.
- ESTRADA, M. 1996. Primary production in the northwestern Mediterranean. *Scientia Marina*, 60(2):55-64.
- FERRIER-PAGÈS, C. y F. Rassoulzadegan. 1994. Seasonal impact of the microzooplankton on pico-and nanoplankton growth rates in the northwest Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 108:283-294.
- FIEDLER, P.C. 1994. Seasonal and inter annual variability of coastal zone color scanner phytoplankton pigments and winds in the eastern tropical Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 99(9):18 371-18 384.
- FIEDLER, P.C. 2002. The annual cycle and biological effects of the Costa Rica Dome. *Deep Sea Research*, 49:321-338.
- FIEDLER, P.C., V. Philbrick y F.P. Chávez. 1991. Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific. *Limnology and Oceanography*, 36(8):1834-1850.
- FILONOV, A.E., I.E. Tereshchenko, C.O. Monzon, M.E. González-Ruelas y E. Godínez-Domínguez. 2000. Season variability of the temperature and salinity fields in the coastal zone of the states of Jalisco and Colima Mexico. *Ciencias Marinas*, 26(2):303-321.
- GRASSHOFF, K., M. Ehrhardt y K. Kremling. 1983. *Methods of seawater analysis*. 2, Verlag Chemie. Germany. 419p.
- INEGI. 2002. *Anuario estadístico del Estado de Colima*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México. 520p.
- JUSTIC, D., N.N. Rabalais, R.E. Turner y Q. Dortch. 1995. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40:339-356.
- LLUCH-COTA, S., S. Álvarez-Borrego, E.M. Santamaría-del Ángel, F.E. Müller-Karger y S. Hernández-Vázquez. 1997. The Gulf of Tehuantepec and adjacent areas: spatial and temporal variation of satellite-derived photosynthetic pigments. *Ciencias Marinas*, 23(3):329-340.
- LÓPEZ-SANDOVAL, D.C. y A. Olivos-Ortiz. 2002. Comportamiento de nutrientes inorgánicos disueltos y su relación con la productividad primaria en las bahías de Santiago y Manzanillo, Col. (sep-2000-agosto 2001). *Memorias. XIII Congreso Nacional de Oceanografía*. 7-11 de octubre, Puerto Vallarta, México. pp. 78-80.
- MARCHETTI, R., A. Provini y G. Cosa. 1989. Nutrient load carried by the Po river into the Adriatic Sea, 1968-1987. *Marine Pollution Bulletin*, 20:168-172.
- MASO, M., A. Sabates y M.P. Olivar. 1998. Short-term physical and biological variability in the shelf-slope region of the NW Mediterranean during the spring transition period. *Continental Shelf Research*, 18:661-675.
- MEAVE DEL CASTILLO, M.E., M.E. Zamudio-Reséndiz, J. Aké-Castillo, S.L. Guerra-Martínez e I.F. Barboza-Ledezma. 2003. Biodiversity of diatom (Bacillariophyta) along the water column in the Mexican Pacific. En: M.T. Barreiro-Güemes, M.E. Meave del Castillo, M. Signoret-Poillon y M.G. Figueroa-Torres (eds.). *Planctología Mexicana*. UdeG, Guadalajara. pp. 43-83.
- MORAGA J., E. Valdebenito y J. Rutllant. 2001. Condiciones oceanográficas durante la fase de relajación de un evento de surgencia invernal frente a Punta Lengua de Vaca, Coquimbo. *Investigación Marina*, 29(1):59-71.
- MÜLLER-KARGER, F.E. y C. Fuentes-Yaco. 2000. Characteristics of wind generated rings in the eastern tropical Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 105(1):1271-1284.
- NAVARRO-RODRIGUEZ, M.C., S. Hernández-Vázquez, R. Funes-Rodríguez y R. Flores-Vargas. 2001. Distribución y abundancia de larvas de peces de las familias Haemulidae, Sciaenidae y Carangidae de la plataforma continental de Jalisco y Colima, México. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 35(1):1-24.
- OLIVOS-ORTIZ, A., M. Maso-Agustina y J. Camp-Sancho. 2002. Continental runoff of nutrients and their possible influence over stoichiometric ratios (DIN:P:Si) in the northeastern Mediterranean waters of Spain (Catalan Sea). *Ciencias Marinas*, 28(4):393-406.
- OLIVOS-ORTIZ, A., S.I. Quijano-Scheggia, M.A. Galicia-Pérez, J.H. Gaviño-Rodríguez y J. Mora-Galindo. 2003. Influencia de los parámetros fisicoquímicos en la distribución de los principales grupos fitoplanctónicos en las costas del Estado de Colima durante el 2002. *Memoria. IX Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés*. 5-9 de mayo. La Paz, BCS. México. pp.62-63.
- ORTIZ, G. 2000. *Administración del agua*. IMTA-Comisión Nacional del Agua, México. 159p.
- PEÑA, A., M.R. Lewis y G. Harrison. 1990. Primary productivity and size structure of phytoplankton biomass on a transect in the equator at 135 °W in the Pacific Ocean. *Deep Sea Research*, 37:295-315.
- POND, S. y G.L. Pickard. 1983. *Introductory dynamical oceanography*. Pergamon, EU. 329p.
- QUIJANO-SCHEGGIA, S.I., M.A. Galicia-Pérez, A. Olivos-Ortiz, J.H. Gaviño-Rodríguez y J. Mora-Galindo. 2003. Distribución de los principales grupos fitoplanctónicos marinos en las costas del Estado de Colima y su relación con características fisicoquímicas durante el año 2002. *Memorias. IV Congreso Mexicano de Ficología*. 7-11 de abril de 2003. Mérida, Yucatán. México. pp. 102-104.
- QUIJANO, S.I. y A. Vidaurri, 1987. Evaluación de parámetros fisicoquímicos y productividad primaria en las bahías y lagunas de Manzanillo. *Reporte interno*. IOM-SEMAR, Manzanillo, Col. 115p.
- RABALAIS, N.N., R.E. Turner, Q. Dortch, W.R. Wiseman y B.K.S. Gupta. 1996. Nutrient changes in the Mississippi river system responses on the adjacent shelf. *Estuarios*, 19(2):386-407.
- RILEY, J.P. y R. Chester. 1989. *Introducción a la química marina*. AGT, México. 459p.
- RODRÍGUEZ, J., J. Tintore, J.T. Allen, J.M. Blanco, D. Gomis, A. Reul, J. Ruiz, V. Rodríguez, F. Echeverría y F. Jiménez-Gómez. 2001. Mesoscale vertical motion and the size structure of phytoplankton in the ocean. *Nature*, 410:360-3630.
- SHEN, L.S. 2001. Historical changes in nutrient structure and its influences on phytoplankton composition in Jiaozhou Bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 52:211-224.
- SOLÓRZANO, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnology and Oceanography*, 14(5):799-801.
- STATSOFT Inc. 2000. *Statistical for Windows* (Computer program manual). Tulsa, OK. Email info@statsoft.com. Web: <http://www.statsoft.com>.

- STRICKLAND, J.D. y T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of sea water analysis*. Bull.167. Fish. Res. Bd. Canada, Canadá. 310p.
- TRASVIÑA, A., E.D. Barton, J. Brown, H.S. Velez, P.M. Kosro y R.L. Smith. 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec, Mexico: The asymmetric circulation. *Journal of Geophysical Research*, 100(10):649-663.
- TOLMAZIN, D. 1985. *Elements of dynamical oceanography*. Allen & Unwin, EU. 287p.
- VÁZQUEZ-GUTIÉRREZ, F. Salvador-López, G. Ramírez-Álvarez, A. Turner-Garcés, M. Frausto-Castillo y H. Alexander-Valdez. 1998. La química del agua. En: M. Tapia-García (ed.). *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. UAM-I, México. pp. 35-50.
- VIDAL, M. y C.A. Duarte. 2000. Nutrient accumulation at different supply rates in experimental Mediterranean planktonic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 207:1-11.
- ZAMUDIO, L., A.P. Leonardi, S.D. Meyers y J.J. O'Brien. 2001. ENSO and eddies on the southwest coast of Mexico. *Geophysical Research Letters*, 28(1):13-16.
- ZEPEDA-GUTIÉRREZ, J.A. 1987. Estudio de las distribuciones de sedimentos bentónicos en las bahías de Manzanillo y Santiago, Colima. *Reporte interno*. IOM-SEMAR, Manzanillo. 89p.

Caracterización y transporte de sedimentos en la Costa Norte de Colima

Alejandro O. Meyer Willerer^{*}
Reynaldo Vargas Laue^{**}
Marco Antonio Galicia Pérez^{*}

Resumen

En noviembre y diciembre de 2001 se realizaron muestreos de sedimentos, medición de corrientes y de metales pesados en la zona de estudio denominada Playa El Coco, limitada por las coordenadas 104°36' y 104°42' O, 19°09' y 19°11' N. El sistema hidrográfico en esta región está influido principalmente por el río Marabasco. En este trabajo se describen la composición granulométrica y la concentración de 34 elementos en los sedimentos superficiales y su forma de transporte, desde la desembocadura del río Marabasco hasta Punta Graham. Los hallazgos durante la apertura de la boca del río Marabasco muestran que los sedimentos estuvieron formados principalmente por magnetita e ilmenita que contienen principalmente los elementos Fe y trazas de Co, Ni, Cu, Zn y Cr que fueron transportados por la corriente litoral hacia Punta Graham durante esta época del año. Sólo cuando la boca del río estuvo abierta, los sólidos de mayor tamaño y peso se sedimentaron en una zona de 500 m alrededor de ella; las arenas finas y las arcillas fueron transportadas por las corrientes fuertes que imperan en esa zona.

Palabras clave: transporte de sedimentos, costa de Colima, metales pesados, magnetita.

Introducción

La plataforma continental del Pacífico central mexicano presenta predominantemente sedimentos terrígenos, aportados por los sistemas fluviales que dre-

nan la vertiente de la Sierra Madre Occidental, del Eje Volcánico y de la Sierra Madre del Sur formando barreras arenosas que en ciertos lugares conforman lagunas. Lankford (1977) menciona que existen alrededor de 180 lagunas costeras y estuarios en México; y que el Pacífico Centro y Sur de México es la tercera zona del país por la cantidad de cuerpos de agua de este tipo, ya que hay 40 lagunas y estuarios desde Nayarit hasta Chiapas. La superficie de estos cuerpos de agua representa alrededor de 20% del total nacional.

Este trabajo se realizó en la zona norte del estado de Colima, desde la desembocadura del río Marabasco hasta Punta Graham, limitada por las siguientes coordenadas: 104°36' y 104°42' Oeste, 19°09' y 19°11' Norte (Fig. 1). Se denomina Playa El Coco, a la barrera con dunas que separa el océano Pacífico de la laguna Barra de Navidad.

La plataforma, angosta en esta zona del océano Pacífico, está formada por sedimentos terrígenos de granulometría variada, procedentes de la sierra adyacente. Las playas, interrumpidas por rocas, delimitan las bahías y éstas presentan cuarzos, feldspatos, hornblendas, óxidos de hierro y escasos carbonatos (Marmolejo-Rodríguez *et al.*, 2004). El sistema hidrográfico en esta región está limitado por los ríos Lerma-Santiago al norte y el Balsas al sur. En la zona cercana se localiza el río Purificación al norte, el río Marabasco en la zona de estudio y al sur el río Armería y el Coahuayana (Comisión Nacional del Agua, 2001).

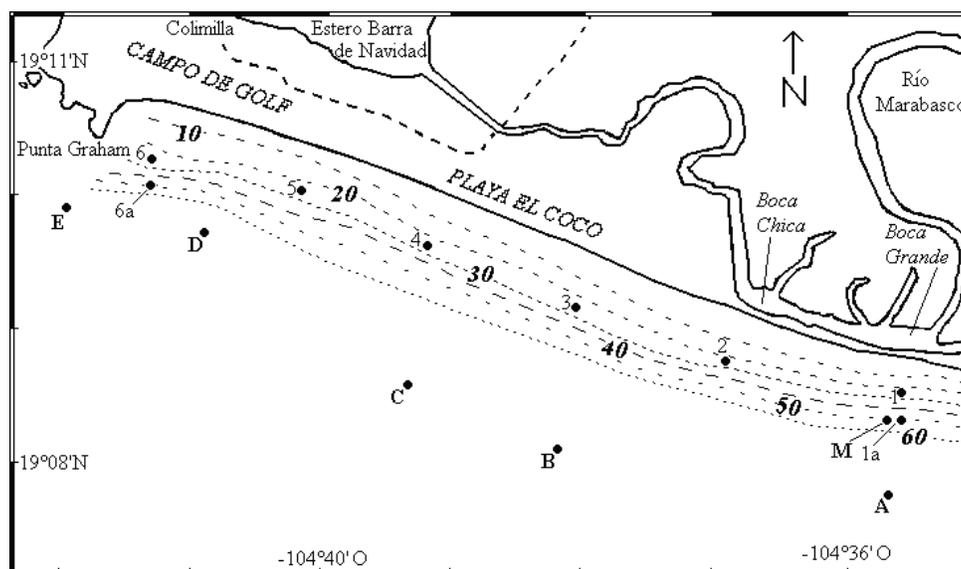
Entre los elementos aportados por los ríos se pueden mencionar los metales pesados y algunos otros, en forma de trazas, como los lantánidos. Algunos de estos elementos pueden ser tóxicos o, por el contrario, funcionar como micronutrientes, dependiendo de su naturaleza y su concentración (Förstner y Wittmann, 1979). En el agua, los metales pesados pueden formar soluciones, adherirse a partículas o formar parte de los minerales suspendidos que son arrastrados por las corrientes y alcanzar la zona costera, en donde se almacenan en forma temporal o permanente. La fre-

* Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Universidad de Colima, km 20 Carr. Manzanillo-Cihuatlán, Manzanillo, Col. 28860, México. Correo electrónico: ameyer@cgic.ucol.mx

** Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima, km 20 Carr. Manzanillo-Cihuatlán, Manzanillo, Col. 28860, México.

Figura 1

Localización del área de estudio de la boca del río Marabasco (estados de Colima y Jalisco)



En líneas puntuadas se muestran las isobatas en metros. Sitios de muestreo: 1 y 1a) Boca grande; 2) Boca chica; 3) Palmar; 4) Curva de carretera a Colimilla; 5) Ejido La Culebra; 6 y 6a) Campo de Golf.

cuencia con la que se aportan dichos metales depende de las características de la cuenca, de la industria o del sistema que esté contaminando. Por otro lado, la dispersión de dichos minerales en el medio marino puede deberse a las corrientes litorales y la marea de la zona afectada (Elliott *et al.*, 1985).

El estudio de sedimentos en el litoral es de interés, ya que contribuye al conocimiento de éstos y de los minerales presentes en las arenas, que pueden contener metales de importancia económica. Se han escrito varios trabajos relacionados con el estudio de sedimentos litorales en el Pacífico mexicano (Mee y Ortega, 1987; Carranza-Edwards *et al.*, 1988; Osuna-López *et al.*, 1989; Villaescusa-Celaya *et al.*, 1997; Muñoz-Barbosa *et al.*, 2004) y en el Golfo de México (Páez-Osuna *et al.*, 1987; Ayala-Castañares y Gutiérrez-Estrada, 1990). Sin embargo, los trabajos de este tipo en el estado de Colima son escasos y la mayoría es en la forma de reportes técnicos del Consorcio Minero Peña Colorada, que explota los yacimientos de magnetita en la cuenca del río Marabasco que fluye de la sierra El Mamey. En la década de los años setenta, cuando esta compañía inició sus actividades en la zona, Lancín y Carranza-Edwards (1976) efectuaron un estudio de arenas negras de las playas de Santiago en Colima, cercanas a la zona de estudio. Ellos reportaron elevadas concentraciones de minerales ferrosos, principalmente magnetita y pirita, que le imparten el color negro brillante a las arenas.

El objetivo principal de esta investigación fue conocer la composición granulométrica y química de los sedimentos superficiales y su forma de transporte desde la desembocadura del río Marabasco hasta la zona rocosa de Punta Graham. Otro objetivo fue describir el proceso de sedimentación cuando el flujo de este río llega al océano con gran cantidad de sedimentos acarreados y la distribución de las partículas ocasionada por la corriente litoral. Debido a la escasez de información sobre las características de la región, se realizó un estudio batimétrico de la zona, así como la medición de la corriente litoral durante dos fechas: el 9 de noviembre y el 8 de diciembre de 2001. Para la descripción de las formas de dispersión de las partículas sedimentarias sobre el fondo marino y a lo largo de la columna de agua, se realizaron dos experimentos colocando trampas de sedimentos a diferentes profundidades durante la apertura de la boca.

Métodos y materiales

Área de estudio

El sistema hidrográfico en esta región está influenciado principalmente por el río Marabasco de 64 km de longitud y un aforo de $5 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en la época de secas y $780 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ durante la época de ciclones (Comisión Nacional del Agua, 2001). El río Marabasco proviene de

las sierras Manantlán, El Perote y El Mamey donde se encuentran la zona minera Peña Colorada y otras zonas ferrosas de importancia. Este río drena una vasta zona de pequeñas sierras deformadas tectónicamente de la parte sur de la Sierra Madre Occidental, el norte de la Sierra Madre del Sur y del occidente del Eje Neovolcánico, constituida de tobas y rocas sedimentarias del Cretácico Inferior, por lo que se considera una zona interesante desde el punto de vista geológico. En la llanura costera de Cihuatlán, el río presenta una desembocadura grande que permanece cerrada la mayor parte del año ya que sólo se abre durante los escurrimientos fluviales extremos, como durante el paso de un huracán, o en forma artificial, para drenar las partes bajas del valle de Cihuatlán, una zona agrícola importante.

El clima de esta zona es tropical del tipo Aw_0 , según la clasificación de Köppen, modificada por García (1964); la temporada cálida se presenta de junio a octubre cuando la temperatura media es de $31.2\text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el resto del año es de $23.0\text{ }^\circ\text{C}$. El régimen de lluvias es de verano y la precipitación pluvial promedio es de $800\text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$. Entre julio y octubre, los vientos soplan de dirección este-sureste con una intensidad promedio de $2\text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$, mientras que en invierno prevalecen los vientos perpendiculares a la costa con dirección oeste-noroeste con una intensidad de $1.5\text{ m}\cdot\text{seg}^{-1}$ (Estación Meteorológica del Instituto Oceanográfico del Pacífico, Secretaría de Marina). Los ciclones que pasan cerca de la zona durante el verano ocasionan oleaje fuerte y dan lugar a cambios morfológicos de la playa y, además, casi siempre causan intensas lluvias que incrementan los caudales fluviales, los que a su vez rompen la barrera arenosa de la desembocadura del río Marabasco. En ocasiones, cuando se inunda la zona agrícola del Valle de Cihuatlán, se abre un canal artificial en el sitio conocido como Boca Grande, para drenar la zona. La apertura natural o artificial da lugar a un intercambio de masas de agua (una "pluma" de color café), de varios kilómetros de largo, en el océano. Este proceso provoca acarreo de sedimentos que están compuestos predominantemente de arenas con proporciones variables de limos y arcillas.

Entre la desembocadura del río Marabasco y Punta Graham se establecieron seis estaciones para realizar la toma de muestras de sedimentos, sobre una sección paralela a la costa. Las estaciones 1 (25 m de profundidad) y 1a (50 m de profundidad) se localizaron frente a la zona donde se ha abierto en forma natural o artificial la boca del río en los últimos cinco años. La estación 2 se ubicó en la localidad denominada Boca Chica, que permaneció cerrada durante el periodo de estudio. Las estaciones 3, 4 y 5 se situa-

ron entre la boca abierta y la zona rocosa de Punta Graham. Las estaciones 6 (25 m de profundidad) y 6a (50 m de profundidad) se localizaron entre la playa El Coco y Punta Graham (Fig. 1)

Batimetría

La batimetría de la zona de estudio se realizó el 2 noviembre y fue determinada con una ecosonda portátil de lectura digital Speedtech 726806 y la posición con un GPS Magellan NAV-DLX-10. El sitio se delimitó por una malla con secciones ortogonales a la costa, tomando como referencia los puntos 1 al 6. La separación entre secciones fue de 1 800 metros y en cada una de ellas se midió la profundidad cada 150 metros. Se realizaron 70 sondeos en un período de dos horas y media. Las medidas fueron referenciadas al nivel medio del mar (nmm), por lo que se corrigieron con la ayuda de las tablas de predicción de mareas (Instituto de Geofísica, 2001). Los puntos de los sondeos fueron capturados en una carta náutica para su representación batimétrica.

La ubicación de cada uno de los 11 transectos (Fig.1) y de las estaciones oceanográficas se estableció con el aparato GPS.

Medición de corrientes

La velocidad y la dirección de la corriente se midieron en dos fechas: el 9 de noviembre y el 8 de diciembre de 2001. Se usaron boyas o flotadores, que se soltaron a diferentes profundidades, en este caso, se calculó el peso de los lastres ("muertos") en función de la fuerza de arrastre (intensidad del viento) que pudiera afectar el desplazamiento de los flotadores. Asimismo, se definió la longitud del cable que unió al "muerto" con la boya, más el necesario para la perfecta contención de éstos, de acuerdo con el nivel de marea que se presentó en el momento de la medición.

