



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL
NOROESTE, S. C.

Programa de Estudios de Posgrado

**HIDROLOGÍA Y CONDICIONES
AMBIENTALES QUE DETERMINAN LA
PROLIFERACIÓN DE
DINOFLAGELADOS CAUSANTES DE
MAREA ROJA EN LA BAHÍA DE
MAZATLÁN, SIN., MÉXICO.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Acuicultura)

p r e s e n t a

Rosalba Alonso Rodríguez.

La Paz, B. C. S., enero del 2004.

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las horas del día del mes de Diciembre de 2003, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., para revisar la tesis de grado titulada

"HIDROLOGÍA Y CONDICIONES AMBIENTALES QUE DETERMINAN LA PROLIFERACIÓN DE DINOFLAGELADOS CAUSANTES DE MAREA ROJA EN LA BAHIA DE MAZATLÁN, SINALOA, MÉXICO" ,

presentada por la alumna

Rosalba Alonso Rodríguez ,

aspirante al grado de DOCTORA EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES, CON ORIENTACION EN ACUACULTURA.

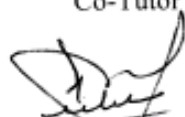
Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA


Dr. José Luis Ochoa
Director de Tesis


Dr. Doménico Voltolina
Co-Tutor

Dr. Enrique Martínez Hernández
Co-Tutor


Dr. Manuel Uribe Alcocer
Co-Tutor

Dr. Carlos Lechuga Devéze
Co-Tutor


Dr. Ricardo A. Scrosati
Co-Tutor

Dra. Thelma Rosa Castellanos Cervantes
Directora de Estudios de Posgrado

CONFORMACIÓN DEL COMITÉ

Dirección:

Dr. José Luis Ochoa Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Comité tutorial, revisor y sinodal:

Dr. José Luis Ochoa Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. Doménico Voltolina Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. Carlos Lechuga Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Devéze

Dr. Ricardo Scrosati University of British Columbia

Dr. Enrique Martínez- Instituto de Geología, UNAM

Hernández

Dr. Manuel Uribe Alcocer Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM

Jurado suplente:

Dr. Salvador Lluch-Cota Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

Dr. Rafael Cervantes Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

Duarte

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a quienes renunciaron a mí durante ya varios años para que yo pudiera cumplir con esta meta:

a mis hijos: María, Víctor Manuel y Rodrigo, ustedes también cumplirán las suyas.

A la persona con quien he compartido mis mejores momentos, también los más difíciles y mis éxitos y porque siempre está allí, junto a mí para apoyarme cuando lo necesito:

a mi compañero de la vida: Germán

A quien siempre me supo guiar depositando su confianza en mí, me enseñó la responsabilidad de la libertad, me inculcó la honradez y sencillez como las mayores virtudes:

a mi mamá

A quienes siempre han tenido la seguridad en que lo lograría, seguridad que a veces a mí me faltaba:

a mis hermanas: a las que ya partieron y a las que comparten sus buenos y malos momentos conmigo, Enriqueta, Silvia, Ofelia, Guadalupe, Alicia, Delfina, Lidia, Socorro y Soledad, este es un logro de todas ustedes.

a mis 40 y tantos...sobrinos y sobrinas

al resto de mi familia, ya sea por elección o por procreación.

A quienes les puedo pedir palabras de aliento cuando las necesito o decirlas cuando ellos las necesitan:

a mis viejas amigas: Clara Ramírez, Natalita Medina, Magaly Cordero, Ana Roque, Mercedes Cordero, Carmene Espinosa, Nury Méndez, Lucy Tron, Ana Rivas, Luz Ma. García, Almudena Molina, María Green, Juana López, Julia Ochoa, Itzia Ruiz, Lorena Quezada, Lyta Rodríguez, Rocío Pacheco, Claudia Nuño, Ma. de los Ángeles Herrera, Carolina Ruiz.

a mis nuevas amigas: Lourdes Morquecho, Cristina Band, Cony Lora, Alejandra Heredia, Rebeca Garay, Judith González, Yolanda Chavarri, Alejandra García, Ivette Arellano, Gisela Medina, Dilian Anguas.

a mis viejos amigos: Jorge Ruelas, Ismael Gárate, Luis Tróccoli, David Uriel, Martín Suárez, Marcelo García, Erick Núñez, Jesús Pérez, Pepe Salgado, Jesús Peiro, Carlos Gómez, Arturo Ruiz, Neil Duncan, Bruno Gómez-Gil, Miguel Betancourt y Armando Rafael.

a mis nuevos amigos: David Serrano, Gilberto Cardoso, Ramón Velázquez.

a mis amigos y a los gurúes: Michel Hendrickx y Federico Páez.

a la banda de México, D. F., Marina, Alberto, Norma, Víctor, Marco, Paty y Marco Antonio por los buenos ratos y su amistad.

Por último a todos los que me tienen aprecio, perdón si su nombre no está en esta lista pero seguramente tienen un lugar en mis pensamientos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los que directa o indirectamente, ya sea por ser parte de su trabajo o no, me ayudaron y contribuyeron a la terminación de mis estudios doctorales y de esta tesis.

A la Unidad Académica Mazatlán, ICMYL, UNAM por albergarme y permitir desarrollarme como estudiante y hacerme sentir como en casa, a su personal académico y administrativo, trabajadores y estudiantes que de una u otra forma interactuaron conmigo y me dieron un ambiente amable para dedicarme a mis estudios.

Al CIBNOR de La Paz por permitirme desafiar la escolarización del programa de postgrado ya que de otra manera hubiera sido imposible finalizar este reto.

Al ITMAR Mazatlán por brindar su hospitalidad y facilidades para el uso del salinómetro de inducción en el cual analicé las muestras de esta tesis.

Agradecimiento especial merece mi director de tesis, el Dr. José Luis Ochoa que sin conocerme me dio su voto de confianza en la consecución de este estudio.

A mi comité tutorial por su apoyo y atenciones que tuvieron conmigo, así como por sus aportaciones, sugerencias y revisiones y también las correcciones que tuvieron a bien mejorar el manuscrito de esta tesis. Por acompañarme en el desarrollo de mis estudios y mis actividades, agradezco su buena disposición.

Al Dr. Doménico Voltolina por su especial dedicación de su preciado tiempo para asesorarme en el desarrollo de mis estudios de maestría y doctorado, incluyendo esta tesis y publicaciones, por todo su apoyo y atenciones, muchas gracias.

Al Dr. Ricardo Scrosati por estar siempre dispuesto a escucharme y por sus consejos para dar lo mejor de mí, los cuales he tratado de seguir en la medida de mis posibilidades.

A quien considero mi asesor y ejemplo desde hace casi una década, el Dr. Federico Páez Osuna por su apoyo y estímulo incondicional, como profesor, jefe de estación, investigador y responsable del laboratorio de Geoquímica Ambiental. Por brindarme su espacio y todo lo que pude haber necesitado dentro y fuera de la UA-Mazatlán para superarme y realizar no solo mis estudios de maestría y doctorales, sino por ver en mi potencial académico para hacer actividades, proyectos y cumplir metas que yo misma no me imaginaba que podría alcanzar.

Al Dr. Michel E. Hendrickx Reners por su apoyo desde siempre, como jefe de estación y como amigo, también por apoyarme con parte del equipo del Laboratorio de Invertebrados Bentónicos I para el análisis de muestras como el histórico microscopio de principios de siglo heredado de su colega zoólogo, el cual es de los primeros microscopios con contraste de fases y por algunos instrumentos más que me facilitó y que sin ellos no hubiera sido posible terminar esta tesis.

Al Dr. Samuel Gómez Noguera por recibirme en el Laboratorio de Invertebrados Bentónicos II como agregado y colaborador y por darme todas las facilidades para trabajar las muestras sedimentológicas y de fitoplancton con libertad y espacio, siempre con la mejor disposición de ayudarme. Por su apoyo en la toma de fotografías al microscopio, y el tiempo invertido en ello, gracias.

A la Dra. Nuria Méndez Ubach por facilitarme la información generada en sus estudios de sedimentos de la bahía de Mazatlán. También por aceptarme como agregado en el laboratorio de Invertebrados Bentónicos II y apoyarme siempre a seguir adelante.

Al Dr. José Luis Carballo Cenizo por su apoyo y disposición tanto en equipo como en infraestructura e información generada en el Laboratorio de Ecología del Bentos.

Al Ing. Alberto Castro del Río por brindarme apoyo y por compartir su espacio cuando más lo necesité y por acompañarme y ayudarme en el trabajo técnico de los muestreos quincenales para la obtención de muestras sedimentológicas para esta tesis.

A la Señora María Clara Ramírez Jáuregui por sus servicios bibliotecarios excepcionales, por su disposición, persistencia y capacidad de búsqueda de referencias y artículos difíciles, antiguos e imposibles de conseguir siempre con su alto sentido de la obligación y su dedicación al servicio. Al LSCA Pedro Allende por su servicio emergente en Biblioteca.

Al Mat. Germán Ramírez Reséndiz por su apoyo mucho más allá del deber en la asesoría de las matemáticas, estadística, diseño de figuras, edición de texto, diseño de presentaciones, elaboración de pósteres, formato de artículos, transferencia de información a través de la WEB, manejo de mapas, elaboración de dibujos, diseño de láminas y tratamiento de imágenes satelitales y no terminaría de enumerar ni mencionar el apoyo recibido por su parte tanto para el desarrollo de mis estudios doctorales como de esta tesis y publicaciones además como guía de mi propio desarrollo personal y académico. Al LSCA Carlos Suárez por su servicio emergente en el Centro de Cómputo.

Al M. en C. David Serrano Hernández por compartir conmigo sus conocimientos de oceanografía física, por asesorarme en el uso de paquetería y programas relativos a series de tiempo, por estar siempre dispuesto para aclarar mis dudas y poner su conocimiento de una manera sencilla y práctica para su aplicación en esta tesis y publicaciones generadas.

Al Dr. Salvador Lluch por su asesoría en programas y aplicación del índice de surgencias costeras tanto en la tesis como en las publicaciones generadas de la misma.

A la Sra. Margarita Cordero Ruiz por su apoyo en el trámite de documentos de maestría y aún para las gestiones requeridas durante el doctorado y su terminación, por sus excelentes servicios, gracias.

A la Sra. Natalia G. Medina Barba por su excelente y eficiente servicio secretarial, transferencia de documentos por medios computacionales, correspondencia por

paquetería y electrónica y su disposición para ayudarme siempre y oportunamente en lo que está en sus manos y en ocasiones hasta lo que no está.

A la Sra. Maria Elena Estrella, secretaria de la dirección del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, C.U. por extender sus servicios para acercarme a mis asesores en México.

Al programa de postgrado del CIBNOR de La Paz, a su ex Director, Dr. Sergio Hernández Vázquez y a la actual Directora, la Dra. Thelma Castellanos Cervantes por su ayuda y autorización de gestiones, por su comprensión en las dificultades en el desarrollo de este trabajo.

A la Lic. Osvelia Ibarra y a la Lic. Leticia González por su excelente servicio de rescate y apoyo, gracias a su buena disposición y paciencia en las gestiones escolares y de beca en el CIBNOR.

A Ma. Esther Ojeda Castro por su eficiente y oportuno servicio de transferencia de bibliografía vía electrónica.

Al CRIP Mazatlán por facilitar los datos de temperatura del agua a través de su programa de langosta-ostión-jaiba por conducto del M. en C. Israel Salazar Navarro y Valente Macías S., así como las facilidades prestadas por su director, M. en C. Víctor Ildefonso González Gallardo y la subdirectora M. en C. Evlin Ramírez Félix.

Al Biól. Pesq. Héctor Saúl Arceo Millán y al Ing. Óscar Ibarra Moreno personal del Observatorio Meteorológico de Mazatlán; CNA por su amplia disposición para brindarme toda la información meteorológica disponible, la mayoría incluida en esta tesis, por su confianza y cooperación, gracias.

A los estudiantes, amigos y colegas que me acompañaron en alguno o algunos de los muestreos, de esta tesis, ya sea voluntaria o incidentalmente, les agradezco su ayuda, M. en C. Efraín Barranco, Dr. José Salgado Barragán, M. en C. Manuel Ayón Parente y a quienes omití sin intención.

A Don José Antonio Valdéz “Nano”, para mí el “Dr. Nano” quien es la única persona capaz de predecir una marea roja en la bahía de Mazatlán mediante su conocimiento empírico, su capacidad de observación y su experiencia de toda la vida. Nano quien es mi lancharo de cabecera, gracias por su ayuda en los muestreos realizados cada tercer día para esta tesis, por su formalidad, experiencia, disposición y ayuda en el trabajo de campo y la transmisión de su valioso conocimiento de las mareas rojas, hidrología, hidrodinámica y meteorología y por cuidarme de los peligros que representa navegar en días de mal tiempo. Por su ejemplo de respeto a la vida marina y al mar. A su hijo, José Antonio Valdéz “Toño” por su excelente relevo en las salidas a la bahía. Sin ellos no habría sido posible hacer un trabajo de campo metódico.

Al M. en C. Evaristo Méndez Gómez y la Biól. Pesq. Ana María Rivas Montaña por darme las facilidades necesarias para utilizar el salinómetro de inducción en las instalaciones del ITMAR, Laboratorio Ambiental.

Al investigador Arturo Sierra Beltrán por su apoyo incondicional, su disposición para ayudarme y darme ánimo en momentos difíciles y por los instrumentos y material que me facilitó y que me permitieron hacer más sencillo mi trabajo de medición y análisis de muestras de esta tesis.

Al M. en C. Ismael Gárate-Lizárraga por compartir su tiempo, literatura y conocimientos conmigo, por apoyarme y por ser mi colega y amigo, con sus observaciones contribuyó a madurar mis conocimientos y me impulsó y motivó a terminar este trabajo.

A la M. en C. Lourdes Morquecho Escamilla por su asesoría en la obtención de dinoquistes y por compartir su experiencia y literatura conmigo.

A la Dra. Cristina Band Schmidt por compartir literatura conmigo y por apoyarme y animarme cuando lo necesité.

Al Dr. Yuri Okolodkov y al Dr. Vladimir Labsky por su desinteresada ayuda en la identificación del material biogénico.

Al personal de cómputo del CIBNOR, Horacio Gómez y Manuel Melero por su valiosa ayuda en apoyo logístico para las presentaciones y su ayuda en el centro de cómputo para la impresión de la tesis.

A la Sra. Mercedes Cordero Ruiz por su apoyo, estímulo, sutil presión y amistad durante mis estudios de doctorado.

A la Dra. Ana Margarida Trigo de Sousa Roque y al Dr. Neil John Duncan Main por su apoyo que me permitió animarme en momentos difíciles e impulsarme gracias a su amistad.

ÍNDICE

Resumen:	2
Abstract:.....	3
I. INTRODUCCIÓN	4
II. DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	13
Generalidades	13
Bahía de Mazatlán.....	13
Estero de Urías.....	16
Productividad, nutrientes y fitoplancton.....	18
Mareas rojas.....	21
Sedimentos	26
III. HIPÓTESIS.....	28
IV. OBJETIVOS	29
Objetivo General	29
Objetivos Particulares	29
V. METODOLOGÍA.....	31
Selección de las estaciones de colecta y obtención de muestras.....	31
Preparación de las muestras de sedimento para su análisis	35
Obtención de parámetros físicos.....	36
Procesamiento de datos.....	36
Análisis de correspondencia canónico	39
Análisis de periodicidad.....	39
Ventana Óptima Ambiental	39
VI. RESULTADOS	40

Estructura de la columna de agua.....	40
Temperatura	40
Salinidad	42
Densidad del agua de mar.....	43
Índice de estabilidad estacional de la columna de agua.....	44
Análisis de la estabilidad de la columna de agua por estación.....	46
Análisis de la estabilidad de la columna de agua por mes	46
Análisis del viento dominante diario	47
Índice de surgencia diario	48
Fitoplancton.....	50
Variaciones cuantitativas	50
Composición por grupos taxonómicos.....	51
Abundancia por géneros.....	51
Diversidad genérica	53
Composición específica	54
Presencia de marea roja en la bahía.....	54
Días de mareas rojas observados durante el período de estudio.....	54
Especies presentes durante los eventos de marea roja	56
Cobertura de la superficie por marea roja.	57
Sucesiones	58
Sucesión de especies	60
Material biogénico y dinoquistes en los sedimentos de la bahía de Mazatlán	62
Abundancia, composición y distribución del material biogénico.	62
Abundancia, composición y distribución de los dinoquistes.	66

Material biogénico y dinoquistes en el estero de Urías	70
Relaciones entre grupos fitoplanctónicos y variables ambientales.....	74
Análisis de correspondencia canónica entre especies y variables ambientales en la bahía de Mazatlán	74
Periodicidad de la temperatura superficial y del fondo	79
Periodicidad del índice de surgencia diario	80
Ventana Óptima Ambiental	81
VII. Discusión	83
VIII. Conclusiones	96
IX. Referencias:	100
X. Anexos:	117
Artículo Número 1	117
Artículo Número 2	117
Artículo Número 3	117
Iconografía del Material Biogénico, versión electrónica CD	117

Resumen:

El presente estudio se llevó a cabo con el propósito de conocer algunas de las condiciones hidrológicas y ambientales presentes durante la formación, el desarrollo y la terminación de eventos de “marea roja” en la temporada invierno-primavera en la bahía de Mazatlán, ello con el interés de explicar su origen. Los cambios de temperatura y salinidad a mediados de marzo del 2000, provocaron el aumento de la densidad del agua ($\sigma-t$) de manera significativa, coincidiendo con el inicio de la temporada de “mareas rojas” en el período de estudio. Las condiciones hidrológicas, durante el desarrollo de estos eventos, estuvieron enmarcadas por condiciones de alta estratificación de la columna de agua, lo cual fue corroborado por la aplicación de varios índices que indicaron la estabilidad del ecosistema durante este estudio. Los vientos dominantes fueron frecuentemente mayores a 7 nudos, provenientes del NO a principios de la temporada de estudio y del ONO y OSO al final, coincidiendo con la temporada de “mareas rojas”. Se observaron 50 días de “marea roja” durante el período de estudio, las cuales estuvieron dominadas por dinoflagelados tecados como *Prorocentrum balticum*, *Prorocentrum mexicanum* y *Ceratium furca*. La abundancia relativa de estos organismos representó el 93% del total de la comunidad fitoplanctónica.

Por otro lado, se encontró una menor abundancia de material biogénico en la bahía de Mazatlán en comparación con otros sistemas productores de “mareas rojas”. La profundidad, al parecer, fue el factor determinante en la distribución del material biogénico en dicha zona, seguida de la distancia a la costa. El estero de Urías por su parte, aunque mostró mayor abundancia de material biogénico y de dinoquistes que la bahía, no parece actuar como un semillero para el suministro de formas resistentes de los dinoflagelados que dominaron las “mareas rojas” en la bahía, debido a que los organismos que las formaron no producen formas resistentes. El grupo de dinoquistes más representativo en la bahía fue *Protoperdinium*, un género heterótrofo y depredador de fitoplancton característico de zonas de alta producción y de alto contenido de nutrientes.

La presencia de fitoplancton y dinoquistes generadores de las “mareas rojas” en el área de estudio se relaciona con la velocidad y dirección del viento dominante así como con el gradiente de temperatura y densidad. De ello se infiere que las “mareas rojas” analizadas no fueron autóctonas y que el inóculo provino de masas de agua transportadas por corrientes que penetraron en la bahía. En el mismo tenor, se concluye en que los mecanismos de sostén de estas proliferaciones se relacionan con condiciones hidrológicas locales, lo cual se discute en este estudio.

Abstract:

This study was carried out aimed at establishing the hydrologic and environmental conditions that promote the development, and decay, of “red tide” events in Bahía de Mazatlán in the winter-spring season. The changes in temperature and salinity in middle of March 2000, favored an increase in water density ($\sigma-t$) that caused the stratification of water column, which was confirmed by the application of several indexes that showed the high stability of the ecosystem. These changes marked also the beginning of the “red tide” season, which also coincided with strong NW winds, later replaced by WNW and WSW, blowing frequently at more than 7 knots. In total, 50 days of sea water discolorations were observed during the “red tide” season. The involved species were the thecate dinoflagellates, *Prorocentrum balticum*, *Prorocentrum mexicanum* and *Ceratium furca*. The relative abundance of “red tide” forming species represents 93% of the total phytoplankton community.

Low abundance of biogenic material, compared with other coastal systems was found in Mazatlan's bay. The depth more than coastal distance, appeared to be a determinant factor in its distribution. The Urías estuary, on the other hand, showed a higher abundance of biogenic material but it does not act as a dinocyst supply or seeding for the “red tide” season. This conclusion is based in the fact that the organisms observed during “red tide” season do not present resistant forms. The most representative dinocyst genus at Bahía de Mazatlán was *Protoperdinium*, which is composed of heterotrophic species that are important phytoplankton predators; they are abundant in high productive and nutrient-rich zones.

The phytoplankton and dinocysts abundance in this study area was related to the velocity and direction of prevailing winds, as well as to temperature and density gradient in the water body. From this study it is concluded that “red tides” at Mazatlan Bay are not autochthonous and that the corresponding inocula come from water masses transported through marine currents to the bay. The mechanisms for maintaining such proliferations are connected with local hydrologic conditions, which are discussed in this thesis.

I. INTRODUCCIÓN

En un ciclo anual, cambia la dominancia en los componentes del fitoplancton marino. En mares subtropicales las diatomeas tienen su principal florecimiento en primavera y en otoño, mientras que los dinoflagelados presentan su máximo desarrollo en el verano y parte del otoño, cuando pueden ser el grupo numéricamente más importante. Durante esta sucesión existen también cambios en la composición taxonómica de las comunidades fitoplanctónicas, además de fluctuaciones en la abundancia total. Estas sucesiones en las comunidades naturales de fitoplancton reflejan la capacidad que tienen las especies de responder a cambios estacionales en la disponibilidad de luz, nutrientes y en el patrón de turbulencia.

En el transcurso de un año se observan también períodos de altas concentraciones celulares, que se definen como proliferaciones súbitas (“florecimientos”) y que son frecuentemente producidos por un número reducido de especies. En particular, cuando se forman en la superficie intensas manchas de color rojo o rojizo debido a la presencia y dominancia de dinoflagelados, se habla de eventos de marea roja (Steele, 1976).

En la literatura actual, la expresión “marea roja” se refiere solamente a eventos con presencia de “manchas” visibles, los que en lengua inglesa reciben el nombre de “red tides” y que, por acuerdo de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental COI, han recibido la designación de “Harmful Algal Blooms” (HABs).

En castellano se ha utilizado también el término de “florecimientos algales nocivos” (FAN), para indicar la reproducción excepcional de organismos fotosintéticos, mixótrofos o heterótrofos susceptibles de afectar a otros organismos (incluyendo al hombre) que utilizan el ambiente acuático (Smayda, 1997a). No obstante esta expresión ha sido cuestionada y en su lugar se recomendó la de “Proliferaciones Algales Nocivas” (PAN) por ser más apropiado desde el punto de vista descriptivo (com. pers. Ochoa).

Las PAN muestran una gran variedad de efectos en condiciones de mayor o menor abundancia y biomasa, pueden colorear o no el agua, y ser o no ser tóxicos para otros organismos o para el humano (Ochoa, 2003a). Estos eventos son producidos en su mayoría por dinoflagelados, aunque pueden también ser causados por diatomeas, prymnesiofíceas, rafidofíceas y macroalgas (Smayda, 1997b).

En este trabajo se utiliza la expresión “marea roja” para describir la proliferación de dinoflagelados que colorean el agua especificando, de ser necesario, cuando se refiere a otro tipo de organismos.

Estudios realizados por otros autores han encontrado que los factores ambientales como temperatura, salinidad, intensidad luminosa, cambios en la proporción de nutrientes, procesos de mezcla y de estratificación de la columna de agua, afectan el ciclo estacional y la distribución vertical de dinoflagelados móviles y determinan su ciclo de vida. En cambio, en las condiciones que permiten el crecimiento de las poblaciones de dinoflagelados, se induce la formación de quistes que germinan cuando las condiciones lo permiten. Entre los factores que afectan este ciclo se han descrito: la elevación de la

temperatura, la disminución de la salinidad y el aumento de la intensidad luminosa (Anderson, 1998).

Un gran número de especies de fitoplancton marino forma quistes o esporas resistentes en su ciclo de vida. La germinación de estas formas de reposo puede producir el inóculo para la inducción de “mareas rojas”, cuyo desarrollo está controlado por una combinación de procesos hidrodinámicos que actúan en diferentes escalas de tiempo y de espacio. Los quistes de dinoflagelados marinos son importantes porque permiten la supervivencia de la especie en condiciones ambientales no favorables, además de que promueven la ampliación de su distribución geográfica al ser transportados a otras zonas por medio de corrientes, descargas del agua de lastre de los barcos, o por su asociación con especies migratorias o con especies exóticas que se utilizan para cultivo (Hallegraeff, 1993; Hamer *et al.*, 2000). Otra ventaja evolutiva es la recombinación genética, ya que pueden ser formados por reproducción sexual (Wall, 1971). Se conocen más de 80 especies de dinoflagelados marinos vivientes que forman quistes resistentes (Sonneman, 1997); de éstas, más de 30 se consideran como especies tóxicas y entre ellas se encuentran miembros de las familias gymnodiniales, gonyaulacales y peridinales (Matsouka *et al.*, 1989). Existen dos tipos de quistes: los temporales y los resistentes o hipnocigotos. Los temporales se producen asexualmente, en condiciones de temperatura y salinidad desfavorables y germinan cuando las condiciones ambientales son adecuadas y liberan formas vegetativas iguales a la célula madre, mediante el rompimiento de la teca del quiste, como se ha observado en estudios *in vitro* en laboratorio y ocasionalmente *in vivo*. Se sabe que todas las especies

fitoplanctónicas son capaces de desarrollar este tipo de quistes. En cambio, los quistes resistentes tienen una pared celular gruesa, formada de material calcáreo u orgánico (esporopolenina) y se pueden observar en el plancton al final de una proliferación, cuando las condiciones adversas estimulan la reproducción sexual. Estos quistes se producen por la fusión sexual de gametos que da origen a un planocigoto o cigoto nadador, que se mantiene suspendido en el plancton durante algunos días y después cae al sedimento como quiste inmóvil, llamado hipnocigoto, viable de 5 a 10 años o más. Se han reportado quistes viables por más de 50 años en Suiza (McQuoid *et al.*, 2002).

La mayoría de los quistes resistentes necesitan un período de maduración fisiológica, cuya duración depende de cada especie. A través de experimentos en laboratorio, se sabe que los quistes de *Gymnodinium catenatum* Graham tienen un período de maduración de dos semanas, por lo cual pueden formar proliferaciones múltiples en una sola temporada anual. En cambio, los quistes de *Pyrodinium bahamense* Plate requieren de un período de 2 a 3 meses y *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich de por lo menos 21 días para madurar, antes de poder germinar (Binder y Anderson, 1987; Hallegraeff y Fraga, 1998).

Se ha observado que la temperatura, la intensidad luminosa, así como el oxígeno disuelto, son determinantes para la germinación de quistes de dinoflagelados en el sedimento. La temperatura óptima para la germinación de la mayoría de los quistes está entre 20 y 25 °C, a baja intensidad luminosa, aunque en condiciones anaeróbicas, en el laboratorio, los quistes de algunos de los dinoflagelados estudiados no germinan (Anderson *et al.*, 1987; Montani *et al.*, 1995). Se ha observado que la germinación depende primariamente del ciclo

circadiano de cada especie, y también de la temperatura a la cual se almacenan los quistes (Anderson *et al.*, 1995).

Algunos autores argumentan que la acumulación de quistes de dinoflagelados en diversos ecosistemas marinos depende principalmente de la topografía del área y de su hidrodinámica, que juegan un papel importante en el transporte del material particulado. Se acumulan principalmente en cuencas en el mar abierto, y en zonas protegidas como esteros y bahías, en zonas costeras (Dale, 1976). Su abundancia se ha asociado con sedimentos de grano fino (Taylor, 1987), aunque otros autores no han estimado relevante esta asociación (Cembella *et al.*, 1988; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991).

La mayoría de los quistes de dinoflagelados recientes son esféricos, elipsoides o peridinoideos, con o sin ornamentación de espinas y miden entre 20 y 80 micrómetros (Matsouka *et al.*, 1989). Los quistes de dinoflagelados son utilizados como bioindicadores de los cambios ambientales ocurridos en largos períodos, del mesozoico a la fecha o en períodos menores como los provocados por los cambios climáticos o por la contaminación humana (Saetre *et al.*, 1977; Dale, 1996; Thorsen y Dale, 1997. Thorsen y Dale (1998) estudiaron los efectos del clima sobre la abundancia de quistes de *Gymnodinium catenatum*, durante los últimos 2000 años. Un aumento de la abundancia de estos quistes en los años 900, 1200 y 1400 D.C. corresponde a períodos de calentamiento, mientras que su disminución en los años 1600 D.C. corresponde al clímax de la edad de la pequeña glaciación.

La información sobre la distribución y abundancia de quistes de dinoflagelados ha sido útil en la reconstrucción de los patrones de circulación oceánica en altas

latitudes, ya que su presencia en el sedimento oceánico da testimonio del paso de las corrientes en las cuales se originaron. En regiones tropicales, las complejas interacciones entre el océano y los patrones de circulación atmosférica, así como los estrechos intervalos de variabilidad estacional y anual de la temperatura, hacen más difícil relacionar los datos paleoecológicos y sus efectos sobre el clima global en estas latitudes (Zonneveld, 1997).

La producción de quistes está muy generalizada entre los organismos formadores de “marea roja” cuyo transporte depende básicamente del ambiente físico (Dale, 1983). Cembella *et al.* (1988) investigaron la distribución espacial de los quistes de dinoflagelados, con el fin de determinar si el origen de una marea roja dominada por dinoflagelados se debe a la proliferación de formas vegetativas o a la germinación de quistes presentes en el lugar, lo que permite además conocer los patrones de circulación que los hacen disponibles en dichos eventos. La relación de los dinoquistes con las “mareas rojas” ha sido documentada por Steidinger (1975), Wall (1975) y por Anderson y Wall (1978).

Los organismos planctónicos se encuentran en agregaciones, y su distribución en parches ha sido detectada en una gran variedad de escalas de tiempo y espacio. Se ha encontrado que los patrones de distribución del plancton observados en los océanos tienen relación estrecha con los procesos físicos de convergencia, estratificación y estabilidad de la columna de agua. La estabilidad se considera como el potencial que tiene una columna de agua para mezclarse, una columna es más estable en cuanto mayor sea el gradiente vertical de densidad (Viner, 1985). Ésta puede ser modificada debido a procesos de mezcla, cuyos efectos sobre la distribución del plancton se ubican en una escala

de espacio y tiempo que abarcan de 1 a 100 km, y de pocos días hasta varios meses de duración (Haury *et al.*, 1977).

La presencia de giros, frentes oceánicos, celdas de convección o cualquier otro proceso de convergencia y mezcla permiten el enriquecimiento del agua por nutrientes, y por ende la concentración y la permanencia del fitoplancton. Ello hace posible que exista disponibilidad del alimento necesario para la supervivencia y el mantenimiento de larvas de varias pesquerías pelágicas (Cury y Roy, 1989). La magnitud de la producción primaria y la permanencia de los parches de fitoplancton determinará la productividad pesquera de la zona de acuerdo al concepto de tríada (enriquecimiento, concentración y retención), en zonas donde hay procesos de convergencia, característicos de alta producción primaria (Bakun, 1996).

Este mismo concepto es posible aplicarlo al estudio de las proliferaciones de fitoplancton, independientemente de cual sea la especie dominante. Su distribución está regida principalmente por procesos de concentración y dispersión, amén de otros procesos intra e interespecíficos como la depredación, la simbiosis, etc. Por ejemplo, a partir de la observación de un evento de marea roja del dinoflagelado *Noctiluca scintillans*, en la bahía de Mazatlán se observó la depredación de *G. catenatum* y se consideró a este mecanismo como uno de los posible motivos de la disminución de la población de *G. catenatum* en el medio natural (Artículo núm. 2).

En la zona costera ocurren básicamente tres eventos: inicio de la estratificación, rompimiento de la estratificación por tormentas o algún otro factor que propicie cambios en la estructura vertical, y finalmente períodos de inestabilidad

(Yentsch, 1986). La formación de algunas mareas rojas dominadas por dinoflagelados se asocia a sistemas de surgencias costeras. Durante estos eventos, la mayoría de los procesos hidrodinámicos son inducidos por el viento como fuerza primaria. Si se presentan estas condiciones regularmente y se cuantifican en un marco probabilístico, es posible predecir las mareas rojas en condiciones de surgencias costeras. De estos análisis se desprende que los eventos de proliferación de dinoflagelados gonyaulacoides en algunos cuerpos de agua costeros ocurren en condiciones de disminución de turbulencia, cuando el agua es rica en nutrientes y estable.

Otros eventos se presentan en zonas de frentes de marea donde hay mezcla en el fondo y flujo advectivo, provocando la resuspensión e introducción de quistes bentónicos en la capa superficial. Además, la estratificación del verano favorece el crecimiento de las etapas planctónicas móviles, ya que las adaptaciones que poseen los dinoflagelados les permiten evitar el hundimiento natural debido a la gravedad gracias al movimiento conferido por sus flagelos; inversamente, las diatomeas son más exitosas en condiciones de inestabilidad, cuando sus adaptaciones les permiten retardar el hundimiento (Yentsch *et al.*, 1986).