Los flotadores se soltaron en las estaciones 1 y 1a, frente a la desembocadura del río Marabasco y en las estaciones 6 y 6a, frente a Punta Graham (Fig. 1). Las corrientes se midieron simultáneamente en la superficie (0.3 m), a media profundidad (12.5 m en las estaciones 1 y 6; a 25 m en las estaciones 1a y 6a) y en el fondo (25 m en las estaciones 1 y 6; 50 m en las estaciones 1a y 6a). La posición de cada uno de los flotadores se determinó cada 30 minutos durante seis horas. Los datos se registraron en una bitácora de corrientes, donde se indicó la hora de medición, la dirección y el sentido. Por último, se obtuvo la velocidad promedio del desplazamiento del flotador dividiendo los desplazamientos calculados (X,Y), entre el intervalo de tiempo transcurrido desde el primer

lance del flotador hasta su recuperación. Los cálculos se hicieron con la siguiente fórmula (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2003):

$$\text{Ec. 1} \quad \bar{V}_x = \sum \bar{X} (\sum \Delta t)^{-1}$$

$$\text{Ec. 2} \quad \bar{V}_y = \sum \bar{Y} (\sum \Delta t)^{-1}$$

$$\text{Ec. 3} \quad \bar{V}_t = (\bar{V}_x^2 + \bar{V}_y^2)^{1/2}$$

Donde t , V_x , V_y y V_t así como X e Y , significan:

Δt = intervalo de tiempo.

V_x = componente de la velocidad en dirección X .

V_y = componente de la velocidad en dirección Y .

V_t = velocidad promedio.

La velocidad calculada de esta manera representa una estimación de la velocidad promedio de todos los desplazamientos de los flotadores. No se efectuaron mediciones de viento.

La velocidad de la corriente se midió en las dos fechas antes mencionadas: 9 de noviembre, cuando las corrientes superficiales iban hacia el sureste, paralelas a la costa, y el 8 de diciembre de 2001 cuando iban en sentido contrario. Estas mediciones se realizaron con boyas que contaban con crucetas en las estaciones 1 y 1a frente a la desembocadura del río

Marabasco y en las estaciones 6 y 6a frente a Punta Graham (Fig. 1). Las corrientes se midieron en la superficie, a media profundidad y en el fondo.

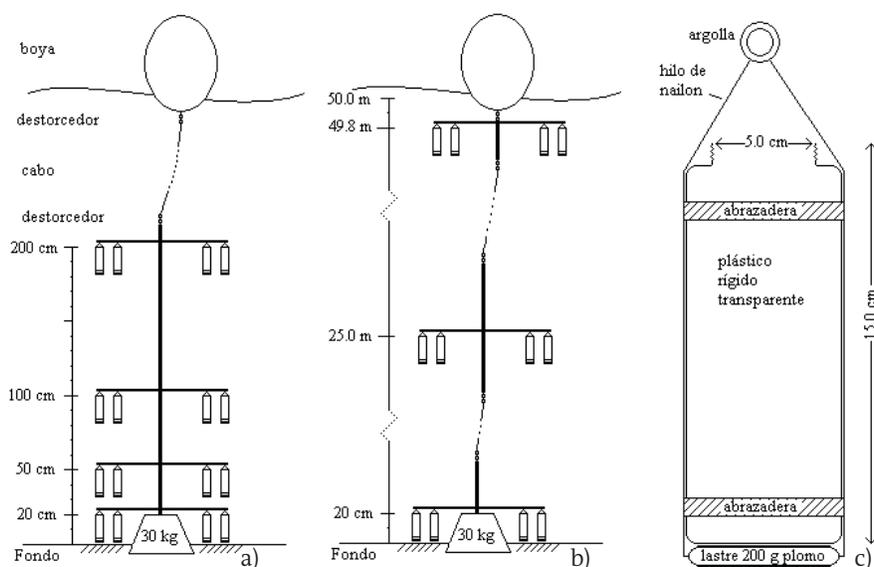
Transporte de sedimento submarino conociendo la corriente

Al mismo tiempo y en las mismas estaciones en las que se midió la corriente (1, 1a, 6 y 6a; Fig. 1), se colocaron trampas para la recolección de sedimentos con ayuda de un lastre de 30 kg atado a una boya (Fig. 2a). Las trampas consistieron en frascos de 20 cm de largo con boca de 5 cm de diámetro (Fig. 2c), que se colocaron encima del lastre en forma vertical con la boca hacia arriba y a 0.2 m del fondo marino. El tiempo de residencia en el fondo marino fue de 1:15h a 1:30h (Montoya-Rodríguez *et al.*, 2003).

Transporte de sedimento a diferentes alturas del fondo, sin descarga del río

El 15 de enero del año 2002, día en que permaneció cerrada la boca del río Marabasco, se colocaron trampas para sedimentos en el punto M (Fig. 1). El sistema de instalación fue similar al descrito en el párrafo anterior, aunque en este caso se colocaron por cuadruplicado a 0.2, 0.5, 1.0 y 2.0 m del fondo marino, donde permanecieron entre tres y cuatro horas (Fig. 2a).

Figura 2
Recolección de sedimentos con trampa



- a) Sistema empleado cuando la boca del río permaneció cerrada.
- b) Sistema de recolección usado cuando la desembocadura estaba abierta.
- c) Frasco de plástico transparente rígido con rosca y lastre para retener los sedimentos.

Transporte de sedimento a diferentes alturas del fondo con la boca del río abierta

El 27 de octubre del 2002, día en que se abrió la boca del río Marabasco, se realizó un experimento similar al descrito en el párrafo anterior, con la intención de obtener las tasas de sedimentación del material proveniente del río, a lo largo de la columna de agua. Las trampas se colocaron por cuadruplicado a 0.2, 25 y 50 m del fondo y a 0.2 m de la superficie del mar (Fig. 2b), en el punto M (Fig. 1), donde permanecieron entre tres y cuatro horas.

Paralelamente a la colocación de trampas de sedimento en el punto M (Fig. 1), se midió la salinidad en partes por mil (‰) y la turbidez en unidades abiertas (0-1000) con un multímetro Horiba U-10; se consideraron las correcciones por el ángulo que formaba el cable debido a las corrientes imperantes durante el muestreo. Se extrajeron muestras de agua en el punto (A) a profundidades de 0.2, 1, 2, 3, 4, 5, 9.8, 18.9, 28.1, 35.5 y 43.2 m con una botella Niskin. Se filtró un litro de agua a través de membranas Millipore (0.45 μm de abertura de poro) y los sólidos retenidos fueron lavados con agua bidestilada y secados hasta peso constante a 105 °C, durante cuatro horas. Con los datos de turbidez y de sólidos filtrables se obtuvo una gráfica y una función matemática que permitiera transformar las lecturas de turbidez a sólidos filtrables ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), realizadas en las estaciones A, B, C, D y E (Fig. 1).

Composición mineralógica de sedimentos superficiales y capturados en las trampas

Se obtuvieron muestras superficiales de sedimentos en diciembre del año 2001 al final de la época de lluvias, cuando la desembocadura del río Marabasco estaba abierta y en febrero del 2002 durante el periodo de sequía, cuando estaba cerrada, para determinar su composición mineralógica. Se recolectaron muestras en seis estaciones (1 a 6; Fig. 1) con ayuda de una draga tipo van Veen. Se utilizó el sedimento que no estaba en contacto con las paredes de la draga. Se tomaron porciones de aproximadamente 100 g y se colocaron en bolsas de plástico, que fueron debidamente rotuladas y transportadas en hielo al laboratorio en Manzanillo. Las muestras recolectadas con las trampas se lavaron con agua destilada, se secaron en una estufa a 105 °C, se pesaron y se dividieron en tres partes. La primer fracción se extrajo separando la magnetita con un imán (fracción compuesta de magnetita); la segunda se obtuvo incinerando el resto de la muestra a 550 °C durante una hora para eliminar la materia orgánica, cuyo peso se calculó por diferencia (fracción de materia orgánica); posteriormente, esa

porción calcinada, pesada y enfriada, se tamizó con una malla de 40 μm de luz para separar la arena mediana de la fina junto con los limos y arcillas (fracción de arenas finas, limos y arcilla). Se calcularon los valores medios del peso de cada parte y su error estándar (ES).

Las muestras mineralógicas se observaron en el microscopio con luz polarizada y un imán adaptado a la platina, con el cual se pudieron reconocer los granos de magnetita. Se identificaron y contaron por lo menos 400 granos por muestra.

Composición química de los sedimentos superficiales

Se extrajeron muestras superficiales de sedimentos en sitios paralelos a la costa y a 25 m de profundidad con una draga tipo Van Veen. Los lugares de muestreo fueron seis: el primero se ubicó frente a la boca de la desembocadura del río Marabasco, mientras que la estación 6, frente a la Punta Graham (Fig. 1). Los sedimentos se extrajeron del centro de la draga abierta una vez recolectada la muestra, con ayuda de bolsas de plástico resellables previamente enjuagadas con ácido clorhídrico puro y agua bidestilada. Las porciones fueron secadas al sol por 48 horas, homogenizadas y tamizadas. Se separaron 0.5 g de cada muestra seca y posteriormente 20 mg de cada submuestra se pulverizaron en un mortero de ágata, para su análisis en un instrumento de activación neutrónica (INAA, flujo de neutrones térmicos $2.8 \times 10^{13} \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$), acoplado a un espectrofotómetro de rayos gama (Nokia, Finlandia) con 4 096 canales y detector de alta resolución de Ge (Li). Todos los análisis se hicieron por duplicado (precisión >97%). Los materiales de referencia fueron los estándares de Sedimento estuarino, SRM 1646^a; de Sedimento marino contaminado, IAEA-356; de material de referencia SD-N-1/2 (IAEA); y los materiales geológicos estándares rusos utilizados en trabajos previos en Santa Rosalía, BCS (Shumilin *et al.*, 2000b) y en la zona del presente estudio (Shumilin *et al.*, 2005). Estos materiales fueron tratados de la misma forma que las muestras, con el propósito de incrementar la precisión de los análisis. Los detalles de la técnica para la aplicación del INAA fueron descritos por Shumilin *et al.* (2000a).

Se efectuaron correlaciones lineales (al 95% de confianza) para estudiar la dependencia que existe entre la intensidad de las corrientes y la cantidad de sedimentos recolectada en las trampas; entre las diferentes fracciones; y entre la concentración de metales en el sustrato y la presencia de foraminíferos reportados en la zona.

Resultados

Batimetría

La batimetría se presenta en la *figura 1*, con isobatas cada cinco metros de profundidad; en esa figura se observa que las isolíneas son paralelas a la costa. Existe una zona menos profunda aledaña a la playa y entre las estaciones 1 y 4; y otra más profunda en la parte alejada de la costa, frente a los sitios 1 y 6, ubicados frente a la boca principal y Punta Graham, respectivamente (Fig.1).

Medición de corrientes

La dirección de las corrientes superficiales a lo largo de la costa fue de sureste a noroeste en diciembre y de noroeste a sureste en febrero. El rumbo y la intensidad de la corriente variaron a diferentes profundidades y entre las estaciones cercanas a la línea de la costa (1 y 6) y las más alejadas (1a y 6a). Por otra parte, salvo la estación 1, ubicada frente a la desembocadura, la intensidad de las corrientes del fondo marino fue menor que la de las superficiales. Los valores de dirección y de intensidad obtenidos se muestran en la *tabla 1*.

Transporte de sedimento submarino

Los datos obtenidos sobre los sedimentos de las estaciones 1, 1a, 6 y 6a se presentan en la *tabla 2*, donde se observan diferencias en el transporte de las fracciones que incluyen arcilla y arena fina y las de arena media entre los puntos de muestreo. La mayor cantidad de sedimento atrapado por unidad de área y tiempo se obtuvo en la estación 6, donde la corriente fue más

rápida. Los coeficientes de correlación (r) resultantes del análisis entre la intensidad de las corrientes y la cantidad de cada fracción (arcilla, limos y arena fina, arena mediana, magnetita) fueron positivos pero muy bajos; (r entre 0.49 y 0.53, $n=8$, $p<0.05$). La correlación también fue positiva y pequeña entre la corriente del fondo y la materia orgánica que se sedimentó en los frascos ($r = 0.41$, $n=8$, $p<0.05$). Por otro lado, como la magnetita es parte de las arenas finas y medianas, la correlación entre estas fracciones fue muy elevada y positiva ($r = 0.95$ a 0.98 , $n=8$, $p<0.05$).

Transporte de sedimento submarino a diferentes alturas del fondo, sin descarga del río

En la franja que se encuentra entre la desembocadura y la estación 4 (Fig. 1) se observó mayor aporte de sedimentos arenosos, aunque éste puede variar según la temporada y las corrientes.

Los valores de la *tabla 3* muestran que las corrientes cercanas al fondo marino tienen la capacidad suficiente para arrastrar partículas de sedimento. La mayor parte fue transportada a niveles relativamente cercanos al fondo, ya que a 0.2 m del fondo se recolectó 87.81% en peso de las partículas; a 0.5 m, 9.33%; a un metro, 2.57% y a dos metros, 0.33%. Los sedimentos más pequeños y de menor densidad, como las arcillas, fueron los más abundantes a una altura de 0.20 m sobre el fondo con 55.42%; seguidos por las arenas finas con 43.1%, mientras que la magnetita, más densa porque se presenta en forma de láminas, contribuyó con 1.1%; la materia orgánica estuvo casi ausente en la muestra obtenida a esta profundidad ya que sólo representó 0.34%. A 0.50 m sobre el fondo marino dominaron las arcillas (90.3%), seguidas de las arenas (8.91%) y la magnetita (0.8%). A un metro

Tabla 1
Velocidad de las corrientes frente a la Boca (estaciones 1 y 1a) del río y frente al Campo de Golf (6 y 6a) a diferentes profundidades y distancias de la línea de costa

Fecha	Sitio	Profundidad del fondo (metros)	Corriente superficial ($cm \cdot s^{-1}$)	Dirección	Corriente media prof. ($cm \cdot s^{-1}$)	Dirección	Corriente Fondo ($cm \cdot s^{-1}$)	Dirección
9 nov 01	1	25	4.2	ONO	5.0	SE	14.4	NON
	1a	50	12.1	SE	6.6	SO	5.8	O
	6	25	32.0	ENE	19.0	ESE	10.7	SSE
	6a	50	24.5	E	13.9	SE	6.4	SSE
8 dic 01	1	25	24.1	NO	17.8	ONO	21.9	ONO
	1a	50	28.9	NO	27.1	ONO	11.3	ONO
	6	25	19.2	NO	18.6	ONO	9.3	O
	6a	50	23.0	NNO	15.2	ONO	13.6	O

Tabla 2
Sedimentos recolectados* en trampas instaladas a 20 cm del fondo marino frente de la boca del río Marabasco y frente al Campo de Golf

<i>Fecha</i>	<i>Sitio</i>	<i>Prof. (m)</i>	<i>Materia orgánica</i>	<i>Arcilla + Arena fina</i>	<i>Arena mediana</i>	<i>Magnetita</i>
<i>(mg·cm⁻²·h⁻¹)</i>						
9 nov 01	1	25	1.26±0.15	5.21±0.93	1.59±0.25	1.06±0.16
	1a	50	0.20±0.03	0.95±0.20	0.71±0.12	0.14±0.02
	6	25	0.22±0.03	121.87±18.28	187.38±29.04	47.21±6.84
	6a	50	0.09±0.01	4.35±0.61	0.39±0.05	0.52±0.08
8 dic 01	1	25	0.78±0.12	4.52±0.85	1.56±0.25	0.38±0.07
	1a	50	1.40±0.25	32.51±5.36	25.48±3.31	1.58±0.25
	6	25	0.74±0.12	53.32±6.93	0.49±0.08	8.11±1.25
	6a	50	0.19±0.03	3.51±0.51	0.81±0.18	0.40±0.05

*Resultados son medias ± ES (n = 4).

Tabla 3
Sedimentos recolectados* en trampas colocadas a 20, 50, 100 y 200 cm del fondo marino instaladas frente al punto M (mapa en la figura 4) del río cuando no había comunicación con el mar (15 de enero de 2002)

<i>Ubicación de las trampas sobre el fondo marino</i>	<i>Materia orgánica</i>	<i>Arcilla + Arena fina</i>	<i>Arena mediana</i>	<i>Magnetita</i>	<i>Total</i>
<i>(mg·cm⁻²·h⁻¹)</i>					
20 cm	0.117 ± 0.014	18.917 ± 4.918	14.717 ± 1.839	0.382 ± 0.068	34.133
50 cm	-	3.275 ± 0.556	0.323 ± 0.045	0.029 ± 0.006	3.627
100 cm	-	0.969 ± 0.145	0.029 ± 0.003	-	0.998
200 cm	-	0.112 ± 0.021	-	-	0.112
Porcentaje					
20 cm	0.34 ± 0.04	55.42 ± 14.41	43.12 ± 5.39	1.12 ± 0.20	87.81
50 cm	0.00	90.30 ± 15.33	8.91 ± 1.24	0.80 ± 0.16	9.33
100 cm	0.00	97.09 ± 14.53	2.91 ± 0.30	0.00	2.57
200 cm	0.00	100.00 ± 18.75	0.00	0.00	0.29

*Resultados son medias ± ES (n = 4).

(-) = no detectado

Tabla 4
Sedimentos recolectados* en trampas instaladas a 0.2, 25 y 50 m del fondo marino colocadas frente de la boca (punto M) del río cuando estuvo abierta la desembocadura (27 de octubre de 2002)

<i>Ubicación de las trampas del fondo marino</i>	<i>Materia orgánica</i>	<i>Arcilla + limo</i>	<i>Arena mediana</i>	<i>Magnetita</i>
<i>(mg·cm⁻²·h⁻¹)</i>				
0.2 m	0.313 ± 0.125	30.016 ± 8.420	21.351 ± 0.457	0.217 ± 0.039
25 m	0.120 ± 0.029	3.731 ± 1.002	5.946 ± 2.404	0.602 ± 0.084
50 m (Superficie)	0.048 ± 0.013	0.570 ± 0.247	0.433 ± 0.158	0.072 ± 0.016

*Resultados son medias ± ES (n = 4).

del fondo abundaron las arcillas con 97.1% y la arena fina sólo contribuyó con 2.9 por ciento.

Transporte de sedimento submarino a diferentes alturas del fondo con la boca del río abierta

El transporte de los sedimentos fue diferente cuando la boca del río estuvo abierta, como se observó el 26 de octubre del año 2002, cuando hubo un aporte considerable de sedimentos de la cuenca del río, por lo que la "pluma de turbidez" se extendió 30 km desde la desembocadura. Esta pluma estuvo formada principalmente de limos y arcillas. Al día siguiente (27 de octubre), mientras la boca permanecía abierta, se percibió que cerca de ésta (punto M, Fig.1), la mayor parte de los sedimentos fue atrapada en los recipientes colocados a 0.2 m del fondo marino (Tabla 4). En el sustrato se depositó 81.8%, mientras que a la mitad de la columna de agua (25 m sobre el fondo), la proporción fue de 16.4% y en la superficie de 1.8 por ciento.

Durante la apertura de la boca se midieron los parámetros de salinidad y sólidos filtrables en un transecto ubicado desde la estación A hasta la E (Fig. 1); allí se detectó una cuña de agua dulce de menos de un metro de profundidad, que se prolongó entre los sitios A y D. En la estación A se obtuvieron valores de salinidad menores a 20‰ en la superficie; en el punto B la concentración de esta variable se incrementó a 24.3‰ y en el E fue de 31.8‰. El contenido de sólidos filtrables fue elevado (240 mg·l⁻¹) en la desembocadura (punto A de la Fig. 1). En la parte inferior de la pluma de sedimentos se detectó agua transparente, con menos de 2 mg·l⁻¹ de sólidos, a sólo siete metros de la superficie. Las aguas ligeramente turbias (2 a 4 mg·l⁻¹) se prolongaron desde el sitio A entre cinco y siete metros de profundidad hasta 43.2 m de profundidad en el punto E. En la *figura 3* se puede observar una zona, localizada entre las estaciones C y D, en donde se midieron cantidades elevadas de sólidos filtrables a mayores profundidades. En esta área se detectaron concentraciones altas de algunos elementos y minerales, según se describe en la sección sobre la composición química de los sedimentos.

Composición mineralógica de los sedimentos superficiales y recolectados en las trampas

Las muestras superficiales consistieron principalmente de arenas finas, limos y arcillas, arenas medias y, en menor proporción, de magnetita y materia orgánica. Las fracciones finas estuvieron compuestas por minerales pesados oscuros tales como hornblendas, magnetita, micas, hematita, ilmenita, piroxenos, leu-

coxenos, epidota y granate y por minerales claros formados por granos de cuarzo y feldspatos.

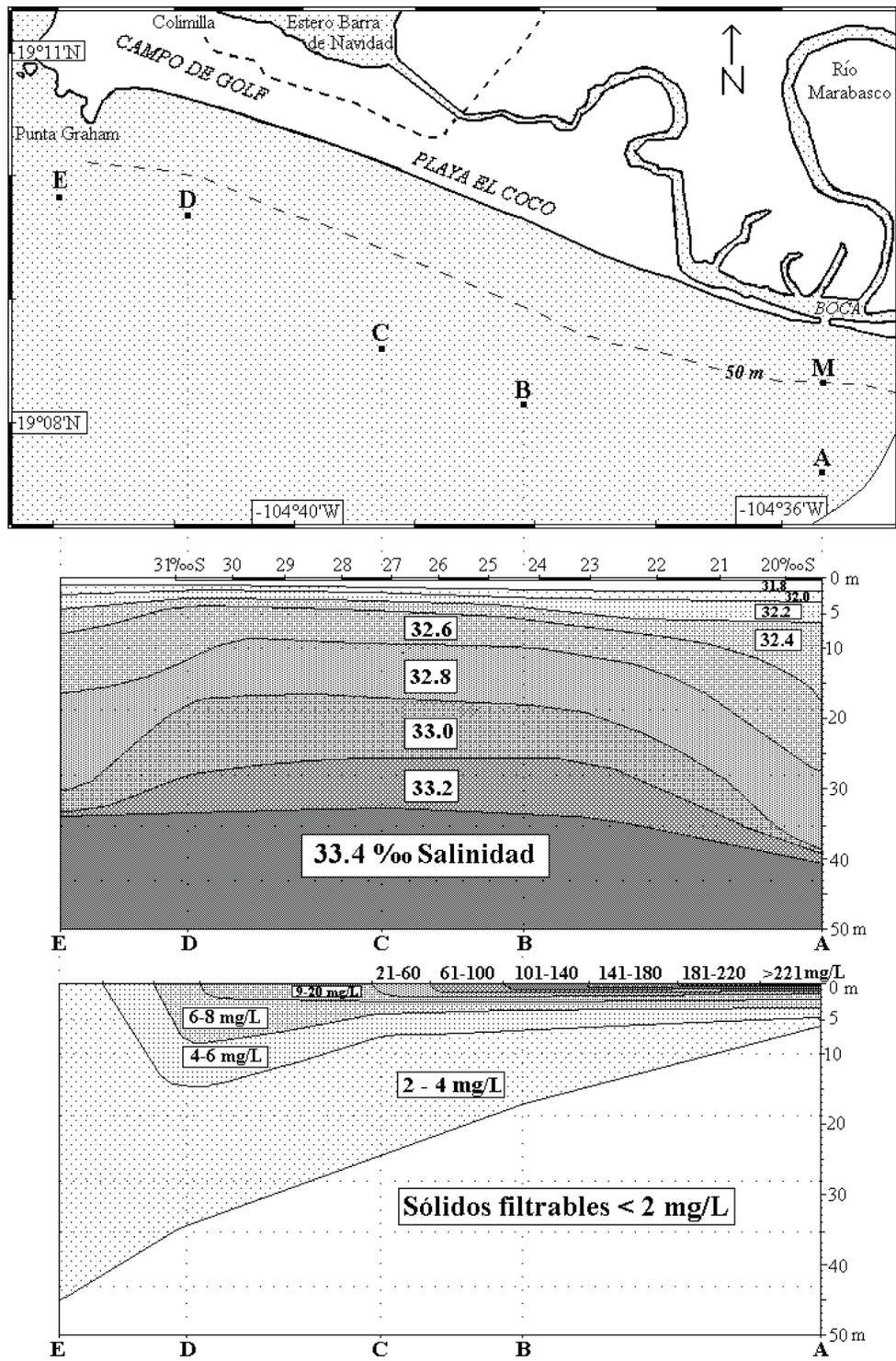
Los sedimentos en las trampas instaladas a 20 cm del fondo marino, frente de la boca del río Marabasco y Campo de Golf, se conformaron de arenas medias, arenas finas y arcillas y, en menor medida, de magnetita y materia orgánica. Se observaron diferencias entre estaciones, así como entre las fechas de muestreo. Si se considera a las corrientes que hubo en el momento de la recolección de muestras (Tabla 1) se observa, que cuando las corrientes fueron más intensas, se depositó mayor cantidad de arenas medianas en las trampas. La composición mineralógica de estos sedimentos fue, principalmente, magnetita, ilmenita y cuarzos.

Las observaciones visuales efectuadas a los sedimentos obtenidos con la draga, revelaron la ausencia casi total de organismos. En un trabajo de investigación en sedimentos de esta zona, Vargas-Laue (2002) encontró un número de foraminíferos por cm³ varias veces menor al reportado en estudios realizados en otras regiones (Scott *et al.*, 2001), lo cual atribuyó a la presencia de metales pesados, ya que fueron negativos los coeficientes de correlación obtenidos entre el contenido de Fe, Cr, Co, Zn, Pb, Ni y la abundancia de organismos vivos de las especies más abundantes. Sólo las concentraciones de algunos alcalinotérreos (Ca, Sr, Ba) presentaron correlaciones positivas significativas con el número de individuos vivos de *Rotorbina cf. mira*, ya que el calcio forma parte de las testas de los foraminíferos (McCulloch, 1977). Vargas-Laue (2002) encontró gran cantidad de testas piritizadas, lo cual sugiere que estuvieron depositadas durante mucho tiempo en un medio rico en iones disulfuro y iones metálicos, especialmente Fe⁺². Él concluyó que la cantidad de metales pesados en sedimentos y aquellos biodisponibles a los organismos bentónicos, estuvieron en concentraciones subletales para algunos, y letales para otros, lo que explicaría las bajas diversidad y abundancia del bentos en el área de estudio. Estas bajas diversidad y abundancia no pudieron deberse a la presencia de pesticidas que se utilizan en los campos agrícolas del Valle de Cihuatlán, ya que mediciones realizadas por Marmolejo-Rodríguez (1999) no mostraron presencia de esas sustancias en el agua del río Marabasco y de la laguna de Barra de Navidad.

Composición química de sedimentos superficiales

Los datos presentados en la *figura 4* muestran gran cantidad de hierro (Fe) y níquel (Ni) en el área de es-

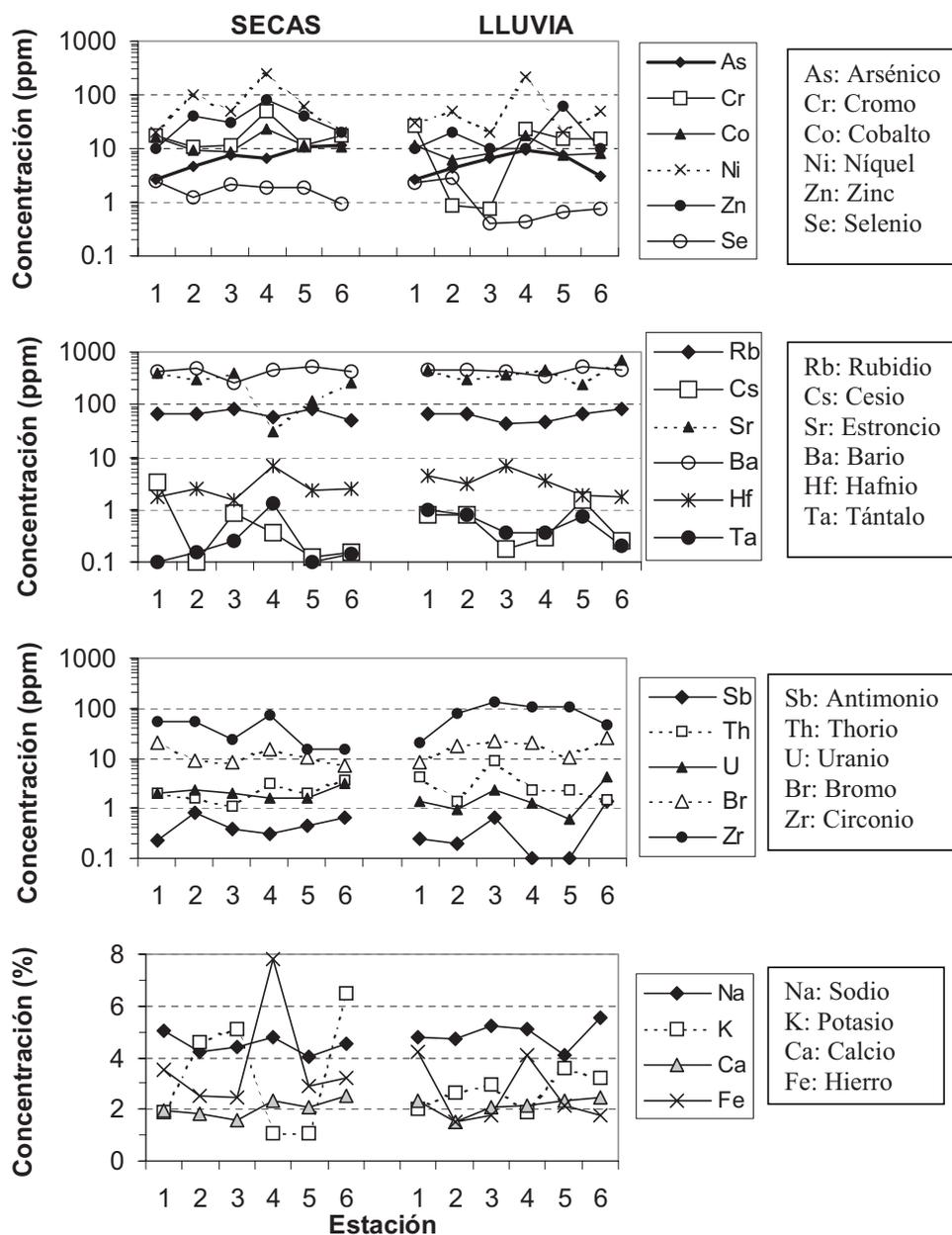
Figura 3
Estaciones de muestreo de salinidad y sólidos filtrables frente a la desembocadura abierta del río Marabasco (27 octubre de 2002)



tudio, pero principalmente en la estación 4, en donde a su vez, disminuyeron el potasio (K) y el estroncio (Sr) en época de secas y aumentaron el cromo (Cr) y el cobalto (Co) en la de lluvias. Además, se detectaron ligeros incrementos de zirconio (Zr), tántalo (Ta), hafnio (Hf), cobalto (Co), cromo (Cr) y zinc (Zn) en ambas épocas. A lo largo del transecto desde la desembocadura hasta Punta Graham, el selenio

(Se) disminuyó, tanto en temporada de lluvias como en la de secas, mientras que los elementos Rb, Ba y Br se mantuvieron en concentraciones constantes en ambos periodos, y los elementos As y U se incrementaron en ambas épocas. Estos resultados sugieren que existe un transporte selectivo de los diferentes minerales que depende de su densidad o de su estructura mineralógica.

Figura 4
Concentración de elementos abundantes (%) y no tan abundantes (ppm) en sedimentos extraídos frente a la Playa de Cocos

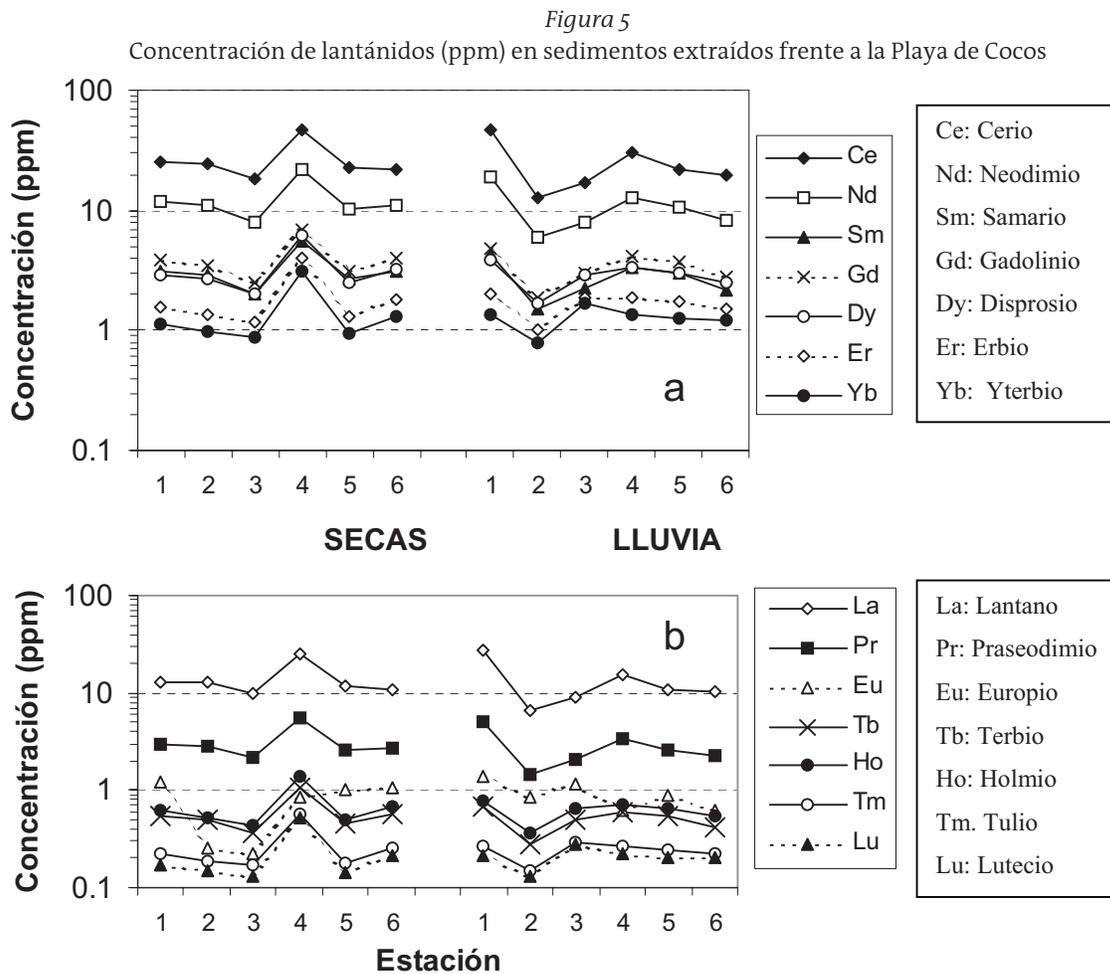


Las muestras se obtuvieron en diciembre de 2001 (final de la época de lluvias) y febrero de 2002 (época de secas).

Por otra parte, los lantánidos de número atómico impar (Fig. 5b) estuvieron en menor proporción (alrededor de 50%) que los de número atómico par (Fig. 5a), lo cual coincide con los resultados del trabajo de Wendt *et al.* (1999), por lo que la línea imaginaria en la gráfica de abundancia con respecto al número atómico (en orden ascendente) muestra la característica forma aserrada. Estos resultados indican que la composición de lantánidos en el área de estudio es similar a la de otras zonas. Estos elementos se acumulan a lo largo del río, ya que las concentraciones detectadas en el estuario de Barra de Navidad fueron el doble que las registradas en un punto ubicado 32 km río arriba

(Meyer-Willerer¹ *et al.*, 2002) y fueron semejantes a las de los sedimentos costeros. Este descubrimiento del enriquecimiento con lantánidos en los sedimentos se deberá tomar en cuenta, en el caso de utilizarse uno de estos elementos traza para marcar larvas de

1. MEYER-WILLERER, A.O., N. Nikolayeva, A.J. Marmolejo-Rodríguez, A. Olivos-Otriz y E.N. Shumilin. 2002. Estructura mineralógica de los sedimentos superficiales del Río Marabasco y Estuario Barra de Navidad, México. Presentación. II Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Limnología. UNAM, México DF.



La fecha de extracción de las muestras se presenta en la figura 4. a) Lantánidos de número atómico par, b) Lantánidos de número atómico impar.

invertebrados marinos y estudiar su dispersión en el campo (Levin *et al.*, 1993).

La concentración de los elementos en el área de estudio es semejante a la promedio en la corteza terrestre, con excepción del Fe, cuyo contenido es característico de una zona ferrosa, como la que se describe en el presente estudio, la que a su vez es similar a la zona minera descrita por Romero *et al.* (2003). La abundancia del Fe en la estación 4 en la época de secas (Fig. 2), supera ampliamente la media de la corteza terrestre que es de 5.63% (Taylor, 1964).

Otros elementos, como el Co, el Cr, el Ni y el Zn, exhibieron abundancias en formas similares a la presencia de Fe en forma de magnetita. El Co que acompaña al Fe muestra poco (estación 4 en ambas épocas) o ningún incremento (todas las demás estaciones) con respecto a la media en la corteza terrestre, que es de 25 mg·kg⁻¹. En otros estudios realizados en la zona de influencia del río Marabasco se describe la presencia de magnetita asociada al elemento Co (Shumilin *et al.*, 2005). El Cr también abundó en la estación 4 en la época de secas, comparado con los demás sitios; sin embargo, no rebasó el promedio que se ha calculado para la corteza terrestre que es de 100 mg·kg⁻¹. El Ni es el elemento que se presentó en algunos puntos de muestreo en una concentración mayor a la reportada para la corteza terrestre, que es de 75 mg·kg⁻¹. Destaca la estación 4 en ambas épocas, con valores superiores a los 100 mg·kg⁻¹, que probablemente afectan al bentos, ya que Vargas-Laue (2002) encontró una correlación negativa (-0.50 a -0.77, n=6, p<0.05) entre la abundancia de los foraminíferos *Rotorbinella sp.*, *Cibicidoides sp.*, *Schaferina sp.*, y *Cibicides sp.* y la concentración de Ni. El Zn varió en forma similar al Ni en la época de secas; su abundancia promedio en la corteza terrestre es de 70 mg·kg⁻¹, por lo que el valor obtenido en la estación 4 en la época de secas y en la 5 en la de lluvias, rebasó esa concentración en 10 y 20%, respectivamente. A diferencia del Ni, el Zn se correlacionó ligeramente en forma positiva, aunque no significativa, con la abundancia de individuos vivos de *Rotorbinella sp.* (+0.16 a +0.40, n = 6, p>0.05); otros elementos analizados incluyendo el Co, los lantánidos y los trans-uránidos, con excepción del Eu, se correlacionaron negativamente con las especies de foraminíferos mencionadas (Vargas-Laue, 2002). Estos microorganismos se encontraron en bajas cantidades y su diversidad fue pequeña, en comparación con otros sitios similares, probablemente debido a aportaciones antropogénicas (Scott y Mendioli, 1980). La posible causa de que la concentración de algunos metales sea mayor en la época de secas pudiera ser que éstos se encuentran en las fracciones arenosas de los sedimentos acarreados, de tal forma

que con las lluvias torrenciales son transportados a la desembocadura, en donde se diluyen.

Discusión

La distribución de sedimentos en la zona se puede atribuir a la descarga intermitente de sedimentos de origen fluvial, al rumbo y la intensidad de las corrientes superficiales y de fondo, así como a la magnitud y la dirección del oleaje (Fredsoe y Deigaard, 1992) que en la zona estudiada fueron considerables (Román-Rodríguez, 2002). Otros fenómenos que pueden acentuar el efecto de estas variables son los huracanes que pasan cada año por esta zona del Pacífico central mexicano.

Las propiedades más importantes de los sedimentos con respecto a su transporte son el tamaño y la forma de la partícula, además de su gravedad específica (Fredsoe y Deigaard, 1992); dichas propiedades se ven reflejadas en los resultados del presente estudio. Éstos muestran que la mayor parte de los sedimentos acarreados por las corrientes fuertes del río se precipitó en una zona no muy lejana a la desembocadura, y que sólo los más finos fueron transportados por las corrientes marinas a varios kilómetros de la boca, por lo que se fueron depositando en forma gradual. Esto significa que existe gran dispersión de sedimentos muy finos y explica por qué en los sitios de muestreo a lo largo de la Playa El Coco (González-Chavarín y Meyer-Willerer, 2003) se encontraron principalmente arenas y baja concentración de arcillas. La boca permanece cerrada la mayor parte del año, por lo que el transporte de las partículas finas ocurre aun en estas condiciones. Si los granos de arena tienen un tamaño relativamente homogéneo, se dispersan más fácilmente si su densidad es menor y viceversa, lo que puede explicar el transporte selectivo de arenas, y las diferencias en la composición granulométrica de los sedimentos en distancias relativamente cortas, de aproximadamente 10 km, como la que existe entre los puntos A y E. Las corrientes fuertes se presentan principalmente durante la época de huracanes, siendo ésta la razón por la que las arenas se acumulan en dirección noroeste. El transporte de sedimento permite una distribución de partículas tal, que en la desembocadura se acumulan las partículas gruesas y forman un delta angosto pero alargado hacia el oeste entre las dos bocas y primariamente hasta los 10 m de profundidad (Fig. 1); las de menor tamaño se distribuyen a lo largo de la Costa y Playa del Coco.

En la laguna de Barra de Navidad, que se encuentra al norte de la zona de estudio, y que también recibe de agua del río Marabasco, las mayores concentra-

ciones de Fe, Co, Cr y Sc (escandio) se presentan en la parte baja de la laguna y la zona de manglares, lo que significa que existe un transporte de sedimentos selectivo, dependiente de la forma y la densidad de cada partícula (Shumilin *et al.* 2005). Esta selectividad de minerales, reportada también en el río Marabasco (Meyer-Willerer *et al.*, 2002; Lutsarev *et al.*, 2004), se refleja en la abundancia de algunos minerales en la estación 4 de este trabajo, que por su densidad mayor, pero de tamaño y forma específicos (Mehta, 1993), se precipitan principalmente en esa zona. Empero, esta forma de sedimentación y acarreo es diferente entre la época de lluvias y la de secas. Esta tendencia es más evidente en los minerales que contienen lantánidos, tanto en aquellos con número atómico par que son más abundantes, como en los de número atómico impar que están en menor concentración. A 0.2 m del fondo marino el transporte de partículas medianas y finas es considerable, incluso a 2.0 m sobre el fondo se detectó sedimento muy fino. La magnetita que se presenta en forma de placas, tiene gran superficie y un peso específico elevado, pero aun así es arrastrada por las corrientes a 0.5 m del fondo marino.

El aporte de sedimentos del río con minerales aprovechables puede ser interesante desde el punto de vista de la industria extractiva, ya que se acumulan cantidades de minerales en la parte terrestre de la boca (Shumilin *et al.*, 2005), lo que en parte se ve reflejado en los resultados presentados, como lo es el caso del bario y estroncio (Fig.4) que se encuentran en los sedimentos superficiales en las inmediaciones de la desembocadura y en zonas no muy profundas cercanas a la costa. Las concentraciones determinadas en los análisis por INAA resaltan la importancia del hierro, bario y níquel, y en menor grado, del zirconio, cromo, cobalto y zinc en los sedimentos litorales que se localizan frente a la salida del río Marabasco.