Smayda (2000) clasificó 10 tipos de hábitats que se relacionan con determinados géneros de dinoflagelados que producen proliferaciones en Sudáfrica y encontró que éstas se presentan en un amplio intervalo de combinaciones de concentración de nutrientes, mezcla y advección, de acuerdo a un gradiente costa-océano, disminución de nutrientes, reducción de mezcla y aumento de profundidad. Estos tipos de condiciones ambientales se relacionan con dinoflagelados que cumplen con las condiciones que son impuestas en los

diferentes hábitats. Así, se conocen proliferaciones en ambientes de surgencias, en sistemas enriquecidos por nutrientes y en sistemas que no son caracterizados por surgencias, los cuales pueden compartir las mismas clases de dinoflagelados. Las “mareas rojas” que se presentan como resultado de crecimiento local, requieren de una entrada de energía para realizar la fotosíntesis. La alta irradiación solar provoca alta estratificación y ésta a su vez provoca limitación por nutrientes, la cual puede ser contrarrestada mediante la adquisición de energía en zonas de descargas antropogénicas para mantener la proliferación durante algún tiempo. En bahías pequeñas como la bahía de Mazatlán, se presentan durante períodos intermitentes de relajación de surgencias y/o en zonas frontales.

Las características que describen los eventos de “mareas rojas” en la zona costera son variadas y el estado de conocimiento tanto de la fisiología de las especies y sus interacciones con el ambiente y con otras especies aún no es suficiente para explicar en su totalidad las causas que determinan la presencia o declinación de un evento de este tipo, que pueden ser producidos por múltiples factores. Es posible un acercamiento a este conocimiento mediante la búsqueda de factores en el ambiente físico del área de estudio, los cuales puedan reflejar los cambios o las condiciones que están presentes durante la época de “mareas rojas”.

II. DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Generalidades

La bahía de Mazatlán se encuentra en la zona de la boca del Golfo de California. Es una zona muy dinámica y su circulación está gobernada por procesos oceanográficos que suceden en la boca del golfo de California. Las características hidrográficas de esta zona se deben a la confluencia de varias masas de agua que generan complejas estructuras termohalinas como son frentes, giros e intrusiones debido a la confluencia de al menos tres corrientes, la corriente de California, la del Pacífico y la del propio golfo de California (Roden, 1962; Santamaría y Álvarez-Borrego, 1994; Lavin *et al.*, 1977).

La bahía guarda una estrecha relación con el estero de Urías debido a su geomorfología e hidrodinámica y a que ambos están interconectados por una boca, hay intercambio de material, afectando la composición de plancton y de material biogénico en los sedimentos. Por esta razón y con el propósito de describir el área de estudio, se analizarán algunos aspectos hidrológicos y sedimentarios de estos dos sistemas.

Bahía de Mazatlán

La bahía de Mazatlán se encuentra entre $106^{\circ} 29' 24''$ y $106^{\circ} 23' 36''$ O y los paralelos $23^{\circ} 08' 48''$ y $23^{\circ} 16' 00''$ N, a 38 km al sur del Trópico de Cáncer (Figura 1). Este cuerpo de agua es considerado como una bahía subtropical, abierta, somera y eutrófica (Mee *et al.*, 1984; Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000; Tabla 1). El clima es cálido subhúmedo (García, 1973), con lluvias en verano, las

mayores precipitaciones son en septiembre y el promedio anual es de 812 mm (INEGI, 1994). La zona es afectada por tormentas tropicales y huracanes que se forman en el Pacífico E, en los meses de julio a octubre.

La temperatura media anual del aire es de 24 °C, los meses más calurosos son julio, agosto y septiembre con 28 °C, en promedio. La humedad relativa media anual es de 76%, en septiembre alcanza su máximo de 79%. El promedio anual de la presión atmosférica es de 1004.7 mb.

Los vientos predominantes durante el año son del oeste y noroeste con una velocidad promedio de 2.6 a 3.4 m s⁻¹. Dicha velocidad es menor a sistema de brisas (5-7 m s⁻¹) (Roden, 1962). Durante el invierno prevalecen los vientos del oeste y en el verano soplan vientos fuertes y de corta duración del S y SE. Los vientos con una componente paralela a la costa son los que producen las surgencias costeras cuya velocidad de ascenso es de 3.2 m día⁻¹ (Roden, 1962). Durante la mayor parte del año las corrientes costeras en la bahía de Mazatlán son principalmente hacia el norte (Peraza-Vizcarra, 1985). Las olas más frecuentes provienen del NO, N, O, y SO, las de mayor energía son del SO y del O provocadas por tormentas tropicales. Debido a la variabilidad del oleaje, en dirección y magnitud, el transporte litoral que generan también es variable (Montaño-Ley, 1985). Mazatlán de acuerdo a su oleaje, es una zona de dispersión de energía (Montaño-Ley y Aldeco-Ramírez, 1986). La corriente litoral tiene potencia para producir transporte litoral, el transporte dominante tiene dirección noroeste, una parte en dirección a la playa y una más en dirección al mar abierto (Montaño-Ley, 1985). La temperatura media anual de la superficie del mar es de 25.4 °C, la salinidad media anual es de 34.9 ‰. El tipo de marea

en esta zona es mixta semidiurna, con una altura máxima de 1.46 m (Secretaría de Marina, 1974).

La ciudad de Mazatlán cuenta con 380,509 habitantes, conduce sus aguas negras a una planta de tratamiento situada en la porción sur de la bahía (Figura 1). Esta planta de tratamiento inició sus actividades en 1985 y cuenta con una capacidad de 828 l s^{-1} , aplica tratamiento primario mecanizado (Anuario Estadístico de Pesca, 2002). En la operación regular, se descargan 1500 l s^{-1} de aguas negras a través de un emisor submarino con una longitud de 800 m a una profundidad menor a 20 m (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000; Figura 1). Solamente el 60% del agua recibe tratamiento primario, el resto se descarga directamente y la mayor parte es de tipo doméstico (Capella-Vizcaíno, 1994).

Tabla 1 Dimensiones de la bahía de Mazatlán (estimadas a partir de Orozco-Romo, 1980).

Parámetro	Dimensión
Longitud (desde Isla de Pájaros a Cerro del Crestón)	17 km
Anchura máxima (hasta la isobata de 18 m)	5.5 km
Área (hasta isobata de 18 m)	35 km^2
Profundidad media	12 m
Volumen total	0.43 km^3

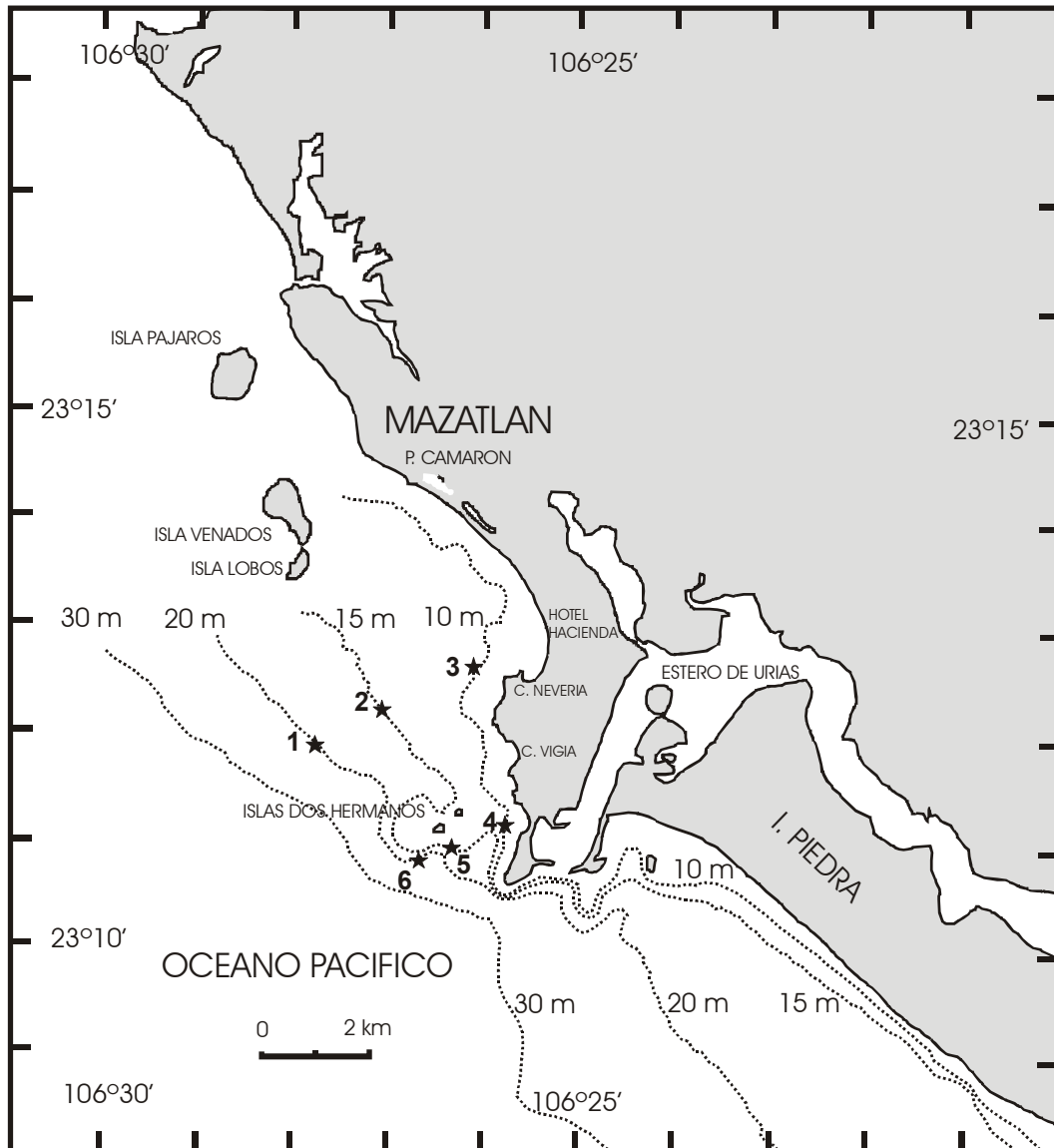


Figura 1. Área de estudio y estaciones de colecta de muestras.

Estero de Uriás

El estero de Uriás se localiza en la porción sur del Estado de Sinaloa, entre los meridianos $106^{\circ} 20' 00''$ y $106^{\circ} 25' 35''$ O y los paralelos $23^{\circ} 10' 36''$ y $23^{\circ} 13' 00''$ N, es un cuerpo costero de forma típicamente lagunar (Figura 2, Tabla 2).

Es una laguna costera con barrera de plataforma interna paralela a la costa. Puede considerarse como un estuario negativo ya que la pérdida de agua por evaporación excede a la entrada de agua dulce por precipitación y escurrimientos en época de lluvias. La salinidad varía de 32.9 a 38.7 ‰ con una media de 34 ‰. No se observa gran diferencia entre la salinidad de fondo y de superficie (Ruelas-Inzunza, 1998). El tiempo de renovación del agua es corto, de entre 5.5 y 6.5 días; sin embargo, en áreas tranquilas se acumula una cantidad apreciable de material sólido y contaminantes (Páez-Osuna *et al.*, 1990). El sedimento es fangoso, limo-arenoso y arenoso en el canal de navegación. De acuerdo a Méndez (2002) los sedimentos en el estero de Urías corresponden en su mayoría a arenas finas con arcilla o limo. Este cuerpo de agua lagunar tiene alta productividad primaria con una media de $2.36 \text{ g C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ (5.34 y 0.1, en primavera-verano e invierno) (Robles-Jarero, 1985).

Tabla 2. Dimensiones del Estero de Urías (a partir de Montañó-Ley *et al.*, 2000):

Parámetro	Dimensión
Longitud de la cabecera a la boca	17 km
Anchura máxima	3 km
Área	12 km ²
Profundidad media	3 m
Volumen	0.036 km ³

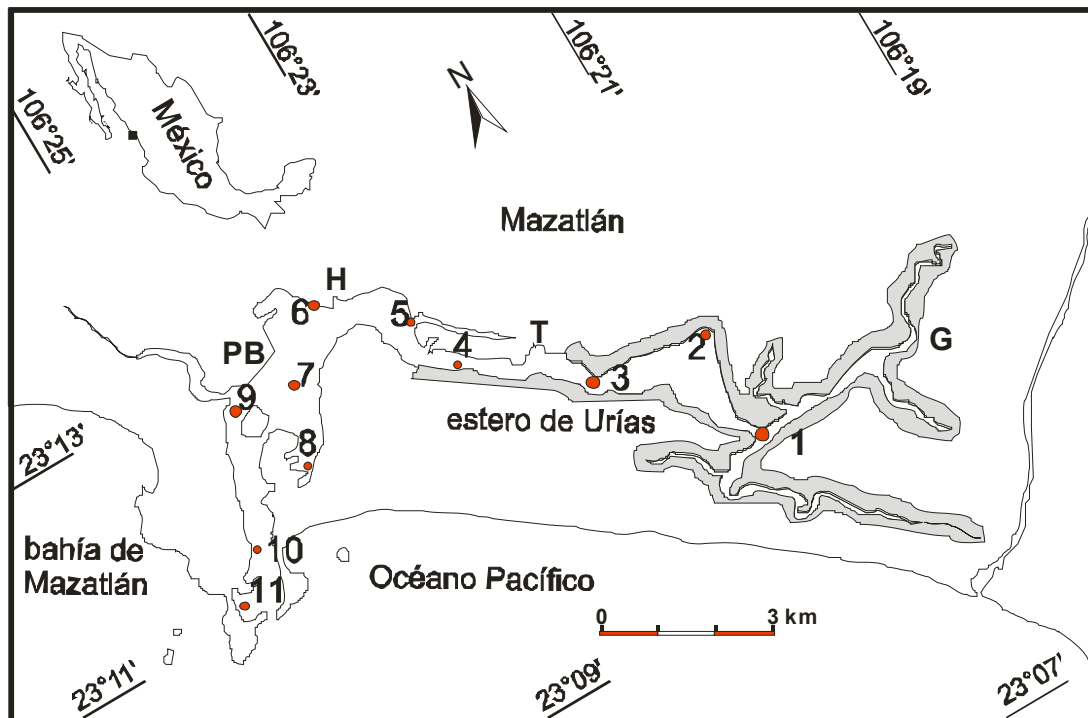


Figura 2. Estero de Urías. Ubicación de estaciones de colecta de muestras sedimentológicas (●); Parque Industrial Bonfil PB; Harinera H; Termoeléctrica T; Manglar: (■); Granja camaronícola G.

Productividad, nutrientes y fitoplancton

La bahía de Mazatlán, ha sido objeto de varios estudios hidrológicos y contaminación en la columna de agua y en organismos, pero existen muy pocos estudios de los sedimentos (Maldonado *et al.*, 1980; Páez-Osuna *et al.*, 1988). Se han detectado sitios de acumulación de manganeso y cadmio en la zona sur de la bahía (Soto, 1998; Green-Ruiz, 2000).

También se ha estimado el intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el estero de Urías y las aguas costeras de la bahía, encontrando una exportación neta de 25-128 ton de material suspendido y 200 kg de fósforo en un ciclo de mareas (Páez-Osuna *et al.*, 1990).

Frente a Mazatlán, de 9 a 31 km de la costa, se han medido concentraciones de clorofila *a* más elevadas en invierno ($5.79 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) que en el verano ($0.04 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Las tasas de productividad primaria promedio anual se señalan desde 2.21 hasta $16.11 \text{ mg C}\cdot\text{m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ (Saavedra-Rojas, 1995). Dentro de la bahía, Cruz (1995) indicó un intervalo de concentración de clorofila *a* de 0.08 a $5.14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Esta autora propone que la bahía es una zona en donde probablemente hay procesos de mezcla y las masas de agua son homogéneas y al igual que Méndez y Green-Ruiz (1998), no observó influencia de la presencia de descargas antropogénicas sobre la productividad primaria.

La concentración de nutrientes en la bahía fue estudiada por Mee *et al.* (1980, 1984); García-de-la-Parra (1992), Alonso-Rodríguez *et al.* (2000). En todos estos trabajos se reportan altas concentraciones de fosfato durante el invierno debido a la entrada de agua de fondo, producto de surgencias, además de aportes de nutrientes por el emisor submarino durante todo el año, por lo cual la bahía se considera de naturaleza eutrófica. Este escenario durante el invierno coincide con los altos valores de productividad primaria y concentración de clorofila encontrados por Saavedra-Rojas (1995) y Cruz (1995).

Las concentraciones de sólidos suspendidos en la columna de agua aumentan en primavera y en el otoño, debido a las proliferaciones fitoplanctónicas primaverales y a la turbulencia por las tormentas que se presentan en esta temporada, lo cual también se asocia con la presencia de materia orgánica suspendida (González-Farías *et al.*, 1986); Por otra parte, en la zona sur, los sólidos suspendidos se mantienen durante casi todo el año en concentraciones bajas, menores a 15 mg l^{-1} (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000). Con base en

estimaciones a partir de un estudio anual, la profundidad media de desaparición del disco de Secchi en la bahía es de 4 m (Flores-Verdugo *et al.*, 1991).

Estudios sobre la composición y abundancia fitoplanctónica (Cortés-Altamirano y Rojas-Trejo, 1981; Rojas-Trejo, 1984; Caballasi, 1985, Priego, 1985; Alonso-Rodríguez, 1998) coinciden en que el ciclo anual de abundancia del fitoplancton es comparable con el que se describe para zonas templadas, con dos máximos de abundancia, en primavera y en el otoño; además, en la bahía se observa adicionalmente un pico en el verano, aunque de menor magnitud que el de primavera, debido probablemente al reciclamiento de nutrientes como resultado de la proliferación primaveral y al aporte de nutrientes de origen continental por escurrimiento. La densidad fitoplanctónica promedio anual reportada para dos estaciones de colecta dentro de la bahía fue de 1.95 y 5.96×10^5 cél l⁻¹ (Alonso-Rodríguez, 1998), de 5.3×10^6 (Caballasi, 1985) y de 1×10^6 cél l⁻¹ (Rojas-Trejo, 1984), lo cual le confiere la categoría de agua medianamente eutrófica.

La hidrodinámica de la bahía y del puerto ha sido estudiada por Montaña-Ley (1985), quien indicó que el transporte dominante es en dirección noroeste a lo largo de la costa. Montaña-Ley y Aldeco-Ramírez (1986), de acuerdo a estudios de refracción del oleaje, señalan que la bahía se encuentra localizada en una zona de dispersión de energía.

Existen algunos trabajos sobre la circulación de la bahía, realizados por la Secretaría de Marina (1974), que indican que la corriente en noviembre es de 4 a 20 cm s⁻¹ en dirección sur. En el centro de la bahía la corriente en el fondo se dirige al este y la de la superficie hacia el sur, de acuerdo con la dirección del viento. Cabrera-Dueñas (1988) aplicó un modelo bidimensional para calcular la

circulación inducida por el viento, mediante el cual se describe una serie de giros ciclónicos y anticiclónicos en algunas zonas de la bahía, que se invierten, dependiendo de la dirección del viento. Estos giros deben estar ligados a procesos de concentración que se reflejan en la permanencia del material fitoplanctónico en la superficie durante la época de “mareas rojas”.

En un estudio realizado durante 4 años por Mee *et al.* (1985), dirigido a detectar surgencias en el invierno-primavera mediante la diferencia de temperaturas en superficie y a 10 m de profundidad en una estación ubicada a dos millas de Mazatlán, se encontró que las mayores diferencias corresponden a los años 1980-1984, excepto en 1983 cuando se presentaron signos de calentamiento del agua provocado por el fenómeno “El Niño”. En dicho estudio, la alta fertilidad encontrada se asoció a altas concentraciones de clorofila *a*, las cuales alcanzaron en 1981 los $10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Éstas a su vez se relacionaron con el alto reclutamiento de larvas de sardina, reflejado en la producción de 1983. La presencia de aguas frías ricas en nutrientes ha sido detectada en la temporada de invierno-primavera por varios autores (Mee *et al.*, 1985, 1986; García-de-la-Parra, 1992; Aguirre-Gómez *et al.*, 1999, Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000).

Mareas rojas

El 63% de las proliferaciones fitoplanctónicas que se han reportado para la bahía de Mazatlán durante más de 20 años, estuvieron formadas por el ciliado fotosintético *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger y Buddenbrock (especie no tóxica). Generalmente, se presentaron en forma de manchas extensas en la época de invierno-primavera, en eventos efímeros, con una duración de 1 a 3

días. En los años más recientes, la frecuencia relativa de la proliferación de dinoflagelados aparentemente ha aumentado y la proporción de los eventos dominados por *M. rubrum* tienden a disminuir (Cortés-Altamirano, 1998). Recientemente, el dinoflagelado que domina en estos eventos de reproducción masiva de dinoflagelados durante el periodo de invierno-primavera es *Gymnodinium catenatum* (Cortés-Altamirano y Alonso-Rodríguez, 1997), al cual se atribuye la muerte de varias personas en el pasado (Mee *et al.*, 1986) y durante 16 años, ha mostrado una frecuencia relativa aproximada de 10% del número total de los eventos.

La mortalidad masiva de peces y otros organismos bentónicos en este cuerpo de agua en 1979, 1985 y 1997, se debió probablemente a condiciones anóxicas provocadas por la alta densidad de células durante las proliferaciones de *Gymnodinium catenatum* (Cortés-Altamirano y Alonso-Rodríguez, 1997). Se ha observado que esta especie, aún con densidades bajas ha causado mortalidad de larvas y de camarón adulto en cultivo y en el medio natural en 1997 y 2001 (Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna, 2003). En octubre del 2000, se registró una importante mortalidad de peces y de pulpos durante una marea roja dominada por el dinoflagelado desnudo *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (observaciones personales).

En los últimos años, se han agregado otras especies dominantes a las “mareas rojas” en la bahía de Mazatlán, que pertenecen a los llamados dinoflagelados nocivos como *Akashiwo sanguinea* (Hirasaka) G. Hansen et Moestrup 2000 bas. *Gymnodinium sanguineum* Hirasaka, *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich, *Prorocentrum triestinum* Schiller (en 1999) y *P. balticum* Schiller (Cortés-

Altamirano *et al.*, 1999); *Prorocentrum mexicanum* Taffal (Cortés-Altamirano y Sierra Beltrán, 2003). De acuerdo a observaciones personales, también se presentó *Cochlodinium polykrikoides* en el otoño del 2000, 2002 y 2003. *Gymnodinium instriatum* (Freudenthal *et Lee*) Coats comb. nov. bas. *Gyrodinium instriatum* Freudenthal *et Lee* (Coats y Park, 2002) en invierno-primavera de 2003. De estas especies, solo se conocen los quistes resistentes de *Gymnodinium catenatum*, *Scrippsiella trochoidea*, *Cochlodinium polykrikoides* y *Gymnodinium instriatum* (Anderson *et al.*, 1995; Kobayashi *et al.* 2001), aunque por métodos indirectos se ha documentado también la existencia de formas de resistencia de *A. sanguinea* (Voltolina y Robinson, 1986; Voltolina, 1993).

La presencia de proliferaciones microalgales nocivas en la bahía es estacional y se relaciona con fenómenos de surgencias en invierno-primavera y, presumiblemente, se suprime por fenómenos climáticos como “El Niño” (Cortés-Altamirano *et al.*, 1995; Ochoa, 2003b). El desarrollo poblacional de dinoflagelados que forman mareas rojas en la bahía de Mazatlán normalmente ocurre a finales de invierno y principios de la primavera, siendo frecuentemente caracterizados por *Gymnodinium catenatum* y *Scrippsiella trochoidea*, especies formadoras de quistes.

Mazatlán es uno de los dos puntos del golfo de California en donde se han observado mareas rojas de dinoflagelados desde 1979 (Cortés-Altamirano y Núñez-Pastén, 1992; Cortés Altamirano, 1999), el otro es la bahía de Bacoichampo, Sonora (Guaymas) con registros desde 1970 (Manrique y Molina, 1997). Ambas localidades tienen en común la presencia de surgencias costeras a lo largo del golfo, promovidas por viento proveniente del noroeste

(Lluch-Cota, 2000). En ambas costas de Baja California se han reportado mareas rojas que datan de 1984 (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2001; Morquecho y Lechuga, 2003)

Diversos estudios se han enfocado al monitoreo de las proliferaciones fitoplanctónicas en la región como parte de trabajos encaminados a determinar la productividad de la zona (Gárate-Lizárraga, 1991; 1995; 1997; Gárate-Lizárraga y Martínez, 1995; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2001; 2002; López-Cortés *et al.*, 2003), en otros casos sobre su toxicidad (Sierra-Beltrán *et al.*, 1996), y sobre el impacto que han tenido sobre aves y mamíferos marinos (Ochoa *et al.*, 1997; 1998; Sierra-Beltrán *et al.*, 1997; 1998). La existencia de la toxicidad ha sido confirmada en eventos periódicos desde 1991 (Sierra-Beltrán *et al.*, 1996, 1998; Ochoa *et al.*, 1998).

La forma vegetativa de *G. catenatum* se identificó por primera vez en el Golfo de California por Graham (1943), y su estudio se inició durante un evento tóxico en la bahía de Mazatlán en 1979 (Mee *et al.*, 1986). Por otro lado, Hallegraeff y Fraga (1998) señalan que la temperatura determina la biogeografía de los diferentes ecotipos de *G. catenatum*, por la creación de ventanas ambientales para las proliferaciones estacionales en agua templadas y tropicales, señalando que son necesarios más estudios sobre las características de las cepas tropicales. Estudios en las costas de Galicia y Noruega indican que la talla de los quistes de *Gymnodinium catenatum* tiene una distribución bimodal (Thorsen y Dale, 1998; Bravo y Ramilo, 1999), esto indica la necesidad de saber si esos quistes pertenecen a dos especies diferentes a fin de poder determinar su distribución geográfica respectiva.

El estudio más amplio sobre quistes de dinoflagelados realizado en México es el de Martínez-Hernández y Hernández-Campos (1991), quienes analizaron su distribución en sedimentos holocénicos en el golfo de California desde la boca, en los 23°41', hasta los 30° N. En dicho estudio se obtuvieron 31 morfotipos de dinoquistes, entre los cuales predominaron los de afinidades peridinoides. En las zonas de fosforita se encontró dominancia de quistes gonyaulacoides que, según los autores, no se encuentran asociados a ningún tipo de sedimento en particular ya que su abundancia a lo largo del golfo depende de las tasas de sedimentación, independientemente de la batimetría y de la distancia a la costa o de las zonas en donde existen surgencias. La diversidad en los conjuntos de quistes de dinoflagelados resultó semejante a los encontrados en el Atlántico en Woods Hole, en el Mar Caribe, el Golfo Pérsico y el Mar Árabe.

En oposición a estos hallazgos, la mayoría de los expertos afirman que los quistes se acumulan de acuerdo a la batimetría y a las condiciones hidrodinámicas que determinan los sistemas de corrientes y la granulometría. Por ejemplo, se ha encontrado asociación entre la mayor densidad de quistes de *Protogonyaulax tamarensis* (Lebour) Taylor con sedimentos dominados por arenas de granos finos y un porcentaje importante de lodo y arcilla (Cembella *et al.*, 1988). Las mayores concentraciones de quistes de *Alexandrium tamarense* (= *P. tamarensis*) (Lebour) Balech se han asociado a sedimentos con alto contenido de limo (Yamaguchi *et al.*, 1996).

Sedimentos

Los estudios de sedimentos costeros en México son pocos. Uno fue realizado en una zona al suroeste de Mazatlán sobre los sedimentos del talud para entender la importancia de la aportación de los sedimentos continentales en los ciclos del carbono y de nitrógeno (Lambourn y Devol, 1995). El primer estudio sedimentológico en la bahía de Mazatlán, se realizó en 1974 por la Secretaría de Marina, a partir del cual se señala que la bahía tiene arena fina media principalmente, y que el área sur, afectada por las descargas terrígenas del estero de Urías, tiene predominantemente arenas finas, limos y arcillas. Mee *et al.* (1980), realizaron un estudio integral de la bahía en el que encontraron una zona en el centro de la bahía, a 11 m de profundidad, a partir de la cual la pendiente aumenta rápidamente hacia el mar. Al igual que entre las islas Lobos y Venados, y frente al estero de Urías en donde se encuentran fondos arenolimosos, en el resto de la bahía se encuentran fondos arenosos con la presencia de rocas y gravas.

En lo que se refiere a la granulometría de los sedimentos, Soto (1998) encontró dispersión del tamaño de grano en la zona sur de la bahía y una tendencia a la acumulación de sedimentos finos como la observada en Urías, debido al régimen dominante de las olas, vientos y corrientes, coincidiendo con Orozco-Romo (1980). Pérez-Bernal (1999) también analizó los sedimentos superficiales en 1994, tanto del estero de Urías como de la zona que rodea al cerro del Crestón, y encontró que la concentración de fósforo total y el tamaño de grano aumenta del interior del estero hacia la boca, una zona asociada al emisor submarino, con una considerable cantidad de fósforo por unidad de área de 20

ton P/km². Se han detectado también, sitios de acumulación de manganeso y cadmio en la zona sur de la bahía (Soto, 1998; Green-Ruiz, 2000); este último autor realizó un estudio sobre el contenido de carbonatos y metales pesados en los sedimentos de la bahía, encontrando un importante aporte natural de cadmio proveniente de surgencias, observaciones que son apoyadas por mediciones realizadas en zonas de surgencia en el Pacífico Mexicano (Bruland *et al.*, 1978; Muñoz-Barbosa *et al.*, 1999).

Otros estudios de sedimentos en la bahía fueron realizados por Méndez y Green-Ruiz (1998), quienes analizaron la granulometría asociada a familias de poliquetos indicadoras de contaminación de origen antropogénico. En este trabajo se comenta que la profundidad se incrementa con la distancia a la costa y que en el centro se forma una pequeña depresión y que la arena fina se encuentra distribuida en toda el área. Se ubicó una zona de arena muy fina en el centro, en dirección hacia la Isla de Lobos y Venados y se consideró a la zona más profunda como una trampa de sedimentos finos. No obstante, el contenido de materia orgánica en la mayoría de las estaciones mostró valores bajos, de entre 1 y 2%. Se concluyó que, con base a la presencia de las familias de poliquetos encontradas, las variables abióticas y bióticas no han cambiado considerablemente en las dos últimas décadas.

III. HIPÓTESIS

Hipótesis 1

Si las “mareas rojas” que se presentan en la bahía de Mazatlán, dominadas por dinoflagelados en la época de invierno-primavera son de origen autóctono con una etapa inicial de disponibilidad de dinoquistes, entonces los vientos juegan un papel importante en la iniciación de dichos eventos, induciendo la alternancia entre condiciones de estabilidad (estratificación) en la columna de agua y de inestabilidad (mezcla) lo cual favorece la resuspensión de dinoquistes y nutrientes.

Hipótesis 2

El origen de las “mareas rojas” es alóctono, y se deben a la proliferación y mantenimiento de formas vegetativas de dinoflagelados transportadas por las corrientes, las cuales permanecen en el sistema debido a las condiciones hidrológicas favorables, hasta que dichas condiciones cambien y sean adversas para estas especies.

IV. OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el número, la composición, la duración y la distribución espacial de los eventos de marea roja en la bahía de Mazatlán y su relación con las condiciones hidrológicas y ambientales.

Objetivos Particulares

1. Verificar las condiciones hidrológicas que prevalecen en la columna de agua en el período de proliferaciones de dinoflagelados.
2. Analizar la abundancia, composición y diversidad de las comunidades fitoplanctónicas durante el período de estudio, estimando la abundancia relativa de los dinoflagelados de interés con respecto al resto de la comunidad fitoplanctónica.
3. Determinar el número de eventos, la composición y las sucesiones de especie durante el desarrollo de las mareas rojas observadas.
4. Estimar el potencial que tiene la bahía en la formación de mareas rojas dominadas por dinoflagelados, mediante el análisis de abundancia relativa de quistes en el sedimento, la composición específica del fitoplancton y su variabilidad espacio-temporal en algunas estaciones de muestreo representativas.
5. Evaluar al estero de Urías como posible proveedor de dinoquistes para la iniciación de mareas rojas en la bahía de Mazatlán.

6. Detectar los procesos físicos y meteorológicos prevalecientes durante el período de estudio que pueden promover la presencia de mareas rojas en la zona de estudio mediante el análisis de las relaciones entre el fitoplancton, dinoquistes y las variables ambientales durante el período de estudio.
7. Determinar si existe una ventana óptima ambiental relacionada con la hidrología (turbulencia generada por viento), temperatura, salinidad o alguna de las variables ambientales consideradas en este estudio, que determine la abundancia de los grupos fitoplanctónicos en la zona.

V. METODOLOGÍA

Selección de las estaciones de colecta y obtención de muestras.

Las estaciones de colecta de muestras hidrológicas, fitoplanctónicas y sedimentológicas se eligieron con base a los siguientes criterios:

Se ubicaron en dos transectos para permitir la comparación entre dos áreas cercanas a la orilla, el transecto 1 ubicado en la parte media de la bahía con una pendiente suave (0.3°) donde se alcanzan 20 metros de profundidad a una distancia desde la orilla de 4.5 km y el transecto 2 en la porción sur de la bahía con mayor pendiente (0.5°), donde se alcanza la misma isobata en una distancia aproximada de 2.3 km. Con ello se pretende determinar la influencia que tienen la distancia desde la orilla y la profundidad sobre las variables físicas y biológicas consideradas (Figura 3).