Se debe señalar que la cantidad de los lantánidos frente a la desembocadura disminuye conforme aumenta el número atómico, tanto en los de número atómico par siendo el Ce el más ligero y el Yb el más pesado, como en los de número atómico non, en donde el lantano es el más ligero y el lutecio el más pesado. No se incluyó al Prometeo (número atómico 59), ya que es un elemento sintético. Esta disminución progresiva de la concentración de lantánidos con respecto al incremento de su número atómico aparentemente se presenta en lugares donde hay actividad volcánica (Davies y Macdonald, 1987). Cabe destacar que el contenido del Eu en las estaciones 2 y 3 durante la época de secas es excepcional, lo que puede ser un indicador de la selectividad del transporte de las partículas, hecho que se detectó en las trampas que se utilizaron y en las cuales se observaron fragmentos

relativamente pesados de magnetita, que fueron recolectados incluso a 50 cm del fondo marino.

Los lantánidos mostraron un patrón de distribución muy homogéneo, salvo en el punto 4 en la época de secas, cuando se incrementó la concentración de la mayoría, con excepción del europio (Eu), cuyos valores más bajos fueron registrados durante el estiaje en las estaciones 2 y 3. La concentración del Eu se puede comparar con la de otras localidades como el Volcán de Fuego, localizado entre Colima y Jalisco (Verma y Luhr, 1993) y el Paricutín en Michoacán (McBirney *et al.*, 1987), ya que las cenizas de ambos volcanes tienen alrededor de 1 ppm de este elemento. Las cenizas de las erupciones del Volcán de Fuego algunas veces son transportadas por el viento desde el cráter hasta la zona en donde nace el río Marabasco, que se localiza a 40 km al oeste del cráter. En época de lluvias los sedimentos son acarreados por el agua del río hasta la desembocadura (Shumilin *et al.*, 2005).

Finalmente, no se descarta la presencia de otros metales, ya que se ha reportado la presencia de Pb, Cd, Cr, Cu, Co, As y Zn en sedimentos y material particulado en suspensión en las aguas del río Marabasco (Meyer-Willerer³ *et al.*, 2002; Marmolejo-Rodríguez *et al.*, 2004; Shumilin *et al.*, 2005). El mercurio está en concentraciones más bajas que las determinadas en promedio para la corteza terrestre (Meyer-Willerer *et al.*, 2003). Por otro lado, se debe de evaluar también la presencia de minerales con metales pesados, que son tóxicos. En la presente sección de este estudio no se evaluaron los metales plomo y cadmio por medio de INAA, ya que no da resultados confiables para estos elementos.

Conclusiones

De la cuenca del río Marabasco proceden los minerales magnetita e ilmenita que abundan en los sedimentos frente a la desembocadura del río. La mayoría de los metales en los sedimentos se presenta en concentraciones que no rebasan los valores determinados para la corteza terrestre; sin embargo el Fe, el Co, el Cr, el Ni y el Zn se encuentran en mayor proporción en las estaciones de muestreo alejadas de la boca, por tanto estarían asociados a las partículas de menor tamaño que son transportadas por las corrientes dominantes. Las corrientes costeras dominantes en la zona transportan principalmente arcillas y arenas finas, que son movilizadas cerca del fondo marino, aun cuando la boca del río este cerrada; cuando ésta se abre, las partículas arrastradas por el río se sedimentan en forma selectiva por su forma y tamaño: las arenas pesadas se precipitan cerca de la abertura,

mientras que las arenas finas junto con la arcilla, son transportadas varios kilómetros por la corriente marina, lo que provoca acumulación de algunos minerales en zonas específicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Conacyt y al Fondo Dr. Ramón Álvarez Buylla de Aldana, de la Universidad de Colima por las contribuciones para realizar este estudio (Proyecto Conacyt 32462-T y Fondo Dr. R. Álvarez Buylla de Aldana 004, respectivamente). A los árbitros y revisores anónimos se les agradece por su valiosa contribución al efectuar comentarios y sugerencias que enriquecieron este artículo.

Referencias bibliográficas

- AYALA-CASTAÑARES A. y M. Gutiérrez-Estrada. 1990. Morfología y sedimentos Superficiales de la plataforma continental frente a Tabasco y Campeche, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 17:163-190.
- CARRANZA-EDWARDS A., L. Rosales-Hoz y R. Lozano-Santa Cruz. 1988. Estudio sedimentológico de playas del Estado de Oaxaca, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 15:23-38.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. 2001. *Estudio sobre disponibilidad y balance hidráulico actualizado de aguas superficiales de la Región Hidrológica No. 16 C. Río Armería.* Altiplano de Ingeniería. México DF. pp. 84-105
- DAVIES, G.R. y R. Macdonald. 1987. Crustal influences in the petrogenesis of the Naivasha Basalt-Comendite Complex: combined trace element and Sr-Nd-Pb isotope constraints. *J. Petrol.*, 28:1009-1031.
- ELLIOTT, N.G., R. Swain y D.A. Ritz. 1985. The influence of cyclic exposure on the accumulation of heavy metals by *Mytilus edulis*. *Mar. Environ. Res.*, 15:17-30.
- FÖRSTNER, U. y G.T.W. Wittmann. 1979. *Metal pollution in the aquatic environment.* Springer Verlag, Berlin, Alemania. 486p.
- FREDSØE, J. y R. Deigaard. 1992. *Mechanics of coastal sediment transport.* World Scientific Publishing, Singapur. 369p.
- GARCÍA, A.E. 1964. *Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen.* Offset Larios, México DF. 71p.
- GONZÁLEZ-CHAVARÍN, I. y A.O. Meyer-Willerer. 2003. *Dinámica sedimentaria en playas adyacentes a la desembocadura del río Marabasco durante 2001.* Reporte Técnico, proyecto Conacyt 32462T, CEUNIVO, UdeC, Manzanillo, Colima. 9p.
- INSTITUTO DE GEOFÍSICA. 2001. *Tablas de predicción de mareas. Puerros del Océano Pacífico.* UNAM, México, DF. 397p.
- LANCÍN, M. y A. Carranza-Edwards. 1976. Estudio geomorfológico de la bahía y de la playa de Santiago en Manzanillo, Colima. *Inst. Geol.* UNAM, 2:43-65.
- LANKFORD, R.A. 1977. Coastal lagoons of México. Their origin and classification. En: M. Willey (ed.). *Estuarine Processes.* Academic Press, NY, 11:183-215.
- LEVIN, L.A., D. Huggett, P. Myers, T. Bridges y J. Weaver. 1993. Rare-earth tagging methods for the study of larval dispersal by marine invertebrates. *Limnol. Oceanogr.*, 38:346-360.
- LUTSAREV, S., A. Meyer-Willerer, E.N. Shumilin, A.J. Marmolejo-Rodríguez, D. Sapozhnikov, N. Nikolayeva y A. Derkachev. 2004. Iron ore minerals and some associated trace elements in sediments of a tropical estuarine system: Marabasco River-Barra de Navidad Lagoon, Colima, Mexico. *Abstract Seventh Workshop on Land Ocean Interactions in the Russian Arctic, LOIRA project.*, Moscú, Rusia, p.79-80.
- MARMOLEJO-RODRÍGUEZ, A.J. 1999. *Determinación de plaguicidas organoclorados en camarón blanco adulto (Penaeus vannamei) cultivado en laboratorio.* Tesis Maestría en Acuicultura, Facultad de Ciencias Marinas, UdeC, Manzanillo, Col. 80p.
- MARMOLEJO-RODRÍGUEZ, A.J., R. Prego, A. Meyer-Willerer y E. Choumiline. 2004. Valores de fondo y factores de enriquecimiento de Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn en el Estuario del Río Marabasco (México). *Memorias XII Seminario Ibérico de Química Marina*, Instituto Universitario de Medio Ambiente, Universidad de Coruña, Coruña, España. p. 87.
- MCBIRNEY, A.R., H.P. Taylor y R.L. Armstrong. 1987. Paricutin re-examined: a classic example of crustal assimilation in calc-alkaline magma. *Contrib. Miner. Petrol.*, 95(1):4-20.
- McCULLOCH, I. 1977. *Qualitative observations on recent foraminiferal Tests. Part III. With emphasis on the Eastern Pacific.* University of Southern California, Los Angeles, Ca., EU. 1079p.
- MEE, L.D. y P. Ortega. 1987. Sedimentary pyrite in a tropical lagoon: Application of the diagenesis equation for calculating sedimentation rate, mean salinity and rate of pyritization. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 14:197-206.
- MEHTA A.J. (Ed.). 1993. *Nearshore and estuarine cohesive sediment transport.* Coastal and Estuarine Studies Vol. 42. American Geophysical Union, Washington, DC. EU. 581p.
- MEYER-WILLERER, A.O., E.N. Shumilin, A.J. Marmolejo-Rodríguez, D. Sapozhnikov, N. Nikolayeva, Y. Sapozhnikov y S.V. Lutsarev. 2002. Iron and some associated trace metals in sediments of the tropical estuarine system (River Marabasco- the Barra de Navidad Lagoon). *Abstracts 7th International Estuarine Biogeochemistry Symposium.* Grimstad, Noruega. p.34.
- MEYER-WILLERER, A., F.S. Kot, E.N. Shumilin, S. Lutsarev y A.J. Marmolejo-Rodríguez. 2003. Mercury in bottom sediments of the tropical Rio Marabasco, its estuary, and Laguna de Navidad, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 70:1213-1219.
- MONTIYA-RODRÍGUEZ, J.M., D.L. Ávila-Arzani, C.J. Quezada-Luna, A.B. Juárez-León. 2003. *Medición del transporte litoral mediante la técnica de trazadores fluorescentes.* Publicación Técnica No. 227. Instituto Mexicano del Transporte. SCT. Sanfandila, Querétaro. 71p.
- MUÑOZ-BARBOSA, A., E.A. Gutiérrez-Galindo, J.A. Segovia-Zavala, F. Delgadillo-Hinojosa y G. Sandoval-Salazar. 2004. Trace metal enrichment in surface sediments of the northwest coast of Baja California, Mexico. *Mar. Poll. Bull.*, 48:596-603.
- OSUNA-LÓPEZ, J.I., F. Páez-Osuna, C. Marmolejo-Rivas y P. Ortega-Romero. 1989. Metales pesados disueltos y particulados en el Puerto de Mazatlán. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 16: 307-320.
- PÁEZ-OSUNA, F., D. Valdés, H. Alexander, H. Fernández-Pérez y J.I. Osuna-López. 1987. Níquel y plomo en las fracciones disuelta y particulada del sistema fluvio-lagunar de Laguna de Términos, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 14: 79-86.
- ROMÁN-RODRÍGUEZ, A. 2002. *Análisis de perfiles de playa en la Costa Norte de Colima.* Trabajo de Investigación para la Titulación, Facultad de Ciencias Marinas, UdeC., Manzanillo, Col. 143p.
- ROMERO, L., H. Alonso, P. Campano, L. Fanfani, R. Cidu, C. Dadea, T. Keegan, I. Thornton y M. Farago. 2003. Arsenic enrichment in waters and sediments of the Rio Loa (Second Region, Chile). *Appl. Geochem.*, 18:1399-1416.

- SCOTT, D.B. y F.S. Medioli. 1980. *Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia: Implications for sea-level studies*. Cushman Foundation of Foraminiferal Research, Special Publication, 17: 58p.
- SCOTT, D.B., F.S. Medioli y C.T. Schafer. 2001. *Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 177p.
- SHUMILIN, E., S. Kalmykov, D. Saposhnikov, E. Nava-Sánchez, D. Gorsline, L. Godínez-Orta, Y. Saposhnikov, O. Holguín-Quinones y A. Castañeda. 2000a. Major and trace element accumulation in coastal sediments along the southeastern Baja California studied by instrument neutron activation analysis and Pb-210 dating. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 246: 533-541.
- SHUMILIN, E.N., A.O. Meyer-Willerer, A.J. Marmolejo-Rodríguez, O. Morton-Bermea, M.A. Galicia-Pérez, E. Hernández y G. González-Hernández. 2005. Iron, cadmium, chromium, copper, cobalt, lead and zinc distribution in the suspended particulate matter of the tropical Marabasco River and its estuary, Colima, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74:518-525.
- SHUMILIN, E., G. Rodríguez-Figueroa, O. Morton-Bermea, E. Lo-unejeva-Baturina, E. Hernández y G.D. Rodríguez-Meza. 2000b. Anomalous trace element composition of coastal sediments near the copper mining district of Santa Rosalía, Peninsula of Baja California, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 65:261-268.
- TAYLOR, S.R. 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28:1273-1285.
- VARGAS-LAUE, R. 2002. *Foraminíferos bentónicos como bioindicadores de metales pesados en sedimentos marinos frente al delta del río Marabasco*. Trabajo de Investigación para la Titulación, Facultad de Ciencias Marinas, UdeC. Manzanillo, Col. 46p.
- VERMA, S.P. y J.F. Luhr. 1993. Sr-Nd-Pb isotope and trace element geochemistry of calc-alkaline andesites from Volcán Colima, Mexico. *Geofísica Internacional*, 32:617-631.
- VILLAESCUSA-CELAYA, J.A., E.A. Gutiérrez-Galindo y G. Flores-Muñoz. 1997. Metales pesados en fracciones geoquímicas de sedimentos de la región fronteriza de Baja California, México y California, EUA. *Ciencias Marinas*, 23:43-70.
- WENDT, J.I., M. Regelous, Y. Niu, R. Hekinian y K.D. Collerson. 1999. Geochemistry of lavas from the Garrett Transform Fault: insights into mantle heterogeneity beneath the eastern Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, 173:45-63.

Ciclo anual de variables hidrobiológicas en el estuario Barra de Navidad, México

Alejandro O. Meyer Willerer^{*}
B. Berenice Velázquez González^{**}
Manuel Patiño Barragán^{*}

Resumen

Se cuantificaron diez variables físicas y químicas, se identificaron y contaron los organismos planctónicos, así como el número más probable de coliformes totales en el estuario de Barra de Navidad, mensualmente, de julio de 2000 a junio de 2001, con objeto de describir la distribución de las variables. Las condiciones del estuario variaron entre las temporadas de lluvias y secas. La salinidad, la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH fueron modificados por la entrada de agua dulce del río Marabasco y del agua marina proveniente de la Bahía Navidad. Los ortofosfatos fueron escasos; por el contrario, las concentraciones de los iones nitrato y amonio fueron elevadas. El fitoplancton fue abundante y la composición de especies varió en función de la salinidad: las cianofíceas y euglenofitas dominaron en la zona oligohalobia; las clorofíceas y dinoflagelados en la mesohalobia, y las diatomeas y el zooplancton en la polihalobia. La presencia de un número elevado de coliformes totales denota la influencia negativa de las actividades humanas, de no tratarse de manera apropiada en el futuro.

Palabras clave: Plancton, ciclo anual, estuario Barra de Navidad, nutrimentos.

Introducción

Una parte considerable de la costa de México está formada por estuarios y lagunas costeras (Lankford, 1977). Estos cuerpos de agua son zonas de transición

entre los ríos y el océano, por lo que son ambientes someros, donde la amplitud de las variaciones de los factores físico-químicos, el aporte de agua dulce, la influencia de los sedimentos en la columna de agua y de las mareas, propician un hábitat muy dinámico y abierto (Kennish, 2000; Zedler, 2001). La fauna y la flora presentan alto grado de adaptación evolutiva debido a las presiones ambientales constantes, y por lo general son abundantes porque el aporte de nutrientes es elevado. En estos cuerpos de agua las interacciones ecológicas son tan importantes que se les debería considerar como reservas naturales (Nebel y Wright, 1998).

Los estuarios pueden ser divididos en tres zonas: *Estuario marino bajo*, que tiene conexión libre con el mar; *Estuario intermedio*, que es donde se lleva a cabo el mezclado más intenso de agua dulce y marina, y *Estuario alto o fluvial*, caracterizado por su alto contenido de agua dulce, pero cuyas variaciones de salinidad dependen de las mareas. Los límites entre estas zonas los marca el flujo del río (Kennish, 1986).

Los estuarios y las lagunas también son importantes desde el punto de vista económico porque son utilizados en actividades pesqueras, acuícolas, deportivas y paisajísticas. Son una fuente de recursos animales que sirven de alimento a los seres humanos, como son los bivalvos, crustáceos y peces. Por otro lado, las desembocaduras ocasionalmente son modificadas para ser utilizadas como zonas de recreación y para proteger las embarcaciones contra las inclemencias meteorológicas.

El estudio de lagunas costeras y estuarios en México fue relativamente escaso y puntual hasta los años setenta (Ayala-Castañares y Phleger, 1969). Y debido a la escasez de conocimientos sobre los recursos bióticos de esos cuerpos de agua, así como de sus condiciones hidrológicas, físico-químicas y geológicas, se propició la explotación irracional de algunas especies animales (De la Lanza-Espino, 1986).

^{*} CEUNIVO, Universidad de Colima, km. 20 Carr. Manzanillo-Cihuatlán, Manzanillo, Col. CP 28860; AP 300, Santiago, Col. CP 28860; ameyer@cgic.ucol.mx

^{**} FACIMAR, Universidad de Colima, km. 20 Carr. Manzanillo-Cihuatlán, Manzanillo, Col. CP 28860

Los trabajos de investigación realizados en las lagunas costeras y estuarios del Pacífico central mexicano no son muy numerosos cuando se compara con los de otras costas, sobre todo las del Golfo de México (Amezcuca-Linares, 1996) y, en su mayoría, describen las particularidades de algunas especies o las características generales de ecosistemas determinados. Entre los que se han llevado a cabo en las costas de Jalisco, Colima y Michoacán, cabe mencionar el estudio desarrollado en la Laguna Agua Dulce, Jal., en los años setenta y ochenta, para recabar datos meteorológicos y predecir el balance hidrológico con respecto a su salinidad (Ocegueda, 1980). A su vez, personal del Departamento de Pesca en los años setenta analizó el efecto de la construcción de una estructura que controlara la entrada de agua del río María García a la Laguna Agua Dulce y el estero Ermitaño (Departamento de Pesca, 1977a y b).

En el estuario Barra de Navidad, que se localiza entre los estados de Colima y Jalisco, los trabajos de investigación han sido escasos. Entre ellos está el emprendido por la compañía Turbana, que realizó estudios del suelo para la planificación de un complejo turístico (Dames y Moore, 1973); posteriormente, por medio de modelos numéricos, Fernández-Perea (1987) describió las corrientes en la laguna (ya modificada por las obras), resultantes tanto de la influencia de las mareas, como de los vientos dominantes. Otros autores analizaron el plancton, la productividad y la comunidad de invertebrados (Rodríguez, 1982; Rodríguez-Cajiga, 1985; Sandoval-Rojo *et al.*, 1988). También se efectuaron investigaciones sobre los crustáceos decápodos y su relación con el tipo de sustrato (Álvarez del Castillo, 1983; Hendrickx, 1989; Álvarez del Castillo *et al.*, 1992). Marmolejo-Rodríguez en 1999 examinó la posible presencia de plaguicidas organoclorados en camarones cultivados en el estuario, sobre la hipótesis de que estos compuestos eran arrastrados por el agua proveniente de la zona agrícola del Valle de Cihuatlán que desemboca la mayor parte del año en el estuario, pero esto no fue confirmado. Por otro lado, Llauger (1994), observó una disminución en la eclosión de nauplios de camarón *Penaeus vannamei* debida a la existencia de metales pesados.

Otros estudios afines a la presencia de metales pesados fueron los efectuados por Meyer-Willerer y colaboradores en 2003, quienes encontraron concentraciones de mercurio en los sedimentos, inferiores a la media calculada para la corteza terrestre. Sin embargo, en la columna de agua Shumilin *et al.* (2005), detectaron cantidades de algunos metales, como plomo, cadmio, cromo, cobre, cobalto y zinc, por encima de los valores establecidos en las norma para aguas

de estuarios sobre material disuelto y particulado en suspensión.

Se desconoce si existen trabajos previos con información hidrológica de este cuerpo de agua, por lo que la presente contribución pretende dar a conocer algunos de los aspectos más relevantes sobre el estuario Barra de Navidad. Se comparan los datos de variables tales como la profundidad, los factores físico-químicos, de comunidades planctónicas, y bacteriológicas registrados en la temporada de lluvias (julio a noviembre 2000) y en la época de secas (diciembre 2000 a junio 2001) con el objetivo de presentar, por primera vez, información de un ciclo anual de este estuario eutroficado por la entrada de nutrientes y modificado por la construcción de un canal por el que ingresa agua dulce proveniente del río Marabasco (Velázquez-González, 2001).

Métodos y materiales

Área de estudio

El estuario Barra de Navidad se localiza en la costa sur del estado de Jalisco y en la costa norte del estado de Colima, entre las coordenadas geográficas 19°10'51" y 19°12'10" N y 104°39'14" y 104°41'08" O; su eje principal mide 3.6 km de longitud y tiene una dirección noroeste-sureste, por lo que está orientado de manera paralela al océano Pacífico. Su forma asemeja un paralelepípedo y puede dividirse en tres sectores cortados por medio de penínsulas: el sector marino, el más profundo, y adyacente a la boca con dos islas naturales, la de los Puercos y el Alacrán, y una artificial formada para dar acceso a un embarcadero; el sector central entre las dos penínsulas, cuya parte más angosta, de 160 m de longitud, fue formada artificialmente por medio de relleno y la otra península, que forma la Punta las Cuestitas, mide 750 m en su parte más estrecha; y el sector somero en el Este por donde entra el agua dulce. Este último, tiene una parte amplia de entre 1.25 y 1.37 km de ancho y una isla natural, la Tepelolote (Figs. 1 y 2).

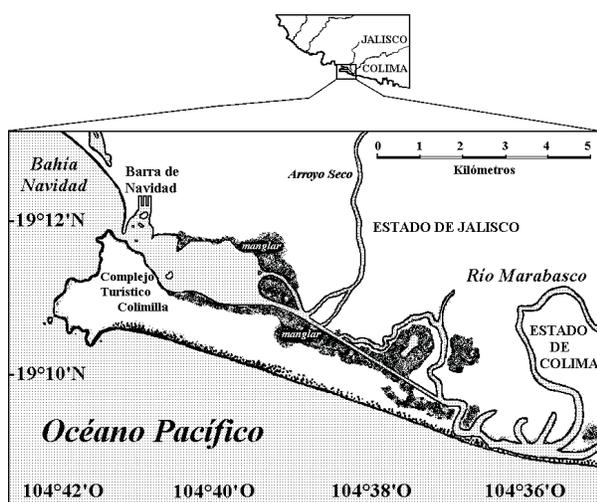
La superficie del estuario es de 367.4 hectáreas, si bien fluctúa continuamente debido a la marea. Este cuerpo de agua posee una comunicación continua con la Bahía Navidad por el noroeste, mientras que el aporte del río Marabasco se realiza a través de un ramal de éste, que ingresa por el lado centro-oriental y de un canal artificial construido con el propósito de controlar los problemas de hipersalinidad, que desemboca por el sureste del estuario.

Este canal es bloqueado esporádicamente por el material proveniente del Arroyo Seco. Por otro

lado, el estuario es alimentado continuamente por las aguas negras tratadas y no tratadas de la población de Barra de Navidad, que se localiza al noroeste del estuario, sobre la barrera de arena que lo separa de la bahía, y del consorcio turístico que se ubica al norte del poblado de Colimilla. En el periodo de estudio, el agua dulce sólo fluyó hacia el estuario en época de sequía; mientras que en la de lluvias el salió, en una ocasión, por una boca que se abrió directamente al océano Pacífico, y por el canal, hacia el estuario.

Figura 1

Localización del área de estudio incluyendo al Río Marabasco y Arroyo Seco



El clima que se presenta en la región es tropical sub-húmedo de tipo (Aw) con temperatura promedio de 26.4 °C (García, 1973). El mes más frío es febrero con 20.2 °C y el más cálido es julio con 31.6 °C. Las lluvias son torrenciales en los meses de mayo a noviembre con una precipitación máxima de 400 mm en septiembre y el promedio total anual es de 1 200 mm. Los vientos dominantes provienen del Suroeste, aunque varían un poco en dirección e intensidad en invierno.

La cuenca del río Marabasco incluye parte de las sierras de Mamey, Manantlán y el Perote. Este río, de tan sólo 60 km de longitud, acarrea nutrientes y sedimentos que contribuyen al azolvamiento del estuario. Con frecuencia se abre una "boca" que comunica directamente al río Marabasco con el océano Pacífico, esto puede ocurrir en forma natural, durante la temporada de lluvias y huracanes, o en forma artificial, para controlar el nivel del agua en la parte baja del valle de Cihuatlán, que es una zona agrícola (ver algunos efectos de este evento en el trabajo de Meyer *et al.*, en este mismo libro). Cuando se abre esta des-

embocadura, la cantidad de agua que llega al estuario es mucho menor que cuando está cerrada.

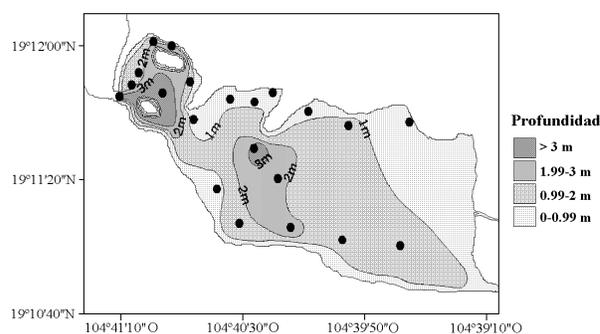
El régimen de mareas en la zona de estudio es mixto, con dos pleamares y dos bajamares diarias (De la Lanza-Espino, 1991). Los patrones de la corriente oceánica en la zona se pueden deducir a partir de los definidos por Wyrski (1965) para el océano Pacífico oriental. Entre agosto y diciembre, la corriente Ecuatorial, regida por los vientos dominantes, fluye del Sureste. En invierno se hace presente la corriente de California, que se dirige hacia el Sur con una velocidad de 15 cm·seg⁻¹. En primavera se forma la zona de convergencia intertropical que da origen a corrientes con una velocidad de 20 cm·seg⁻¹ que fluyen hacia el Norte.

Diseño de muestreo

El estuario se dividió en cinco zonas para su estudio, en función de la salinidad: zona de entrada del agua del río; zona con características estuarinas, donde se realizan los procesos de mezcla del agua dulce y marina; zona intermedia; la boca, con gran influencia oceánica y adyacente a los poblados de Barra de Navidad (Jalisco) y Colimilla (Colima), y la bahía. En el estuario se estableció una red de 21 estaciones para las determinaciones de las variables físicas y químicas: cuatro en la zona somera de mezcla del agua dulce proveniente del río a través del canal y del río, con el agua marina, diez en la zona intermedia y siete en la boca (Fig. 2). Además se establecieron dos estaciones en la Bahía Navidad. Las mediciones de la profundidad se realizaron en siete puntos por zona, en noviembre de 2001 (N = 35) y ocho sitios por zona, en febrero de 2002 (N = 40), seleccionados de acuerdo con los criterios de Shumilin *et al.* (2005).

Figura 2

Localización de las estaciones para la medición de variables físicas y químicas, obtención de muestras de agua y medición de la profundidad media del estuario Barra de Navidad



Para la identificación del fitoplancton en las diferentes zonas de la cuenca y estuario, se establecieron tres estaciones sobre el río Marabasco, en la montaña (en el puente de Minatitlán, Colima; en el puente de Peña Colorada, Colima; a mitad del río en el puente Manzanillo-Chacala), cuatro en el valle de Cihuatlán (en el poblado El Charco, Colima; en el puente de Cihuatlán, Jalisco; en el poblado El Centinela, Colima y en el delta del río), dos estaciones en el canal (en el puente hacia Colimilla y por el estuario), dos estaciones en la parte somera del estuario, dos en la zona intermedia del estuario, dos estaciones en la boca del estuario y dos en la Bahía Navidad.

Para la medición de la profundidad del estuario y la zona de manglares se utilizó una lancha con motor fuera de borda y una panga pequeña, que permitiera el acceso a las partes más someras, donde desembocan el río y el canal. Las determinaciones se efectuaron en el periodo de pleamar durante las mareas muertas de octubre de 2000. La profundidad se determinó con un equipo ecosonda portátil marca Sonar que permite medir la profundidad con 0.1 pie de precisión. Las correcciones por marea se hicieron con las tablas de la UNAM y efectuando una interpolación entre los valores del Puerto de Manzanillo y los de Puerto Vallarta.

Los muestreos hidrológicos y biológicos se realizaron mensualmente, durante un ciclo anual (julio 2000–junio 2001). Las mediciones se realizaron durante la pleamar de las mareas muertas para que la profundidad en las estaciones fuera similar y de esta manera poder comparar los diferentes muestreos. En cada una de las estaciones de trabajo se llevaron a cabo mediciones en la superficie (0.15 m) y el fondo con un multímetro marca Horiba modelo U-10 con 50 m de cable, excepto en el caso del oxígeno disuelto, que se determinó cada 0.5 m. Este aparato mide las siguientes variables: temperatura (± 0.1 °C de precisión), salinidad (0.01% de asiduidad, calibrado con agua destilada y estándar), potencial de hidrógeno (0.01 unidades de precisión, calibrado con soluciones patrón antes de cada muestreo), oxígeno disuelto (± 0.01 mg·l⁻¹ precisión, calibrado antes de cada salida a campo contra aire) y turbidez (unidades relativas en una escala de 0 a 1 000, el cero fue calibrado con agua destilada y el 1 000, bloqueando el paso de luz de la fuente). Las unidades relativas de turbidez se transformaron a valores de sólidos disueltos (mg·l⁻¹), a partir de una curva de calibración que se construyó con los datos obtenidos de muestras de agua colectadas en el estuario y filtradas a través de membranas Millipore de 0.47 μ m de diámetro de poro, que posteriormente fueron lavadas para eliminar las sales solubles y secadas hasta que el peso se mantuviera constante.

Las muestras fueron seleccionadas para construir una escala de 10 valores que va desde *Muy pocos sólidos* (dos unidades relativas) hasta *Gran cantidad de sólidos* (430 unidades relativas correspondientes a 54 mg·l⁻¹).

El porcentaje de saturación de oxígeno se obtuvo midiendo con un oxímetro marca ysi, modelo 53. El disco de Secchi no se utilizó porque la mayoría de las lecturas fue de aproximadamente 0.10 m en la zona somera del estuario.

Las muestras de agua para la determinación de nutrientes, que se obtuvieron con una botella Van-Dorn de cinco litros de capacidad, se almacenaron en botellas de plástico de un litro de capacidad, sobre hielo. Se procuró que no transcurriera más de cuatro horas desde la toma de la primera muestra, hasta su procesamiento en el laboratorio. Las muestras fueron filtradas con una membrana Millipore lavada previamente. Los iones analizados fueron amonio (N-NH₄⁺), nitritos (N-NO₂⁻), nitratos (N-NO₃⁻), ortofosfatos (P-PO₄³⁻) y silicatos (Si-SiO₃²⁻), los cuales fueron cuantificados en un autoanalizador marca Skalar (San Plus System) con cuatro canales paralelos, que emplea las técnicas descritas por Strickland y Parsons (1972), modificadas. Las muestras se diluyeron (en proporción 1:10) en forma automática hasta alcanzar concentraciones que pudieran ser evaluadas con las curvas estándar elaboradas previamente. Para eliminar las posibles interferencias, consecuencia de las fluctuaciones de salinidad, las diluciones se efectuaron con agua de mar sintética preparada para cada muestra como referencia. Los datos obtenidos por quintuplicado se promediaron y se transformaron a μ g átomos por litro (μ g-at·l⁻¹) para poder sumar los iones que contienen nitrógeno (amonio, nitritos y nitratos) y calcular el índice N:P.

La otra fracción del agua colectada con la botella Van-Dorn se guardó en un frasco de plástico de cuatro litros de capacidad, al que se adicionó formol a 5% neutralizado con tetraborato de sodio para conservar el plancton. Una vez en el laboratorio se procedió al análisis de las muestras con el método de Utermöhl (Utermöhl, 1958; Margalef, 1983). Los conteos se efectuaron con la ayuda de un microscopio invertido marca American Optical, modelo Micro Star y una cámara de sedimentación de 10 ml. La identificación y la cuantificación de géneros y especies se llevaron a cabo mediante el uso de claves taxonómicas de fitoplancton (Moreno *et al.*, 1996; Streble y Krauter, 1987; Palomares-García *et al.*, 1998; Licea-Durán *et al.*, 1995) de diatomeas (Pankow, 1990; Krammer y Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a, 1991b) y de zooplancton (Streble y Krauter, 1987). Para la identificación de las diatomeas, las muestras fueron sometidas

a una digestión con ácido sulfúrico y permanganato de potasio, neutralizando con ácido oxálico, posteriormente se montaron sobre cubreobjetos con la inclusión de Gum Storax, marca Sigma, para obtener una mejor resolución. En un microscopio óptico marca Leica, modelo ICCA, se procedió a la identificación y cuantificación relativa de un número mínimo de 300 diatomeas (preferentemente hasta 400) por preparación. Se efectuaron correlaciones no paramétricas de Spearman ($p = 0.05$) entre la abundancia porcentual de las 22 diatomeas más numerosas y siempre presentes en el estuario, para determinar las asociaciones fitoplanctónicas, tanto en época de lluvias, como en la de secas. Una vez obtenidos los coeficientes de correlación r de cada uno de los pares, se agruparon en rangos de valores ($r = 0.30-0.39$; $r = 0.40-0.49$; $r = 0.50-0.59$; $r = 0.60-0.69$; $r > 0.70$).

Las asociaciones que se obtuvieron con coeficientes $r = 0.60-0.69$ o mayores a 0.70, agruparon a aquellas especies de diatomeas que viven en agua marina (eurihalinas–polihalobias), agua dulce a salobre (eurihalinas–oligohalobias) y aquellas que subsisten en concentraciones de sal bajas a intermedias (mesohalobias) según Pankow, (1990). Para la determinación de coliformes totales se utilizó la técnica del Número Más Probable (NMP) según APHA-AWWA-WPCF (1992), con frascos de vidrio esterilizados de 0.5 l de capacidad, que se abrían justo en el momento de la toma de muestra. Éstas se guardaban sobre hielo hasta su siembra. El tiempo máximo que transcurría entre la toma de la muestra y su procesamiento fue de dos horas. El proceso se hizo por quintuplicado. También se obtuvieron muestras de agua del río en los poblados de Cihuatlán y El Centinela para observar si había aportación de coliformes.

Los análisis estadísticos de los resultados fueron efectuados con *software* para computadoras personales (Statistica versión 5.1, 2000). La distribución espacial de las variables físico-químicos, nutrientes y del plancton fue graficada con el programa Surfer-7 (1999).

Resultados y discusión

Factores hidrológicos

pH (mínimo 7.93; máximo 8.41)

El pH mostró un gradiente horizontal desde la zona de entrada de agua dulce, hasta la desembocadura con la bahía en la superficie y en el fondo. Se detectaron ligeras diferencias entre la época de lluvia (7.90–8.29 en septiembre 2000), cuando el aporte de agua del río fue mayor, y la de secas (7.90–8.39 en

enero 2001), cuando la influencia del agua marina fue más grande. El pH fue más bajo en la época de secas en el fondo del centro del estuario y en el vaso más pequeño, que se comunica con la bahía, sobre todo en la zona aledaña al poblado de Barra de Navidad en donde hay descargas de aguas negras (Fig. 3, época de lluvias; Fig. 4, época de secas). Sin embargo, los valores medidos están dentro del intervalo (6.5 a 8.25 unidades) que permite una actividad biológica apropiada (Mandelli y Vázquez-Botello, 1976).

Salinidad (mínimo 20.5 ups–máximo 34.1 ups)

La salinidad fue elevada y homogénea (31.0–33.9 ups) en todo el estero en el mes de septiembre del 2000, debido principalmente a que el canal que aporta agua dulce del río Marabasco (Fig. 1) fue cerrado por el acarreo de sedimento del Arroyo Seco a principios de ese mes. En enero de 2001 el canal fue dragado y el agua dulce pudo fluir otra vez al estuario, por lo que en la época de secas se formó un gradiente de salinidad desde la entrada de agua dulce hacia la boca, que alcanzó valores mínimos de 20.5 ups en la superficie, en la zona de mezcla del agua del canal con el estuario, y valores máximos de 34.1 ups tanto en la boca como en la Bahía Navidad.

Temperatura (mínimo 21.1 °C en el fondo; máximo 30.6 °C en la superficie)

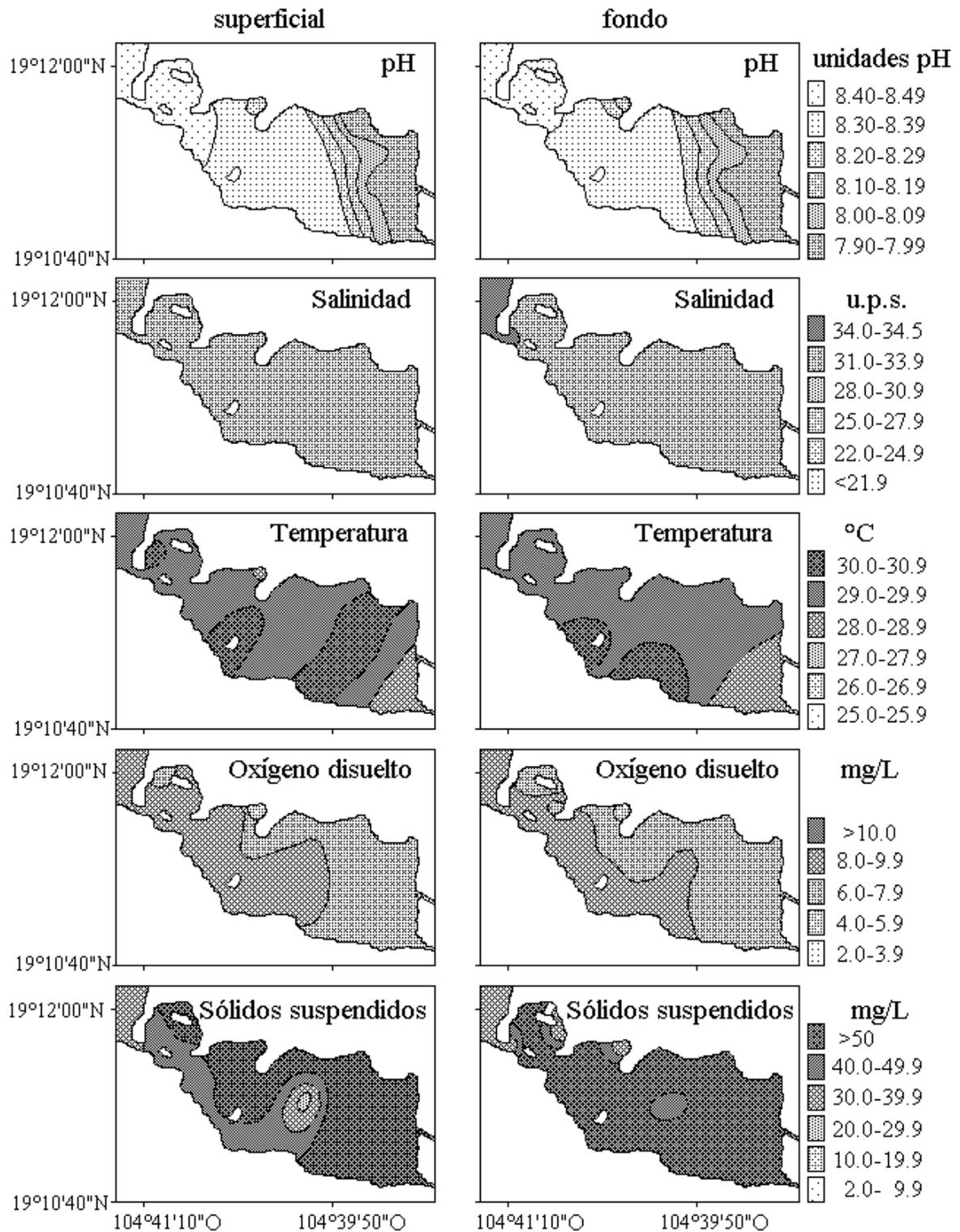
En marzo de 2001 se midió la temperatura más baja en el estuario (21.1 °C), mientras que en la bahía el valor mínimo (19.8 °C) se registró en el mes de abril de ese mismo año. En la época más fría (enero 2001), las temperaturas más bajas (25.3 °C) se registraron en la zona somera; por otro lado, en el centro del estuario la temperatura fue más elevada en la capa más profunda.

La distribución de calor en el cuerpo de agua se debe a los cambios climáticos estacionales que inducen en la época de lluvia (septiembre de 2000) procesos de circulación en las zonas más profundas. En horas de mayor viento (entre las 11:00 y 17:00 horas), es decir, horas después del horario de muestreo, se generan procesos de mezcla en la columna de agua, lo cual distribuye el calor absorbido en la superficie.

Oxígeno disuelto (mínimo 2.2 mg·l⁻¹ en el fondo; máximo 10.05 mg·l⁻¹ en la superficie)

Se observó un gradiente positivo de oxígeno disuelto (OD) entre la zona somera y la de manglares, de tal forma que en el lapso en que se efectuaron las mediciones (09:00 a 11:00 h), cuando el sol es relativamente intenso, se detectaron zonas con sobresaturación de oxígeno (70-120%) en las capas superficiales en medio del estuario y en la boca (Figs. 3 y 4). Cuando se analizó la distribución vertical del OD durante la época de secas, se observó una ligera disminución hacia el fondo, aunque sin llegar a la anoxia (Fig. 5),

Figura 3
Distribución espacial de variables físicas y químicas en el estero de Barra de Navidad
en septiembre del 2000 (época de lluvias)



mientras que en la temporada de lluvias, la distribución vertical fue homogénea en toda la columna de agua, por lo que aun los estratos de agua del fondo presentaron una concentración elevada de oxígeno (Fig. 5), como resultado de la circulación provocada por las mareas y los vientos dominantes. En esta época el porcentaje de saturación fue alto ($90 \pm 10\%$) (Fig. 3). También se observaron zonas con elevada concentración de oxígeno en superficie (Fig. 4), probablemente debida a la actividad fotosintética.

La variación estacional del OD no mostró relación con la temperatura; así por ejemplo, el contenido más bajo de OD fue medido en el mes de abril de 2001, cuando los valores de temperatura fueron bajos. En ese mes el volumen de oxígeno fue homogéneo en casi toda la columna, salvo en la parte cercana al fondo.