Las estaciones de colecta se establecieron en zonas donde las mareas rojas se han percibido visualmente con mayor frecuencia e intensidad a lo largo de varios años de observaciones y se trató de que fueran representativas con respecto al tamaño de grano, de acuerdo a estudios previos de granulometría (Méndez y Green-Ruiz, 1998).

En consecuencia, las 6 estaciones se ubicaron en la bahía, entre las isobatas de 10, 15 y 20 m, donde predominan las arenas finas, coincidiendo con la presencia de sistemas de convergencia o giros que promueven la concentración, tanto de fitoplancton como de acumulación de dinoquistes en el sedimento (Figura 1).

Las muestras hidrológicas y fitoplanctónicas se colectaron en la superficie y en el fondo en cada estación cada tercer día durante los 4 meses que correspondieron al período de estudios de campo (feb-jun 2000).

Las muestras de agua se colectaron entre las 10 y las 14 horas con una botella van Dorn de 3 l de capacidad. Se tomaron dos submuestras de agua, una para análisis de salinidad (300 ml) y la otra se colectó en frascos de 600 ml para el análisis de fitoplancton. La temperatura se midió en la botella con un termómetro de inmersión (con precisión de lectura de ± 0.1 °C).

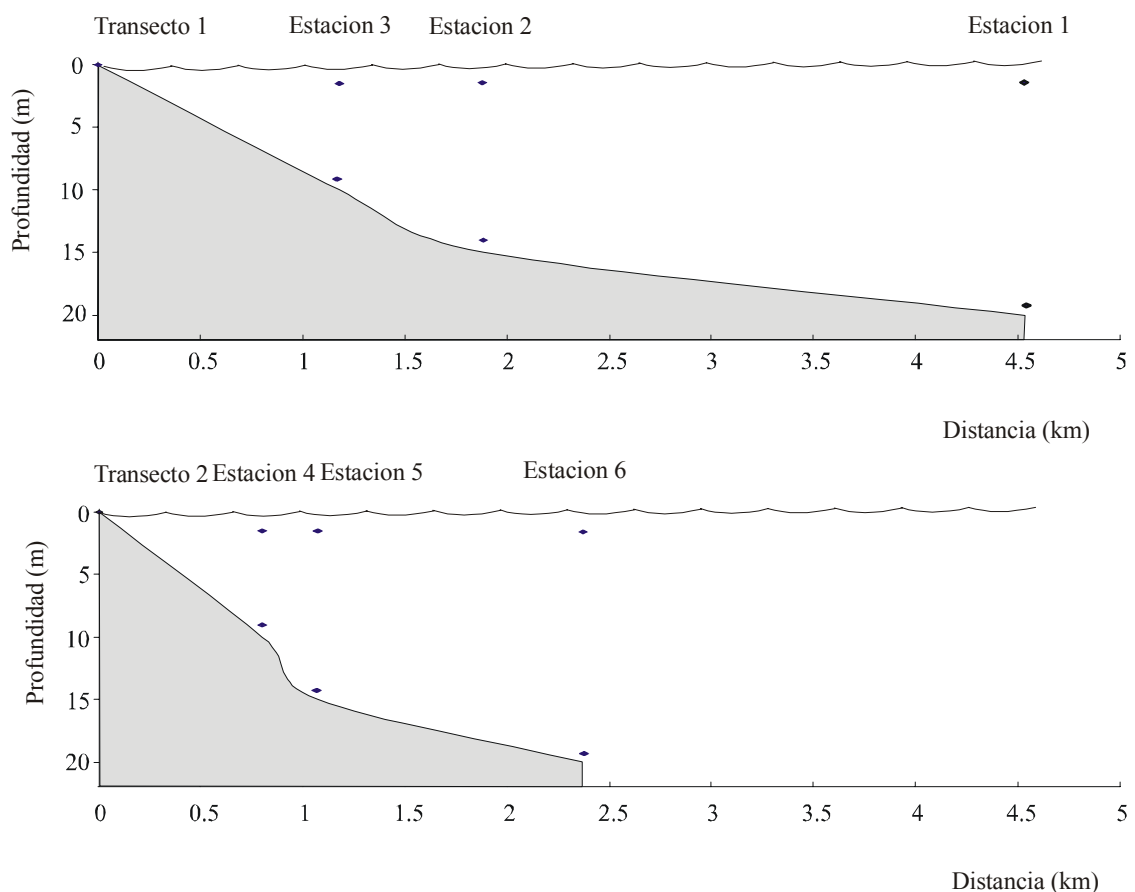


Figura 3. Perfiles, sitios, distancias y profundidades entre las estaciones de colecta de muestras.

La salinidad se determinó mediante un salinómetro de inducción portátil Beckman (Modelo RS7-C), considerando dos alícuotas para su determinación con una precisión de ± 0.003 psu (*Practical Salinity Units*=Unidades de Salinidad Práctica) (Grasshoff *et al.*, 1983), aunque en el texto se referirá a la salinidad con el tradicional símbolo de partes por mil (‰).

Tabla 3 Ubicación y profundidad de las estaciones de colecta en la bahía

Estación	Latitud	Longitud	Profundidad
1	23° 12' 00"	106° 27' 30"	20 m
2	23° 12' 28"	106° 26' 27"	15 m
3	23° 12' 52"	106° 26' 05"	10 m
4	23° 11' 17"	106° 25' 49"	10 m
5	23° 10' 58"	106° 26' 07"	15 m
6	23° 11' 01"	106° 26' 46"	20 m

Las muestras para el análisis fitoplanctónico se fijaron *in situ* con solución de lugol (Vollenweider, 1969) y se mantuvieron en la oscuridad y en lugar fresco. Se realizó el recuento total de células por cada muestra, se consideró como límite detectable células con talla de 5 micras utilizando microscopio óptico, cámaras Sedgwick-Rafter y objetivo de 10x. El análisis de fitoplancton incluye a las células con una talla mayor a 10 micrómetros, el estudio se enfoca principalmente a los dinoflagelados como especies formadoras de mareas rojas,

la identificación hasta especie, en los casos en los que fue posible, incluye otros grupos considerados como importantes por su contribución a la abundancia del fitoplancton.

Se identificaron los dinoflagelados, apoyándose en la literatura especializada (Tomas, 1997; Dodge, 1975), mediante la observación de la muestra con los objetivos de 20x y 40x. La identificación de las especies se determinó de acuerdo a la literatura especializada para cada género y corroborada por publicaciones realizadas por otros autores y generadas a partir de análisis de material proveniente de la misma bahía de Mazatlán, *Prorocentrum balticum* (Cortés-Altamirano y Aguirre-Gómez, 2001), *Prorocentrum mexicanum* (Cortés-Altamirano y Sierra-Beltrán 2003).

Del análisis cualitativo y cuantitativo, se obtuvo la abundancia relativa de los diferentes grupos con respecto a la comunidad fitoplanctónica.

Las muestras sedimentológicas se colectaron quincenalmente en las mismas estaciones. Se comparó la abundancia relativa de las especies representadas en los sedimentos ya sea en forma de quistes o como frústulas o tecas y las encontradas en el plancton durante los primeros 3 meses del período de estudio que comprendió entre febrero y abril del 2000.

Para la búsqueda de bancos de dinoquistes se realizó una campaña de muestreo de sedimentos en el estero de Urías (Figura 2), ubicando 10 estaciones en una distribución uniforme a lo largo del mismo y tocando ambas riberas. La campaña de muestreo se realizó el 1 de diciembre del 2000. La profundidad de colecta de sedimento en las estaciones fue variable, desde 1

hasta 8 metros de profundidad (Tabla 4). En este sistema lagunar no se colectaron muestras hidrológicas ni de fitoplancton.

Tabla 4 Ubicación y profundidad de las estaciones de colecta de muestras de sedimento en el estero de Urías.

Estación	Latitud	Longitud	Profundidad
1	23° 08' 55"	106° 19' 52"	2.7 m
2	23° 09' 56"	106° 20' 04"	1.5 m
3	23° 10' 29"	106° 20' 56"	3.0 m
4	23° 11' 27"	106° 21' 54"	2.0 m
5	23° 12' 09"	106° 22' 17"	2.0 m
6	23° 12' 49"	106° 23' 27"	3.0 m
8	23° 12' 10"	106° 23' 29"	1.0 m
9	23° 12' 47"	106° 24' 14"	6.5 m
10	23° 11' 37"	106° 24' 43"	4.0 m
11	23° 11' 03"	106° 25' 20"	8.0 m

Preparación de las muestras de sedimento para su análisis

La extracción del sedimento se realizó con una draga tipo almeja y se tomaron de 3 a 4 cm del sedimento superficial con la ayuda de un nucleador graduado de material plástico. Las muestras se colectaron de acuerdo a los métodos cualitativos estándar (Anderson *et al.*, 1995) para distribución, identificación, estimación de la abundancia relativa de especies. Se aplicó la técnica de

tamizado para recuperación de dinoquistes calcáreos, cada muestra se sometió a secado a 60 °C (Anderson *et al.*, 1995; Matsuoka y Fukuyo, 1995), fijando posteriormente el material concentrado con formalina al 4% final. Para la identificación de dinoquistes, se apoyó en literatura general y específica, haciendo énfasis en la búsqueda de quistes formados por las especies que han dominado en las proliferaciones de la bahía.

Obtención de parámetros físicos

Las mediciones de dirección y velocidad del viento se realizaron *in situ* con un anemómetro digital en las estaciones de colecta, y se apoyaron con las mediciones obtenidas por el Sistema Meteorológico Nacional, en Mazatlán.

Procesamiento de datos

Se tomaron fotografías digitales del material biogénico y se ordenaron por grupo en formato electrónico CD, para ilustrar los palinomorfos encontrados en este estudio (CD. Anexo). Se obtuvo la abundancia total de dinoquistes para cada estación en cada muestreo, para realizar la comparación entre las distintas estaciones, así como el gráfico de la abundancia con respecto al tiempo en cada estación. A partir del análisis de la composición de dinoquistes se generó un listado de especies. El análisis de la distribución de dinoquistes, a su vez, generó una serie de mapas señalando los sitios en los que se encontró mayor abundancia para cada fecha de colecta.

De la misma manera, se obtuvo la abundancia total espacio-temporal del fitoplancton que se graficó con respecto al tiempo.

Se realizó un análisis preliminar de sucesión de especies de la comunidad fitoplanctónica mostrando secuencias de las especies dominantes para cada fecha de colecta de muestras. Se detalló, mediante un calendario, los días en que se observaron mareas rojas, la abundancia máxima de células, y las especies de mayor dominancia. Se calculó el área cubierta por las mareas rojas durante el período de estudio a partir de la observación de la superficie, dibujando sobre un mapa digitalizado de la bahía, utilizando un paquete de diseño asistido por computadora AUTOCAD v. 2000.

La densidad del agua, expresada como σ_t (sigma-t), se obtuvo a partir del cálculo de la gravedad específica donde $\delta_{15,35,0}=1+(\sigma_t * 10^{-3})$, mediante el polinomio indicado para el caso de la escala práctica de salinidad, considerando la temperatura y la salinidad (Cox *et al.*, 1970; Grasshoff *et al.*, 1983). El estado de la columna de agua se estimó a través de las diferencias de temperatura y de σ_t entre la capa de la superficie y la del fondo. Se reforzó este análisis mediante la aplicación del índice de estabilidad vertical, tipo estacional (mensual), obtenido con la sumatoria de las diferencias en la densidad del agua entre la superficie y el fondo, $\Sigma = 10^{-3} (\Delta\sigma_t/\Delta z)$ indicado por Karydis y Moschopoulou (1982), en donde σ_t es la densidad del agua y está determinada por la salinidad y temperatura de la muestra y z es la profundidad en la estación de colecta (Tabla 5).

Para calcular el índice de surgencia diario se utilizaron cuatro datos de viento instantáneo para cada día, a las 6, 12, 18 y 24 horas, obteniendo un promedio

diario de sus componentes, magnitud y dirección, para ingresarlos a la siguiente ecuación de acuerdo a Lluch-Cota (2000):

$\vec{M} = (V/f) \tau \cdot \vec{k}$, expresado en $\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$, donde:

$$f = 2 \cdot \Omega \cdot \sin \phi = 0.000057$$

$$\Omega = \text{vel. angular de la tierra} = 7.3 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

ϕ es la latitud

$$\tau \text{ es el esfuerzo de viento} = \rho_a \cdot C_d \cdot |V| \cdot V$$

$$\rho_a \text{ es la densidad del aire} = 1.2 \text{ g cm}^{-3}$$

$$C_d \text{ es el coeficiente de dragado (resistencia)} = 1.3 \times 10^{-3}$$

$|V|$ = magnitud de la velocidad del viento

V es el vector velocidad del viento

k es el vector unitario dirigido verticalmente hacia arriba.

Los procesos físicos relacionados con la concentración y dispersión de fitoplancton se detectaron mediante el análisis de componentes principales, en el cual se incluyeron los datos de batimetría, salinidad y temperatura, así como datos meteorológicos y la información de las comunidades fitoplanctónicas y de dinoquistes presentes.

Los datos de viento y temperatura ambiental, se obtuvieron de las instalaciones de la estación meteorológica de Mazatlán y se utilizaron como factores que influyeron en las condiciones físicas que imperaron en la bahía en esa época.

El tratamiento de los datos se realizó mediante el cálculo de medias diarias y medianas.

Análisis de correspondencia canónico

Para buscar relaciones entre las diferentes variables físicas, meteorológicas y ambientales con la abundancia de fitoplancton y de dinoquistes, se aplicó el Análisis de Correspondencias Canónico ACC (ter Braak, 1986) que es un método directo de análisis multivariado de gradientes, el cual se ha utilizado muy extensamente en ecología. Para esto, se utilizó el paquete estadístico MVSP (MultiVariate Statistic Package 3.1).

Análisis de periodicidad

La periodicidad de la temperatura superficial y del fondo, así como del índice de surgencias, se estimó mediante un análisis espectral que describe la distribución del poder contenido en una señal, basado en un juego de datos finito generando un periodograma (Artículo núm. 1). En el caso de obtener señales no armónicas, se procedió a aplicar el método de eliminación del pico más energético para discriminar otros picos de mayor importancia, esto sucedió con las series de tiempo de la temperatura de la superficie y del fondo.

Ventana Óptima Ambiental

Se buscó determinar si existía una ventana óptima ambiental para el 50% de la abundancia total de fitoplancton por grupo, en particular del grupo de mayor abundancia, a través de la discriminación numérica de los valores de la media desviación estándar y el intervalo para cada una de las variables consideradas en el estudio.

VI. RESULTADOS

Estructura de la columna de agua

Temperatura

La temperatura media del agua en la superficie fue de 22.5 °C y a 10 m de 19.0 °C. La temperatura mínima en la superficie se presentó el 24 de marzo en la estación 5 y fue de 17.9 °C y la máxima el 4 de junio en la estación 3 con 29.2 °C. Las temperaturas más altas del fondo se observaron en las estaciones 3 y 4, las cuales tienen 10 m de profundidad, y las menores en la estación 1, que es la más alejada de la orilla. La estación 3 se encuentra en una zona somera, en la zona llamada Playa Norte. La mínima temperatura en el fondo fue de 14.5 °C en la estación 1 (20 m de profundidad), el 11 de marzo. La temperatura máxima en el fondo ocurrió en la estación 5, el 4 de junio.

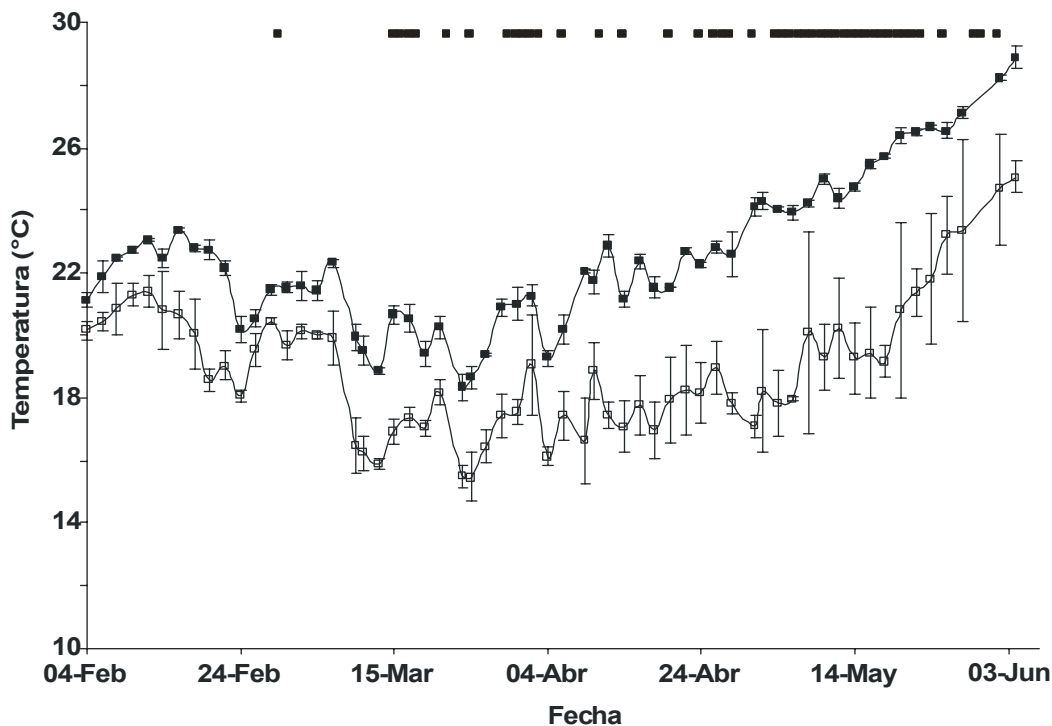


Figura 4. Temperatura media durante el período de estudio: Superficie (cuadros rellenos), y Fondo (cuadros vacíos).

La diferencia entre la temperatura en la capa superficial y la del fondo, fue considerado como un índice de estratificación térmica (Mee *et al.*, 1985) y mostró durante la mayor parte del período de muestreo condiciones prevalecientes de estabilidad con valores superiores a 3 °C a partir de finales del mes de marzo, con una media de 3.4 °C, y al final de la temporada con diferencias entre la capa superficial y la del fondo de más de 7 °C, que coinciden con los períodos de mayor frecuencia y permanencia de mareas rojas registradas durante el estudio. Los valores mínimos del índice de estratificación térmica se concentran en el período entre febrero e inicios de abril, indicando procesos por lo menos parciales de mezcla de la columna de agua (Figura 5).

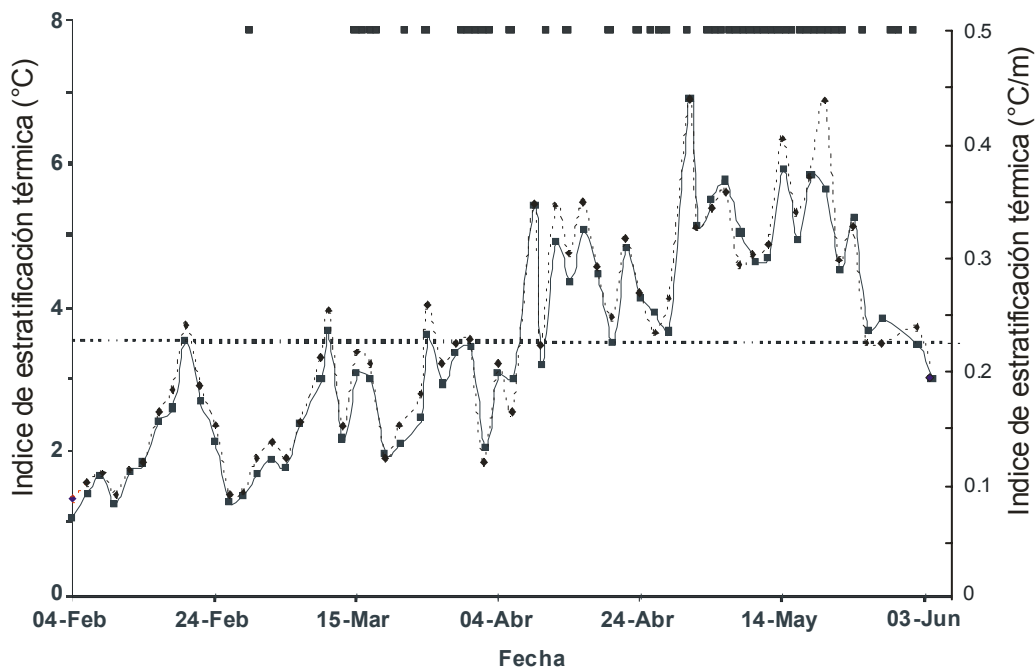


Figura 5. Índice de estratificación térmica media (°C) en línea continua e índice de estratificación térmica (°C/m) en línea punteada durante el período de colecta. Días observados de mareas rojas (barra discontinua). Valor medio del índice de estratificación térmica (línea horizontal punteada).

Se introdujo el factor profundidad en los datos de estratificación para obtener un índice más representativo, ponderado por la profundidad el cual resulta muy similar al obtenido simplemente por la diferencia de temperaturas en las dos capas (Fig. 5).

Salinidad

La salinidad media para el período de estudio fue 35.88 ‰ ($S=0.89$), con una salinidad mínima de 35.13 ‰, el 29 de marzo, y máxima de 36.58 ‰, el 5 de marzo, ambas en la estación 4 (Figura 6). Aunque la diferencia fue poco

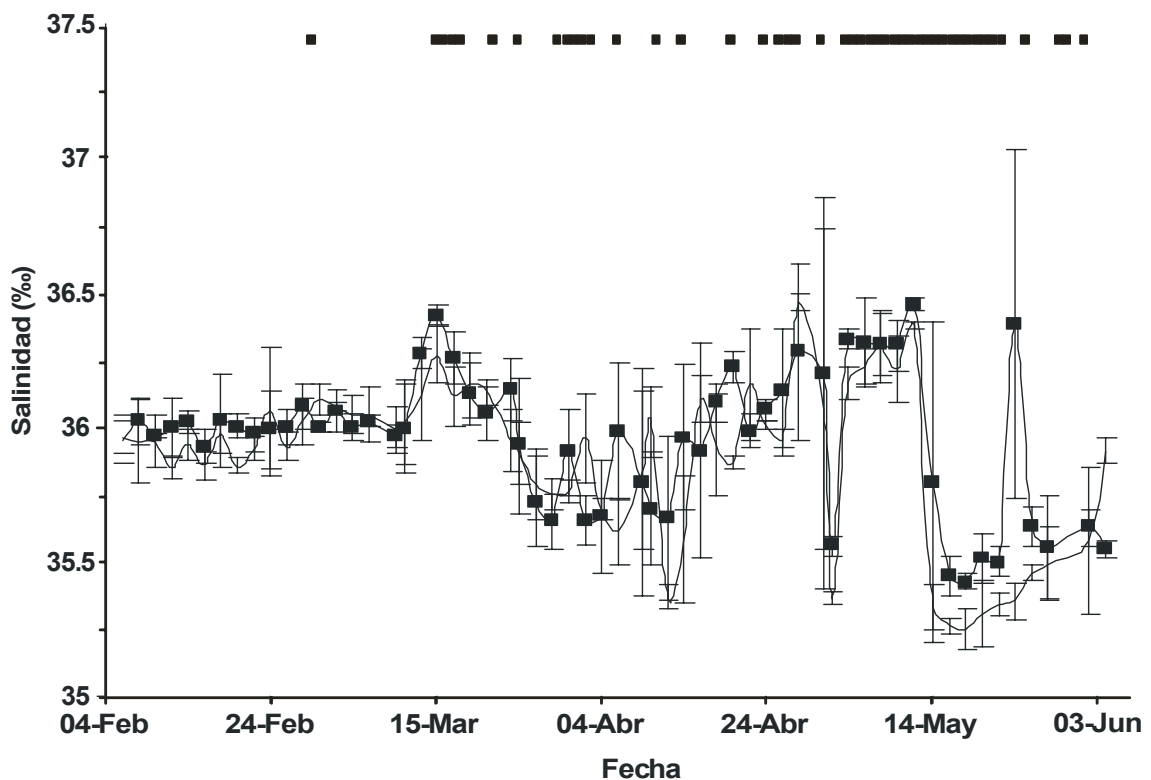


Figura 6. Salinidad media en la superficie (cuadros rellenos) y en el fondo (sin marca). Las líneas verticales indican la desviación estándar con respecto a la media.

marcada, en todas las fechas de colecta se encontró una salinidad menor en el fondo con respecto a la de superficie con medias de 35.89 y 35.92 ‰, respectivamente. Se observan picos máximos de esta variable el 15 de marzo y una tendencia a aumentar a partir del 14 de abril, aunque con un brusco descenso observado el 30 de abril. A partir de mediados de mayo la salinidad media disminuyó abruptamente, hasta alcanzar valores cercanos o inferiores a 35.5 ‰ que se mantuvieron hasta el último muestreo de este periodo de estudio.

Densidad del agua de mar

La densidad del agua, expresada como $\sigma-t$, fue siempre mayor en el fondo que en la superficie, observándose una tendencia decreciente a partir del 15 de marzo debido al aumento de temperatura y a la disminución de la salinidad, que coincidió con el inicio del período intenso de mareas rojas (Figura 7). Después de los primeros días del mes de abril se observó un notable aumento en la diferencia entre la densidad de superficie y la de fondo, que continuó hasta el término del estudio.

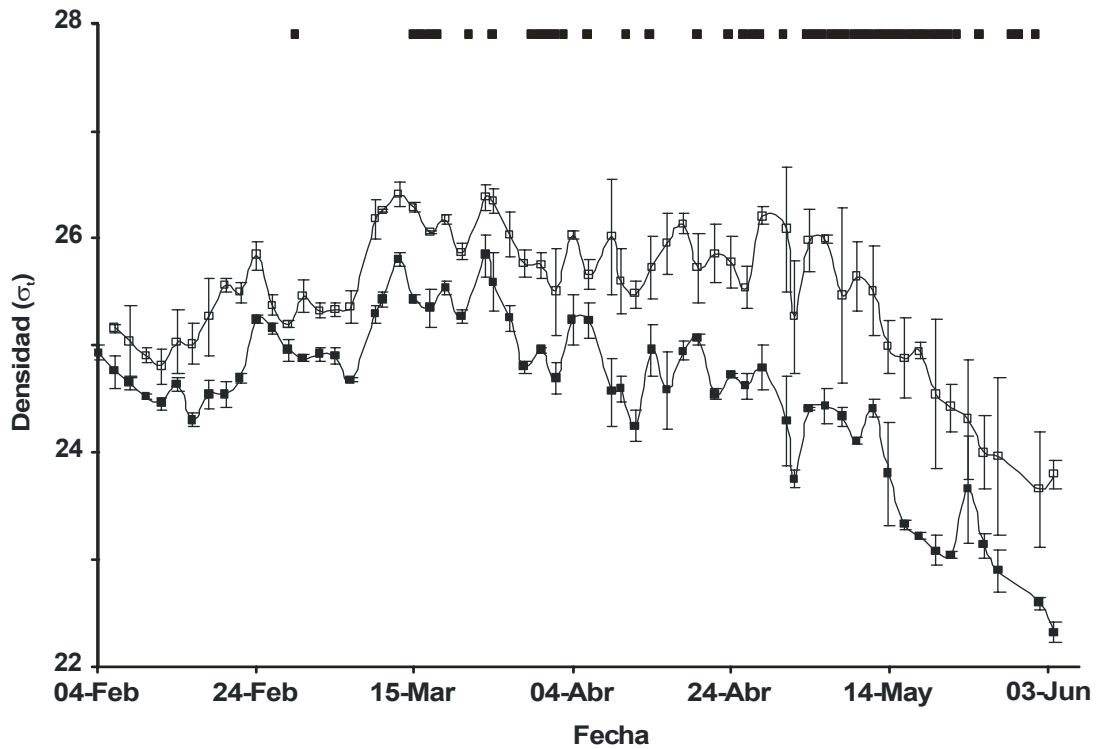


Figura 7. Densidad media del agua expresada como σ_t en la superficie (cuadros rellenos) y en el fondo (cuadros vacíos). Las líneas verticales indican la desviación estándar con respecto a la media.

Índice de estabilidad estacional de la columna de agua

En todos los casos, la estabilidad vertical fue positiva con valores de σ_t mayores en el fondo que en la superficie, demostrando que la estratificación fue continua durante todo el período de estudio y que fue más marcada en las estaciones de menor profundidad (Tabla 5).

El índice de estabilidad es positivo en todos los casos y disminuye hacia mar abierto. Esto se hace más evidente aplicando el índice de estabilidad estacional por estación de colecta (Tabla 6). Las estaciones 3 y 4, las cuales son las más cercanas a la orilla, poseen los mayores valores de este índice mientras que para las estaciones alejadas de la orilla son menores.

Tabla 5. Índice de estabilidad estacional de la columna de agua.

Mes	Estación	σ_t promedio		IEE x 10 ⁻⁸	Tipo de estabilidad
		Superficie	Fondo		
Febrero	1	24.72	25.32	3027	positivo
	2	24.73	25.22	3245	positivo
	3	24.71	25.11	4064	positivo
	4	24.58	25.01	4247	positivo
	5	24.66	25.22	3727	positivo
	6	24.74	25.30	2773	positivo
Marzo	1	25.28	26.00	3569	positivo
	2	25.26	25.93	4433	positivo
	3	25.18	25.87	6891	positivo
	4	25.09	25.69	5995	positivo
	5	25.18	25.91	4864	positivo
	6	25.21	26.01	4006	positivo
Abril	1	24.78	25.89	5570	positivo
	2	24.79	25.88	7264	positivo
	3	24.75	25.58	8322	positivo
	4	24.73	25.43	6997	positivo
	5	24.84	25.92	7187	positivo
	6	24.78	25.94	5803	positivo
Mayo	1	23.66	25.39	8657	positivo
	2	23.77	24.99	8183	positivo
	3	23.74	24.80	10593	positivo
	4	23.72	24.93	12041	positivo
	5	23.80	25.13	8896	positivo
	6	23.69	25.37	8383	positivo
Junio	1	22.49	23.34	4251	positivo
	2	22.47	23.96	9888	positivo
	3	22.40	23.86	14603	positivo
	4	22.63	23.26	6250	positivo
	5	22.63	23.58	6298	positivo
	6	22.64	23.76	5559	positivo

Análisis de la estabilidad de la columna de agua por estación

La columna de agua mostró diferencias en la estabilidad de la columna de agua de acuerdo a la estación de colecta, mostrado por los valores del gradiente de salinidad, de densidad y de temperatura, así como el índice de estabilidad estacional (Tabla 6). El gradiente de salinidad, mostró en la mayoría de los casos valores con signo negativo lo cual indica que la salinidad en la capa superficial fue menor que en la capa del fondo, para el resto de los gradientes, las estaciones con mayor estratificación fueron las estaciones cercanas a la orilla (3 y 4) mientras las estaciones con mayor influencia oceánica (1 y 6) resultaron con menores valores indicativos de estratificación, por su parte las estaciones intermedias (2 y 5) también muestran valores intermedios.

Tabla 6 Índices de estabilidad de la columna de agua por estación.

Estación	Salinidad Δ/m	Sigma-t Δ/m	Temperatura Δ/m	IEE x 10^{-8} Δ/m
1	-0.003	0.054	0.211	5015
2	-0.006	0.061	0.244	6603
3	-0.005	0.071	0.274	8895
4	0.002	0.071	0.254	7106
5	-0.000	0.059	0.221	6195
6	0.000	0.051	0.190	5305

Análisis de la estabilidad de la columna de agua por mes

La estabilidad de la columna de agua varió mensualmente de acuerdo a las variaciones de la salinidad y principalmente de la temperatura, resultando los

valores máximos de los gradientes analizados en el mes de mayo, coincidiendo la máxima estratificación con el máximo número de días de marea roja por mes durante el período de muestreo (Tabla 7).

Tabla 7 Índices de estabilidad de la columna de agua por mes.

Mes	Salinidad Δ/m	Sigma-t Δ/m	Temperatura Δ/m	IEE x 10 ⁻⁸ Δ/m	Días de MR
Febrero	-0.002	0.035	0.134	3514	1
Marzo	0.003	0.050	0.186	4960	8
Abril	-0.004	0.066	0.264	6858	13
Mayo	-0.007	0.089	0.334	9459	24
Junio	0.006	0.073	0.221	7809	4

Análisis del viento dominante diario

Para este análisis se consideraron los datos del viento dominante diario a partir de diciembre de 1999 y comprende el primer semestre del año 2000. La velocidad se expresa en nudos y la dirección se representa en un diagrama mediante una línea trazada para cada día, la posición de esta línea indica la dirección de la cual proviene el viento dominante, lo cual se muestra gráficamente en la figura 8.

En ésta, se observa que el viento dominante en el período que antecede al estudio sopló del NO, la cual se modificó posteriormente durante el desarrollo del estudio (4 febrero al 4 de junio) soplando del ONO y más aún, cuando se

intensificaron las manchas de marea roja, se observó mayor variabilidad en la dirección del viento, sopló del ONO y OSO y rebasó más frecuentemente los 7 nudos de velocidad.

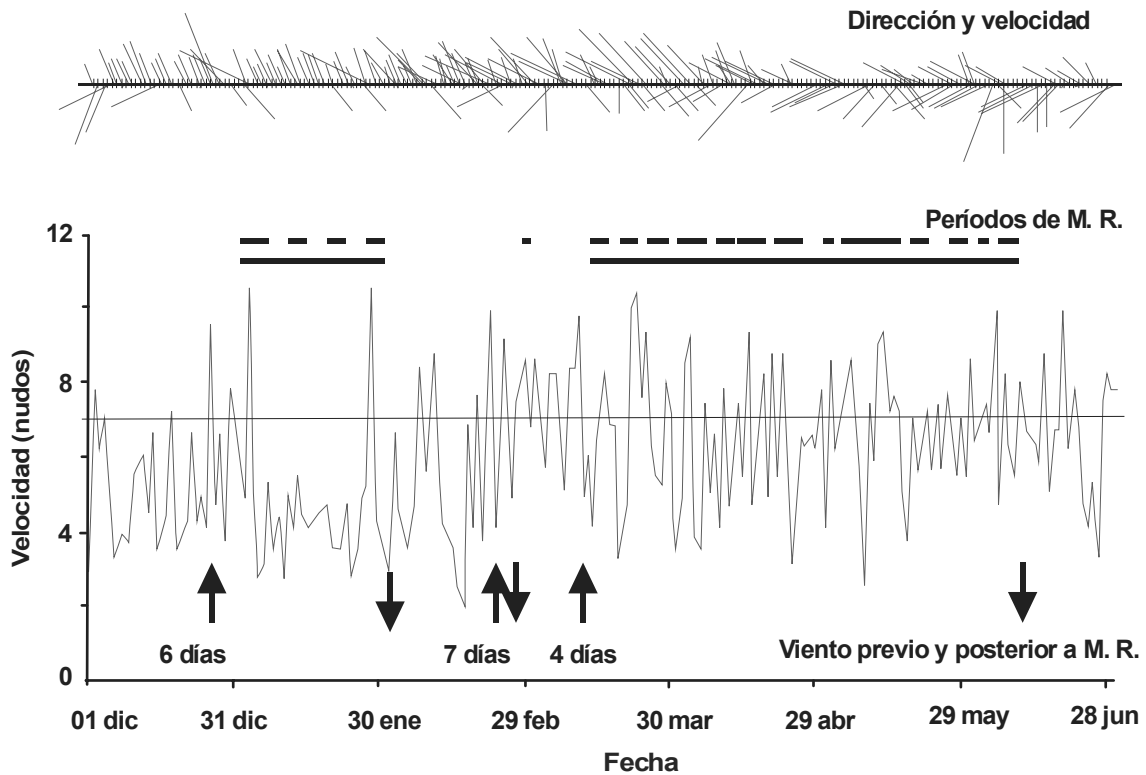


Figura 8. Análisis del viento dominante diario para Mazatlán: dirección y velocidad (nudos). Períodos de marea roja señalados en barras horizontales superiores. Principio y terminación de viento con velocidad mayor a 7 nudos indicados por flechas.

Índice de surgencia diario

El índice de surgencia diario mostró valores menores a $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 9). El mayor pico se observó el 7 y 8 de marzo del 2000; el día 11 del mismo mes se observaron las mínimas temperaturas en el fondo, y el día 15, 7 días después del máximo valor del índice de surgencia, inició la intensa temporada de mareas rojas en la bahía, con al menos 50 días de observación de coloración del agua.

Este hecho solo explica el inicio de la temporada de mareas rojas pero no su mantenimiento, el cual debió ser causado por situaciones locales de suministro de nutrientes.

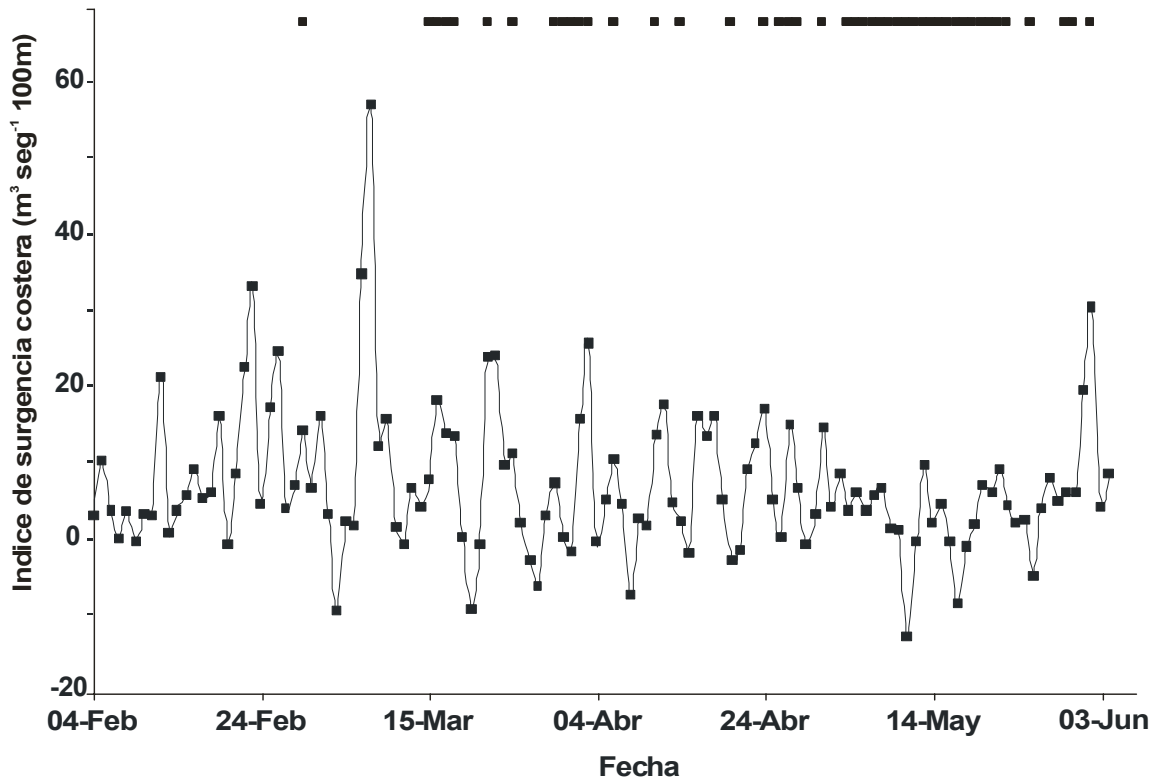


Figura 9. Índice de surgencia costera diario ($m^3 \text{ seg}^{-1} 100 \text{ m}$ línea de costa).

Como se observa en la misma figura, desde el inicio del período de mareas rojas, más del 97% de los valores del índice de surgencia son menores a $25 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$, incluyendo valores negativos, lo cual indica condiciones de convergencia y que no existe transporte vertical. Considerando la estratificación de la columna de agua se pueden citar algunos factores que posiblemente contribuyeron a la retención de material nutritivo que sostuvo las numerosas poblaciones de dinoflagelados durante más de dos meses, entre estos están: el flujo advectivo (transporte lateral), difusión y ondas internas entre otros.

Fitoplancton

Variaciones cuantitativas

La abundancia media de fitoplancton por fecha de colecta a través del tiempo mostró un primer período de baja abundancia, del 4 de febrero hasta el 13 de marzo, a partir del cual se inició un aumento, alcanzando densidades mayores a 1×10^6 cél l⁻¹ desde finales de marzo que se mantuvieron durante el resto del período de estudio, con varios picos máximos y alcanzando un poco más de 24×10^6 cél l⁻¹ a mediados de mayo (Figura 10).

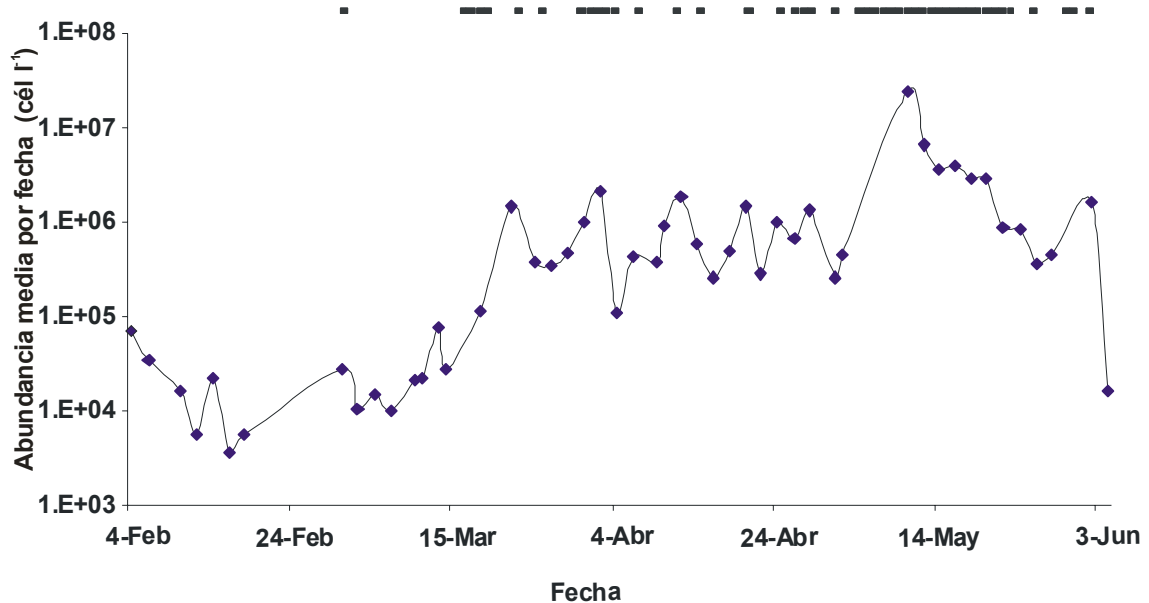


Figura 10. Abundancia media de fitoplancton durante el período de estudio por fecha en todas las estaciones de colecta.

Composición por grupos taxonómicos

La composición de fitoplancton durante el período de estudio, de acuerdo a la abundancia de los principales grupos fitoplanctónicos, mostró una predominancia de los dinoflagelados tecados con el 93%. El 7% restante lo formaron las diatomeas centrales, diatomeas pennadas, dinoflagelados desnudos y otros grupos entre los cuales se ubican los silicoflagelados (Figura 11).

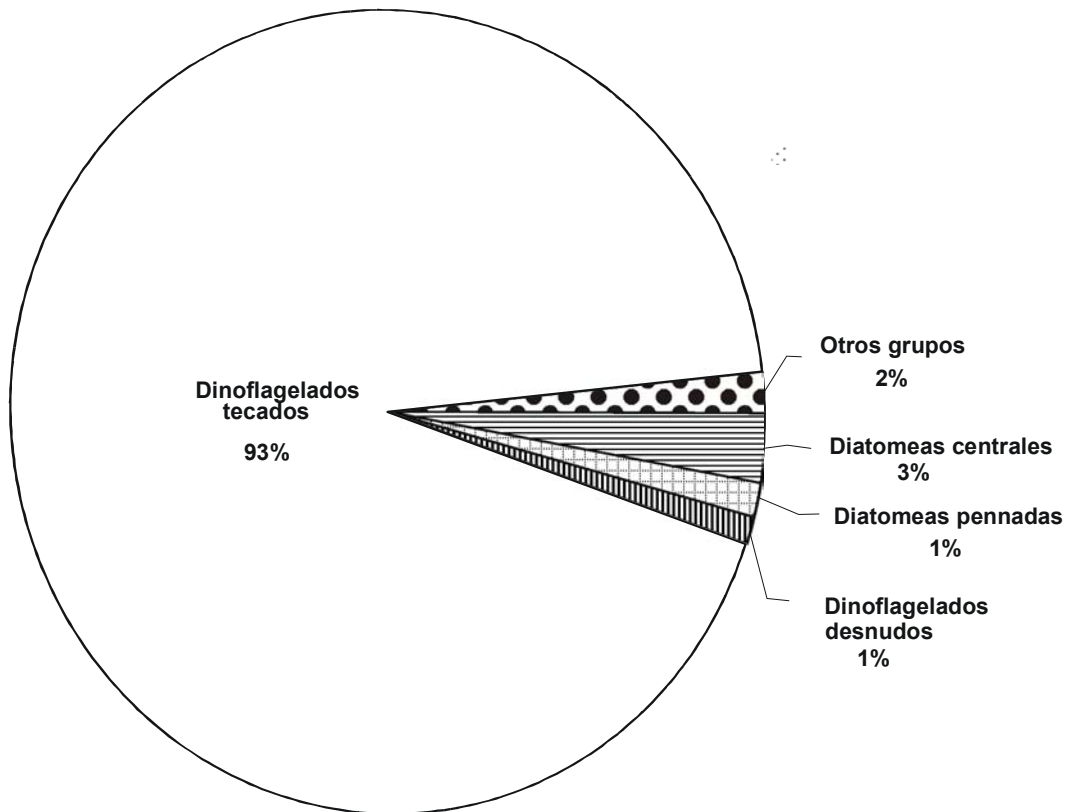


Figura 11. Composición fitoplanctónica de acuerdo a la abundancia de grupos fitoplanctónicos.

Abundancia por géneros

Los géneros predominantes durante el periodo de estudio en cuanto a abundancia fueron los dinoflagelados tecados *Prorocentrum* spp. con el 87%, el

dinoflagelado tecado *Ceratium* spp. con el 5%, la diatomea *Thalassiosira* spp. con el 1% y, por último, otros organismos no identificados con el 2%, y de otros géneros con un 5% (Figura 12).

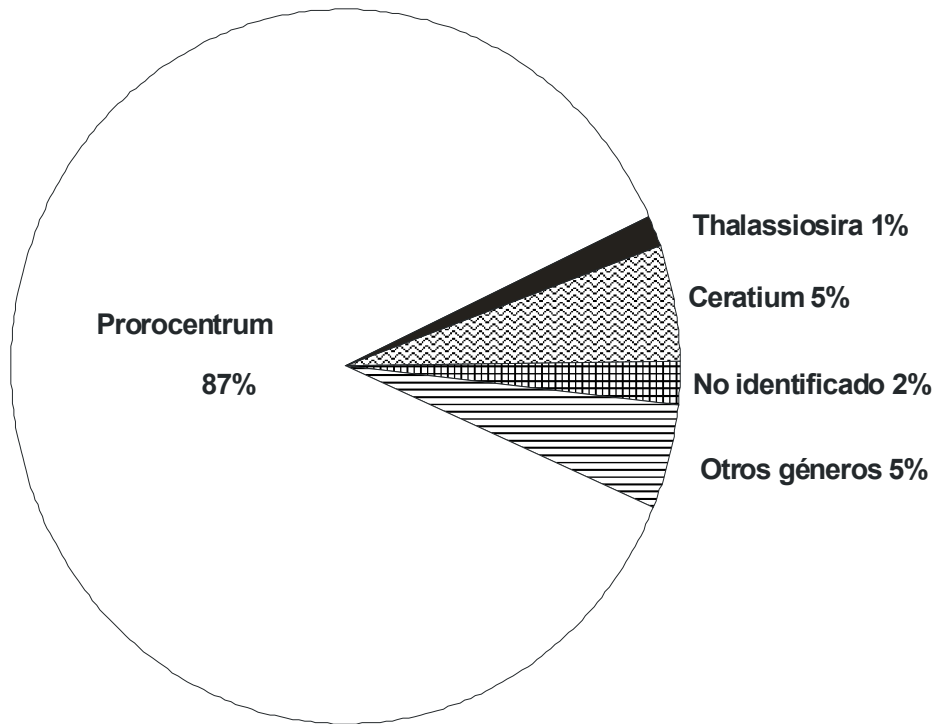


Figura 12. Composición de fitoplancton con respecto a la abundancia por géneros.

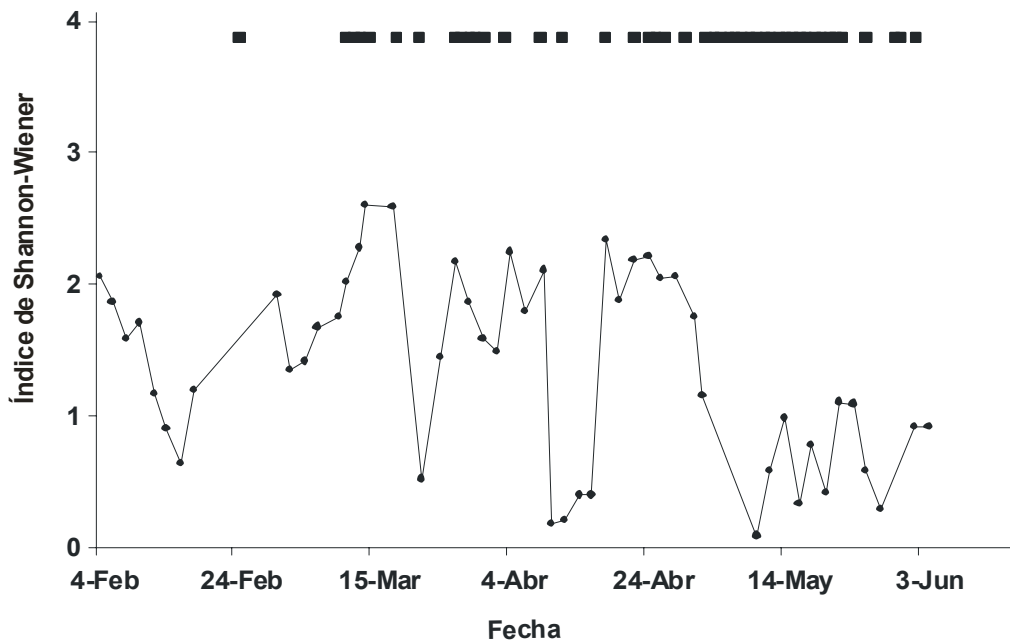


Figura 13. Índice de Shannon-Wiener durante el período de estudio en todas las estaciones de colecta.

Diversidad genérica

Se calcularon los índices de diversidad de Shannon-Wiener considerando la abundancia de los géneros en cada una de las fechas de muestreo. Se obtuvieron valores relativamente bajos, con mínimos cercanos a 0 y máximos de 2.79 (Figura 13). Los mínimos observados correspondieron en general, a excepción de los encontrados en 16 de febrero y 22 de marzo, a fechas de marea roja, sobre todo en el mes de mayo donde la permanencia de ésta fue mayor. Los máximos observados se presentaron en algunas fechas incluidas en el período de mareas rojas, como consecuencia de la presencia de un mayor número de especies y de una disminución de la abundancia de la especie dominante.

Composición específica

La comunidad fitoplanctónica fue dominada por los dinoflagelados tecados *Prorocentrum balticum* (82%), seguida de *Prorocentrum mexicanum* (5%), *Ceratium furca* (4%) y la diatomea central *Thalassiosira* spp. (1%) (Figura 14).

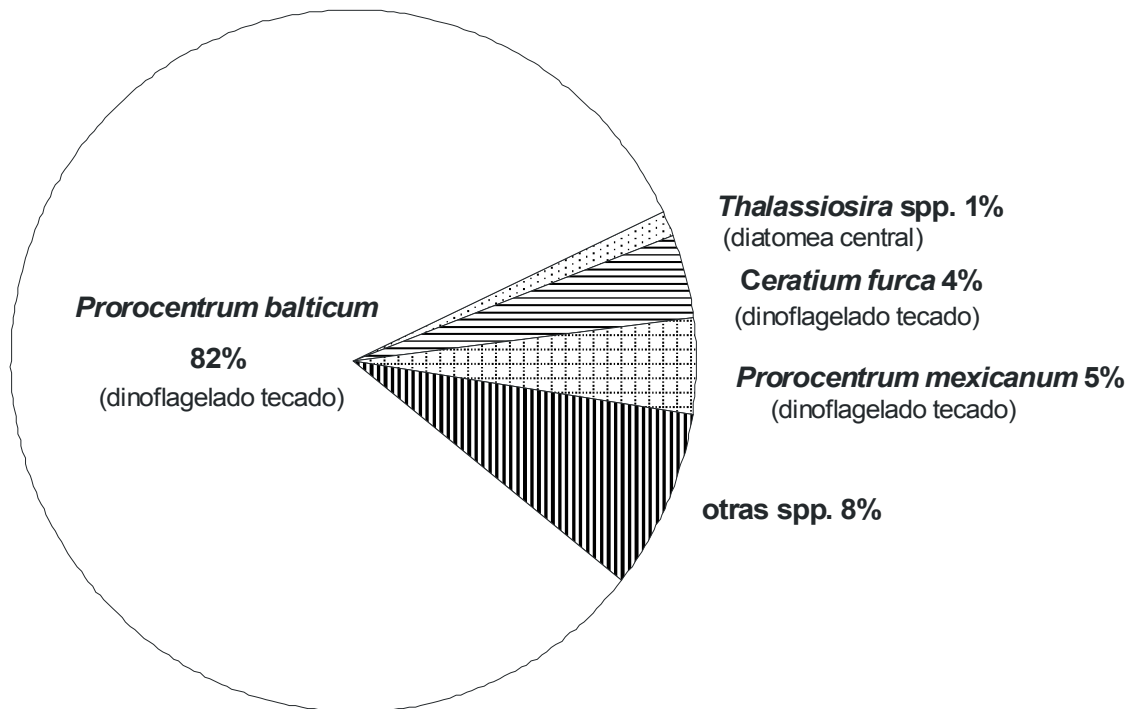


Fig 14 Composición específica del fitoplancton de acuerdo a la abundancia total.

Presencia de marea roja en la bahía.

Días de mareas rojas observados durante el período de estudio

El total de días observados de marea roja en la primera mitad del año 2000, del 1 de enero al día 15 de junio 2000, fue de 61. En el período de estudio, que comprende del 4 de febrero al 15 de junio, se registraron aproximadamente 50 días de marea roja (Tabla 8).

Al final del año 2000, se observaron más de 90 días de “marea roja”, incluyendo los comprendidos en el mes de octubre que fueron eventos dominados por el dinoflagelado *Cochlodinium polykrikoides* (probablemente *C. catenatum* Okamura). Este último es un dinoflagelado desnudo y ha sido descrito en mareas rojas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica y es considerado no tóxico (Viquez y Hargraves, 1995). Comparativamente, el análisis anual del número de días de marea rojas observados en el 2000 es superior al registro que se tiene de los últimos 20 años, comparable al año de 1985 durante el cual se registraron 65 días (Cortés-Altamirano *et al.*, 1999).

Tabla 8. Días de mareas rojas observadas hasta junio del 2000

MES	FECHA	SUBTOTAL
Enero	1-8, 17, 24,31	11
Febrero	29	1
Marzo	15-18, 22, 25, 30-31	8
Abril	1-3, 6, 11-14, 20, 24,26-28,	13
Mayo	1, 4-23, 26, 30-31	24
Junio	2, 7-8	4
TOTAL		61

Especies presentes durante los eventos de marea roja

Las mareas rojas en el 2000 iniciaron desde el día 1 de enero, formando densas manchas rojizas en el antepuerto y en la bahía. Del 1-8 de enero se asoció a un desarrollo poblacional de *Scrippsiella trochoidea* como especie dominante (Artículo núm. 2); el 17 de enero, correspondió a *Noctiluca scintillans* (Cortés–Altamirano y Aguirre-Gómez, 2001); el día 24 de enero inicia un evento con la coexistencia de *G. catenatum* y *Noctiluca scintillans* (Artículo núm. 2); los rasgos que se observan en estos primeros eventos del año dominados por *Scrippsiella trochoidea*, es de condiciones estables de temperatura durante este primer evento. Enseguida se observa una interrupción en la presencia de manchas que coincide con una disminución de la temperatura de fondo en 1°C que permaneció estable en 18.5°C hasta el 19 de enero, cuando inició un aumento de temperatura en 3°C que coincide con un pico de hundimiento de agua indicado por el índice de surgencia con valores negativos, alcanzando en 5 días una temperatura de 21.7°C el día 24 de enero, fecha en que se detectó la presencia de *Gymnodinium catenatum* en coexistencia con su depredador, *Noctiluca scintillans* (Artículo núm. 2; Cortés–Altamirano y Aguirre-Gómez, 2001) en un evento de 3 días de duración, por último, el 31 de enero, en el cual también se observaron manchas de marea roja pero no se identificó al organismo responsable. A partir del 4 de febrero dio inicio la campaña de muestreo que da origen a este trabajo (Tabla 9).

Cobertura de la superficie por marea roja.

La cobertura de coloración de la superficie de la bahía varió durante el período de estudio dentro de un intervalo de 0 a 39% del área de estudio. El área base se delimitó de acuerdo a la isóbata de 18 m, entre Punta Camarón y la boca del estero de Urías, en la parte norte de la ciudad de Mazatlán (Figura 1, 15), resultando mayor en el período del 1 al 14 de abril y de nuevo durante las observadas durante el mes de mayo.

Tabla 9. Composición de especies dominantes por fecha en las mareas rojas de la Bahía de Mazatlán en la temporada invierno-primavera del 2000.

Fechas de marea roja*	Especies dominantes
15-25 marzo	<i>P. balticum</i> , <i>P. mexicanum</i>
29 marzo	<i>P. balticum</i> , <i>P. mexicanum</i>
30-31 marzo	<i>P. balticum</i> , <i>P. mexicanum</i> , <i>C. furca</i> , <i>Scrippsiella</i> sp.
1-3 abril	<i>P. balticum</i> , <i>C. furca</i> , <i>P. mexicanum</i>
6 abril	<i>C. furca</i> , <i>P. balticum</i> , <i>P. triestinum</i> .
9 abril	<i>P. triestinum</i> , <i>Nitzschia</i> sp., <i>P. balticum</i>
10-20 abril	<i>P. balticum</i> , <i>P. mexicanum</i>
22-30 abril	<i>P. balticum</i> , <i>Thalassiosira</i> sp.
1-28 mayo	<i>P. balticum</i> , <i>P. mexicanum</i> , <i>C. furca</i>
30-31 mayo	n.d.
5-8 de junio	<i>P. balticum</i> , <i>P. mexicanum</i> , <i>P. micans</i>

*Días de mareas rojas (abundancia total $> 1 \times 10^6$ cél l⁻¹ por fecha de colecta).

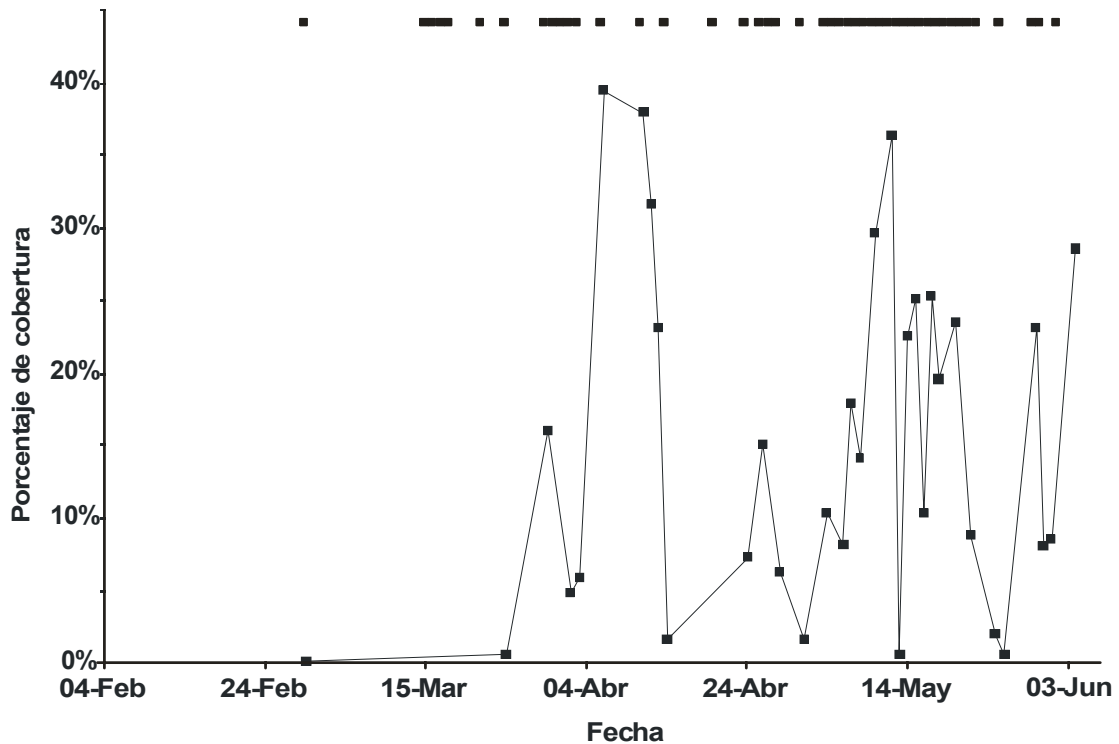


Figura 15. Porcentaje de cobertura de mareas rojas en la bahía de Mazatlán,

Sucesiones

Las sucesiones son el cambio continuo en la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica y en la abundancia y dominancia relativa de las especies y grupos algales presentes en dicha comunidad (Smayda, 1980). Las comunidades fitoplanctónicas que se desarrollaron durante el período de estudio estuvieron conformadas principalmente por especies pertenecientes al género *Prorocentrum*, con especies adaptadas a condiciones de alta estabilidad física y alta concentración de nutrientes en la capa fótica (Smayda, 2000; Figura 16).

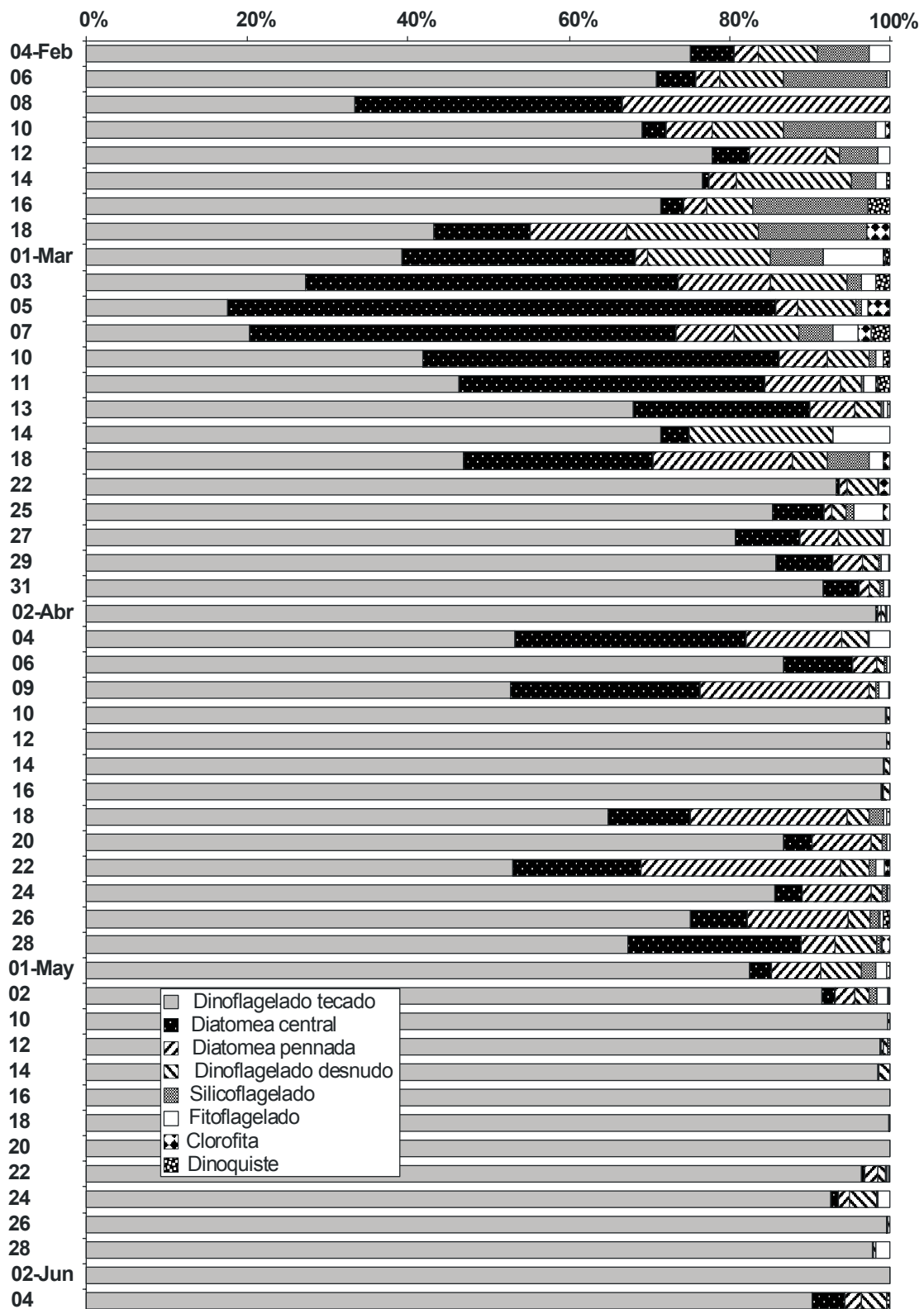


Fig 16. Abundancia relativa (porcentaje) de los principales grupos por fecha.

Los grupos de dinoflagelados tecados, junto con las diatomeas centrales, conformaron más de las dos terceras partes de las comunidades de fitoplancton en todas las fechas del estudio, excepto el 18 de febrero cuando se presentó el mínimo de 54% con respecto a la abundancia total por grupo.

Cabe mencionar que la abundancia de silicoflagelados, fitoflagelados, clorofitas y dinoquistes fue relativamente baja en casi todos los muestreos.