Las elevadas concentraciones en la parte superior de la columna de agua sugieren que la disolución de oxígeno desde la atmósfera hacia la superficie es elevada, mientras que la disminución del contenido de OD hacia el fondo, muestra que se consume debido a la presencia de materia orgánica en descomposición. Puesto que es un cuerpo de agua con aportes de nutrientes por aguas continentales y de aguas negras, se observó una abundante biomasa de fitoplancton, que probablemente mantiene una elevada producción de oxígeno como resultado de la fotosíntesis.

Sólidos suspendidos (mínimo $2.0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$; máximo $53 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$)

En el fondo la distribución de los sólidos suspendidos es más homogénea que en la superficie, principalmente en las partes someras del estuario (Figs. 3 y 4). Por otro lado, hay más sólidos a lo largo de todo el cuerpo de agua en la época de lluvias que en la de secas, cuando se distingue un gradiente, de mayor concentración en la entrada de agua dulce (que es la zona somera), a menor hacia el centro del estuario. Por otro lado, sobre el fondo se forma un gradiente decreciente, desde la zona del poblado de Barra hacia la boca, posiblemente debido a las descargas de aguas negras. También se observan zonas con mayor turbidez en donde hay manglares. La distribución de sólidos suspendidos en el estuario muestra variaciones pronunciadas debido principalmente a que el material arrastrado por el río floclula al mezclarse con el agua marina. La productividad primaria elevada es propiciada por los nutrientes que el agua del río arrastra de campos agrícolas adyacentes.

Nutrientos

Ortofosfatos (0.5 a $1.0 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$)

En la época de lluvia el ión ortofosfato se distribuyó homogéneamente por todo el estuario (0.81 –

$1.00 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$). En la época de secas, cuando entraba agua dulce al estuario, pero con escasos nutrientes, se formó un gradiente positivo (0.5 a $0.9 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$), aunque los valores se pueden considerar bajos (Fig. 6), lo que sugiere que los nutrientes eran aportados por los pobladores de Barra de Navidad. La distribución de los ortofosfatos en la superficie presentó un patrón que denota una regulación del metabolismo de degradación y asimilación de éste por las bacterias y el fitoplancton, respectivamente. Además, la escasez de este ión y su distribución son reguladas por las corrientes provocadas por las mareas, con los respectivos recambios con agua de la bahía, y los vientos.

Amonio (0.3 y $6 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$)

El ión amonio varió entre 0.3 y $6 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$, valores que se consideran altos, empero, su distribución fue homogénea en casi todo el estuario. En época de lluvias se observó un gradiente de mayor a menor concentración en la entrada de agua dulce (6.0 – $4.0 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$) y de la boca hacia la bahía (3.9 - $0.3 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$). En la temporada de secas también se detectó un gradiente en la desembocadura (1.9 - $0.3 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$), pero no fue tan pronunciado como en la de lluvias (Fig. 6). Comparado con otros sistemas lagunares de la región, como la laguna de Chautengo, Guerrero (Rendón-Dircio, 2002), la concentración fue similar y hasta dos veces más alta en la temporada de lluvias, lo que indica una ligera eutrofización si se toma en cuenta que tiene una boca abierta todo el año.

Nitrito (0.10 - $0.39 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$)

La concentración del ión nitrito se considera baja, pero por encima de los límites de detección del método de Shinn, modificado por Bendschneider y Robinson (tomado de Strickland y Parsons, 1972), que es de $0.01 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$. En la época de lluvia se observó mayor contenido de nitritos (0.30 - $0.39 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$) en el centro del estuario (Fig. 6), mientras que en la de secas la distribución fue homogénea (0.10 - $0.19 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$) en todo el cuerpo de agua, salvo en la zona donde descarga el drenaje de Barra de Navidad (0.20 - $0.29 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$). Esos resultados, comparados con los obtenidos en la laguna de Chautengo (Rendón-Dircio, 2002), fueron dos veces más elevados; no obstante, en ambos lugares este ión fue más abundante durante la temporada de lluvia, aunque sin presentar peligro alguno para los organismos que habitan el estuario.

Nitrato (5.0 – $30.0 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$)

La distribución espacial y la estacional del ión nitrato mostraron variaciones similares a las del ión amonio, aunque las cantidades fueron mayores ($>25 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$). En la época de lluvias se observó un gradiente positivo entre la zona de entrada del agua dulce y la boca hacia la bahía (10.0 - $20.0 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{at}\cdot\text{l}^{-1}$), y otro gradiente pronunciado, aunque negativo, entre la boca y

Figura 4
Distribución espacial de variables físicas y químicas en el estero de Barra de Navidad
en enero del 2001 (época de secas)

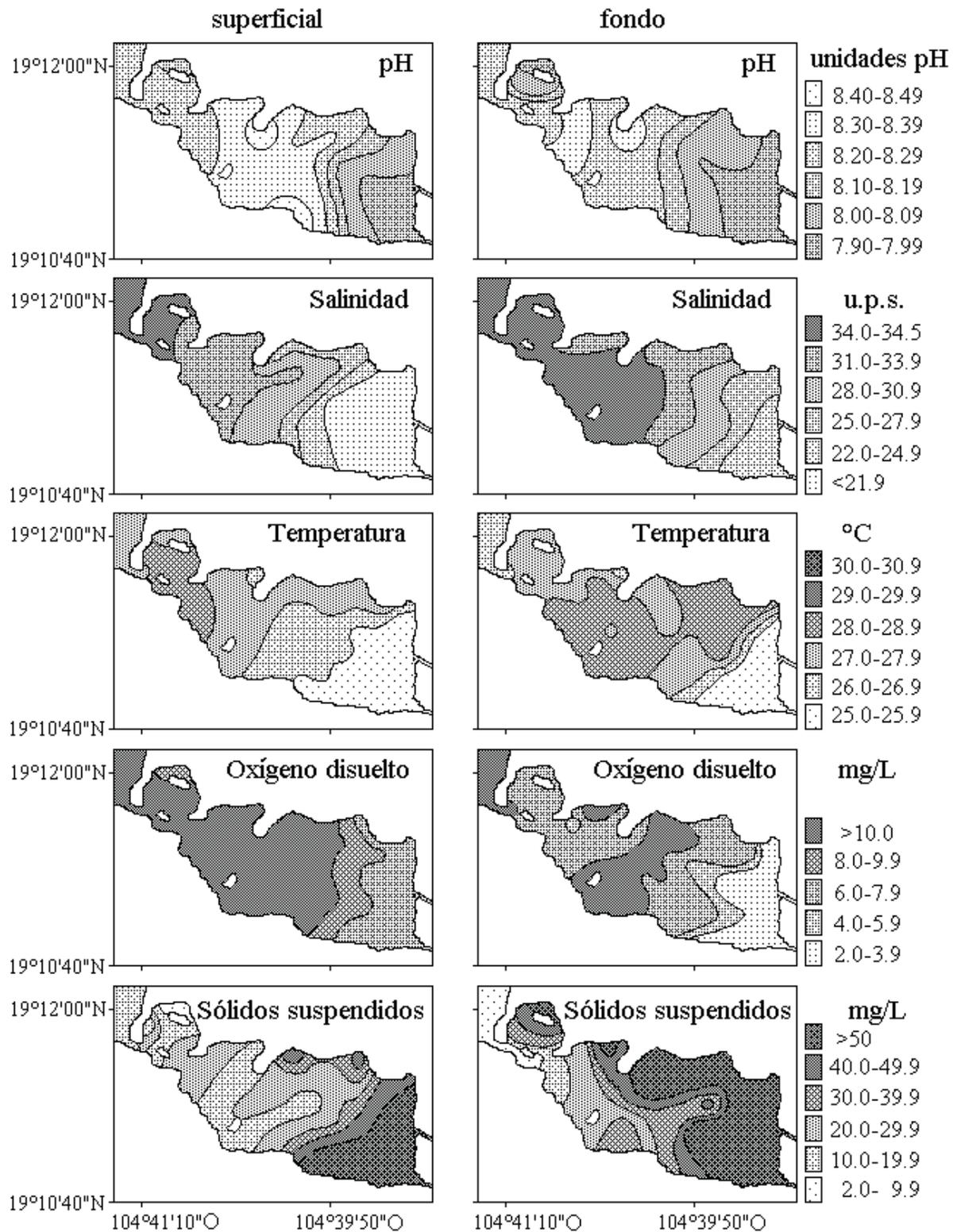
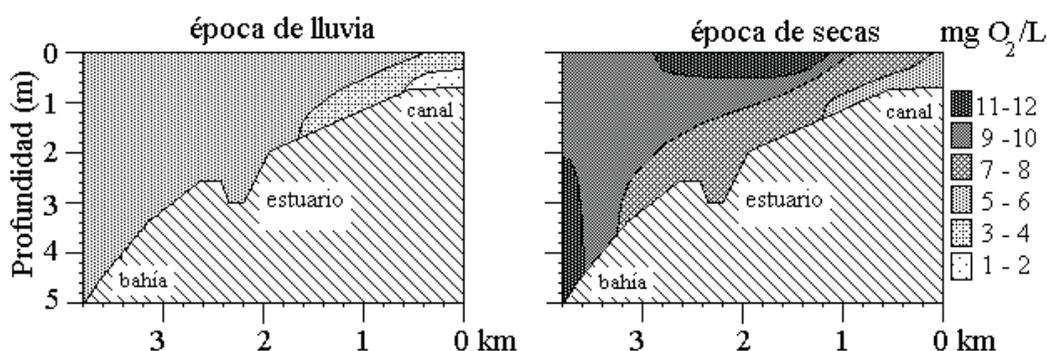


Figura 5

Transecto vertical que muestra la concentración de oxígeno disuelto desde el canal de entrada de agua dulce hasta la bahía



la bahía ($20.0\text{-}5.0 \mu\text{g-at l}^{-1}$). En la época de secas las concentraciones del ión nitrato se encontraron entre 25.0 y $30.0 \mu\text{g-at l}^{-1}$ en la mayor parte del estuario (Fig. 6). En el vaso ubicado en las inmediaciones de la boca se formó un gradiente decreciente, por lo que en la desembocadura el contenido de nitratos fue similar al de la bahía ($20.0\text{-}4.0 \mu\text{g-at l}^{-1}$).

Es poco probable que los nitratos y nitritos se reduzcan a amonio, porque el fondo lodoso es rico en oxígeno disuelto. Mientras que, por el contrario, es muy factible que el fitoplancton y la dilución del agua de la bahía, durante la marea, contribuyan a las variaciones del ión nitrato. Por otro lado, las concentraciones muestran que el estuario se está eutrofizando.

Silicatos (20 a $120 \mu\text{g-at l}^{-1}$)

La distribución de los silicatos solubles mostró una tendencia decreciente (120 a $20 \mu\text{g-at l}^{-1}$) desde la entrada de agua dulce hasta la boca y bahía, tanto en la época de lluvia, como en la de secas (Fig. 6). Es muy probable que el ingreso de agua de la bahía al estuario, durante la fase de marea alta, diluya la concentración de estos nutrientes en el estuario.

Índice N:P

El índice obtenido fue de $33:0.8$ en la época de secas y de $25:1$ en la de lluvias, lo cual muestra que la proporción de compuestos nitrogenados fue mayor que la de los ortofosfatos. En los ecosistemas en los que esa relación es mayor a $6:1$ a lo largo de un ciclo anual, sugiere que reciben gran influencia marina. En el presente estudio, los valores del índice N:P fueron altos debido a la presencia de concentraciones elevadas de nitratos, como es el caso de algunas lagunas del Golfo de México (Contreras *et al.*, 1996). Por el contrario, cuando el valor es menor a $5:1$, se asocia con el ingreso regular de elevados suministros de fosfatos por medio de escurrimientos continentales de ori-

gen natural o como resultado del drenaje de campos agrícolas. Aunque el río Marabasco pasa por la zona agrícola del valle de Cihuatlán, éste no es tan grande como para enriquecer al estuario con fosfatos.

En las condiciones batimétricas e hidrológicas que presenta actualmente el estuario Barra de Navidad se puede considerar que sus aguas revelan problemas de eutrofización. El crecimiento de asentamientos humanos, sobre todo en la boca de este sistema y el azolvamiento que padece este cuerpo de agua, no ayudarán a mejorar la calidad del agua.

Número más probable de coliformes
(NMP $10\text{-}16000/100\text{ml}$)

El valor máximo permitido para descargas de aguas negras es de $1\ 000$ por cada 100 ml, según la Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997); sin embargo, las muestras recolectadas entre julio y septiembre de 2000, y de febrero a mayo de 2001, mostraron valores superiores a $16\ 000$ NMP/100 ml, mientras que en los meses restantes fluctuaron entre 130 y $10\ 000$. El valor promedio obtenido a lo largo del periodo de estudio fue de $11\ 175$, muy superior al permitido para aguas de recreación y riego (DOF, 1997). La distribución del NMP de coliformes totales a lo largo del estuario presentó un gradiente decreciente, desde la entrada de agua dulce hacia la boca y la bahía (Fig. 7). En la parte somera de la laguna, donde se recibe el agua del río y el canal, hay aportes de estas bacterias por los desechos de las aves acuáticas. Además, en la zona adyacente a los manglares existen pastizales que son aprovechados por ganado bovino, que también arroja coliformes. Por otro lado, no se observan diferencias entre las zonas por donde ingresan las aguas negras, en la parte aledaña al poblado, y el resto del estuario, con respecto al NMP de coliformes, por lo que se deduce que el agua marina que entra de la Bahía Navidad provoca la muerte de las bacterias por el cambio osmótico.

Figura 6

Distribución espacial de nutrientes en el estero de Barra de Navidad en época de lluvia (julio - noviembre 2000) y en época de secas (diciembre 2000 - junio 2001)

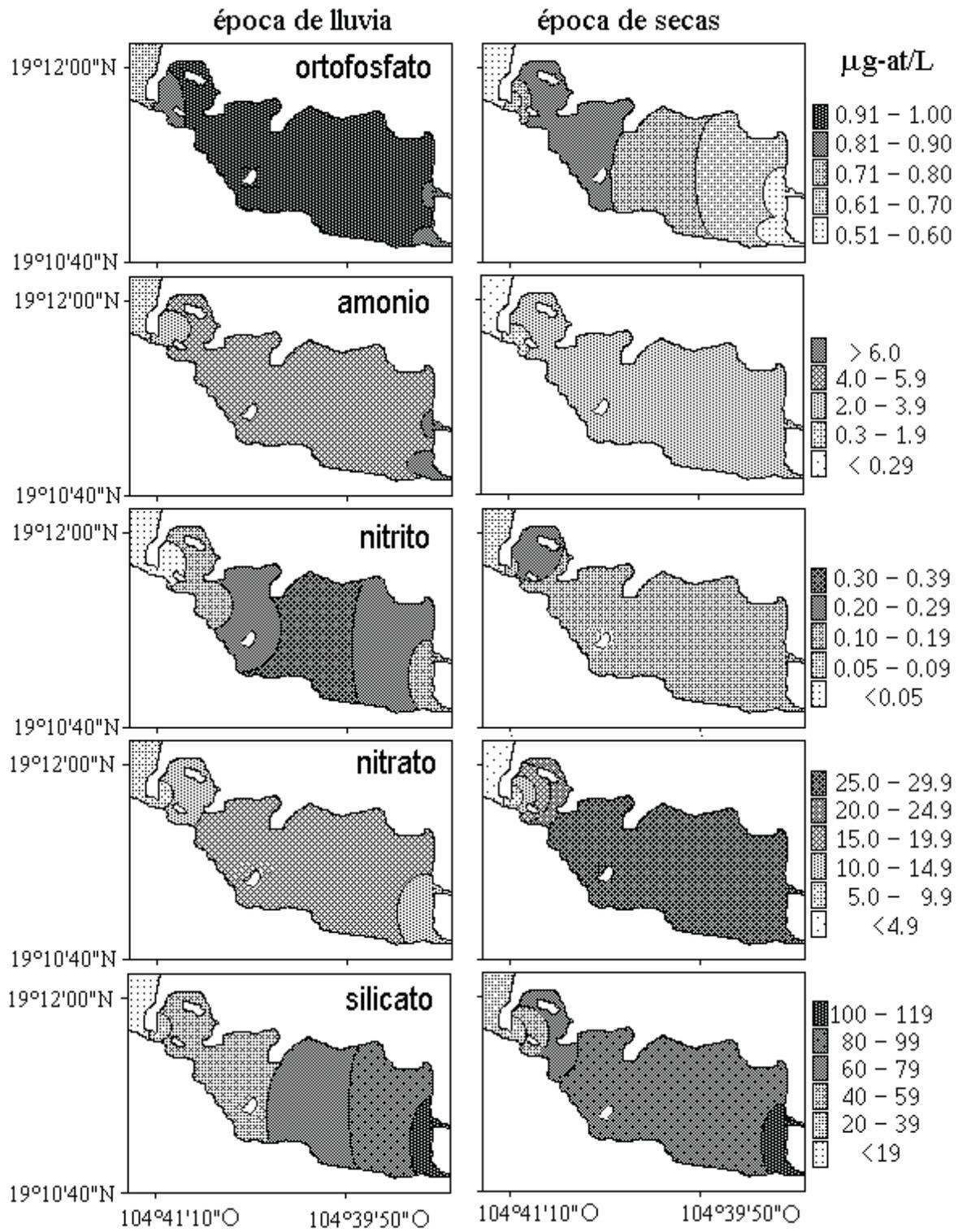
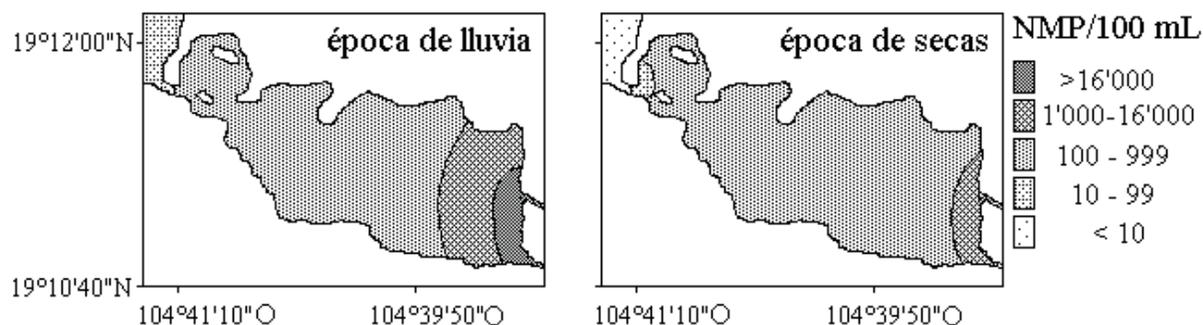


Figura 7

Distribución espacial de coliformes totales (Número Más Probable 100 ml⁻¹) en el estuario de Barra de Navidad en época de lluvia (julio-noviembre 2000) y en época de secas (diciembre 2000 – junio 2001)



En las muestras de agua del río, tomadas en el poblado El Centinela y en la cabecera municipal de Cihuatlán, se estimó en más de 16 000 el NMP/100 ml de coliformes totales, por lo que se considera que estas poblaciones son una fuente de dichas bacterias.

Plancton

La asociación de fitoplancton del estuario está compuesta de 117 géneros, con predominio de las clorofíceas, seguido de las diatomeas, las euglenofíceas, las cianofíceas y, en menor proporción, los dinoflagelados.

Los géneros representativos de las Chlorophyta fueron: *Ankistrodesmus*, *Crucigenia*, *Dictyosphaerium*, *Euastrum*, *Monoraphidium*, *Oocystis*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Saurastrum* y *Tetraedron*. De las diatomeas se encontraron representantes de las divisiones Centrales y Pennales. El nombre de las diatomeas, en orden alfabético, y su abundancia relativa por zona, se muestra en la *Tabla 1*.

Los géneros representativos de las Euglenophyta fueron *Euglena* y *Phacus*; mientras que de las cianofíceas fueron *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Chroococcus*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*, *Merismopedia* y *Spirulina*. De los silicoflagelados se encontró *Dicthyocha*, mientras que de las Pyrrophyta se encontraron especies de los géneros *Ceratium*, *Gyrodinium*, *Noctiluca*, *Oxytoxum*, *Peridinium*, *Podolampas*, *Prorocentrum* y *Proto-peridinium*. Las especies se colocaron en orden alfabético.

Los resultados muestran que el río Marabasco, la laguna de Barra de Navidad y su estuario conforman un sistema acuático variable con respecto a la cantidad de plancton presente (Fig. 8). El zooplancton estuvo representado principalmente por rotíferos, copépodos y larvas de crustáceos y moluscos. Estos organismos abundaron en la zona de mezcla, donde la profundidad fue mayor, sobre todo en época de lluvia.

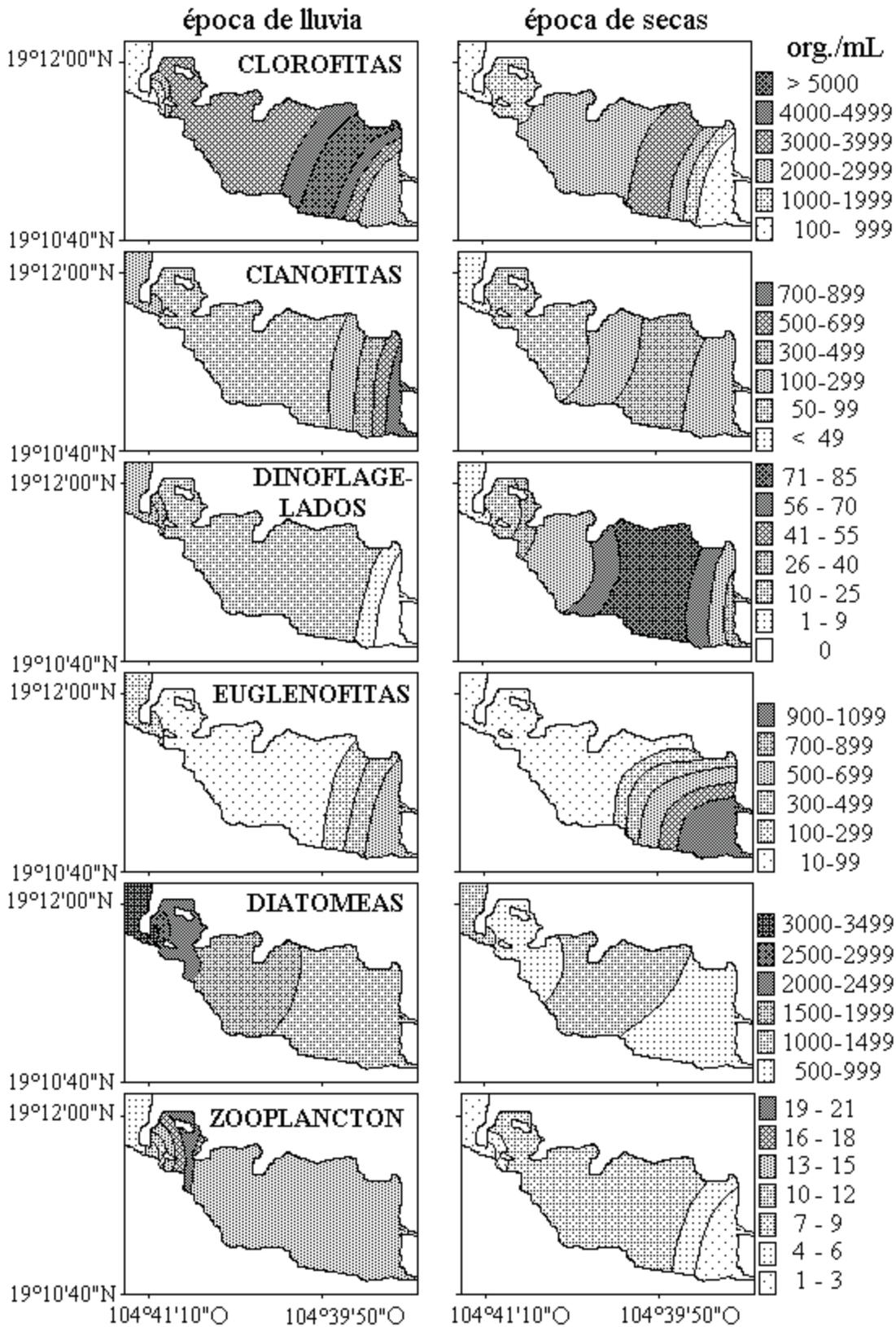
Por otro lado, debido a que en el periodo de estudio no se presentaron lluvias torrenciales, no se observó una disminución marcada de la abundancia del fitoplancton y zooplancton en la laguna entre la época de lluvias y la de secas.

Se efectuaron correlaciones entre la abundancia de las diatomeas más abundantes en el estuario de Barra de Navidad, para detectar la preferencia de éstas, con respecto al gradiente de salinidad que se forma entre la entrada de agua dulce y la zona marina. Esa tendencia también se puede apreciar entre las asociaciones de diatomeas en época de secas y en la de lluvias (Fig. 9). Las asociaciones ubicadas a la derecha en la *figura 9* fueron observadas en aguas dulces a salobres (eurihalinas-oligohalobias); las que se localizan a la izquierda son las que prefieren agua marina (eurihalinas-polihalobias) y las del centro son aquellas que toleran una amplia gama de concentraciones de sal o mesohalobias (Pankow, 1990). Los nombres de los géneros y especies de diatomeas más abundantes con sus respectivos autores se muestran en la *tabla 2*. Éstas fueron clasificadas según su tolerancia a medios salobres, a salinos, o marinos.

Se encontraron diferencias en la distribución de los diferentes géneros de fitoplancton de la laguna, que concuerdan con las reportadas en trabajos realizados en otros cuerpos costeros, como el de Laguna de Términos (Day *et al.*, 1987). El estuario presenta agua de color café todo el año debido a la presencia de sustancias húmicas, que probablemente estimulan la productividad (Prakash y Rashid, 1968; Day *et al.*, 1987). Sandoval-Rojo *et al.* (1988) consideraron que la materia orgánica en la laguna, procedente de la producción fitoplanctónica, de las algas bentónicas, de la entrada del río y de los manglares, favorece los procesos heterotróficos al inicio de la época de secas, especialmente en el centro del estuario. Por otra par-

Figura 8

Distribución espacial de plancton en el estero de Barra de Navidad en época de lluvia (julio – noviembre 2000) y en época de secas (diciembre 2000 – junio 2001)



te, los cambios estacionales en la abundancia del fitoplancton y zooplancton influyen en otras variables, como los nutrimentos.

La materia orgánica proveniente de los humedales colindantes puede ser una fuente importante de nutrimentos para sistemas lagunares en el Pacífico mexicano (Mee, 1977). Las tasas de producción diaria neta estimadas por Sandoval-Rojo *et al.* (1988), a partir de los datos de oxígeno disuelto o de nutrientes inorgánicos, en el estuario de Barra de Navidad, son similares a las de la Laguna de Chautengo (Rendón-Dircio, 2002). Sandoval-Rojo *et al.* (1988) sugieren, por tanto, que los estuarios con boca permanente como la de Barra de Navidad, tienen dilución con agua oceánica en forma continua, especialmente durante la época de secas, lo cual provoca una significativa pérdida de nutrimentos y se refleja en bajas concentraciones de estos compuestos, especialmente de fosfatos solubles. Por otro lado, la concentración de los nutrimentos en las lagunas costeras es característica de ambientes eutróficos (Rinaldi *et al.* 1992), como lo es el caso del estuario Barra de Navidad.

Conclusiones

En general, la distribución de la salinidad en los estuarios muestra amplias variaciones; sin embargo, en Barra de Navidad, durante la época de lluvias correspondiente al periodo del estudio, no hubo entrada de agua dulce del río Marabasco, por lo que las condiciones fueron homogéneas. Empero, en la época de secas se formó un gradiente muy evidente (20.5–34.1 ups) desde la entrada de agua dulce hasta la boca que comunica con la bahía. La temperatura fue la representativa para cuerpos tropicales, cálida en verano con pocos cambios (28.0–30.6 °C) y más templada y con gradiente negativo, desde la entrada de agua marina hasta la entrada de agua dulce, en la época de secas (25.0–28.9 °C). El contenido de oxígeno disuelto fue elevado en la capa superior y su distribución a lo largo del cuerpo de agua fue irregular en época de lluvia; mientras que en la de secas se observó un gradiente positivo que inicia en el área de manglar y termina en la boca. En el fondo de esa zona se determinó una baja concentración de OD, que se incrementó en la parte más profunda del estuario. Los sólidos suspendidos fueron elevados en la mayor parte del estuario, sobre todo en época de lluvias, en los sitios donde se mezcla el agua dulce con la salada, y en las áreas con manglar.

Los nutrimentos variaron en el espacio y en el tiempo. El nitrógeno fue 25 veces más abundante que el fósforo disuelto, lo que se interpretó como el

resultado del recambio de agua con la bahía. El contenido de sílice disuelto no fue limitante, y entra al sistema con el agua dulce, aunque el florecimiento de diatomeas se produjo en la época de lluvias en la zona colindante con la bahía. Estos ecosistemas tienden a eutroficarse, lo que hay que tomar en cuenta para no adicionar más nutrientes vía escurrimientos. La abundancia de coliformes totales fue elevada, ya que rebasa los límites permitidos (1 000 NMP por cada 100 ml) para los cuerpo de agua con uso recreativo. Este problema se detectó principalmente en la parte somera del estuario, en la confluencia del canal y del río. Las clorofíceas abundaron en la zona central, somera del estuario, a diferencia de las cianofíceas y las euglenofitas, cuya distribución sugiere que provienen del río. El zooplancton fue más cuantioso en la zona de mezcla, sobre todo en época de lluvia. Las diatomeas más abundantes en el estuario se clasificaron como oligohalobias, mesohalobias y polihalobias, según su tolerancia a la salinidad; por otro lado, la preferencia de cada diatomea por determinada cantidad de sal coincidió con lo reportado por Hustedt (1959). Esta distribución varió entre la época de lluvias y la de secas. La gran cantidad de microalgas contribuye a la producción de oxígeno disuelto en los días soleados, y el recambio continuo del agua con la bahía ocasiona que este estuario sea altamente productivo; sin embargo, la presencia de un número elevado de coliformes totales denota que hay problemas de contaminación de origen antropogénico.

Agradecimientos

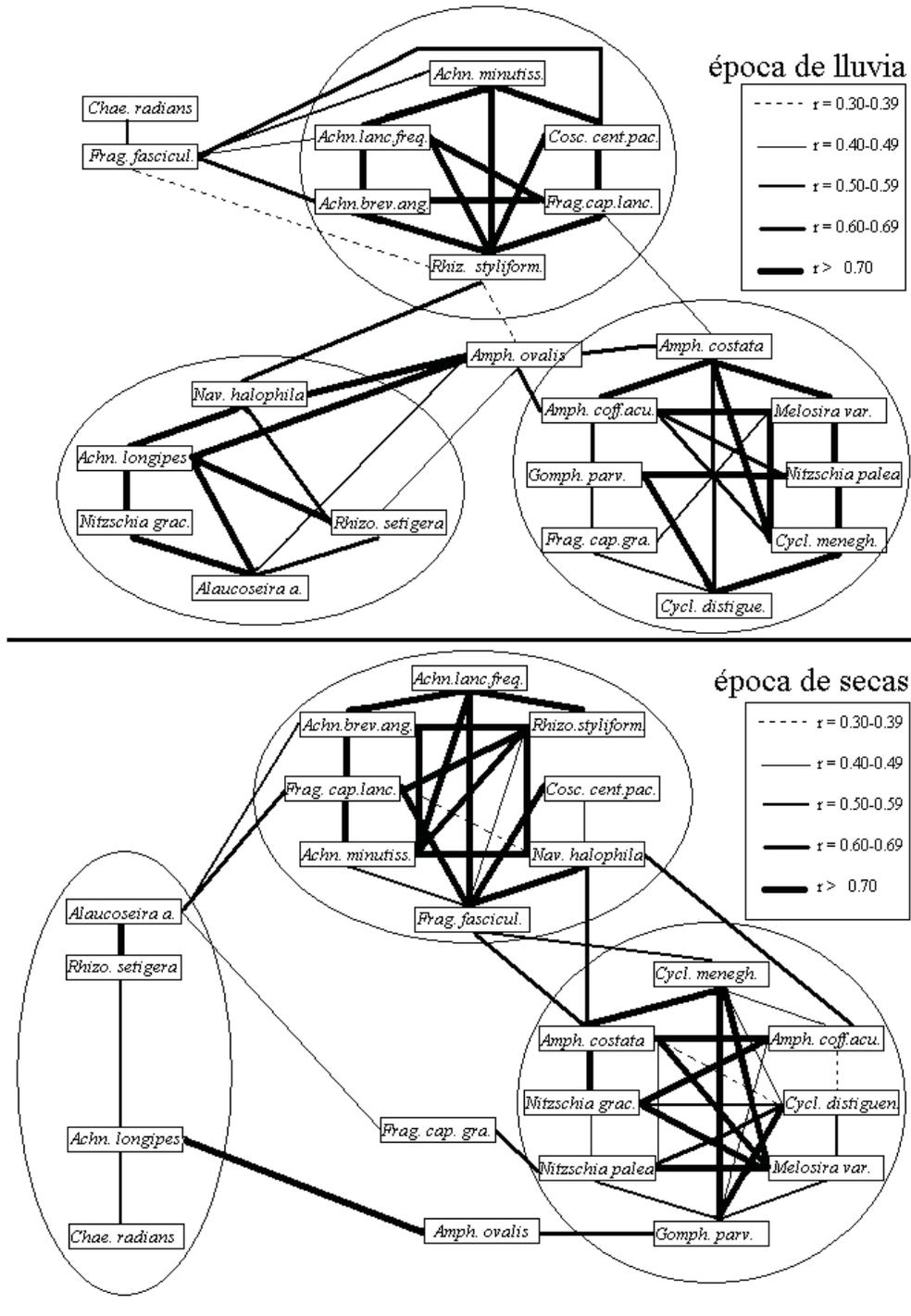
Los autores agradecen a los cuatro revisores por sus comentarios para mejorar el presente escrito. Al Conacyt y al Fondo Dr. Ramón Álvarez Buyla de Aldana, de la Universidad de Colima, por las contribuciones recibidas para realizar este estudio (Proyecto Conacyt 32462-T, FRABA 004, respectivamente).

Referencias bibliográficas

- ÁLVAREZ DEL CASTILLO, M. 1983. *Estudio de la fauna de los crustáceos decápodos del ambiente rocoso en la Laguna de Barra de Navidad, Jalisco*. Tesis Licenciatura. Escuela de Biología, UAG, Guadalajara, Jalisco, México. 100p.
- ÁLVAREZ DEL CASTILLO, M., M.E. Hendrickx y S. Rodríguez. 1992. Crustáceos decápodos de la Laguna Barra de Navidad, Jalisco, México. *Proc. San Diego Soc. Nat. Hist.*, 27:1-9.
- AMEZCUA-LINARES, F. 1996. *Peces demersales de la plataforma continental del Pacífico Central de México*. ICMYL-UNAM, CONABIO, México DF. 184p.
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Díaz de Santos, Madrid, España. 1 816p.

Figura 9

Correlaciones (Spearman, nivel de significancia $p < 0.001$) entre las abundancias relativas de las 22 especies de diatomeas más numerosas en época de lluvia y en época de secas del estuario Barra de Navidad



En los círculos de la derecha se concentraron las diatomeas eurihalinas-oligohalobias, en el círculo del centro las mesohalobias y en la izquierda las eurihalinas – polihalobias o marinas.

- AYALA-CASTAÑARES, A. y F.B. Phleger (eds.). 1969. Coastal lagoons: A symposium. *Mem. Internacional Symposium on Coastal Lagoons*. UNAM, UNESCO, México, DF. 686p.
- CONTRERAS, F., O. Castañeda, A. García-Nagaya y F. Gutiérrez. 1996. Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Rev. Biol. Tropical*, 44(2):421-429.
- DAMES, J. y C. Moore. 1973. *Reporte preliminar y de Ingeniería*. Planificación para la laguna e investigación del suelo del sitio de Barra de Navidad para Turbana, S.A. Barra de Navidad, Jalisco, México. 21p.
- DAY J., F. Ley-Lou F., C. J. Madden, R. Wetzel y A. Machado-Navarro. 1987. Aquatic primary productivity in the Laguna de Términos. En: A. Yáñez-Arancibia y J. Day (eds.). *The Laguna de Términos: An estuarine profile*. ICMYL-UNAM, México DF. pp. 267-284.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. 1986. Materia orgánica en los sedimentos del sistema lagunar Huizache-Caimanero. Importancia, comportamiento y significado en modelos de predicción. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.*, UNAM, 13(1):252-286.
- DE LA LANZA-ESPINO, G. (ed.). 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT, México DF. 569p.
- DEPARTAMENTO DE PESCA. 1977a. *Estudios realizados para la justificación de la construcción de la estructura de control de niveles canal de interconexión (Estero Ermitaño-Laguna Agua Dulce)*. Informe interno, México. 49p.
- DEPARTAMENTO DE PESCA. 1977b. *Antecedentes de estudio y justificación hidrológica para la construcción de la estructura de control de niveles en el río María García - Laguna Agua Dulce - Estero Ermitaño, Jalisco*. Informe interno, México. 69p.
- DOF. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, México, Junio 1, 1997.
- FERNÁNDEZ-PÉREA, E.V. 1987. *Modelación hidrodinámica numérica de la albufera Barra de Navidad*. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas, UdeC. Manzanillo, Col. México. 52p.
- GARCÍA, E. 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía, UNAM. México DF. 246p.
- HENDRICKX, M.E. 1989. On a small collection of caridean shrimps (Crustacea, Decapoda) from the Barra de Navidad coastal lagoon, Jalisco, México. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol.* UNAM, 15(1): 245-248.
- HUSTEDT, F. 1959. *Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz*. Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.G., Leipzig. 845p.
- KENNISH, M.J. 1986. *Ecology of estuaries. Volume I: Physical and chemical aspects*. Marine Science Series. CRC Press, Boca Raton, FL. EU. 512p.
- KENNISH, M.J. 2000. *Estuary restoration and maintenance. The National Estuary Program*. CRC Press, Boca Raton, EU. 359p.
- KRAMMER, K. y H. Lange-Bertalot. 1986. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 876p.
- KRAMMER, K. y H. Lange-Bertalot. 1988. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/2. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena. 596p.
- KRAMMER, K. y H. Lange-Bertalot. 1991a. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer (eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/3. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 576p.
- KRAMMER, K. Y H. Lange-Bertalot. 1991b. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema, Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (eds). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/4. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437p.
- LANKFORD, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: Their origin and classification. En: M. Wiley (ed.). *Estuarine Processes*. Academic Press, New York. pp.182-215.
- LICEA-DURÁN, J.L. Moreno, H. Santoyo, G. Figueroa. 1995. *Dinoflagelados del Golfo de California*. UABCS, México. 165p.
- LLAUGER, O. 1994. *Efecto de metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn) y agentes quelantes (EDTA y DTPA) sobre la eclosión, sobrevivencia y metamorfosis de la zoea de Penaeus vannamei (Boone)*. Tesis de Licenciatura, Escuela de Biología-UAG, Jalisco. México. 42p.
- MANDELLI, E.F. y A. Vázquez-Botello. 1976. *Subprograma de hidrología (Informe final de la 3ª etapa del estudio sobre el uso de la zona costera de los Estados de Michoacán y Guerrero), México*. Comisión del Río Balsas-SRH, ICMYL-UNAM (Contrato de estudios No. 0C-E-03-74).
- MARGALEF, R. 1983. *Limnología*. Omega, Barcelona, España. 1010p.
- MARMOLEJO-RODRÍGUEZ, A.J. 1999. *Determinación de plaguicidas organoclorados en camarón blanco adulto (Penaeus vannamei) cultivado en laboratorio*. Tesis de Maestría en Acuicultura, Facultad de Ciencias Marinas, UdeC., Manzanillo, Colima. 80p.
- MEE, L.D. 1977. *The chemistry and hydrography of some tropical coastal lagoons of the Pacific coast of Mexico*. Tesis de Doctorado. University of Liverpool, Gran Bretaña. 125p.
- MEYER-WILLERER, A.O., F.S. Kot, E.N. Shumilin, S. Lutsarev y A.J. Marmolejo-Rodríguez. 2003. Mercury in bottom sediments of the tropical Rio Marabasco, its Estuary, and Laguna de Navidad, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 70:1213-1219.
- MORENO, J.L., S. Licea y H. Santoyo. 1996. *Diatomeas del Golfo de California*. SEP-FOMES, PROMARCO, UABCS, La Paz. 272p.
- NEBEL B.J. y R.T. Wright. 1998. *Environmental science: the way the world works*. Prentice Hall, New Jersey, EU. 455p.
- OCEGUEDA, M.X. 1980. *Relación de los elementos climatológicos componentes del balance hidrológico con la salinidad en la Laguna de Agua Dulce, Jalisco*. Centro de Estudios Limnológicos, SARH. pp. 231-263.
- PALOMARES-GARCÍA, J.R., E. Suárez y S. Hernández. 1998. *Catálogo de los copépodos (Crustacea) pelágicos del Pacífico Mexicano*. CICIMAR-IPN, ECOSUR, México D.F. 352p.
- PANKOW, H. 1990. *Ostsee-Algenflora*. 1. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Jena, Alemania. 648p.
- PRAKASH, A. y M. Rashid. 1968. Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton: dinoflagellates. *Limnology and Oceanography*, 13:598-606.
- RENDÓN-DIRCIO, J.A. 2002. *Estudio del comportamiento hidrológico de la laguna de Chautengo, Guerrero, México*. Tesis de Maestría. PICP, UdeC, Tecomán, Colima, México, 123p.
- RINALDI, A., G. Montanari, A. Ghetti, C.R. Ferrari y A. Ferrari. 1992. Eutrophy and dystrophy in the Goro lagoon. En: R.A. Vollenweider, R. Marchetti y R. Viviani. (eds.). *Marine coastal eutrophication*. Elsevier Sci., EU. pp. 457-470.
- RODRÍGUEZ, S.M. 1982. *Contribución al estudio taxonómico de las clases Bivalvia y Gasteropoda del Phylum Mollusca, de la laguna de Barra de Navidad, Jalisco*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. UAG. Guadalajara, Jalisco, México. 54p.