Sucesión de especies

Los grupos más importantes de acuerdo a la abundancia relativa por fecha fueron los dinoflagelados tecados y diatomeas centrales, seguidos de dinoflagelados desnudos y diatomeas pennadas (Figura 16). Los géneros representantes de los dinoflagelados *Prorocentrum*, *Ceratium* y *Scrippsiella*, de las diatomeas centrales *Thalassiosira*, y de las diatomeas pennadas *Nitzschia* y *Pseudonitzschia*, todos juntos, dinoflagelados y diatomeas constituyeron una proporción importante (74%) de la abundancia relativa de los grupos fitoplanctónicos a lo largo del estudio con predominancia del género *Scrippsiella* en el primer mes y medio, *Thalassiosira* sp. en el siguiente mes y *Prorocentrum balticum* y *P. mexicanum* en el resto del período de estudio. (Figura 17). De estos géneros, la especie *Prorocentrum balticum* fue la más abundante y con mayor presencia y significó el 50% en promedio de la abundancia relativa a lo largo del estudio.

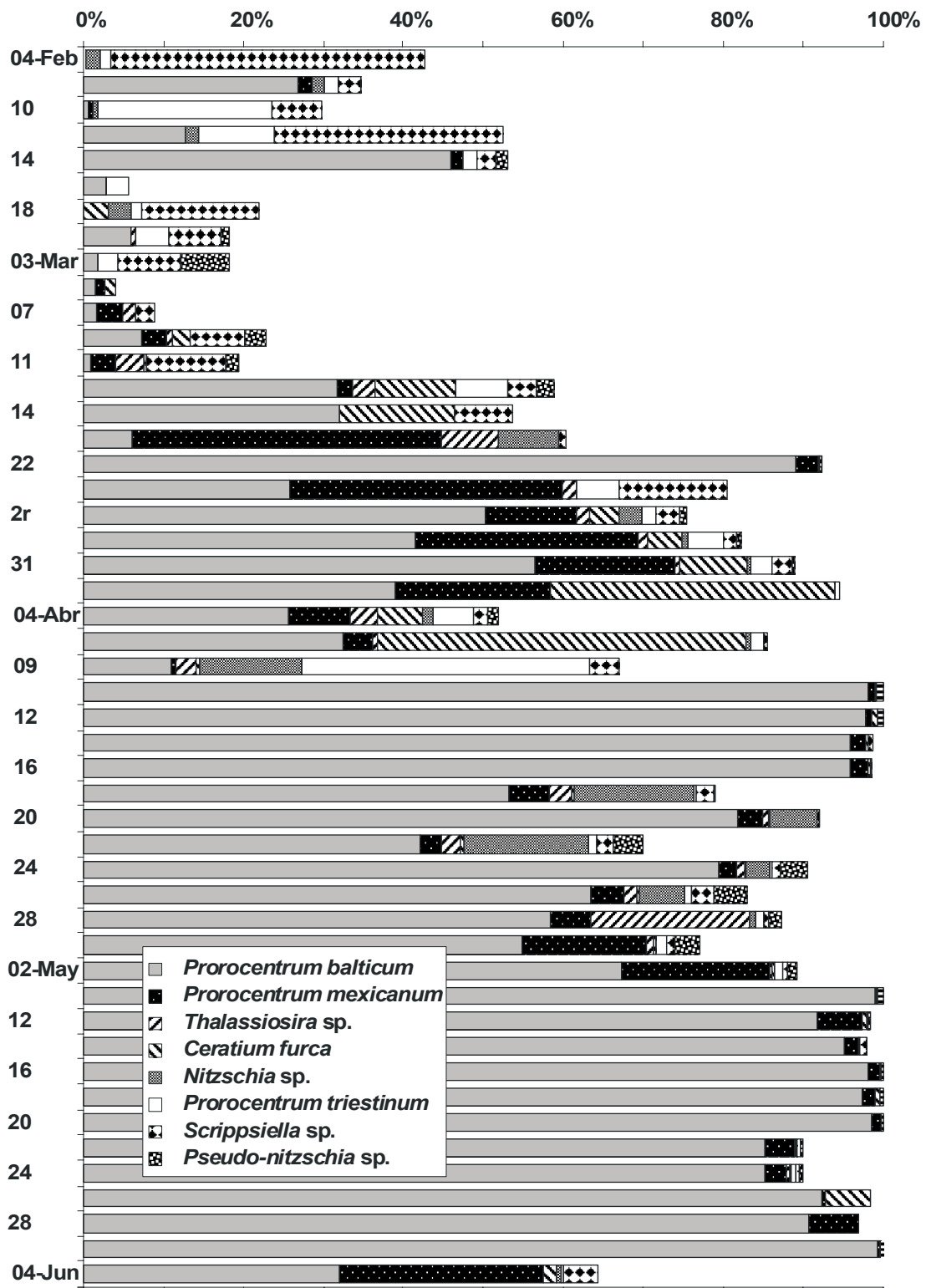


Figura 17. Abundancia relativa de las principales especies de fitoplancton de la Bahía de Mazatlán durante el período de estudio (%).

Material biogénico y dinoquistes en los sedimentos de la bahía de Mazatlán

Abundancia, composición y distribución del material biogénico.

El material biogénico fue más variable y alcanzó los mayores valores en los sedimentos de las estaciones 1 y 6 (Figura 18 a), mientras que la 2 y la 5 mostraron una menor variación y abundancia a lo largo del período de muestreo (Figura 18 b). Las estaciones cercanas a la orilla, 3 y 4 mostraron la menor abundancia de partículas biogénicas (Figura 18, c), lo cual puede deberse a la alta dinámica de esta zona que comprende la zona de transporte y deposición litoral por oleaje (Peraza, 1985).

En cuanto a la abundancia del material biogénico por fecha, se observó un mínimo el 18 de febrero en ausencia de algún evento notorio de marea roja y un máximo el 31 de abril del 2000; esta fecha se ubica a la mitad del período de marea roja en la bahía (Artículo núm. 1) (Figura 19).

Los silicoflagelados (60%) dominaron la taxocenosis de los palinomorfos en las muestras de sedimentos (Figura 20), seguidos de diatomeas centrales y pennadas (27%). El grupo de dinoquistes constituyó solamente el 4% del total del material biogénico.

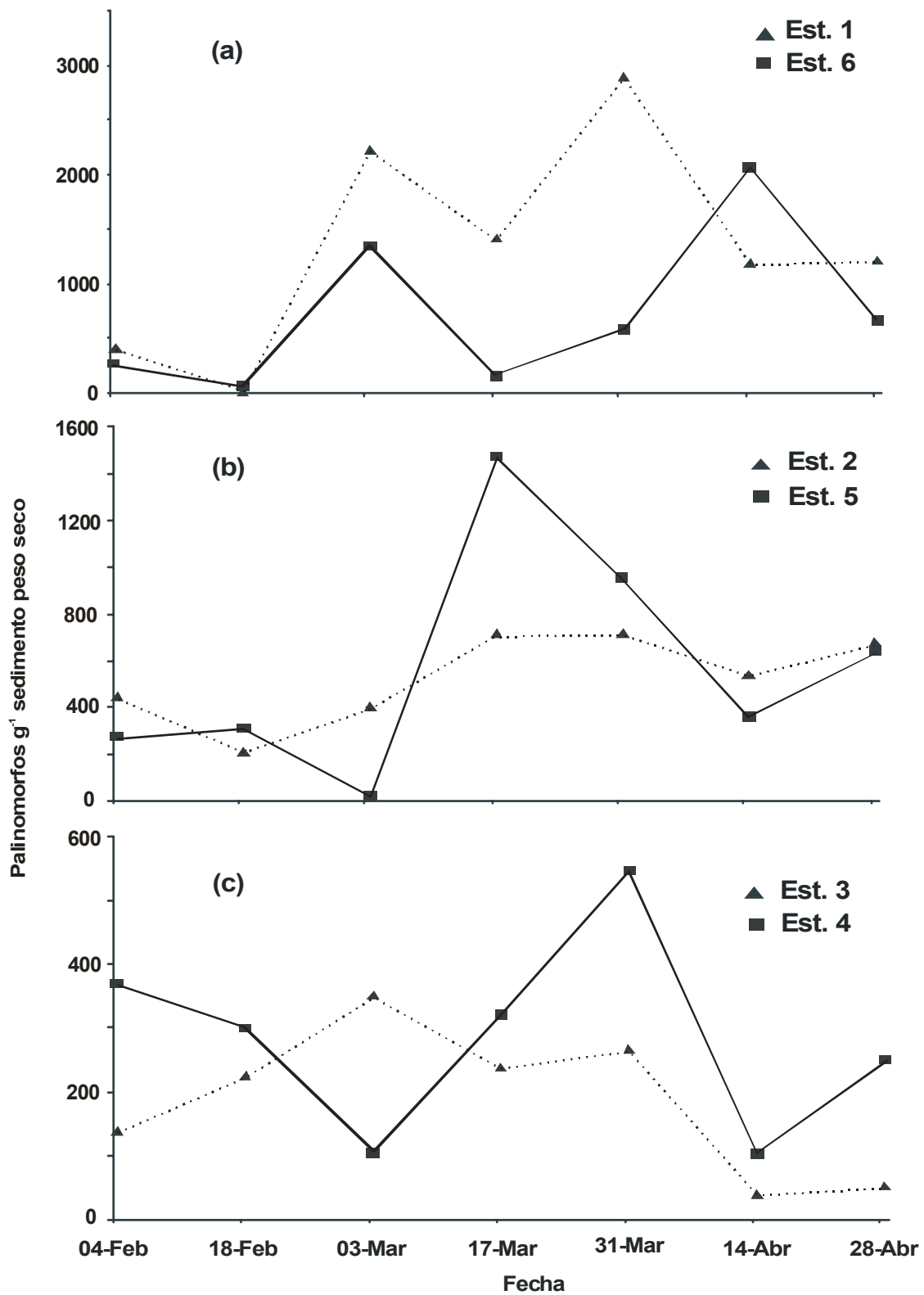


Figura 18. Abundancia de polinomorfos durante el período de estudio (partículas g⁻¹ sedimento peso seco). Nótese la diferencia de escalas.

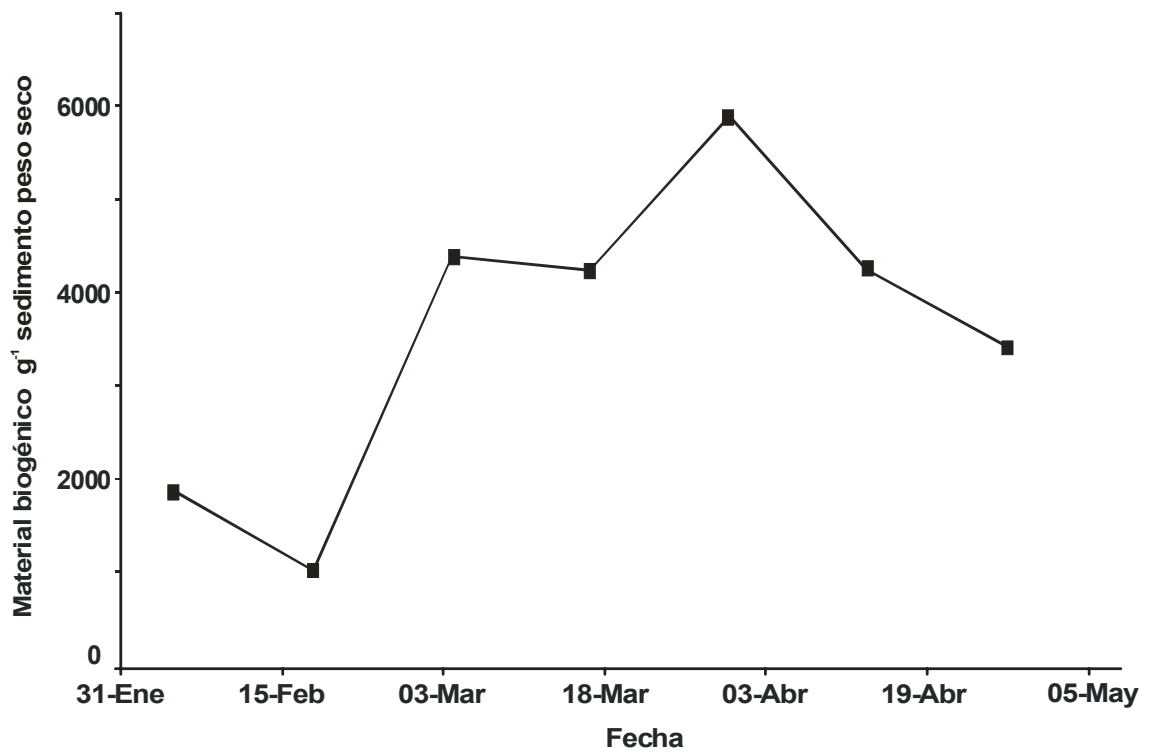


Figura 19. Abundancia total de material biogénico por fecha (partículas g⁻¹)

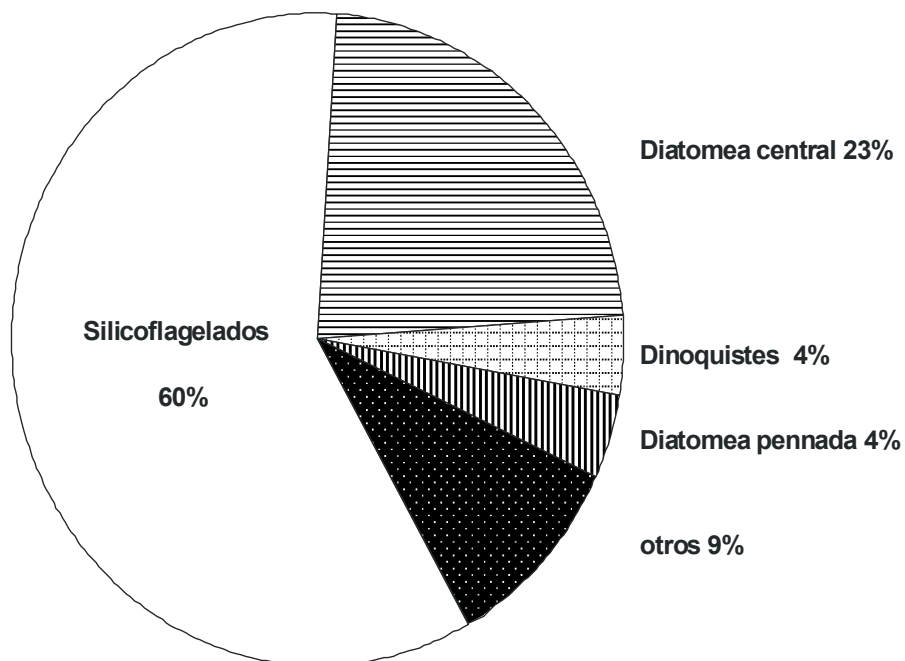


Figura 20. Abundancia relativa de los grupos fitoplanctónicos en el material biogénico de la bahía de Mazatlán.

La abundancia de partículas biogénicas en la bahía de Mazatlán se relaciona, al parecer, con la distancia a la costa (Figura 21). En la estación 6, que es la estación que se encuentra más expuesta a la influencia marina y menos al efecto de resuspensión por oleaje, presenta condiciones favorables para que la sedimentación del material biogénico presente en la columna de agua, encontrándose en ella una mayor abundancia de palinomorfos.

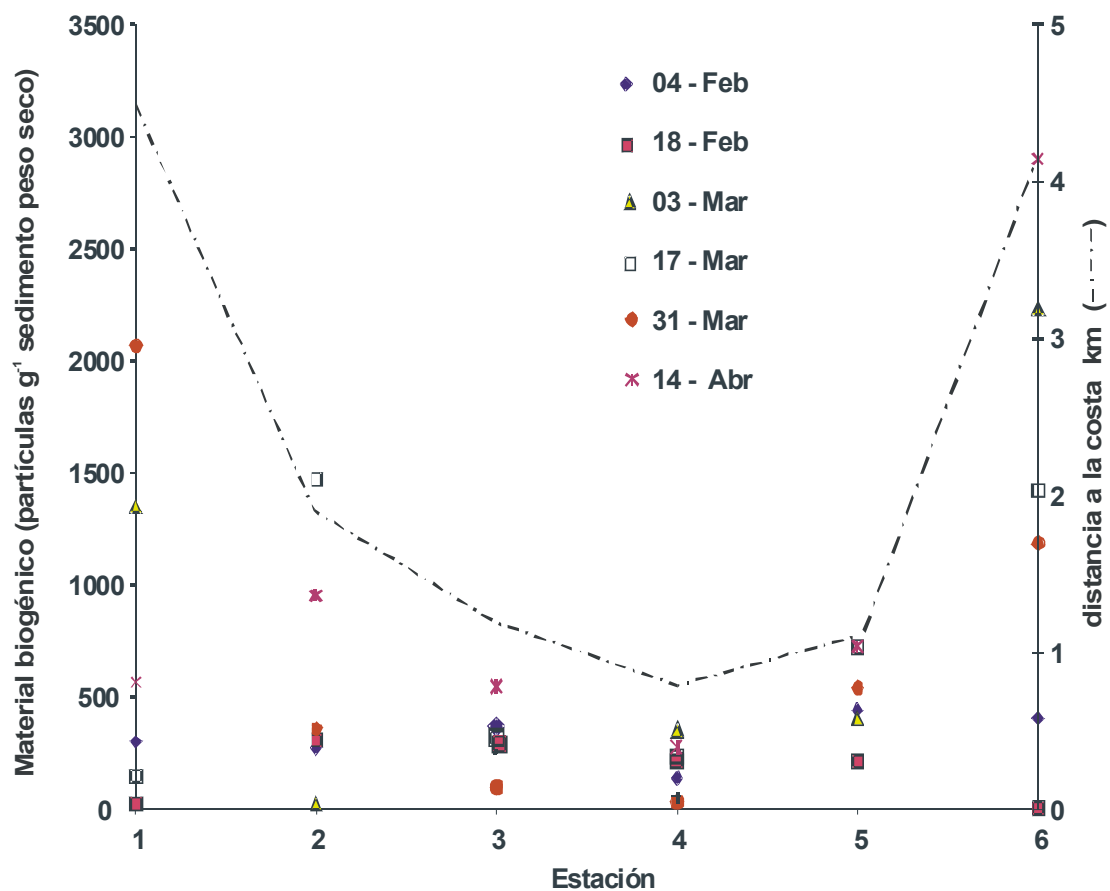


Figura 21. Abundancia de material biogénico en cada estación y la distancia a la costa.

Los resultados muestran diferencias entre estaciones de colecta con respecto a la abundancia de material biogénico y dinoquistes. La profundidad, más que la distancia, parece ser el factor determinante en la abundancia de material

biogénico en la Bahía de Mazatlán, por lo que las estaciones pareadas son más parecidas entre sí (Figura 22).

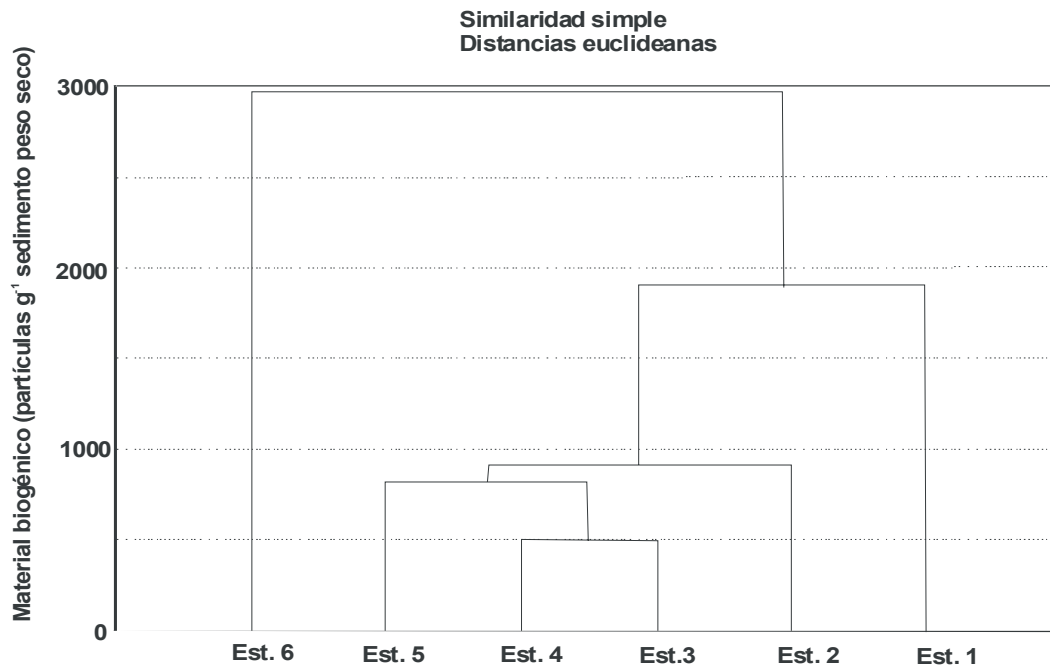


Figura 22. Diagrama de similaridad con respecto a la abundancia de material biogénico en las diferentes estaciones.

Abundancia, composición y distribución de los dinoquistes.

Los principales morfotipos de quistes producidos por dinoflagelados en la bahía de Mazatlán fueron los grupos: Peridiniales (59%), Gymnodiniales (27%), el tipo de los Gonyaulacales (5%) y los quistes no identificados, los cuales constituyeron el 9% restante (Figura 23).

El género *Protoperidinium* (57%) constituyó más de la mitad de los dinoquistes en la bahía de Mazatlán durante el periodo de muestreo, seguido de quistes producidos por dinoflagelados desnudos como *Gymnodinium* (18%) y *Gonyaulax*

(4%). Otros géneros no identificados, tuvieron una abundancia relativa del 17% (Figura 24).

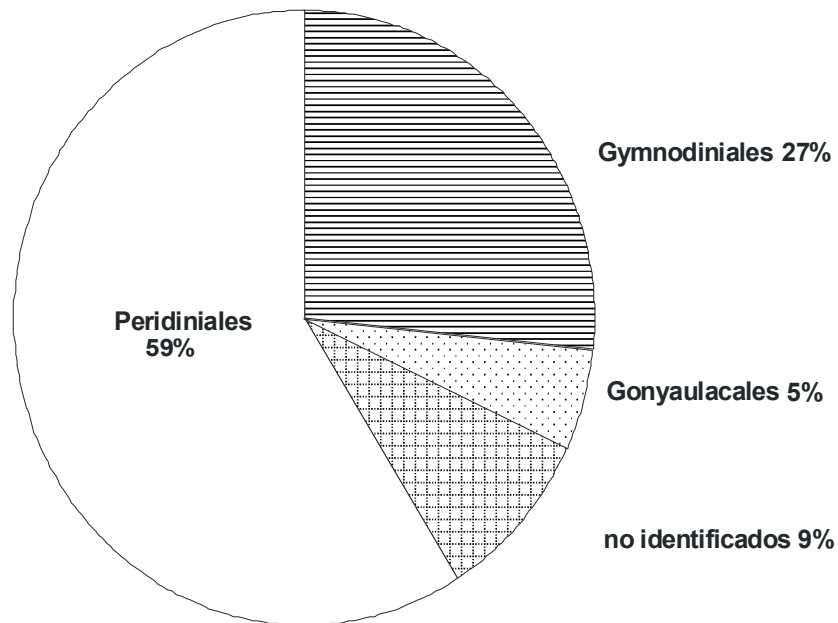


Figura 23. Composición relativa de la abundancia de dinoquistes con respecto a los principales grupos productores de quistes.

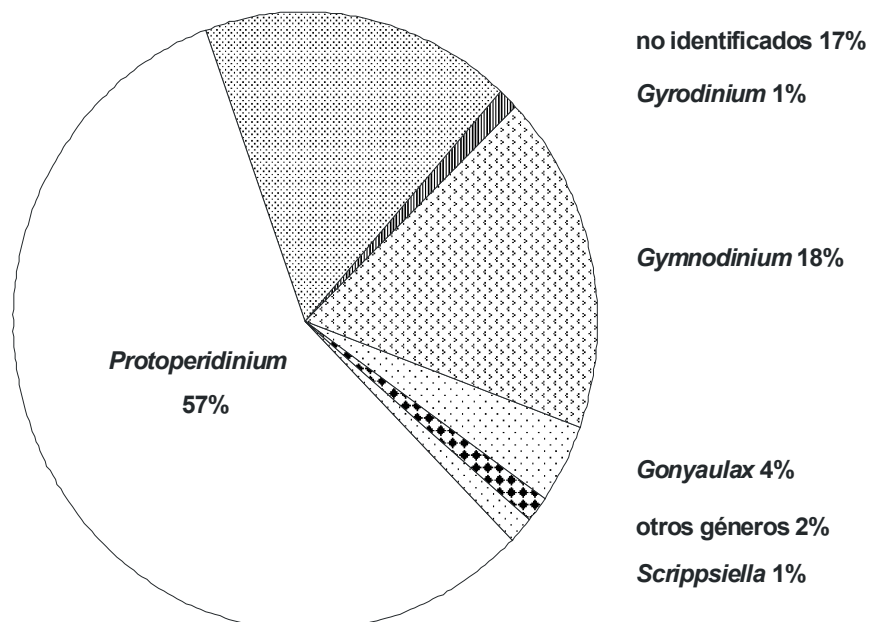


Figura 24. Composición genérica de la abundancia de dinoquistes en la Bahía de Mazatlán.

Tabla 10 Presencia de dinoquistes en la bahía de Mazatlán

GÉNERO	ESPECIE	ESTACIÓN					
		1	2	3	4	5	6
<i>Alexandrium</i>	sp.						x
<i>Cochlodinium</i>	sp.					x	
<i>Cochlodinium</i>	<i>polykrikoides</i>					x	
<i>Gonyaulax</i>	sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera</i>						x
<i>Gymnodinium</i>	sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Gyrodinium</i>	<i>impudicum</i>	x	x				x
<i>Gyrodinium</i>	sp.	x			x		
<i>Lingulolidium</i>	<i>polyedrum</i>	x					
<i>Nematosphaeropsis</i>	sp.					x	
Ni	ni	x	x	x	x	x	x
<i>Polykrikos</i>	sp.	x	x			x	x
<i>Protoperidinium</i>	<i>americanum</i>		x				
<i>Protoperidinium</i>	<i>compressum</i>			x			
<i>Protoperidinium</i>	<i>conicum</i>	x					
<i>Protoperidinium</i>	<i>crassipes</i>	x					
<i>Protoperidinium</i>	<i>oblongum</i>				x		
<i>Protoperidinium</i>	sp.	x	x	x	x	x	x
<i>Scrippsiella</i>	sp.	x	x	x		X	x

La presencia de la mayor abundancia de quistes no correspondió a las estaciones donde se observó la mayor abundancia de material biogénico, lo cual implica una diferente composición de este tipo de material.

La mayor abundancia total de dinoquistes se observó en las estaciones 6 y 2 seguida de la 1 y la 5, la menor se observó en las estaciones 3 y 4 cercanas a la orilla (Figura 25).

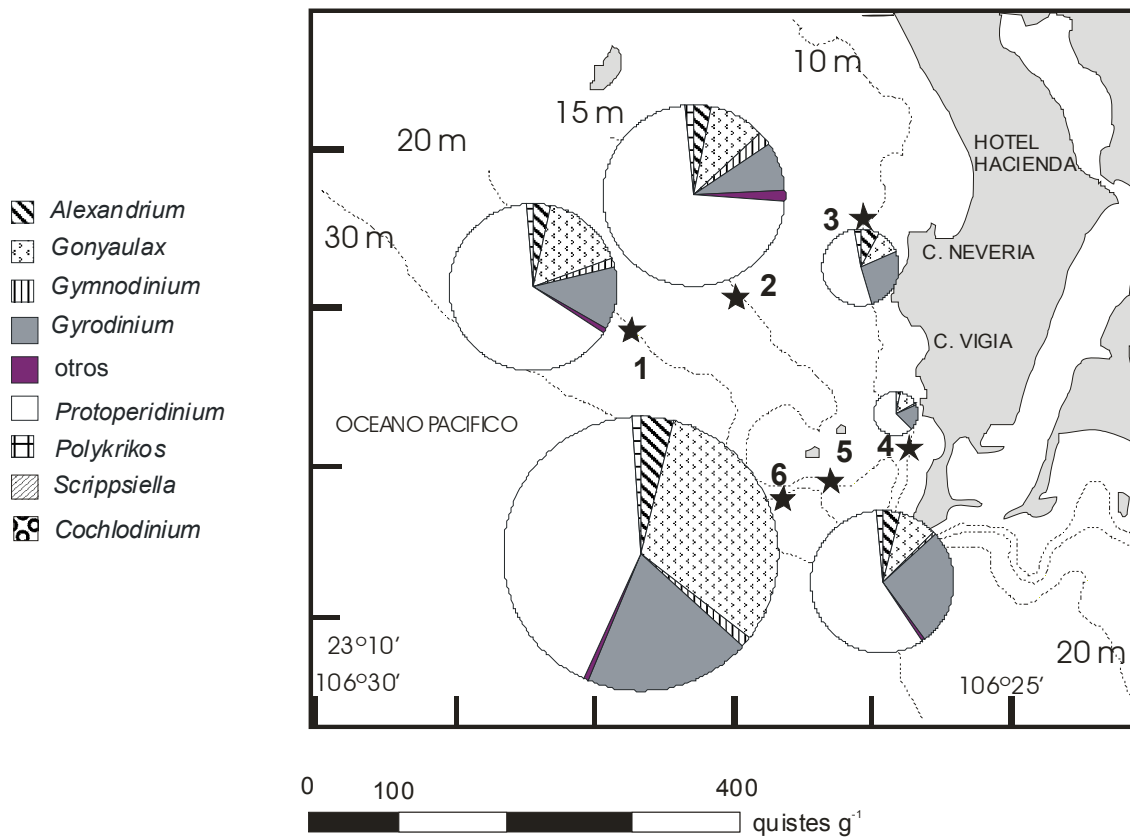


Figura 25. Representación espacial de la abundancia y de la composición de dinoquistes en la bahía de Mazatlán.

Material biogénico y dinoquistes en el estero de Urías

En el estero de Urías, la profundidad varió de 1 a 8 m y la temperatura del sedimento en dos grados centígrados entre las distintas estaciones (24-26 °C) (Tabla 4). Este sistema, mostró contener una abundancia variable de material biogénico en un gradiente que aumenta de la cabeza a la boca del estero, con el valor máximo en la estación localizada en el antepuerto, una zona caracterizada por su alta sedimentación (Figura 26). La estación 2 también resultó atípica, debido a que es una zona de sedimentación en donde están presentes sedimentos limosos en un porcentaje del 13 al 80% y materia orgánica de 4.7 a 8.2% (Méndez, 2002).

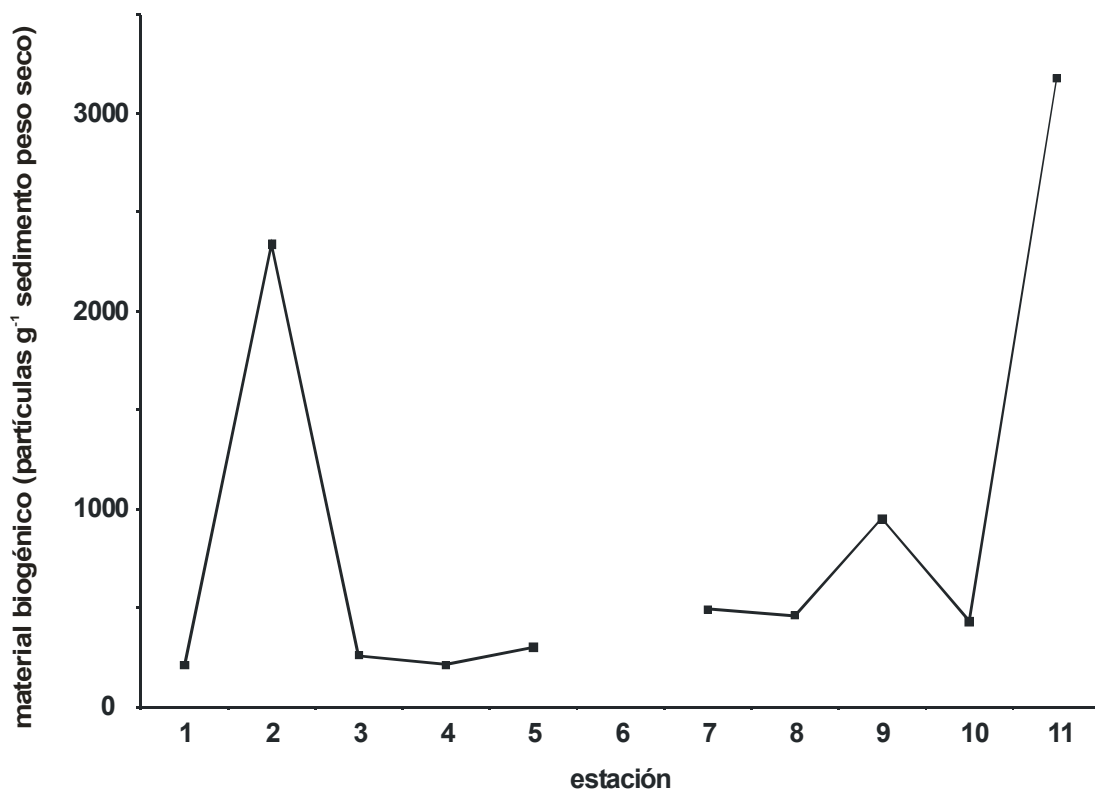


Figura 26. Abundancia total de material biogénico por estación en el estero de Urías, 11 de diciembre de 2002.