- RODRIGUEZ-CAJIGA, S.R. 1985. *Informe general sobre el conocimiento actual de la Laguna de Barra de Navidad, Jalisco, México*. Informe interno. Lab. de Ciencias Marinas. UAG, Jalisco, México. 45p.
- SANDOVAL-ROJO, L.C., F.J. Flores-Verdugo, U. Zaragoza-Araujo, J.W. Day Jr. y A. Estrada-Mercado. 1988. Phytoplankton productivity in the Barra de Navidad coastal lagoon on the Pacific coast of México. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 21(2):101-108.
- SHUMILIN, E., A. Meyer-Willerer, A.J. Marmolejo-Rodríguez, O. Morton-Bermea, M. A. Galicia-Pérez, E. Hernández y G. González-Hernández. 2005. Iron, cadmium, chromium, copper, cobalt, lead and zinc distribution in the suspended particulate matter of the tropical Marabasco River and its Estuary, Colima, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 74:518-525.
- STATSOFT. 2000. *Statistica for Windows* (Computer program manual). Tulsa, OK. Email info@statsoft.com. Web: <http://www.statsoft.com>.
- STREBLE, H. y D. Krauter. 1987. *Atlas de los microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua*. Omega, Barcelona, España. 357p.
- STRICKLAND, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Bulletin, 167. Fish. Res. Board of Canada, Canadá. 311p.
- SURFER. 1999. *Surfer mapping systems. User's Guide, Version 7.00*. Golden Software Inc., Golden.
- UTERMÖHL, H. 1958. Zur Vervollkommnung de quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Int. Ver. Limnol.* 9:1-38.
- VELÁZQUEZ-GONZÁLEZ, B.B. 2001. Determinación de la calidad del agua del río Marabasco, canal-laguna Barra de Navidad y costa norte del estado de Colima durante la época de lluvias y época de secas 2000-2001. *Memorias I Congreso Estatal de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico*. Universidad de Colima, SIMORELOS, Colima. p. 26
- WYRTKI, K. 1965. Surface currents of the eastern tropical Pacific. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 5(9): 63-97.
- ZEDLER, J.B. 2001. *Handbook for restoring tidal wetlands*. CRC Press, Boca Raton, EU. 439p.

Tabla 1
Abundancia porcentual por región de diatomeas en el Río Marabasco y Laguna Barra de Navidad
(en % de abundancia en cada región*)

Diatomea	Región							Diatomea	Región						
	Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía		Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía
<i>Achnanthes biasolettiana</i>	1*	5	-					<i>Campylodiscus clypeus</i>			-				
<i>A. brevipes v. angustata</i>				2	1	1	-	<i>Catacombas gailonii</i>				-		-	-
<i>A. brevipes v. inter</i>			-	-	2	3	-	<i>Cerataulina bergonii</i>		-					
<i>A. conspicua</i>			-					<i>Cerataulus turgidus</i>				-		-	-
<i>A. curvirostrum</i>				-	-	-		<i>Chaetoceros atlanticus</i>							-
<i>A. delicatula</i>				-				<i>C. compressus</i>	1	1					
<i>A. exigua v. elliptica</i>	2	5	5					<i>C. debilis</i>							-
<i>A. exigua v. exigua</i>	1	2	1					<i>C. didymus</i>							-
<i>A. lanceolata v. frequentis</i>	3	1	-	3	4	2	-	<i>C. laeve</i>	-	-	-				
<i>A. lanceolata v. robusta</i>		1			-	1		<i>C. decipiens</i>				-			-
<i>A. longipes</i>					1	4	1	<i>C. curvisetus</i>					-		
<i>A. lutheri</i>	4	3						<i>C. messanense</i>							-
<i>A. minutissima</i>			-	3	3	2	-	<i>C. radians</i>				-	-	-	-
<i>A. minutissima v. affinis</i>	5	3	4					<i>Climacosphenia moniligera</i>							-
<i>A. punctulata</i>			1					<i>Cocconeis convexa</i>							-
<i>A. pseudosolea</i>			-					<i>C. placentula var. euglypta</i>	5	-	-	1	1	2	
<i>A. submarina</i>				-	-	-	-	<i>C. placentula v. placentula</i>	1	-					
<i>Actinoptychus undulatus</i>								<i>C. placentula var. lineata</i>							-
<i>A. splendens</i>								<i>C. scutellum</i>							-
<i>Alaucoseira ambigua</i>		3	-	5	1	1	4	<i>Coscinodiscus sp.1</i>			-				
<i>A. granulata</i>			-	-			-	<i>C. centralis var. pacifica</i>				4	4	2	3
<i>Amphipleura lindheimeri</i>	5	1	1	-				<i>C. curvatulus</i>				-	-	-	1
<i>Amphora angusta v. ventri</i>					-	1	-	<i>C. granii</i>							-
<i>A. angusta v. angust.</i>								<i>C. wailiesii</i>							1
<i>A. bigibba</i>								<i>Cyclotella atomus</i>				1	-	-	1
<i>A. cymbifera</i>				-	-	1	-	<i>C. distiguenda</i>	3	-	5		-	-	-

Región									Región								
Diatomea								Diatomea									
	Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía		Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía		
<i>A. coffeaeformis</i>	-	3	3	1	-	-	-	<i>C. distiguenda var. unipunctata</i>			1						
<i>A. coffeaeformis</i> v. <i>acut</i>	-	3	5	1	4	4		<i>C. gamma</i>			-						
<i>A. commutata</i>			-					<i>C. glabriuscula</i>			-						
<i>A. costata</i>			2	-	3	1	-	<i>C. hakanssoniae</i>			1						
<i>A. flebilis</i>	-	-						<i>C. meneghiniana</i>	1	-	5	1	5	-	-		
<i>A. hyalina</i>			-	-	1	-		<i>C. ocellata</i>	-	-							
<i>A. laevissima</i>			-	-				<i>C. striata</i>			-				-		
<i>A. libyca</i>					-			<i>C. stylorum</i>						1			
<i>A. mexicana</i> var. <i>maior</i>			-	1				<i>Cymatopleura solea</i>	-	-	-						
<i>A. montana</i>		2						<i>Cymbella brehmii</i>	5	-	-						
<i>A. normannii</i>	3	1						<i>C. lacustris</i>		2	-						
<i>A. ocellata</i>						-		<i>C. mexicana</i>	-	2	-	-	-	-			
<i>A. ostrearia</i>						-	-	<i>C. perpusilla</i>	1	-							
<i>A. ovalis</i>	1	-	1	-	1	3	-	<i>C. pusilla</i>			1	1	1				
<i>A. pediculus</i>			-					<i>C. silesiaca</i>		-	-						
<i>A. proteus</i>							-	<i>C. tumidula</i> var. <i>tumidula</i>	-	-	-						
<i>A. spectabilis</i>				-	-		-	<i>Delphineis surirella</i> v					-	-	-		
<i>A. veneta</i>			1					<i>D. angustata</i>					-		-		
<i>Anomoeneis sphaerophora</i>			-	-	-			<i>Denticula elegans</i>	-	-	-						
<i>Asteromphalus heptactis</i>						-	-	<i>D. tenuis</i>	-	-	-	-		1	-		
<i>Bacillaria paradoxa</i>		-	3	-	-	-	-	<i>Dentonula pumila</i>					-				
<i>Bacteriastrium comosum</i>							-	<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>constricta</i>				-		-			
<i>Berkeleya micans</i>						-		<i>D. vulgare</i>	-	-	-	-					
<i>Biddulphia aurita</i>			-	-	-	-		<i>D. mesodon</i>		-							
<i>B. biddulphiana</i>						-	-	<i>Dictyocha fibula</i>				-	-	-	-		
<i>B. subaequa</i>	-	-						<i>Diploneis interrupta</i>				-	-	1	-		
<i>B. tuomeyi</i>						-	-	<i>D. papula</i>			-						
<i>Brebissonia</i> sp.1							-	<i>D. coffaeiformis</i>			-						
<i>Caloneis amphisbaena</i>	-	-	-	-	-			<i>D. crabro</i>						-	-		
<i>C. elongata</i>					-	-		<i>D. smithii</i>			-						
<i>C. westii</i> var. <i>westii</i>							-	<i>Diploneis subovalis</i>						-	-		
<i>Campylodiscus bi-costatus</i>			-					<i>Distephanus speculum</i>							-		
<i>Ditylum brightwellii</i>						-*		<i>Melosira lineata</i>	5	-		-					
<i>Ellerbeckia arenaria</i>	-	-						<i>M. varians</i>	3	3	5	1	2	-	-		
<i>Entomoneis alata</i>	-	1	-			-		<i>Meridion circulare</i>	4	-							
<i>Epithemia argus</i>		1	-					<i>M. varians</i>			2						
<i>E. sorex</i>			-					<i>Navicula abbreviata</i>			-						
<i>E. adnata</i>			1	-		-		<i>N. abrupta</i>						-			
<i>Eucampia zodiacus</i>	-							<i>N. acutiuscula</i>						-			
<i>Eunotia arcus</i>		-	-	-	-	-	-	<i>N. arenaria</i>	2	1	1	-	-	-			
<i>E. bilunaris</i>	-	-	-	-	-	1	-	<i>N. brasiliana</i>						-	-		
<i>E. pectinalis</i>						-	-	<i>N. cincta</i>			-						
<i>Fallacia pygmaea</i>				-	-	-		<i>N. crucicula</i>			-						
<i>Fragilaria arcus</i>		-						<i>N. cryptolyra</i>	-	-	-						
<i>F. brevistriata</i>		1						<i>N. cuspidata</i>		2							
<i>F. parasitica</i>			-		-	1	1	<i>N. cuspidata</i> var. <i>ambigua</i>	5	5	3	-	-				
<i>F. tabulata</i> var. <i>ovalis</i>			1					<i>N. dicephala</i>			-						
<i>F. tabulata</i> var. <i>parva</i>	1							<i>N. digito-radiata</i> var. <i>rostrata</i>	1	4	1	-	-	-	-		

Región									Región								
Diatomea								Diatomea									
	Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía		Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía		
<i>F. capucina</i> var. <i>gracilis</i>	5	5	2	2	1	-	1	<i>N. directa</i>	-	-	-	-	-	-			
<i>F. capucina</i> var. <i>lanceolata</i>	1	4	-	3	4	1	1	<i>N. fracta</i>	1	-	-	-	-	-			
<i>F. capucina</i> var. <i>mesolepta</i>	-	2	-	-	-	-	-	<i>N. gregaria</i>	-	-	-	-	-	-			
<i>F. construens</i> var. <i>subsalina</i>	-	-	-	1	-	-	2	<i>N. halophila</i>	3	5	-	1	4	4	-		
<i>F. delicatissima</i>	-	1	-	-	-	-	-	<i>N. halophiloides</i>	-	2	-	-	-	-	-		
<i>F. elliptica</i>	-	-	-	-	-	1	-	<i>N. hamulifera</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>F. fasciculata</i>	5	2	1	4	5	3	5	<i>N. hustediana</i>	1	-	-	-	-	-	-		
<i>F. striatula</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. hyalina</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Gomphonema mexicanum</i>	3	1	3	-	-	-	-	<i>N. incertata</i>	3	-	-	-	-	-	-		
<i>G. augur</i>	-	2	-	-	-	-	-	<i>N. jamalinensis</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. clavatum</i>	5	1	3	-	-	-	-	<i>N. libonensis</i>	1	-	-	-	-	-	-		
<i>G. exiguum</i>	-	-	2	1	-	-	-	<i>N. mutica</i> var. <i>ventricosa</i>	-	1	-	-	-	-	-		
<i>G. olivaceum</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. parva</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. parvulum</i>	4	4	4	-	-	2	-	<i>N. peregrina</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Grammatophora marina</i>	-	-	-	-	1	-	-	<i>N. perminuta</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. angulosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. phyllepta</i>	5	3	4	-	-	-	-		
<i>G. oceanica</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. pygmaea</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. undulata</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. placentula</i>	5	-	-	-	-	-	-		
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. protracta</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>G. attenuatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. pseudotuscula</i>	1	1	-	-	-	-	-		
<i>G. scalproides</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. pupula</i>	-	-	1	-	-	-	-		
<i>G. spencerii</i>	-	2	-	-	-	-	-	<i>N. radiosa</i>	-	-	2	-	-	-	-		
<i>G. nodiferum</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. rhynchocephala</i>	5	1	-	-	-	-	-		
<i>Hantzschia amphioxys</i>	-	1	-	-	-	-	-	<i>N. salinarum</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>H. marina</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. tuscula</i>	1	2	-	-	-	-	-		
<i>H. spectabilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>Neidium densestriatum</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>H. virgata</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. productum</i>	5	-	-	-	-	-	-		
<i>Hemiaulus hauckii</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>Nitzschia acuminata</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. amphibia</i>	-	1	-	-	-	-	-		
<i>Hyalosira tropicalis</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. amplexans</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Licmophora gracilis</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. baltica</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>L. abbreviata</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. brevissima</i>	-	2	-	-	-	-	-		
<i>L. flabellata</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. capitellata</i>	-	-	-	1	-	-	-		
<i>L. gracilis</i> var. <i>anglica</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. closterium</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>L. remulus</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. coarctata</i>	-	-	1	-	-	-	-		
<i>Lithodesmium undulatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. communis</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Lyrella approximatooides</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. compressa</i> var. <i>compressa</i> .	4	-	1	-	-	-	-		
<i>L. lyra</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. compressa</i> var. <i>elong.</i>	-	-	-	-	1	-	-		
<i>Mastogloia smithii</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. constricta</i>	1	-	-	-	-	-	-		
<i>Mastogloia elliptica</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. debilis</i>	5	3	-	-	-	-	-		
<i>M. citrus</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. delicatissima</i>	-	-	1	-	-	-	-		
<i>M. pumila</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>N. dissipata</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>N. distans</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>Pseudoeunotia doliolus</i>	-	-	-	-	-	-	1		
<i>N. filiformis</i> var. <i>conferta</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>Pseudoamphiprora stauroptera</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>N. fonticola</i>	1	-	-	-	-	-	-	<i>Rhabdonema minutum</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>N. frustulum</i> var. <i>frustulum</i>	-	1	2	-	2	2	-	<i>Rhaphoneis crucifera</i>	-	-	-	1	1	-	-		
<i>N. gracilis</i>	-	-	-	-	-	-	4	<i>R. amphiceros</i>	-	-	-	-	-	-	-		
<i>N. hungarica</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>Rhizosolenia</i> sp.1	2	1	-	-	-	-	-		

Región								Región							
Diatomea	Región							Diatomea	Región						
	Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía		Montaña	Valle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía
<i>N. inconspicua</i>	2	-	2	-				<i>R. longiseta</i>	1	-					
<i>N. lanceolata</i>		2	-			-		<i>R. setigera</i>			5	1	5	5	
<i>N. lacunarum</i>		-						<i>R. styliformis</i>			4	5	4	1	
<i>N. levidensis</i>	5	-	-					<i>R. hebetata</i>							-
<i>N. littoralis</i>	-	5	2	-				<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	-	1	-	-	-		
<i>N. littorea</i>			-					<i>Rhopalodia constricta</i>				5			
<i>N. longissima</i>		-	-	-	-	-		<i>R. gibba</i>	-	5	-	-	-	-	-
<i>N. martiana</i>				-	-			<i>R. gibba</i> var. <i>parallela</i>	-	-	4				
<i>N. navicularis</i>		-						<i>R. gibba</i> var. <i>minuta</i>	-						
<i>N. obtusa</i>		2	-	-	-			<i>R. gibberula</i>	-	1	-	-	1	-	-
<i>N. ovalis</i>				-				<i>Scoliopleura tumida</i>			-			-	
<i>N. paleacea</i>	2		-					<i>Skeletonema costatum</i>				2			
<i>N. palea</i>	4	4	5	3	3	1	2	<i>S. subsalsum</i>	5						
<i>N. paleaeformis</i>	1	1	-					<i>Stauroneis anceps</i> var. <i>a.</i>		-	-				
<i>N. palustris</i>	-	-	-					<i>S. dubitabilis</i>	-	2					
<i>N. pusilla</i>				1	2	2	-	<i>S. phoenicenteron</i>			2				
<i>N. recta</i>	-	-	-	2	-	-		<i>S. producta</i>	-	-	-	-			
<i>N. salinarum</i>			-					<i>S. salina</i>						-	-
<i>N. scalaris</i>			-	-	-	-	-	<i>Staurosira construens</i>				-			
<i>N. scalpelliformis</i>	-	-	-	-	-	-	-	<i>Stenoneis inconspicua</i>				-	-		
<i>N. sigma</i>		-	-	-	-	-	-	<i>Stenopterobia delicatissima</i>			-				
<i>N. sigmoidea</i>	1	-	-					<i>Surirella constricta</i>			1	-	-	-	
<i>N. solitaria</i>	1	-	1					<i>S. elegans</i>		-					
<i>N. terrestris</i>	-							<i>S. fastuosa</i>							1
<i>N. umbonata</i>	2							<i>S. minuta</i>		-	-				
<i>N. vermicularis</i>	-							<i>S. ovalis</i>			-				
<i>Odontella rhombus</i>						-	-	<i>S. pinnata</i>	-	-					
<i>Opephora marina</i>						-	-	<i>S. robusta</i>			-				
<i>O. pacifica</i>		1	-					<i>S. spiralis</i>	1						
<i>Paralia sulcata</i>				1				<i>S. striatula</i>	-		-				
<i>Peronia sp.1</i>		-						<i>Synedra crystallina</i>				1	-	-	
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	-		-			-	-	<i>S. pulchella</i> var. <i>lanceolata.</i>			-				
<i>P. interrupta</i>	-	1						<i>S. pulchella</i> v. <i>macrocephala</i>		-					
<i>P. lundii</i>		3	-	-	-	-		<i>S. ulna</i> var. <i>ulna</i>	1	5	-	-	-	-	
<i>P. nodosa</i>			-					<i>S. ulna</i> var. <i>1</i>							
<i>P. similis</i>		1						<i>Tabellaria fasciculata</i>					1	-	
<i>P. viridis</i>	-	-	-					<i>Tetracyclus rupestris</i>	-						
<i>Plagiogramma staurophorum</i>				-	-			<i>Thalassiosira oestrupii</i>							
<i>Plagiotropis pusilla</i>				-	-	-	-	<i>T. pseudonana</i>	-	-	-	2	1	1	
<i>P. validum</i>						3	-	<i>T. nanolineata</i>				-	-	1	1
<i>P. lepidoptera</i>						-		<i>Thalassiothrix mediterranea</i>							
<i>Pleurosigma aestuarii</i>			-					<i>Trachyneis aspera</i>							
<i>P. cuspidatum</i>						-		<i>Trigonium alternans</i>							
<i>P. elongatum</i>					-	-		<i>T. reticulum</i>							
<i>P. nicobaricum</i>						-		<i>Tropidoneis dannfeltii</i>			-				
<i>P. salinarum</i>			-	-	-	-		<i>T. vanheurckii</i>							
<i>P. longum</i>		-						<i>T. vitrea</i> var. <i>scaligera</i>			-				
<i>P. normannii</i>			-					<i>T. vitrea</i> var. <i>vitrea</i>			-	1			

Región							Región								
Diatomea	Montaña	Válle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía	Diatomea	Montaña	Válle	Canal	Canal-Laguna	Laguna	Boca	Bahía
<i>Podocystis spathula</i>						-		<i>Tryblionella calida</i>				-			
<i>Podosira montagnei</i>						-		<i>T. coarctata</i>						-	-
<i>Psammodictyon const.</i>						-		<i>T. granulata</i>				1			
<i>Psammodiscus nitidus</i>						-									

* - = escasa; 1 = 1.00 – 1.99%; 2 = 2.00 – 2.99%; 3 = 3.00 – 3.99%; 4 = 4.00 – 4.99%; 5 = 5.00 – 5.99%

Tabla 2

Género y especie de 19 diatomeas abundantes identificadas en el estuario y la Bahía de Navidad según la zona halobia y su respectiva tolerancia (según Pankow, 1990)

Género, especie	Zona	Tolerancia
1. <i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>angustata</i> (Kütz. 1833) Cleve 1895	mesohalobia	eurihalino
2. <i>Achnanthes lanceolata</i> (Bréb. In Kütz. 1849) Grunow in Cleve et Grunow 1880	polihalobia	mesohalino
3. <i>Achnanthes longipes</i> C.A. Ag. 1830-32	polihalobia	meiohalino
4. <i>Achnanthes minutissima</i> Kütz. 1833	oligohalobia	
5. <i>Amphora coffeaeformis</i> var. <i>acutiuscula</i> (C.A. Ag. 1827) Kütz. 1844	polihalobia	pleiohalino
6. <i>Amphora costata</i> W. Smith 1853	polihalobia	meiohalino
7. <i>Amphora ovalis</i> (Kütz. 1833) Kütz. 1844	oligo-indiferente	mesohalino
8. <i>Chaetoceros radians</i> Schütt 1895 b	oligohalobia	mesohalino
9. <i>Coscinodiscus</i> Ehrenberg 1838	oligohalobia	meio-pleio
10. <i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz. 1844	oligohalobia	pleioeurih.
11. <i>Fragilaria capucina</i> Desmaz. 1825	oligohalobia	meiohalino
12. <i>Fragilaria tabulata</i> (C.A. Ag. 1830-32) Lange-Bertalot 1980b) Syn.: <i>F. fasciculata</i> (C.A. Ag. 1812) Lange-Bertalot 1980 b	mesohalobia	eurihalina
13. <i>Gomphonema parvulum</i> (Kütz. 1844) Kütz. 1849	oligohalobia	pleiohalino
14. <i>Melosira varians</i> C.A. Ag. 1817 nom. cons.	oligohalobia	meso-eurih.
15. <i>Navicula halophila</i> (Grunow in v.H. 1880-85) Cleve 1894	mesohalobia	-
16. <i>Nitzschia gracilis</i> Hanzsch ex Rbh. 1860	oligohalobia	meiohalino
17. <i>Nitzschia palea</i> (Kütz.1844) W. Smith 1856	oligohalobia	meiohalino
18. <i>Rhizosolenia setigera</i> Brightw. 1858	oligohalobia	mesohalino
19. <i>Rhizosolenia styliformis</i> Brightwell 1858	oligohalobia	meiohalino