La abundancia de material biogénico por estación fue de 210 a 3180 partículas g-1 sedimento (peso seco). Los grupos que constituyeron el material biogénico en el estero de Urías fueron diatomeas centrales (35%), silicoflagelados (32%), dinoquistes (8%), dinoflagelados desnudos (5%) y tecados (2%) (Figura 27). El grupo señalado como “otros” en esta figura se constituyó de material no identificado y otros componentes resultantes del zooplancton.

Los principales morfotipos de dinoquistes encontrados en el estero de Urías fueron Gymnodiniales (31%), Peridiniales (26%) y Gonyaulacales (4%), aunque una buena porción no pudieron ser identificados (40%) (Figura 28).

La composición relativa por género de los dinoquistes identificados en el estero de Urías estuvo representada por el género *Protoperidinium* (26%), *Gymnodinium* (18%), y “otros” que no fueron identificados con un 47% (Figura 29).

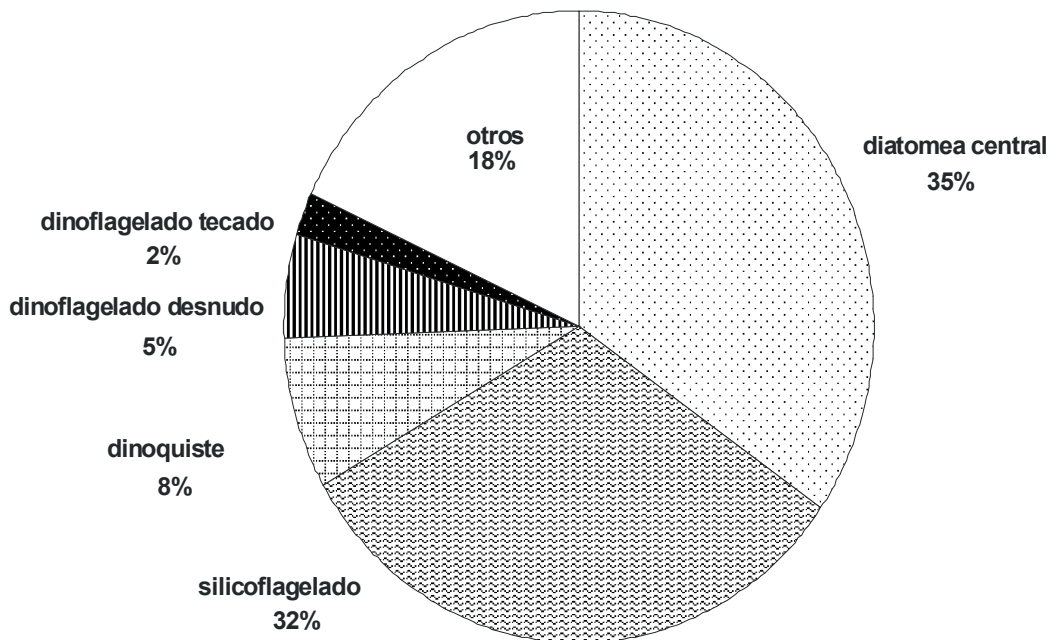


Figura 27. Composición relativa del material biogénico por grupo en el estero de Urías.

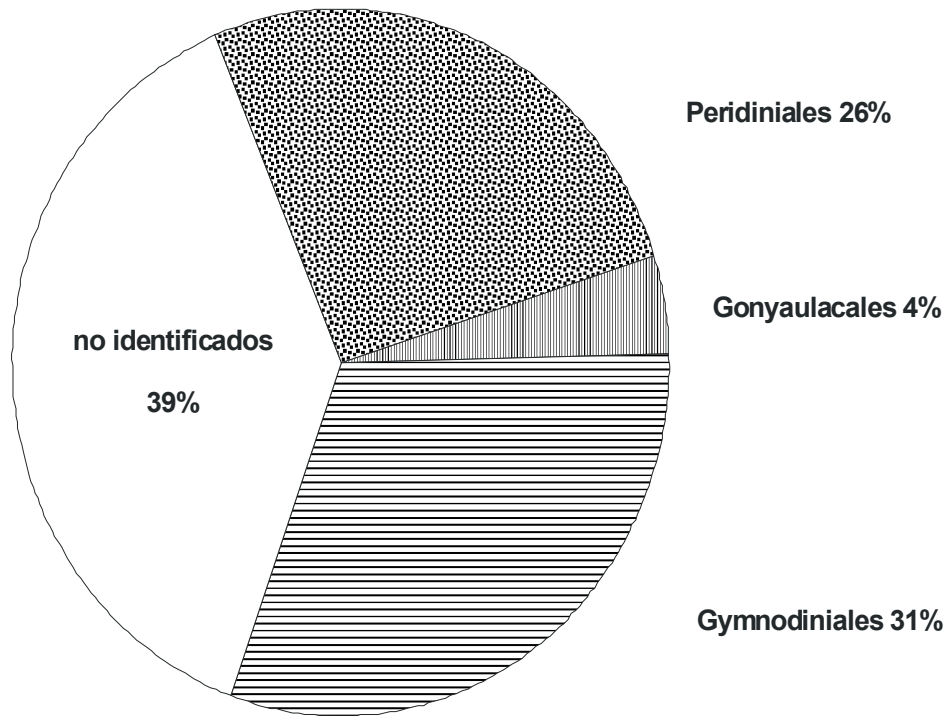


Figura 28. Composición relativa de dinofosfos de acuerdo a los morfotipos principales en el estero de Urías.

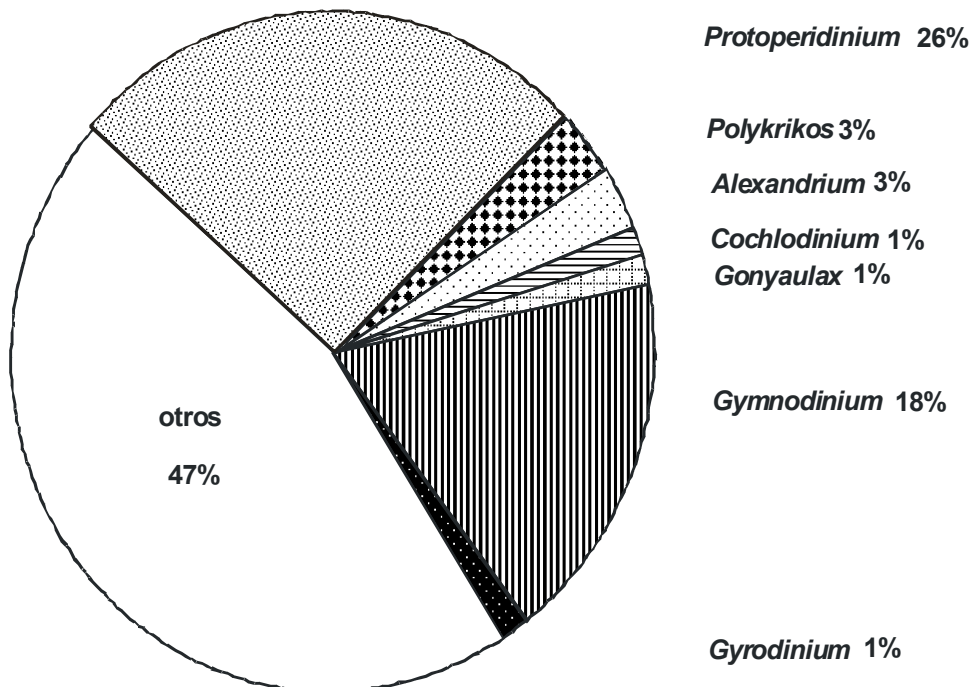


Figura 29. Abundancia relativa de géneros de dinofosfos en el sedimento del estero de Urías.

Tabla 11 Listado de especies de dinoquistes encontrados en el Estero de Urías

GÉNERO	ESPECIE	ESTACIÓN									
		1	2	3	4	5	8	9	10	11	
<i>Alexandrium</i>	sp.		x				x				
<i>Cochlodinium</i>	sp.		x								
<i>Gonyaulax</i>	sp.			x							
<i>Gymnodinium</i>	sp.										x
<i>Gyrodinium</i>	<i>impudicum</i>		x								
<i>Polykrikos</i>	sp.										x
<i>Protoperidinium</i>	<i>leonis</i>		x								
<i>Protoperidinium</i>	Spp.	x	x	x	x						x
ni	Ni	x	x	x		x	x	x	x	x	x

La mayor abundancia de dinoquistes total se observó en la estación 11 ubicada en la boca del estero y la menor en las estaciones 4, 5 y 10; en la estación 8 no se encontraron dinoquistes (Figura 30).

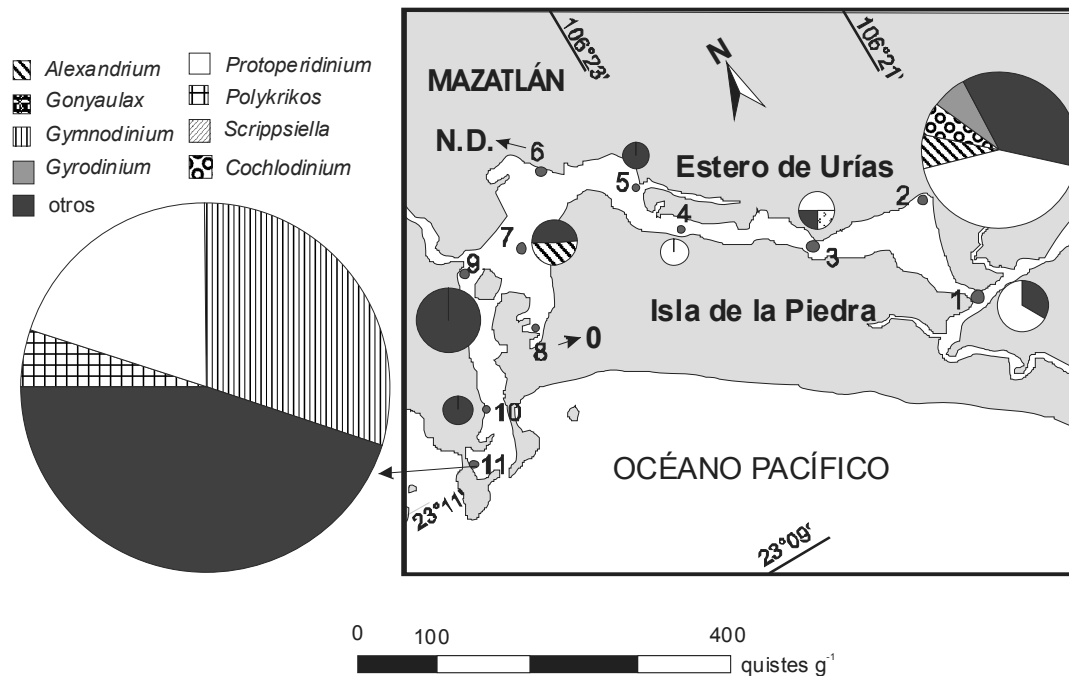


Figura 30. Representación espacial de la abundancia y de la composición de dinoquistes en el estero de Urías.

Relaciones entre grupos fitoplanctónicos y variables ambientales

Análisis de correspondencia canónica entre especies y variables ambientales en la bahía de Mazatlán

De los resultados obtenidos mediante la utilización del programa MSVP (mostrados en las tablas 12 a la 17), se puede destacar que la velocidad del viento dominante es la fuerza que más corresponde con el eje 1 (coef. de correlación 0.738) y con este vector se encuentran más correlacionadas la abundancia de dinoquistes y el material biogénico (Figura 31). Además, puede apreciarse que la abundancia del fitoplancton de fondo se encuentra inversamente relacionada a la velocidad del viento dominante y directamente con el gradiente de temperatura, la dirección del viento dominante y la velocidad del viento anterior.

Con respecto a las variables ambientales que definen el eje 2, destacan la profundidad (coef. de correlación -0.535) y el gradiente de densidad (-0.334), aunque en ambos casos de manera inversa. Como se puede apreciar, se presenta una correlación inversa de estas variables con la abundancia del fitoplancton superficial.

En la figura 31, se observan vectores sobrepuestos a los puntos del diagrama de la dispersión. Estos vectores, que emanan del centro del gráfico, representan las variables ambientales (en el Análisis de Componentes Canónicos). La dirección de la flecha indica la dirección del cambio máximo para esa variable y su longitud es proporcional al índice del cambio. En este caso, se destaca que la

“velocidad del viento dominante” que señala a la derecha de la grafica, indica que el viento está aumentando a lo largo de un gradiente de la izquierda a la derecha y que es relativamente grande, además ese cambio del viento se correlaciona fuertemente con las marcas de “dinoquistes” y “material biogénico” (triángulos con vértice hacia abajo). La posición de los puntos con respecto a los flechas (según lo determinado dibujando líneas perpendiculares del punto a la flecha) indica la relación entre cada punto y la variable representada por la flecha (tabla 12).

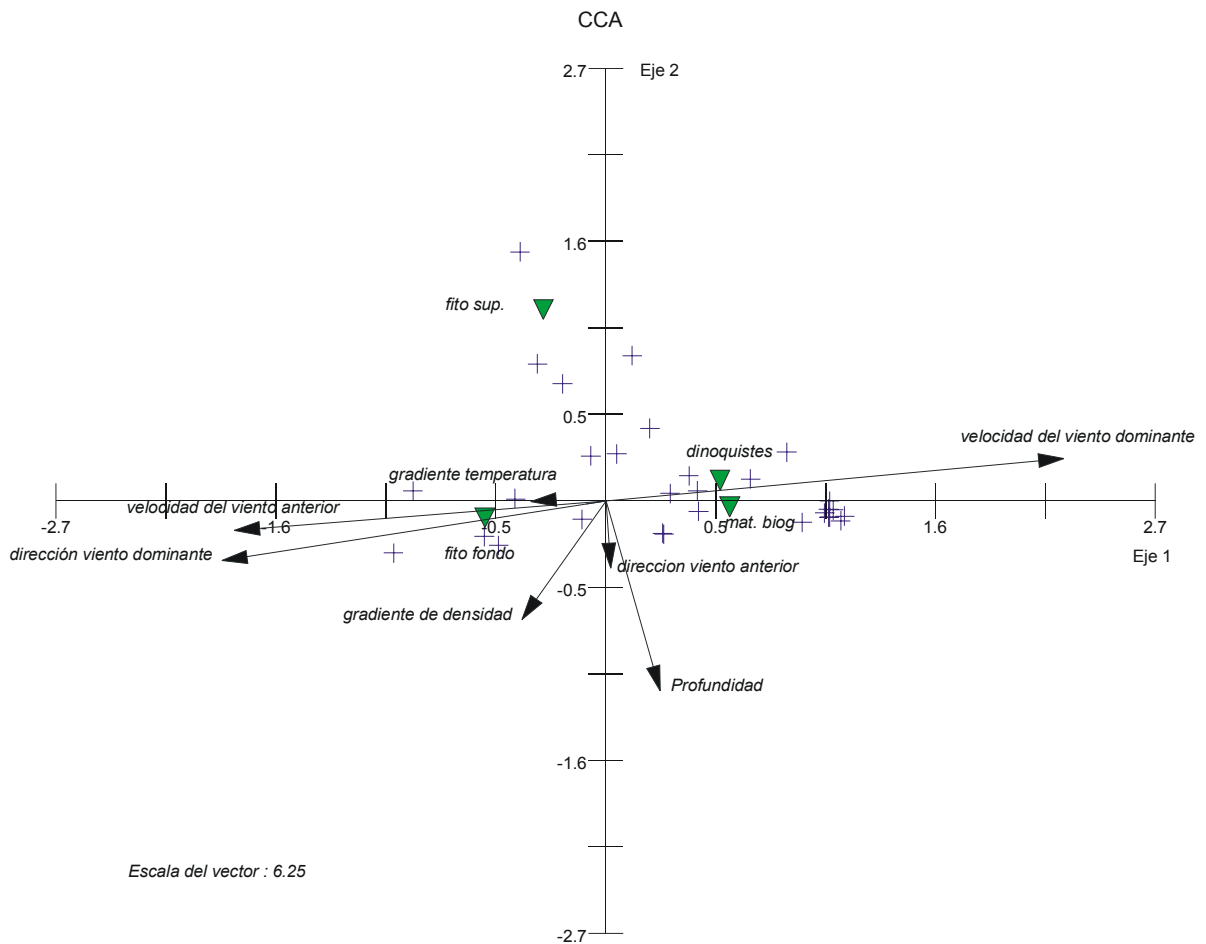


Figura 31. Gráfico del Análisis de Componentes Canónico (CCA).

Tabla 12. Coeficientes escalados simétricamente (escalamiento de Hill)

Variable	Peso promedio	Desviación estándar
Profundidad	17.244	3.868
gradiente de densidad	0.838	0.293
gradiente temperatura	3.476	1.068
vel. vient. dom. (nudos)	4.831	1.574
dirección viento dominante	308.464	31.196
velocidad viento anterior	7.037	1.237
dirección viento anterior	312.802	20.336
	Eje 1	Eje 2
Eigenvalores	0.264	0.079
Porcentaje	54.899	16.408
Porcentaje acumulativo	54.899	71.307
Porcentaje acumulativo construido	20.187	21.99
Correlaciones especies-variables ambientales	0.888	0.746

Tabla 13. CCA coeficientes canónicos de las variables proyectados sobre los ejes

	Eje 1	Eje 2
material biogénico	0.619	-0.039
Dinoquistes	0.572	0.131
fitoplancton fondo	-0.603	-0.107
fitoplancton superficial	-0.311	1.215

* Los valores mostrados en negritas en lastablas 12-16, son significativos.

Tabla 14. Correlaciones entre variables ambientales y ejes de CCA

	Especies eje 1	Especies eje 2	Ambiente eje 1	Ambiente eje 2	Profundidad	Grad. σ	Grad. T°C	vel vient. dom.	Dir. vient dom.	Vel vient. ant
Especies eje 1	1									
Especies eje 2	0.017	1								
Ambiente eje 1	0.888	0	1							
Ambiente eje 2	0	0.746	0	1						
Profundidad	0.088	-0.535	0.099	-0.717	1					
Grad. densidad	-0.135	-0.334	-0.152	-0.448	0.211	1				
Grad. temperatura	-0.032	-0.01	-0.036	-0.013	0.181	0.763	1			
Vel. vient. dom.	0.738	0.12	0.831	0.161	-0.082	-0.067	-0.067	1		
Dir. vient. dom.	-0.618	-0.169	-0.696	-0.226	0.171	-0.206	-0.282	-0.814	1	
vel vient. anterior	-0.599	-0.083	-0.674	-0.111	0.256	-0.091	-0.131	-0.473	0.752	1
Dir. vient. ant.	0.008	-0.189	0.009	-0.254	0.018	-0.087	-0.024	-0.322	0.156	-0.155

Tabla 15. Coeficientes Canónicos

	Especies eje 1	Especies eje 2
Profundidad	0.137	-0.187
gradiente de densidad	-0.161	-0.290
gradiente temperatura	0.225	0.215
vel. vient. dom.	0.770	-0.078
dirección viento dominante	0.548	-0.136
vel viento anterior	-0.458	0.069
dirección viento anterior	0.086	-0.084

Tabla 16. Inter-correlaciones entre variables ambientales y coeficientes de los sitios

	Ambiente eje 1	Ambiente eje 2
Profundidad	0.088	-0.535
gradiente de densidad	-0.135	-0.334
gradiente temperatura	-0.032	-0.010
vel. vient. dom.	0.738	0.120
dirección viento dominante	-0.618	-0.169
vel viento anterior	-0.599	-0.083
dirección viento anterior	0.008	-0.189

Tabla 17. Inter-correlaciones entre variables ambientales y coeficientes restringidas de los sitios

	Ambiente eje 1	Ambiente eje 2
Profundidad	0.099	-0.717
gradiente de densidad	-0.152	-0.448
gradiente temperatura	-0.036	-0.013
velocidad viento dominante.	0.831	0.161
dirección viento dominante	-0.696	-0.226
vel viento ant	-0.674	-0.111
dirección viento anterior	0.009	-0.254

Periodicidad de la temperatura superficial y del fondo

Mediante al análisis de series de tiempo se determinó que la temperatura superficial estuvo regida por un pico de baja frecuencia correspondiente a una periodicidad de 30 días, el cual no explica dicho armónico, por lo tanto se procedió a la eliminación de este pico y el resultado fue la observación de un pico de energía de alta frecuencia que correspondió a 4.6 días pero debido a que su magnitud es muy cercana a la frecuencia de Nyquist (4 días) no es confiable para describir la periodicidad de este parámetro durante el período de estudio.

En lo que respecta a la serie de tiempo de la temperatura del fondo, eliminando el pico mayor de baja frecuencia que correspondió a la totalidad del período de estudio (120 días), se observaron varios picos importantes de altas frecuencias de entre 6 a 8 días lo cual explica las variaciones de la temperatura en el fondo, con una frecuencia superior a la frecuencia de Nyquist y resulta más confiable para la determinación de periodicidad en las variaciones de temperatura del agua en la bahía (figura 32).

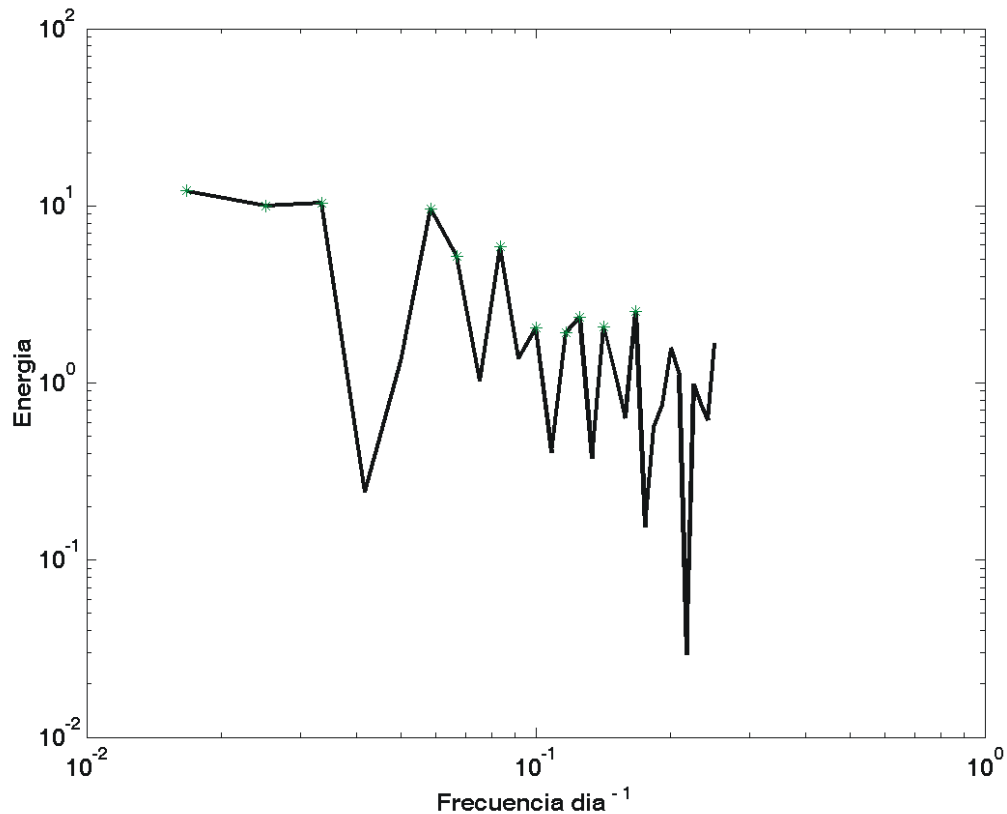


Figura 32. Periodograma de la temperatura de fondo correspondiente al período de estudio.

Periodicidad del índice de surgencia diario

El índice de surgencia diario se sometió a un análisis de series de tiempo, generando las frecuencias que corresponden a los máximos energéticos. El resultado se muestra en la figura 33. A partir de las frecuencias más energéticas se obtienen los períodos ($T=1/f$) más importantes para esta serie de tiempo que resultan ser, en orden de importancia, de 6.65 y de 8.31 días. Este resultado indica que la periodicidad de los máximos valores del índice de surgencia se encuentra regida por intervalos de tiempo de 7 a 8 días.

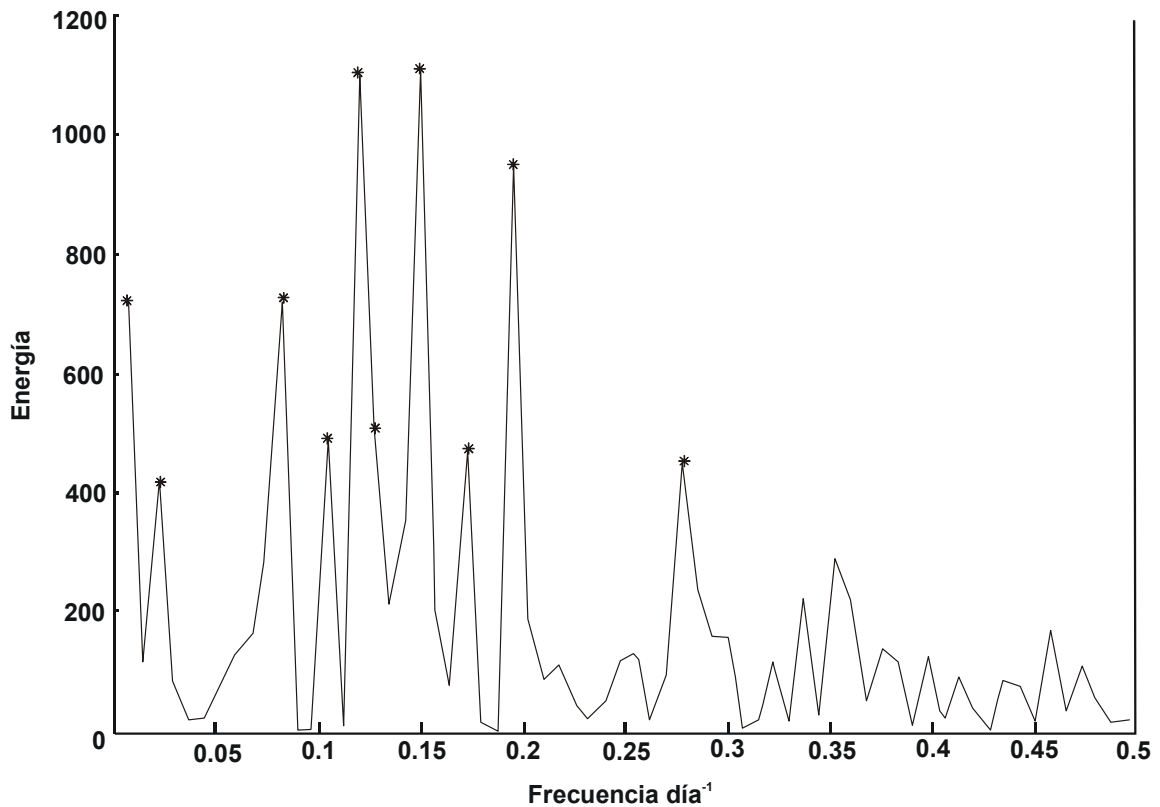


Figura 33. Periodograma del índice de surgencia correspondiente al período de estudio.

Ventana Óptima Ambiental

Las condiciones bajo las cuales se observa más del 50% de la abundancia total de cada uno de los grupos de fitoplancton durante el período de estudio, se muestra en la tabla 18. Se resaltan en dicha tabla los intervalos máximos o mínimos para cada variable. Dado que la especie dominante en los eventos de marea roja fue *Prorocentrum balticum* (82%) y pertenece al grupo de dinoflagelados tecados, por inferencia, la ventana óptima ambiental para la presencia de la máxima abundancia de esta especie corresponde a la mostrada para los dinoflagelados tecados, ya que constituyó la especie más abundante de los dinoflagelados tecados.

Tabla 18. Ventana óptima ambiental de acuerdo a los intervalos de las variables correspondientes al 50% de la abundancia total por grupo [$X \pm \text{desv. st}$ (intervalo)].

Variable/Grupo	Fitoplancton fitoplanctónico	Dinoflagelados tecados (50%)	Dinoflagelados desnudos (50%)	Diatomeas centrales (50%)	Diatomeas pennadas (50%)	Silico- flagelados (50%)
Temp. ambiente (°C)	23(27,24)	23 (27,23)	25.5±1.62 (21.7,29)	24.63±1.43 (22,28)	25.37±1.3 (23,28)	24.91±1.45 (21.7,28)
Temp. superficie (°C)	21.9 (24.9,22.3)	21.9 (24.9,22.7)	22.76±1.82 (19.4,26.7)	21.36±1.09 (19,23.1)	22.07±0.86 (20,24.4)	22.17±1.29 (20,25.9)
Salinidad superficie (‰)	36.06 (35.53,36.09)	36.06(35.53,36.02)	35.96±0.38 (35.14,36.78)	36±0.27 (35.14,36.54)	36.1±0.25 (35.43,36.66)	35.99±0.31 (35.14,36.6)
σ_t fondo	26 (24.45, 25.50)	25.31±0.58 (23.87,26.19)	25.55±0.6 (23.68,26.47)	25.83±0.36 (24.84,26.44)	25.81±0.35 (24.84,26.44)	25.61±0.49 (24.15,26.47)
Grad. Densidad	0.91±0.49 (-0.01,2.79)	1.11±0.5 (-0.01,2.41)	1.06±0.51 (-0.01,2.79)	0.91±0.4 (0.1,2.09)	1.01±0.39 (0.1,2.09)	0.91±0.46 (0.1,1.91)
Vel. min. viento (m s ⁻¹)	2.18±0.96 (0,4.7)	2.38±0.91 (0.5,4.3)	2.22±0.99 (0,4.7)	1.75±0.73 (0,2.9)	1.91±0.82 (0,3.2)	2.14±0.82 (0,3.8)
Vel. máx. viento (m s ⁻¹)	3.02±1.11 (0.2,6.5)	3.3±1.2 (1.5,6.5)	2.85±1.01 (0.8,6.5)	2.44±0.94 (1.1,4.9)	2.54±0.96 (1.1,4.9)	2.77±0.92 (1.2,4.9)
Dirección Viento (°)	250.3±53.72 (20,350)	233.4±42.53 (90,320)	247.2±41.89 (170,350)	254.8±33.58 (190,320)	259.6±36.36 (170,350)	251.1±42.14 (170,350)
Dirección viento máximo (°)	274.8±31.61 (180,315)	265.3±42.35 (180,315)	268.2±41.21 (180,315)	270.0±40.99 (180,315)	272.7±38.38 (180,315)	268.0±41.84 (180,315)
Vel. Viento máximo (nudos)	11.36±2.09 (7.58,17.3)	10.93±1.56 (8.36,14.19)	10.82±1.82 (7.78,15.16)	10.86±2.03 (8.55,15.16)	10.75±2.35 (8.55,15.16)	10.69±1.71 (8.55,15.16)
Vel. Viento dominante (m s ⁻¹)	6.36±1.9 (1.94,9.91)	6.66±1.78 (3.11,8.94)	6.74±1.88 (3.11,8.94)	6.27±2.13 (3.11,8.75)	6.54±2.11 (3.11,8.75)	6.43±2.1 (3.11,8.94)
Dirección viento dominante (°)	279.36±50.61 (135,337.5)	272.7±55.99 (135,337.5)	291.0±33.14 (135,337.5)	279.5±53.31 (135,337.5)	288.6±26.58 (247.5,337.5)	300.4±29.39 (247.5,337.5)
Índice de surgencia*	7.15±8.01 (-4.93,34.7)6	5.84±8.14 (-4.93,30.3)	6.28±7.04 (-2.79,17.6)	5.21±6.62 (-2.79,17.08)	7.27±7.26 (-2.79,17.08)	6.5±6.88 (-2.79,17.08)
Índice de surgencia * ant.	6.48±8.69 (-13.03,33.19)	3.13±8.89 (-13.03,19.38)	4.86±7.28 (-13.03,15.12)	6.61±9.5 (-7.37,25.79)	6.24±7.76 (-7.37,15.12)	7.08±6.99 (-13.03,15.12)

*(m³ s⁻² 100 m⁻¹ de línea de costa)

VII. Discusión

La temperatura media del agua en el período de estudio estuvo dentro del intervalo señalado para los meses de noviembre a mayo por Secretaría de Marina (1974) de 21 a 25 °C (Figura 34). La temperatura media mensual en una estación ubicada a 10 m de profundidad en la bahía, fue comparada con una colección de datos, mostrando que solo en tres ocasiones alcanzó una temperatura menor a 16 °C entre 1953-1960: 14.4 °C, en el mes de marzo (Secretaría de Marina, 1974); 14.8 °C, en abril del 1999 (Ayón-Parente, 2000) y de 15.6 °C en este estudio (Tabla 18).

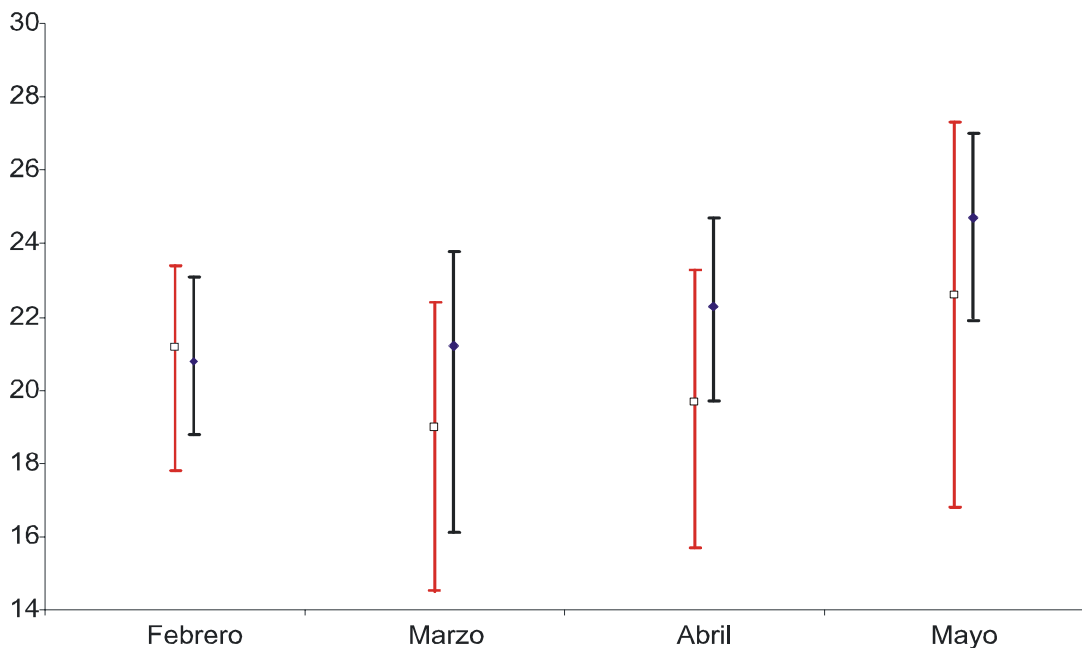


Figura 34. Temperatura promedio en este estudio (2000), el intervalo representa las temperaturas máximas y mínimas registradas en el periodo de estudio (■). Temperatura promedio según la Secretaría de Marina (1953-1960), el intervalo representa las temperaturas máximas y mínimas promedio en esos años (□).

El intervalo de salinidad fue relativamente restringido, con una desviación estándar de 0.89 ‰ aunque el valor medio, de 35.88 ‰, fue mayor en una unidad a la salinidad media reportada por la Secretaría de Marina (1974) para varios ciclos anuales (34.9 ‰), que se explica considerando que el estudio se realizó en la temporada de secas, durante la cual es común que se presente la máxima salinidad que puede alcanzar hasta 37.6 ‰ (Op. cit). En comparación con otros estudios en la misma temporada invierno-primavera, la salinidad en este estudio fue superior considerando solamente los meses de febrero a junio: el de 1953-1960 con 35.42 ± 0.25 ‰ (Secretaría de Marina, 1974; Figura 35), en 1980 la media fue de 34.8 ‰ (Rojas-Trejo, 1984); en 1991, de 34.56 ± 0.25 ‰ (Flores-Verdugo *et al.* 1991), en 1995 y 1996 la media fue de 34.11 ± 1 ‰ (Alonso-Rodríguez, 1998).

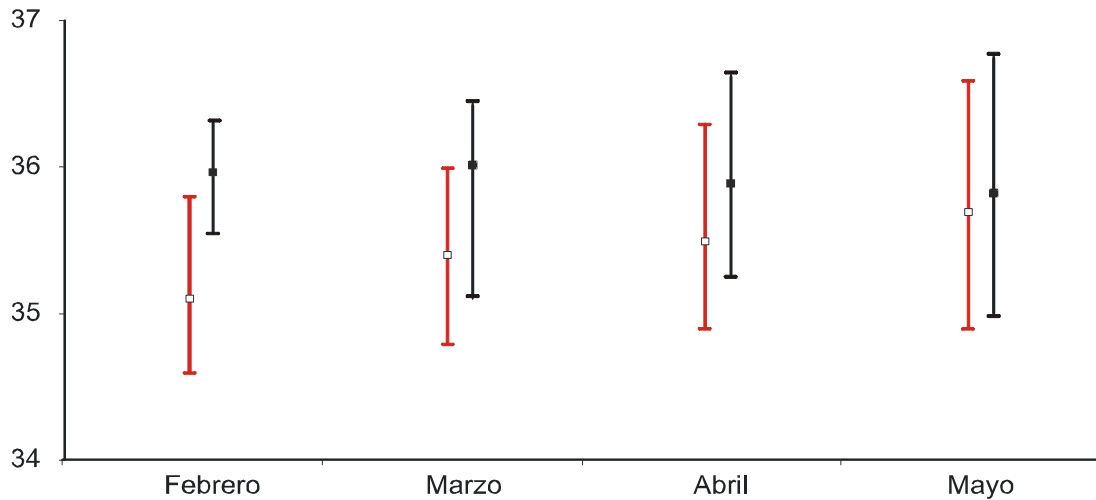


Figura 35. Salinidad promedio en este estudio (2000), el intervalo representa las salinidades máximas y mínimas registradas en el periodo de estudio. (■) Salinidad promedio según la Secretaría de Marina (1953-1960), el intervalo representa las salinidades máximas y mínimas promedio en esos años (□).

Las salinidades mayores a 36 ‰ se encuentran bajo condiciones locales en bahías someras en el golfo de California (Roden, 1962). Esta alta salinidad, junto con la baja temperatura del fondo, implica la permanencia de agua de alta densidad, lo cual tiene como consecuencia que sea necesaria mayor energía para mezclarla (Viner, 1985). La alta salinidad en aguas superficiales en el golfo, es característica de la masa de agua del Golfo de California (AGC), definida por salinidad mayor o igual a 35‰ y temperatura mayor a 12°C, ya que es una zona de alta evaporación favorecida por los vientos del NO en esta temporada (Torres-Orozco, 1993). Los intervalos de temperatura, salinidad y densidad medias encontradas en este estudio, están dentro de los intervalos para agua de tipo AGC en un estudio realizado en todo el golfo de California, con información de 1939-1986 (Torres-Orozco, 1993). Se observó un cambio muy marcado en la hidrología de la zona de estudio previo al período de mareas rojas, indicando la presencia de masas de agua con baja temperatura y alta salinidad a partir del día 11 de marzo, cuando se registró el mayor índice de surgencia, la menor temperatura en el fondo, un pico de salinidad y el inicio de las mareas rojas se presentó 4 días después, el día 15 de marzo. Durante este período de observación de mareas rojas, la salinidad mostró variaciones con máximos y mínimos de corta duración, mientras la temperatura aumentó gradualmente a partir del 15 de marzo y continuó durante el desarrollo de las proliferaciones más intensas, que aparentemente no fueron afectadas por los mencionados cambios bruscos de salinidad.

En términos de densidad la temperatura más que la salinidad, determina las variaciones de densidad del agua. Los cambios repentinos de salinidad observados

en varias fechas durante este período, no modificaron significativamente la densidad y la estructura de la columna de agua, pero pueden indicar intrusiones de masas de agua en la bahía.

Es notable, por otra parte, que en varias ocasiones, durante el estudio, los vientos soplaron del NO con velocidad de hasta 10 nudos y la estratificación se mantuvo durante toda la temporada. Aún más, los vientos soplaron con velocidades cercanas a los 7 nudos durante el mes de Mayo, cuando se observaron mareas rojas continuas, pero con un cambio notable en la dirección, ahora soplando desde el SO, de allí la importancia del análisis de la dirección del viento, reflejada en los resultados del índice de surgencia y en las correlaciones obtenidas mediante el análisis multivariado. La velocidad de los vientos de 7 nudos corresponde al sistema de brisas ($5-7 \text{ m s}^{-1}$) (Roden, 1962)

El índice de surgencia calcula la cantidad de agua desplazada por el efecto de Ekman en una orientación perpendicular a una línea paralela a la costa. Los resultados de la aplicación de este índice muestran valores mensuales menores a los indicados para esta latitud en la costa oeste de Baja California, en el Pacífico (menores a $80 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$; http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/graphs_comp.html). Como es de esperarse ya que en el Golfo los procesos sufren modificaciones debido a la presencia de la península y sus características propias. Los datos señalados para Empalme, Sonora, también son mayores a los calculados para la bahía de Mazatlán y alcanzan hasta $300 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ (Lluch-Cota, 2000). En este trabajo se evaluó el papel que juega el viento como fuerza impulsora de la circulación vertical, aunque hacen falta análisis más

detallados de corrientes y simulación para definir su importancia en la iniciación de mareas rojas en esta zona y su papel en la circulación horizontal.

En los últimos años, la presencia de nuevas especies de dinoflagelados dominantes que no se habían observado anteriormente en las mareas rojas típicas de la bahía de Mazatlán, indican una sustitución de especies. Las especies que regularmente formaban mareas rojas en esta zona eran el ciliado fotosintético *Mesodinium rubrum*, los dinoflagelados *Scrippsiella trochoidea* y *Gymnodinium catenatum* (Cortés-Altamirano *et al.*, 1999). Varios autores consideran que los cambios en la composición de las comunidades fitoplanctónicas reflejan fluctuaciones climáticas, o bien, cambios en el nivel de eutroficación (Wyatt, 1995). En ese sentido, el cambio de especies dominantes puede deberse a condiciones ambientales inusuales, generadas posiblemente por las temperaturas más bajas de los últimos 40 años (Tabla 19) y la influencia de eventos como La Niña de 1999-2000, aunado a una resuspensión de materia orgánica proveniente del fondo debido a condiciones de oleaje intenso en el Pacífico mexicano a fines de invierno-primavera de 2000. Este fenómeno se observó desde Jalisco hasta el norte de Sinaloa (Osuna-López *et al.*, 2000).

Las especies fitoplanctónicas que dominaron las “mareas rojas” en la época de estudio pertenecen al tipo II y III según la clasificación de Smayda (2000), dentro del tipo II está *Prorocentrum*, formas pequeñas, con alta tasa de crecimiento y alta velocidad de nado, crecen en ambientes con elevados niveles de nutrientes y el género *Ceratium* que pertenece al tipo II, especies adaptadas a aumento de velocidad, asociada a zonas frontales, ambos se caracterizan por formar

proliferaciones en condiciones de gran estratificación y alto contenido de nutrientes, bajo condiciones donde la energía radiante no es limitante. La sustitución de especies se explica por el carácter invasivo de las especies dominantes de estos eventos, *Prorocentrum* spp. pertenecientes al tipo II. La fuente de nutrientes en

Tabla 19. Temperaturas mínimas registradas en diferentes estudios en la época de invierno en la bahía de Mazatlán

Temperatura (°C)	Mes/Año	Referencia
14.4	Marzo, 1953-1960	Secretaría de Marina (1974)
17.8	Mayo, 1980	Cortés-Altamirano y Pastén-Miranda (1982)
20.5	Abril, 1980	Maldonado <i>et al.</i> (1980)
21.5	Abril, 1983	García-Sañudo (1985)
21.4	Abril, 1983	Michel-Reynoso (1986)
19.3	Invierno, 1985	González-Farías <i>et al.</i> (1986)
17.9	Febrero, 1989-1991	Muñoz-García (1997)
17.5	Febrero, 1989-1991	Armenta-Camacho <i>et al.</i> (1992)
17.3	Marzo, 1991	Flores-Verdugo <i>et al.</i> (1991)
18.0	Febrero, 1996	Alonso Rodríguez (1998)
14.8	Abril, 1999	Ayón-Parente (2000)
15.6	Marzo, 2000	Este estudio

Profundidad ≤ 10 m

sistemas de no surgencia es de tipo local, generalmente proviene de fuentes antropogénicas, como es el caso de la bahía de Mazatlán cuyo estado trófico es de meso a eutrófico y sobre todo en el invierno, cuando se registran las mayores concentraciones de nutrientes, principalmente en forma de nitrato (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000).

Los resultados del análisis de estabilidad, mostraron un índice de estabilidad vertical estacional positiva. Esto es, una columna estratificada durante los meses con valores mínimos comparables a los máximos señalados para el Golfo de Saronicos, Grecia con un valor de 2800 señalada por Karydis y Moschopoulou (1982), en la bahía de Mazatlán, el intervalo fue de 2773-14603. Las estaciones con mayor índice de estabilidad fueron las cercanas a la orilla, esto puede deberse por un lado a la entrada de agua fría a la bahía, indicado por las bajas temperaturas en el fondo y por otro lado, por el calentamiento superficial en una columna de agua relativamente poco profunda, además de un calentamiento y enfriamiento diurno en una columna de agua somera de 10 m (Viner, 1985).

La abundancia de material biogénico en el fondo responde a la presencia de fitoplancton en la superficie y estos depósitos no funcionan como almacenamiento y suministro de dinoquistes de dinoflagelados productores de las mareas rojas en la temporada de estudio. De una búsqueda en la literatura, se encontró una gran variedad de datos de abundancia de dinoquistes en sedimentos costeros con respecto al volumen (cm^{-3}) y al peso (g), seco y húmedo. Existen aproximadamente 15 variantes en cuanto a la notación utilizada para expresar la abundancia de dinoquistes en el sedimento. Esto refleja la falta de estandarización en la expresión

de este tipo de resultados. La abundancia de dinoquistes en el sedimento de la bahía de Mazatlán durante el periodo que comprendió este estudio fue de 0 a 76 dinoquistes g^{-1} de sedimento (peso seco), que se puede considerar baja en comparación con otros sistemas costeros en el resto del mundo (Tabla 20).

En el estero de Urías, aunque la colecta se realizó en una sola fecha, se refleja la acumulación de material biogénico y dinoquistes. En este caso la abundancia fue de 0 a 400 dinoquistes g^{-1} de sedimento (peso seco) (Tabla 20). Estos datos sugieren que, aunque el sistema tiene una mayor abundancia que la bahía, no funciona como proveedor de dinoquistes para la formación de mareas rojas, ya que la composición encontrada en Urías no corresponde a la composición taxonómica de las mareas rojas notadas en la bahía.

La predominancia de dinoquistes del género *Protoperidinium*, puede ser debida a las surgencias costeras periódicas, que ocurren en una zona que favorece el aumento de la población y la generación de quistes de dinoflagelados heterótrofos, los cuales están bien representados tanto en el estero de Urías, como en la bahía. La presencia de mareas rojas en cada temporada invierno-primavera en la zona probablemente es consecuencia de esa producción y suministro de nutrientes, además de la concentración de material en la superficie promovida por procesos de convergencia producidos por el viento.

La bahía de Mazatlán es un sistema abierto en el cual las corrientes litorales y la marea dominan su hidrodinámica, por lo tanto es un sistema en donde los procesos de concentración se deben probablemente a giros y fenómenos locales de convergencia.

Tabla 20: Abundancia de dinoquistes (quistes o células cm⁻³ o g⁻¹ de sedimento, peso seco o húmedo).

Lugar y ambiente sedimentario	Tipo de quistes	Abundancia	Referencias
Bahía Fundy, Canadá Costero		2000-8000 cm ⁻³	White y Lewis (1982)
Mar de Seto, Japón después de marea roja	<i>Peridinium</i> spp.	2000-4000 cm ⁻³	Endo y Nagata (1984)
Omura Bay, Japón superficial, costero	<i>Polykrikos</i> sp., <i>Pheopolykrikos</i> y <i>Tuberculodinium</i> (= <i>Pyrophacus stenii</i>)	167-596 cm ⁻³	Kobayashi <i>et al.</i> (1986)
Villaine Bay, Francia Marino	<i>Alexandrium minutum</i>	10-30 g ⁻¹	Larrazabal (1990)
Masan Bay, Corea Costero		48-1279 cm ⁻³	Lee y Yoo (1991)
Matoya Bay, Japón superficial	<i>Scrippsiella trochoidea</i> , <i>Gonyaulax spinifera</i> y <i>Brigantedinium</i> (<i>Proto-peridinium</i>)	260-1776 cm ⁻³	Kobayashi y Yuki (1991)
Vilaine Bay, Francia superficial	<i>Alexandrium minutum</i>	40 g ⁻¹	An <i>et al.</i> (1992)
Belfast Lough, Irlanda	<i>Alexandrium</i> sp.	0-3330 g ⁻¹	Tylor <i>et al.</i> (1995)
Chinhae Bay, Corea superficial, marea roja	<i>Proto-peridinium</i> spp., <i>Gonyaulax</i> spp., <i>Alexandrium</i> spp.	100-1000 cm ⁻³	Lee y Matsuoka (1995)
Hiroshima, Mar de Seto, Japón	costeros, <i>Alexandrium tamarense</i> y <i>A. catenella</i>	16-1912 cm ⁻³	Yamaguchi <i>et al.</i> (1995)
Bahía Morlaix, Francia sedimentos lodosos	<i>Alexandrium minutum</i>	146 ± 44 g ⁻¹ peso húmedo	Erard-Le Denn y Boulay (1995)
Mar del Este de China	Costero	1.6-47.1 g ⁻¹ peso húmedo	Weifei y Junhao (1996)
Masan-Chinhae, Corea marino	<i>Proto-peridinium</i> spp., <i>Gymnodinium</i> spp., <i>Scrippsiella</i> spp., <i>Gyrodinium</i> spp. Y <i>Alexandrium</i> spp.	556-5727 cm ⁻³	Lee <i>et al.</i> (1998)
Mar del Sur de China	Superficial	8-925 g ⁻¹	Lamolda y Mao (1999)
Bahía Concepción, G. de Calif. superficial	<i>Scrippsiella trochoidea</i> y <i>Lingulodinium polyedrum</i>	175-9973 g ⁻¹ peso húmedo	Morquecho y Lechuga (2003)
Bahía de Mazatlán Sur G. Calif. costero	<i>Proto-peridinium</i> spp., <i>Gymnodinium</i> spp., <i>Gonyaulax</i> spp.	0-76 g ⁻¹ peso seco	este estudio
Estero de Urías Sur G. Calif. sistema lagunar costero	<i>Proto-peridinium</i> spp., <i>Gymnodinium</i> spp., <i>Alexandrium</i> spp.	0-400 g ⁻¹ peso seco	este estudio

La periodicidad de la serie de tiempo generada por el índice de surgencia mostró períodos de entre 7 y 8 días. Este período corresponde a las típicas escalas de forzamiento por viento la cual se considera de 6 a 8 días (Monteiro *et al.*, 1999). Por lo tanto las surgencias, al tener como factor determinante al viento, reflejaron la escala de viento frontal, la cual es de 10 a 100 km cuyo período corresponde al intervalo de 2-9 días (Holton, 1972).

La fuerte asociación entre la presencia de “mareas rojas” y el agua fría proveniente de surgencias costeras (Mee *et al.*, 1985, 1986; Aguirre-Gómez *et al.*, 1999) con alto contenido de nitratos (mayor a 30 μM ; Alonso-Rodríguez, 1998) y cadmio (Green-Ruiz, 2000), elementos enriquecidos en zonas de surgencias, explica por qué bajo la influencia del fenómeno de El Niño (es decir, un aumento en la temperatura normal del agua) se registra una disminución en el número de eventos de mareas rojas, al menos para la bahía de Mazatlán. Los eventos que se presentaron en 1999 y 2000 son diferentes al resto de los registrados en composición y, en lo que corresponde al período de estudio, las condiciones de alta estratificación y estabilidad fueron determinantes en la permanencia de las poblaciones de especies que no eran comunes en la formación de mareas rojas. En efecto, se tiene registro en la costa de Sinaloa de especies dominantes como son *P. balticum* (Cortés-Altamirano *et al.* 1999; Artículo núm. 1) con la presencia de *Prorocentrum minimum* (Núñez-Vázquez *et al.* 2003) tanto en la bahía como en el puerto de Mazatlán y *P. minimum* en la costa del municipio de Guasave, en el norte del Estado en condiciones de aumento de temperatura en primavera y de la velocidad del viento (Ulloa-Pérez *et al.*, 2003).

Este estudio, se desarrolló bajo un período considerado como La Niña en el Pacífico Norte, y se clasificó como un evento neutral bajo el criterio de que la anomalía fue menor a $-0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (http://iri.columbia.edu/forecast/sst/images/oct1999/atl_blanom_sst_Oct1999OND.gif). La Niña se presentó con anomalías de hasta $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ de octubre a diciembre de 1999 y de hasta $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de febrero a mayo del 2000 en el Pacífico Norte. En el Pacífico mexicano norte se observa en mayo de 2000 una zona con anomalías positivas de hasta $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (http://iri.columbia.edu/forecast/sst/00/persist_sst_jun2000.html); y dentro del golfo, en la zona media, la anomalía llega a ser de $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (http://www.coaps.fsu.edu/research/jma_index1.shtml).

Las condiciones hidrológicas que dominaron la zona de estudio mostraron condiciones tanto en mediciones *in situ* como en las reflejadas por sistemas de percepción remota de aguas con temperatura superficial menor a $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ de febrero a abril (Figura 4 y Figura 36) y la presencia de aguas cálidas a partir de mayo, con temperatura superior a $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la mayor parte del golfo de California, abarcando la costa sinaloense.

Estas condiciones de calentamiento bajo la influencia de La Niña trae como consecuencia una mayor estratificación debido al calentamiento de la capa superficial y la presencia de aguas frías en el fondo; esto es reforzado por los bajos índices de surgencia costera registrados y la alta estratificación.

De acuerdo a la periodicidad de los máximos valores del índice de surgencia, el cual resultó de 7 a 8 días, estos pulsos, aunque nominalmente fueron de baja intensidad y aparentemente no provocaron mezcla en la columna de agua, pudieron

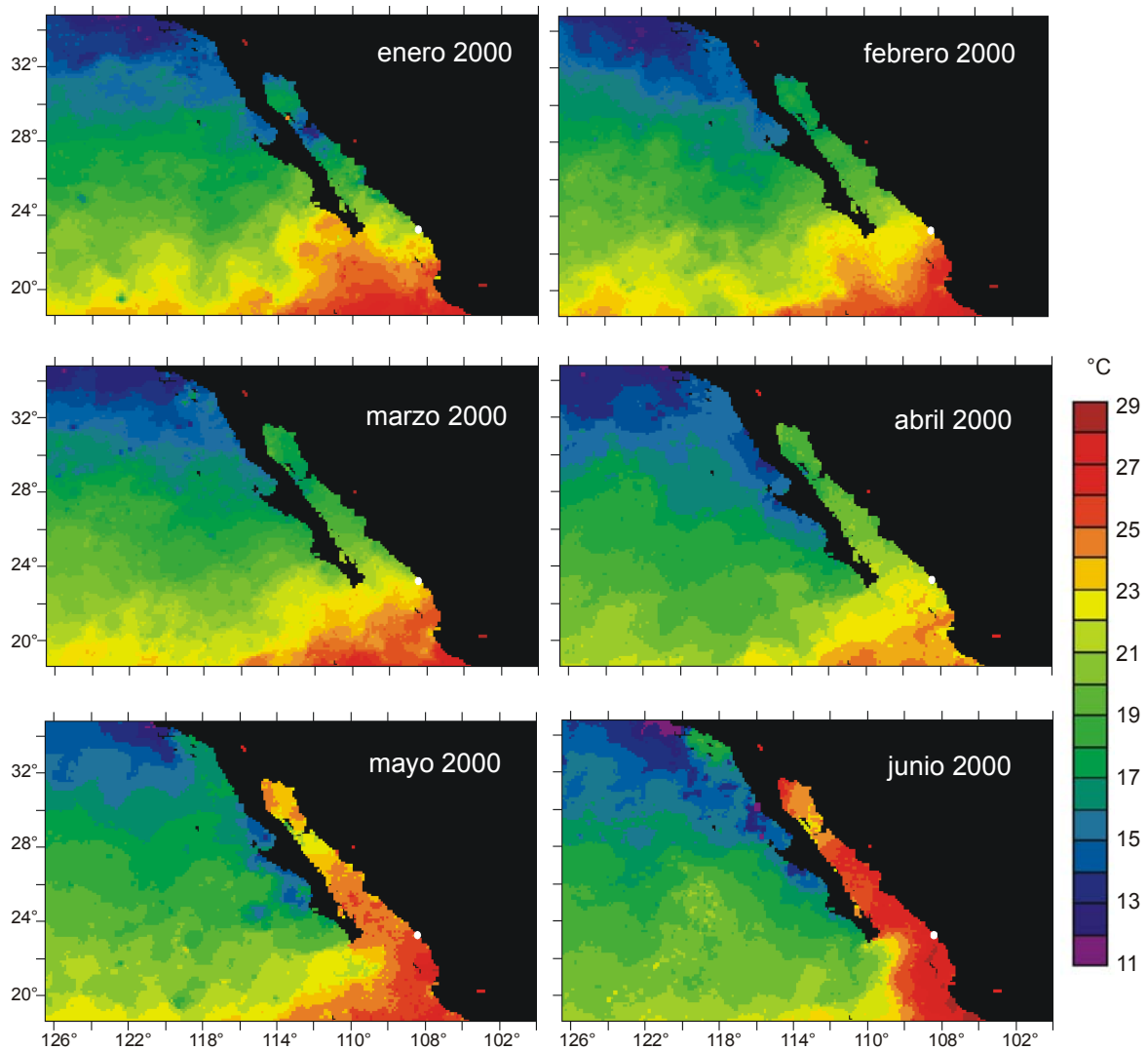


Figura 36. Temperaturas superficiales del mar, 14 km de resolución. Imagen derivada de una composición de imágenes de 8 km de resolución con mediciones de temperatura °C tomadas a cada 48 hrs a un metro de profundidad. Imágenes obtenidas de Satellite Archive Active PMEL/FERRET v 5.2 SST 14 km N America Data Set SSA Descriptor <http://www.saa.noaa.gov>.

estar suministrando nutrientes a la capa superficial. Se ha encontrado en experimentos de mesocosmos que hay un período de 3 a 8 días entre el enriquecimiento de nutrientes y el pico máximo de biomasa fitoplanctónicas y que no es una función lineal, un incremento en nutrientes en dos órdenes de magnitud,

corresponde a un incremento en biomasa en una orden de magnitud (Pitta *et al.*, 1999). Se propone que el mecanismo mediante el cual se mantuvo alta la abundancia de la comunidad fitoplanctónica formadora de “mareas rojas” puede ser: las modestas surgencias costeras registradas, la posible presencia de olas internas que favorecen tanto la estratificación como el suministro de nutrientes a la capa superficial (Artículo núm. 1). Este suministro de nutrientes en presencia de ondas internas, sin una mezcla total de la columna de agua, todavía no está totalmente comprendido pero sucede en el Golfo de California con estas características de estratificación (Gaxiola-Castro *et al.*, 2002).

El concepto de ventana óptima ambiental aplicado en este estudio de análisis de variables en el medio natural refleja diferencias en la mayoría de las variables asociadas con las mayores abundancias de dinoflagelados tecados. El mínimo gradiente de temperatura, el cual resultó alto en todos los casos, se asocia a la mayor abundancia de silicoflagelados. La mínima cobertura de la superficie de la bahía por manchas de marea roja y el máximo índice de surgencia fueron condiciones óptimas para la abundancia de diatomeas pennadas.

VIII. Conclusiones

Las condiciones hidrológicas prevalecientes durante la temporada de estudio en la bahía estuvieron determinadas por la presencia de aguas muy frías en el fondo, alta estratificación y estabilidad de la columna de agua, la presencia de vientos fuertes y de dirección variable así como surgencias muy limitadas en cuanto a magnitud.

La abundancia del fitoplancton mostró un intervalo amplio, desde 1000 cél ml⁻¹ en febrero hasta casi 25 000 cél ml⁻¹ en mayo. Las comunidades fitoplanctónicas estuvieron formadas por los dinoflagelados tecados los cuales dominaron las proliferaciones y algunas diatomeas que se presentaron durante algunos períodos de florecimientos durante el estudio. Estas comunidades estuvieron representadas por las especies de dinoflagelados tecados *Prorocentrum balticum*, *Prorocentrum mexicanum*, *Ceratium furca* y las diatomeas *Thalassiosira* spp.

El número de días de mareas rojas observados fueron 11 (del 1 de enero al 3 de febrero), 50 (4 febrero al 4 de junio, este estudio) y 29 (del 5 de junio al 31 de diciembre). Las especies formadoras durante el primer período de observación son especies observadas en los anteriores 20 años en la bahía (*Scrippsiella trochoidea*, *Gymnodinium catenatum*, *Noctiluca scintillans* y *Mesodinium rubrum*). Las especies formadoras de mareas rojas en los dos últimos períodos de observación son especies que habitan y forman mareas rojas en Costa Rica (*Prorocentrum balticum*, *Prorocentrum mexicanum*, *Ceratium furca* en invierno-primavera y *Cochlodinium catenatum*, *C. polykrikoides* en el verano-otoño). En total, en el año 2000 se registraron al menos 90 días de mareas rojas que es el máximo registrado en esta zona.

El material biogénico y los dinoquistes fueron más abundantes en las estaciones 1 y 6 las cuales son estaciones con mayor influencia marina y las menores en las estaciones 3 y 4 debido a la mayor dinámica del transporte que provoca menor depositación litoral por oleaje. La mayor abundancia media de material biogénico se observó a la mitad del período más intenso de marea roja. En la bahía los silicoflagelados fueron los más abundantes en el material biogénico y los dinoquistes solo conformaron el 4%. El género productor de quistes más importante fue *Protoperidinium* seguido de *Gymnodinium* y una porción importante de quistes no fueron identificados (Artículo núm. 3).

En el estero de Urías, el material biogénico y los dinoquistes mostraron una amplia variación en cuanto a abundancia y a composición en las diferentes estaciones de colecta, encontrándose las mayores abundancias en una estación interior y en la boca del estero. Las diatomeas centrales fueron más abundantes que los silicoflagelados y los dinoquistes conformaron el 8% del material biogénico. Los dinoquistes fueron representados por los géneros *Gymnodinium* y *Protoperidinium*. Una mayor proporción de quistes no fueron identificados.

Aunque la abundancia de dinoquistes y material biogénico en el estero de Urías fue mayor que la encontrada en la bahía de Mazatlán, el estero de Urías no fue determinante como proveedor de dinoquistes para la formación de mareas rojas debido a que las formas resistentes de las especies formadoras no se encuentran representadas en el sedimento.

Los factores ambientales que se relacionan con la abundancia de fitoplancton y de dinoquistes fueron, por una parte, la velocidad del viento dominante, gradiente de

temperatura y dirección del viento dominante, así como la velocidad del viento de la fecha anterior. Por otra parte, las otras variables relacionadas fueron la profundidad y el gradiente de densidad.

Se encontró coincidencia de la periodicidad del índice de surgencia y temperatura del fondo las cuales mostraron periodicidad de entre 6 y 8 días que puede estar determinando la presencia de condiciones para el mantenimiento de las comunidades fitoplanctónicas en la bahía durante esta temporada del año.

Los eventos de mareas rojas observados en el período de estudio, fueron dominados por los dinoflagelados *Prorocentrum balticum*, *P. mexicanum*, *P. triestinum*, *Ceratium furca* y aparentemente ninguno de ellos fue originado por quistes residentes en los sedimentos de la bahía, ya que no se encontraron formas de resistencia correspondientes a dichas especies en este estudio y tampoco se conocen en la literatura mundial.

La distribución de las manchas de marea roja, reflejada por el porcentaje de cobertura fue variable pero se registró cobertura de hasta el 40% en dos ocasiones, a principios de abril y en mayo cuando fue más variable pero con mayor presencia de manchas de marea roja.

No se observó alternancia entre períodos de estratificación y mezcla. Aunque el viento fue fuerte, la modificación en la dirección y otras características hidrológicas impidieron que se produjera la mezcla de la columna de agua, cuya estabilidad fue reducida en los primeros días del período de estudio y después aumentó permitiendo el mantenimiento de la estratificación durante el resto del estudio, sobre todo durante el período más intenso de mareas rojas en la bahía.

Por lo anterior, la Hipótesis 1 no resultó comprobada: el origen de las mareas rojas aparentemente no es autóctono y las condiciones fueron predominantemente de estratificación durante toda la temporada de estudio.

Las condiciones prevalecientes, tanto hidrológicas, meteorológicas y ambientales, permitieron el desarrollo y mantenimiento de las proliferaciones de dinoflagelados observados durante el período de estudio. Por lo tanto, la Hipótesis 2 se acepta como verdadera, asumiendo el origen de las proliferaciones de dinoflagelados como alóctona, con formas vegetativas introducidas en la bahía a través de corrientes y manteniendo estas poblaciones debido a condiciones locales tanto por procesos hidrográficos como por la disponibilidad de nutrientes. Los procesos hidrográficos dominantes fueron la estratificación de la columna de agua, la presencia de aguas frías en el fondo y condiciones para el desarrollo de las especies formadoras de mareas rojas. La disponibilidad de nutrientes local se ha documentado en otros estudios y se demuestra por la presencia de diatomeas durante la mitad del período de este estudio.

Se recomienda hacer estudios más detallados y con mayor frecuencia de muestreo para detectar en una escala más fina los cambios que preceden a la presencia de marea roja así como su desarrollo y que condiciones determinan la terminación de dichos eventos.

IX. Referencias:

- Aguirre-Gómez, R., Álvarez, R. y O. Salmerón-García, 1999. Red tide evolution in Mazatlán Bay area from remotely sensed sea surface temperatures. *Geofísica Internacional* 38(2): 63-71.
- Alonso-Rodríguez y J.L. Ochoa. 2004. Hydrology of Winter-Spring "Red Tides" in Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Harmful Algae* 3(2).163: 63-171.
- Alonso-Rodríguez, R. F. Páez-Osuna y R. Cortés-Altamirano, 2000. Trophic conditions stoichiometric nutrient balance in subtropical waters influenced by municipal sewage effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin* 34: 331-339.
- Alonso-Rodríguez, R. y Páez-Osuna, F. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219: 317-336.
- Alonso-Rodríguez, R., 1998. Ocurrencia de mareas rojas y calidad del agua en la zona sur de la bahía de Mazatlán, Tesis de Maestría. ICMyL, UNAM. 166 pp. y Anexos.
- Alonso-Rodríguez, R., Ochoa, J.L. y Uribe, A.M. Grazing activity of the heterotrophic dinoflagellate *Noctiluca scintillans* (Noctilucaceae, Dinophyceae) on *Gymnodinium catenatum* (Gymnodiniales, Dinophyceae). *Botanica Marina* (en revisión).
- An, K.H., Lassus, P., Maggi, P., Bardouil, M. y Truquet, P. 1992. Dinoflagellate cyst changes and winter environmental conditions in Vilaine Bay, southern Brittany (France). *Botanica Marina* 35(1): 61-67.
- Anderson, J.T., 1998. The effect of seasonal variability on germination and vertical transport of a cyst forming dinoflagellate, *Gyrodinium* sp., in Chesapeake Bay. *Ecological Modelling* 112: 8-90.
- Anderson, M. D. y D. Wall. 1978. The potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *Gonyaulax excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *Journal of Phycology*. 14: 224-234.

- Anderson, M. D., Fukuyo Y. y K. Matsuoka. 1995. Cysts methodologies. 229-249.
In: Manual on Harmful Marine Microalgae. Hallegraeff, G. M. Anderson, D. M. Cembella, A. D. (eds) Intergovernmental Oceanographic Commission. Manuals and Guides N° 33 UNESCO 1995.
- Anderson, M. D., Jacobson, D. M., Bravo, I. y J.W. Wren, 1988. The unique, microreticulate cyst of the naked dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. *Journal of Phycology*. 24: 255-262.
- Anderson, M. D., Taylor, C.D. y Armbrust, E.V., 1987. The effects of darkness and anerobiosis on dinoflagellate cyst germination. *Limnology and Oceanography* 32(2): 340-351.
- Anuario Estadístico de Sinaloa 2002. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática 503 p.
- Armenta-Camacho, R., Cataño-García, A. y Rojas-Barrón, L. 1992. Distribución y abundancia de juveniles de *Octopus* sp. De la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Memoria de Servicio Social. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. 68 pp.
- Ayón-Parente, M. 2000. Aspectos biológicos pesqueros del cangrejo tanque *Calappa convexa* de Saussure (Crustacea: Brachyura: Calappidae) en el Sur de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima, Posgrado Interinstitucional en Ciencias Pecuarias. Tesis de Maestría en Ciencias Pecuarias. 79 pp
- Bakun, A. 1996. Patterns in the Ocean. Ocean processes and marine population dynamics California Sea Grant College System National Oceanic and Atmospheric Administration/Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 323 pp.
- Binder, J.B. y D.M. Anderson, 1987. Physiological and environmental control of germination in *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae) resting cysts. *Journal of Phycology* 23: 99-107.
- Bravo, I. y I. Ramilo, 1999. Distribution of microreticulate dinoflagellate cysts from the Galician and Portuguese coast. *Scientia Marina*, 63(1): 45-50.

- Bruland, W.K. , Knauer, G.A. y J. H. Martin. 1978. Cadmium in the northeast Pacific waters. *Limnology and Oceanography* 23 (4): 618-125.
- Caballasi, F.P. 1985. Comparación fitoplanctónica de la bahía de Mazatlán y estero de Urías, Sinaloa, México, 1981. Tesis profesional. ENEP Iztacala, UNAM.
- Cabrera-Dueñas, H. 1988. Modelación hidrodinámica numérica del puerto de Mazatlán y sus proximidades. Tesis Profesional. Universidad de Colima Escuela Superior de Ciencias Marinas, Manzanillo, Colima. 26 pp., tablas y figuras.
- Capella-Vizcaíno, A., 1994. Informe de la planta de tratamiento de aguas residuales de Mazatlán. Subdirección General de Agua. Comisión Nacional del agua.
- Cembella D. A., Turgeon, J., Therriault J.C. y P. Béland, 1988. Spatial distribution of *Protogonyaulax tamarensis* resting cysts in nearshore sediments along the north coast of the lower St. Lawrence estuary. *Journal of Shellfish Research* 7(4): 597-609.
- Coats, W.D. y M.G., Park. 2002. Parasitism of photosynthetic dinoflagellates by tree strains of *Amoebophrya* (Dinophyta): Parasite survival, infectivity, generation time, and Host specificity. *Journal of Phycology*, 38:520-528.
- Cortés-Altamirano R. 1998. Evaluación de las mareas rojas: 9-31. In: Las mareas rojas. AGT Editor, S.A. México. 161 pp.
- Cortés-Altamirano R. y A. Núñez-Pastén, 1992. Doce años de registros de mareas rojas en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.* 19 (1): 1-21.
- Cortés-Altamirano R. y col. 1998b. Las mareas rojas. AGT Editor, S.A. México, D. F., 161 pp.
- Cortés-Altamirano, R. y A.P. Sierra-Beltrán. 2003. Morphology and taxonomy of *Prorocentrum mexicanum* and reinstatement of *Prorocentrum rhathymum* (Dinophyceae). *Journal of Phycology*. 39: 221-225.
- Cortés-Altamirano, R. y Alonso-Rodríguez, R. 1997. Mareas rojas durante 1997 en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Ciencias del Mar, UAS*, 15: 29-35.

- Cortés-Altamirano, R. y S. Gómez-Aguirre. 2001. Florecimientos algales nocivos en la bahía de Mazatlán, México (2000). In: (A. Santos-Martínez, ed) Memorias del IX Congreso Latinoamericano Sobre Ciencias del Mar COLACMAR, formato CD. San Andrés Isla, Colombia, 16-20 septiembre de 2001. Universidad Nacional de Colombia. Archivo # 21, 5 p.
- Cortés-Altamirano, R. y S.P. Rojas-Trejo, 1981. Variación estacional de las comunidades fitoplanctónicas de la bahía de Mazatlán, Sin. México VII Simposio Latinoamericano sobre Oceanografía biológica, 15-19 de noviembre de 1981, Acapulco, Guerrero, México, 219-239.
- Cortés-Altamirano y N. Pastén-Miranda. 1982. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton en el estero de Urías, sin. México. I Periodo Primavera. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 24:103-114.
- Cortés-Altamirano, R., Licea, D. S. y S. Gómez-Aguirre, 1999. Evidencias de aumento de microalgas nocivas en la bahía de Mazatlán, Sin., México: 343-345. In A. E. Tresierra A. y Z.G. Culquichicón M. (ed). VII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar 17-21 de octubre de 1999. Trujillo, Perú.
- Cortés-Altamirano, R., Manrique, F. A. y R. Luna-Soria, 1995. Presencia de mareas rojas en la Costa Este del Golfo de California. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 37:337-342.
- Cox, R.A., M.J. McCartney y F. Culkin. 1970. The specific gravity/salinity/temperature relationship in natural sea water. *Deep-Sea Research* 17: 679-689.
- Cruz, M. A., 1995. Productividad primaria acuática en la bahía de Mazatlán. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 81 pp.
- Cury, P. y C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 46: 670-680.

- Dale, B. 1976. Cyst-formation, sedimentation, and preservation-factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjord, Norway: *Review of Paleobotany and Palynology* 22: 39-60.
- Dale, B., 1996. Dinoflagellate cysts ecology: modelling and geological applications: 1249-1276. In: *Palynology: principles and applications* (Jansonius J. & McGregor, D. C., eds.). The American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Publishers Press, Salt Lake City
- Dale, B., 1983. Dinoflagellate resting cysts "benthic plankton": 69-136. In: (G. A. Gryxel, ed.) *Survival strategies of the algae*, University Press, Cambridge.
- Dodge, J.D. 1975. The Prorocentrales (Dinophyceae). II Revision of taxonomy within the genus *Prorocentrum*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 71(2): 103-125.
- Endo, T. y Nagata, H. 1984. Resting and germination of cysts of *Peridinium* sp. (Dinophyceae). *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 31(1): 23-33.
- Erard-Le Denn, E. y Valerie Boulay 1995. Resting cysts of *Alexandrium minutum* in marine sediments: quantification by three methods. In: P. Lassus, G. Arzul, E. Erard, P. Gentien, C. Marcaillou. *Technique et Documentation*, Lavoisier, Intercept, Ltd, Paris, pp. 725-730.
- Flores-Verdugo, F. Rodríguez-García, J. y F. González- Farías. 1991. Variación espacio-temporal de la productividad primaria acuática en la bahía de Mazatlán, Sin. In: *Ecología de los Manglares, productividad acuática y perfil de las comunidades en ecosistemas lagunares estuarinos de la costa noroccidental de México. Parte 1 Cap. 9. Ensenada del Pabellón, Bahía de Altata y bahía de Mazatlán. Informe Técnico DGPA Clave IN. V. Arenas-Fuentes y F. J. Flores-Verdugo (coord.) UNAM, 350 pp.*
- Gárate-Lizárraga, I. 1991. Análisis de una marea roja causada por *Noctiluca scintillans* (Macartney) Ehr. en Bahía Concepción Baja California Sur en Febrero de 1989. *Revista de Investigación Científica*, 2(1): 35-43.
- Gárate-Lizárraga, I. 1997. Primer registro de *Prorocentrum mexicanum* (Prorocentraceae) en el Golfo de California. *Revista de Biología Tropical*, 45(3): 1263-1271.

- Gárate-Lizárraga, I. Band-Schmidt, C., Cervantes-Duarte, R., y D. Escobedo-Urías 2002. Mareas rojas de *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger y Buddenbrock en el Golfo de California (Invierno de 1998). *Hidrobiológica* 12(1): 15-20.
- Gárate-Lizárraga, I. Hernández-Orozco, M., Band-Schmidt, C. y G. Serrano-Casillas 2001. Red tides along the coasts of Baja California Sur, México (1984 to 2001) *Oceánides* 16(2): 127-134.
- Gárate-Lizárraga, I. 1995. Mareas rojas en Bahía Concepción, B.C.S. Boletín No. 40, CICIMAR-IPN.
- Gárate-Lizárraga, L. I. y Martínez, L. A. 1995. Mareas rojas del protozoario *Mesodinium rubrum* (Lohman) Kahk en la Bahía de La Paz. Boletín No. 53 CICIMAR, IPN. 2 pp.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. UNAM, México, D. F.: 246 pp.
- García-de-la-Parra, L. M., 1992. Estimación de tasas de fijación de nitrógeno atmosférico en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis profesional CCH UACPyP Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 89 pp.
- García-Sañudo, S. 1985. Abundancia, distribución, algunas interacciones de cuatro grupos zooplanctónicos (Ctenófora, Cladocera, Larvacea, Chaetognata) y su relación con los parámetros hidrológicos (T °C, S ‰) en el Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis Profesional Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Nacional Autónoma de Sinaloa p. var.
- Gaxiola-Castro, G., Álvarez-Borrego, S., Nájera-Martínez, S. y Zirino, R. A. 2002. Efecto de las ondas internas en el fitoplancton del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 28(3): 297-309.
- González-Farías, F. 1986. Variación estacional de detritus en diversos ecosistemas del Golfo de California. Memorias de Intercambio Académico sobre Investigaciones en el Mar de Cortés. Abril 1986. Hermosillo Sonora. 133-148.
- Graham H.W. 1943. *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. *Transactions of American Microscopical Society* 62(3): 259-261.

- Grasshoff, K., Ehrhardt, M. y K., Kremling, 1983. Methods of seawater analysis. Grasshoff, K., Ehrhardt, M. y K., Kremling (eds.) Verlag Chemie 2a ed. 419 pp.
- Green-Ruiz, C.R. 2000. Geoquímica de metales pesados y mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos de cuatro puertos del golfo de California. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Mazatlán, Sinaloa. 329 pp. y anexos
- Hallegraeff, G.M., 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, 32(2): 79-99.
- Hallegraeff, G.M., y S. Fraga, 1998. Blooms dynamics of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*, with emphasis on Tasmanian and Spanish coastal waters: 59-80. In: Physiological ecology of Harmful Algal Blooms. Anderson, D. M. Cembella, A. D. y G.M. Hallegraeff. NATO ASI Series Vol. G41 Springer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Hamer, J.P.; McCollin, T.A.; Lucas, I.A.N. 2000. Dinoflagellate cysts in ballast tank sediments: between tank variability, *Marine Pollution Bulletin* 40(9): 731-733.
- Haury L. R., McGowan J.A. y P.H. Wiebe. 1977. Patterns and processes in the time scales of plankton distributions: 277-327. In: Spatial Plankton Communities. John Steele (ed) Plenum Press, Nueva York, Londres.
- Head, J. M. y Wrenn, H. 1992. Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation (Publishing), Dallas. pp. 1-288.
- Holton, R. J. 1972. An Introduction to dynamic meteorology. Academic Press, New York, EUA, 319 pp.
- INEGI, 1994. Mazatlán, Estado de Sinaloa. Cuaderno Estadístico Municipal, 1993. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Gobierno del Estado de Sinaloa y H. Ayuntamiento Constitucional de Mazatlán. 123 pp.
- Karydis, M. y N. Moschopoulou, 1982. Vertical nutrient and phytoplankton distribution in relation to physical stability. *Hydrobiologia*, 94: 97-101.

- Kobayashi, S y Y., Yuki. 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments of Japanese coastal waters. 2. Matoya Bay. *Bulletin of Plankton Society Japan*, 38(1): 9-23.
- Kobayashi, S. Matsouka, K. y Lizuka, S. 1986. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments of Japanese coastal waters.1. Omura Bay, Kyushu. *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 33(2): 81-93.
- Kobayashi, S., Kojima, N., Itakura, S. Imai, I. Y K. Matsuoka. 2001. Cysts morphology of a Chain-forming unarmored dinoflagellate *Gyrodinium impudicum* Fraga et Bravo. *Phycological Research*, 49:61-65.
- Lambourn, D. L. y A. H. Devol, 1995. Water column and porewater data from the Mexican shelf and slope: cruise TTAN of the R/V New Horizon. School of Oceanography, University of Washington, Seattle W.A, 98195. Special Report No. 112.
- Lamolda, M.A. y Mao, S., 1999. Cenomanian-Turonian boundary event and dinocysts record at Ganuza (nothern Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 150(1-2): 65-82.
- Larrazabal, M. E., Lassus, P., Maggi, P. y M. Bardouil. 1990. Kystes modernes de dinoflagellés en Bahie de Vilaine-Bretagne Sud (France). *Criptogamie, Algologie*, 11(3): 171-185.
- Lassus, K.H. A., Maggi, P., Bardouil, M. y Truquet, P. 1992. Dinoflagellate cyst changes and winter environmental conditions in Vilaine Bay, southern Brittany (France). *Botanica Marina*, 35(1): 61-67.
- Lavín, M.F., Beier, E. y A. Bandan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del golfo de California: escalas estacional e interanual, pág. 139-169. In: Contribuciones a la Oceanografía Física de México. Monografía No 3, Unión Geofísica Mexicana. Miguel F. Lavin (ed). Capítulo 7.
- Lee, H. B. y Yoo, K.I. 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in Masan Bay, Korea. *Journal of the Oceanological Society of Korea* 26(4); 304-312.
- Lee, J.B. y Matsuoka, K. 1995. Distribution of dinoflagellate cysts from surface sediments in southern Korean waters. In: Exploitation of Marine Resources, Shinheung Publishings, Pusan (Korea). pp. 1-20.

- Lee, J.B., Kim, D.Y. y Lee, J.A., 1998. Community dynamics and distribution of dinoflagellates and their cysts in Masan-Chinhae Bay, Korea. *Journal of Fisheries science and technology*, 1(2): 283-292.
- Lluch-Cota, S. 2000. Coastal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanologica Acta*, 23(6): 731-740.
- López-Cortés, D. Gárate-Lizárraga, I., Bustillos-Guzmán, J.J. Alonso-Rodríguez, R. e I. Murillo-Murillo, 2003. Una aproximación al estado trófico de Bahía Concepción, Golfo de California. *Hidrobiológica*, 23(3): 195-206.
- Maldonado, A. S.E., Ortiz, R. A. Mastachi, P. J.L. y J.M. Ponce de León, 1980. medición de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos del Canal de Navegación y Áreas adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis Profesional Universidad Nacional Autónoma de Sinaloa, Escuela de Ciencias del Mar, México. 82 pp.
- Manrique, A. F. y R. E. Molina. 1997. Presencia de mareas rojas en la bahía de Bacoichibampo, Guaymas, Sonora, México. *Hidrobiológica*, México. 7: 81-86.
- Martínez-Hernández, E. y H. Hernández-Campos, 1991. Distribución de quistes de dinoflagelados y acritarcas en sedimentos holocénicos del golfo de California. Instituto de Geología, UNAM. Paleontología Mexicana Núm. 57: 120 pp. y láminas.
- Martínez-Hernández, E. y Hernández-Campos, H. 1991. Distribución de quistes de dinoflagelados y acritarcas en sedimentos holocénicos del Golfo de California. Paleontología Mexicana Número 57, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 120 p y 6 láminas.
- Matsuoka, K. y Y.Fukuyo, 1995. Manual for modern dinoflagellate cyst study. 2nd Ed. Training Course on Monitoring of PSP Plankton and Shellfish. Toxicity by WESTPAC-IOC (of UNESCO) AT Kitasato University on July 17-22, 1995.
- McQuoid, M, Godhe, A. and K. Nordberg. 2002. Viability of phytoplankton restin stages in the sediments of a coastal Swedish fjord. *European Journal of Phycology*, 37:191-201.

- Mee, L. D., Cortés-Altamirano, R. y L. M. García-de-la-Parra, 1984. Di-nitrogen fixation in a eutrophic tropical bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 19: 477-483.
- Mee, L. D., Espinoza, M. y Díaz, G., 1986. Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific Coast of Mexico. *Marine Environmental Research* 19:77-92.
- Mee, L. D., Ramírez-Flores A., Flores-verdugo, F. y F. González Farías, 1985. Coastal upwelling and fertility of the southern Gulf of California: impact of the 1982-83 ENSO Event. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter* 31: 9-10.
- Mee, L.D. (resp.), 1980. Primer Informe Parcial del Estudio Integral de la Bahía. Proyecto PCMNAL 790001. 20 pp.
- Méndez, N. 2002. Annelid assemblages in soft bottoms subjected to human impact in the Urías estuary (Sinaloa, Mexico) *Oceanologica Acta* 25: 139-147.
- Méndez, U. N. y M.J. Green-Ruiz, 1998. Superficial sediments and their relation to polychaete families in a subtropical embayment, México. *Revista de Biología Tropical*, 46(2) 237-248.
- Michel-Reynoso, I.L. 1986. Variación estacional de la actividad antibiótica del contenido de materia orgánica y minerales de cuatro esponjas de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis Profesional. Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara. 86 pp.
- Montani, S., Ichimi, K., Meksumpun, S y T. Okaichi 1995. The effects of dissolved oxygen and sulfide on germination of the cysts of some different phytoflagellates. In Harmful Marine Algal Blooms. P. Lassus, g. Arzul, E. Erard., P. Gentlen and C. Marcaillou. Lavoisier (Publ.): 627-632.
- Montaño-Ley, Y. 1985. Estudio del transporte litoral de arenas en la isla de la Piedra, Mazatlán, Sinaloa usando trazadores fluorescentes. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México*, 12(1):15-32.
- Montaño-Ley, Y. y J. Aldeco-Ramírez. 1986. Estudio de refracción del oleaje frente a la zona centro-sur de Mazatlán, Sin. México. Anales del Instituto de

- Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México 13(3): 57-72.
- Montaño-Ley, Y, Páez-Osuna, F. y R. Peraza-Vizcarra. 2000. Suspended and bed load sediment transport through a coastal lagoon entrance in Mazatlán, Sinaloa, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 16(1): 27-36.
- Monteiro, P.M.S. and Largier, 1999. Thermal stratification in Saldanha Bay (South Africa) and subtidal, density-driven exchange with the coastal waters of the Benguela upwelling system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49:877-890.
- Morey-Gaines, G., 1982. *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae): morphology and affinities with armored forms. *Phycology*, 21: 154-163.
- Morquecho L. y Lechuga-Devéze C.H. 2003. Dinoflagellate cysts in recent sediments from Bahía Concepción, Gulf of California. *Botanica Marina* 46: 132-141.
- Muñoz-Barbosa, A., Gutiérrez-Galindo, E. A. y G. Flores Muñoz. 1999. *Mytilus californianus* as an indicator of heavy metals in the northwest coast of Baja California, México. *Marine Environmental Research*, 49: 123-144.
- Muñoz-García, I.R. 1997. Abundancia y dispersión de filosomas de *Panulirus* (Decápoda: Palinuridae) en 1989-1992, en la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Sinaloa, Escuela de Ciencias del Mar. pp.88.
- Núñez-Vázquez, E. J., Heredia-Tapia, A., Pérez-Urbiola, J.C., Alonso-Rodríguez, R., Arellano-Blanco, J., Cordero-Tapia, A., Pérez- Linares, J. y Ochoa, J. L. 2003. Evaluation of dinoflagellate toxicity implicated in recent HAB events in the Gulf of California, Mexico. HABTECH 2003 Workshop, A workshop on technologies for monitoring of harmful algal blooms and marine biotoxins, del 26 al 30 de noviembre de, 2003, en Nelson, Nueva Zelanda, póster.

- Ochoa, J.L. 2003a Mareas rojas, proliferaciones micro-algales nocivas y biotoxinas marinas en México. Gobierno del Estado de B.C.S., SEP-CIBNOR. La Paz, BCS, México. 50 pp. 2003. (ISBN: 968-5715-06-0).
- Ochoa, J.L. 2003b. The "ENSO" phenomenon and toxic red tides in Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(3): 505-515.
- Ochoa, J.L., Sánchez-Paz, a. Cruz-villacorta, A., Núñez-Vázquez, E. y Sierra-Beltrán, A. 1997. Toxic events in the Pacific coastline of California peninsula in Mexico during 1992-1995: Origin and Impact. *Hydrobiologia* 352: 195-200.
- Ochoa, J.L., Sierra-Beltrán, A., Alonso-Colmenares, G., Barradas-Sánchez H., Cruz-Villacorta, A. Núñez-Vázquez, E. y A. Sánchez-Paz, 1998. Biotoxins in the Pacific Coast of Mexico: 441-448. In: *Mycotoxins and Phycotoxins-Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety* . M. Miraglia, H. van Egmond, C. Brera, J. Gilbert (ed). EUA.
- Ochoa-Izaguirre, M.J. 1999. Composición y distribución de macroalgas en el sistema lagunar de Urías (Mazatlan, Sinaloa, Mexico): Variación estacional de la biomasa en relación con la disponibilidad de nutrientes y algunos factores ambientales. Tesis de Maestría, UNAM ICMYL Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, 99 pp.
- Orozco-Romo, M. L., 1980. Estudio del macrobentos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa (Con relación especial a peces, equinodermos, crustáceos y moluscos. En relación con temperatura, salinidad, profundidad y tipo de sustrato. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Guadalajara.
- Osuna-López, I., Soto-Flores, L.L., Izaguirre-Fierro, G., Sánchez-Osuna, L., López-López, G., Frías-Espéricueta, M.G., Velásquez-Cuadraz, Ma.C. y H. Zazueta-Padilla. 2000. Estudio de agregados flotantes (espumas) en agua de mar de la zona costera de Mazatlán, Sinaloa. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. H. Ayuntamiento de Mazatlán, Informe Técnico, 18 pp.
- Páez-Osuna, F., G. Izaguirre-Fierro, R.I. Godoy-Meza, F. González-Farías y J. I. Osuna-López, 1988. Metales pesados en cuatro especies de organismos

- filtradores de la región costera de Mazatlán: Técnicas de extracción y niveles de concentración. *Contaminación Ambiental*. 4: 33-41.
- Páez-Osuna, F., Montaña L. Y y H. Bojórquez-Leyva, 1990. Intercambio de agua, fósforo y material suspendido en el sistema lagunar del puerto de Mazatlán y de las aguas costeras adyacentes. *Revista Internacional Contaminación Ambiental*. 6: 19-32.
- Peraza-Vizcarra, R. 1985. Transporte litoral de arenas en playas de la costa sur del Estado de Sinaloa. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar. Colegio de Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, 57 p.
- Pérez-Bernal, L. H. 1999. Concentración, distribución y fraccionamiento geoquímico del fósforo en los sedimentos de dos lagunas costeras del noroeste de México. Tesis de Maestría, UNAM, México. 145 pp.
- Pitta, P., Karakassis, I., Tsapakis, M. y Zivanovic, S. 1999. Natural vs. mariculture induced variability in nutrients and plankton in the eastern Mediterranean. *Hydrobiologia* 391: 181-194.
- Priego, M. B. C. 1985. Contribución al conocimiento de la composición fitoplanctónica del estero de Urías y la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Guadalajara, 62 pp.
- Robles-Jarero, E.G. 1985. Productividad primaria del fitoplancton y distribución temporo-espacial de pigmentos fotosintéticos (clorofila "a" y feopigmentos) en el Estero de Urías, durante un ciclo anual (Septiembre 1982-Agosto 1983). Tesis Profesional. Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Guadalajara. 76 pp.
- Rochón, A., Vernal, A. Turón, J.L., Matthiessen, J. y Head, J.M. 1999. Distribution of recent dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Contributions Series No. 35. 150 p.
- Roden, G. I. 1962. Oceanographic aspects of the Gulf of California. *Memories of American Association Petrology Geologists* 3: 30-58.

- Rojas-Trejo, T. S. P. 1984. Ciclo anual de fitoplancton de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México (1980). Tesis Profesional. Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Morelos.
- Ruelas-Inzunza, R. J. 1998. Balanos (*Balanus eburneus*, *Fistulobalanus dentivarians* y *Megabalanus coccopoma*) como Biomonitores de la Contaminación por Metales Pesados en las Aguas del Puerto de Mazatlán, Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 121 pp.
- Saavedra-Rojas, C. N., 1995. Evaluación de la productividad primaria bajo un gradiente artificial de luz, durante un ciclo anual, en la zona adyacente a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis Profesional. Fac. Ciencias. UNAM., 68 pp.
- Saetre, M. L. L., Dale, B., Abdullah, M. I. y G.P. Saetre, 1977. Dinoflagellate cysts as possible indicators of industrial pollution in a Norwegian fjord. *Marine Environmental Research*, 44(29): 167-189.
- Santamaría-del-Ángel, E., Álvarez-Borrego, S. y F.E. Müller-Karger, 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 9(C4): 7411-7421.
- Secretaría de Marina, 1974. Estudio geográfico de la región de Mazatlán, Sinaloa. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. 353 pp.
- Sierra-Beltrán A. P., Cruz A., Núñez E. del Villar L.M., Cerecero, J. y J.L.Ochoa. 1998. An overview of the marine food poisoning in Mexico. *Toxicon*, 36(11):1493-1502.
- Sierra-Beltrán, A., Morquecho-Escamilla, Ma. L., Lechuga-Devéze, C. y J.L. Ochoa, 1996. PSP Monitoring Program at Baja California Sur, México, 105-108. In: Harmful and Toxic Algal Blooms. Yasumoto T., Oshima, Y. y Fukuyo Y. (eds). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 1996.
- Sierra-Beltrán, A. Palafox-Uribe, M., Grajales-Montiel, L. Cruz-Villacorta y J.L. Ochoa. 1997. Sea bird mortality at Cabo San Lucas, Mexico: evidence that toxic diatom blooms are spreading. *Toxicon* 35:447-453.

- Smayda, T.J. 1997a. Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology and Oceanography*, 42(5-II):1137-1153.
- Smayda, T.J., 1980. Phytoplankton species succession. pp. 493-570. In: Studies in Ecology Volume 7. The physiological ecology of phytoplankton. I. Morris (ed), University of California Press, Berkeley and Los Angeles, USA, 1980.
- Smayda, T.J., 1997b. What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography* 42(5-II): 1132-1136.
- Smayda, T.J. 2000. Ecological features of harmful algal blooms in coastal upwelling ecosystems. *South African Journal of Marine Science*, 22: 219-253.
- Sournia, A. 1978. Phytoplankton Manual. UNESCO. 337 pp.
- Sonneman, J.A. y D.R.A. Hill, 1997. A taxonomic survey of cyst-producing dinoflagellates from recent sediments of Victorian coastal waters, Australia. *Botanica Marina* 40:149-177
- Soto, J. M. F., 1998. Distribución de la concentración de metales pesados en los sedimentos del puerto de Mazatlán y áreas adyacentes: su normalización y fraccionamiento geoquímico CCH UACPyP UNAM Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. 245 pp.
- Steele, J.H. 1976. Patchiness. 98-115. In: The ecology of the seas. D.H. Cushing y J.J. Walsh (eds) Blackwell Scientific Publications, Londres, Gran Bretaña.
- Steidinger, K. A., 1975. Implications of dinoflagellate life cycles on initiation of *Gymnodinium breve* red tides. *Environmental Letters* 9: 129-139.
- Taylor, F.J.R. 1987. Dinoflagellate cysts in ancient and modern sediments: 649-722. In The Biology of Dinoflagellates. Botanical Monographs, 21.
- ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67:1167-1179
- Thorsen A.T. y B. Dale, 1998. Climatically influenced distribution of *Gymnodinium catenatum* during the past 2000 years in costal sediments of southern Norway. *Palaeocology* 143: 159-177.
- Thorsen, A.T. y B. Dale. 1997. Dinoflagellate cysts as indicators of pollution and past climate in a Norwegian fjord. *The Holocene* 7 (4): 433-446.

- Tomas C.R. (ed.), 1997. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press, Londres, 598 pp.
- Torres-Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del golfo de California. Tesis de Maestría, Oceanografía Física, CiCESE, Ensenada, México, 80 p.
- Tylor, J.M.T, Lewis, J. y Heaney S.I. 1995. A survey of *Alexandrium* sp. cysts in Belfast Lough, 1992. In: Harmful Marine Algal Blooms. P. Lassus, G. Arzul, E. Erard, P. Gentien, C. Marcaillou. Technique et Documentation, Lavoisier, Intercept, Ltd, Paris, pp. 835-840.
- Ulloa-Pérez, A., Martínez-López, A. y Escobedo-Urías, D. 2003. Fitoplancton del litoral del municipio de Guasave, Sinaloa. pp. 178-179. En: Resúmenes del IX Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés, A.C. y III Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. del 5 al 9 de mayo de 2003. La Paz, Baja California Sur, México.
- Viner, B.A. 1985. Thermal stability and phytoplankton distribution. *Hydrobiologia* 125, 47-69.
- Viquez, R. y P.E. Hargraves. 1995. Annual cycle potentially harmful dinoflagellates in the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Bulletin of Marine Science* 57(2): 467-475.
- Vollenweider, R. A., 1969. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. International Biological Program. Blackwell Scientific Publications, Oxford 12: 6-7.
- Voltolina, D. 1993. The origin of recurrent blooms of *Gymnodinium sanguineum* Hirasaka in a shallow coastal lagoon. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology* 168: 217-222.
- Voltolina, D. y M. Robinson, 1986. Possibility of self-seeding of localized blooms of *Gymnodinium sanguineum* Hirasaka. DND Canada Coastal Marine Science Laboratory. MS Report 86-1
- Wall, D. 1971. Biological problems concerning fossilizable dinoflagellates. *Geoscience and Man* III: 1-15.

- Wall, D. 1975. Taxonomy and cysts of red-tide dinoflagellates: 249-255.. In: LoCicero, V. R. (ed.) Proceedings First International Conference on Toxic Dinoflagellate Blooms. Wakefield, Mass.
- Weifei, W. y Junhao, H. , 1996. Preliminary study of distribution of dinoflagellate cysts in coastal sediments of the East China Sea in summer, 1992. Collected oceanic works, Haiyang Wenji Tianjin, 19(1): 86-91.
- White, A.W. y Lewis, C.M. 1982. Resting cysts of the toxic, red tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in Bay of Fundy sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(8): 1185-1194.
- Wyatt, T. 1995. Global, spreading, time series, models and monitoring: 755-764. In: Harmful Marine Algal Blooms. P. Iassus, G. Arzul, E. Erard, P. Gentien, C. Marcaillou. Technique el Documentation. Lavoisier, Intercept Ltd. 1995.
- Yamaguchi, M. Itakura, S. Imai, I., 1995. Vertical and horizontal distribution and abundance of resting cysts of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* and *Alexandrium catenella* in sediments on Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 61(5): 700-706.
- Yamaguchi, M., Itakura, S., Nagasaki, K., e I. Imai. 1996. Distribution and abundance of resting cysts of the toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech and *A. catenella* in sediments os the eastern Seto Inland Sea Japan. 177-179. In: Harmful and Toxic Algal Blooms. Yasumoto T, Oshima Y y Fukuyo, Y. (eds). Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- Yentsch, C. M., Holligan, P.M., Balch W:M. y A. Tvirbutas, 1986. Tidal stirring vs. stratification: microalgal dynamics with special reference to cyst-forming toxin producing dinoflagellates: 224-252. In: Bowman, J., C. M. Yentsch y W.T. Peterson (eds) Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, Vol. 17 Tidal mixing and plankton dynamics Berlin/Heideberg, Springer-Verlag.
- Zonneveld A. F. K., 1997. New species of organic walled dinoflagellate cysts from modern sediments of the Arabian Sea (Indian Ocean). *Review Paleobotany and Palynology*. 97: 319-337.