

Dinámica espacio-temporal de organismos precursores de marea roja en la costa Pacífica de América del Norte y Centroamérica

A.P. Sierra-Beltrán¹, D.B. Lluch-Cota¹, S.E. Lluch-Cota¹, R. Cortés-Altamirano², M.C. Cortés-Lara³, M. Castillo-Chávez⁴, L. Carrillo⁵, L. Pacas⁵, R. Viquez⁶ & I. García-Hansen⁷

- 1 Programa de Ecología de Pesquerías, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Apdo. Postal 128, La Paz, B.C.S., México. Tel.: (52) 612 12 38484. Fax: (52) 612 12 53625; asierra04@cibnor.mx; dblluch@cibnor.mx; sluch@cibnor.mx
- 2 Laboratorio de Plancton, Estación Mazatlán, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Apdo. Postal 818, Mazatlán 82040 Sinaloa, México. Tel.: (52) 69 852845. Fax: (52) 69 826133; robtiko@ola.icmyl.unam.mx
- 3 Universidad de Guadalajara, A. Universidad 203, Pto. Vallarta 48280, Jalisco, México.
- 4 Programa Nacional de Sanidad de Moluscos Bivalvos, Secretaría de Salud, M. Escobedo 366, D.F. 11690, México. Tel.: (52) 5552 034 951; castillochavez@hotmail.com
- 5 Universidad de Guatemala, Edificio T14, Ciudad Universitaria Zona 12, Guatemala City, Guatemala. Tel.: (50) 24 765 4795; lcarrillo1@excite.com; pacas_luis@yahoo.com
- 6 Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional, Apdo. Postal 126-5400, Puntarenas, Costa Rica. Tel.: (50) 66 613 022. Fax: (50) 66 613 635; roxana@una.ac.cr
- 7 Departamento de Biología Marina y Ecología, Centro de Control Contaminación del Pacífico, Armada Nacional, Tumaco, Colombia. Tel.: (57) 27 272 637. Fax: +57 27 271 180; igarciahansen@hotmail.com

Recibido 31-X-2002. Corregido 04-XI-2003. Aceptado 11-XII-2003.

Abstract: The Pacific coast of Central and North America has long been and still is impacted by the flourishing of microalgal populations known as Harmful Algal Blooms (HABs). The organisms that have caused recent HABs episodes in the region are among others, *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, and recently *Cochlodinium* cf. *catenatum*. In spite of the accumulated effects on the human health, the economic activities and the environment, scarce information is available on the subject. The augmented use of coastal zones for human activities is also paralleled by increased awareness of global climate changes. Thus, it is not an easy task to discriminate anthropogenic or natural phenomena, or both, as the major driving forces. The long-term data sets available for limited regions, as well as some sporadic observations during notorious blooms, allowed us to discriminate major changes in the biodiversity and biogeography of HAB organisms. Main changes refer to number of events, covered area, duration and frequency, number of blooming species and appearance of not previously reported harmful taxa. The variables more clearly related to these dynamic phenomena, seems to be sea surface temperature and wind force, but it is not yet possible to weight their contributions. The participation of rain is not fully evaluated to date. The collaborative communication among small-budget monitoring operations in the region allowed to "pass the voice" about peaking concentrations of HAB organisms, diminishing the risk of poisoning.

Key words: Climate change, HAB, monitoring, Pacific coast, poisoning, red tides, prevention.

Palabras clave: Cambio climático, PAN, monitoreo, costa Pacífica, envenenamiento, mareas rojas, prevención.

En el Golfo de California, se tienen informes históricos que refieren la denominación de "mar bermejo" como resultado del asombro de los españoles ante los eventos de mareas rojas

en las aguas de la región (Núñez Cabeza de Vaca Siglo XVI). Las mareas rojas son muy comunes en esta región, siendo el principal causante el ciliado *Mesodinium rubrum* y

notoriamente evidentes los eventos causados por *Noctiluca scintillans* y recientemente, la cianofita *Oscillatoria erythraea*, un indicador tácito de la tropicalización de las aguas de la región (Cortés-Altamirano 1998). La descripción del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* por Graham en 1943, fue realizada como consecuencia de una gran proliferación en el Golfo de California, siendo desde entonces la principal especie tóxica de la región (Graham 1943). Las condiciones cambiantes han favorecido la aparición de otras especies tóxicas formando proliferaciones o en densidades consideradas como peligrosas. Entre ellas, se puede mencionar la presencia en Bahía Concepción de *Dinophysis caudata* (Lechuga-Dèveze *et al.* 1993), *Alexandrium catenella*, *Prorocentrum minimum* (Sierra-Beltrán *et al.* 1996) y *Alexandrium tamiyavanichi* (Sierra-Beltrán *et al.* 1998), *Pseudonitzschia australis* en el Alto Golfo de California (Anónimo 1997a, Sierra-Beltrán *et al.* 1997, 1998) y, en Mazatlán, *G. catenatum*, *P. minimum* y *Gymnodinium sanguineum*, entre otros (Mee *et al.* 1986, Cortés-Altamirano y Núñez-Pastén 1992) y muy recientemente *Cochlodinium cf. catenatum* (Cortés-Lara *et al.* 2003). Es muy evidente, como resultado de más de veinte años de muestreo, que el número de especies tóxicas y el número de días de marea roja aumenta lenta pero constantemente (Cortés Altamirano *et al.* 1999), esto quiere decir que las condiciones que favorecen dichos fenómenos se han tornado más propicias con el paso del tiempo, permitiendo no solo su establecimiento, sino su desarrollo y permanencia.

En la porción sur del Pacífico mexicano, en la región del Golfo de Tehuantepec, las mareas rojas habían sido anteriormente fenómenos relativamente raros. Como resultado de un análisis de la información más difundida acerca de los eventos relacionados a mareas rojas en la zona del sureste del Pacífico en México (Guerrero, Oaxaca y Chiapas) es posible suponer que los primeros reportes se refieren a la especie *G. catenatum*, un organismo de regiones templadas, en tanto que los reportes más recientes asocian los casos de intoxicación a la

presencia de *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, un organismo netamente tropical. Este cambio de estructura en la comunidad del fitoplancton pudiera tener implicaciones muy importantes como ha sido mencionado para otras especies que posteriormente a su arribo a nuevos nichos ecológicos tienen la posibilidad de adaptarse y permanecer en ellos no llegando a representar únicamente problemas puntuales, sino a permanecer ocasionando disturbios en el ecosistema aún cuando las condiciones que permitieron su llegada se reviertan.

Actualmente, en México, las estadísticas de salud registran cerca de 600 casos de intoxicación por consumo de moluscos contaminados con toxinas de origen en el fitoplancton y al menos 30 muertes por las mismas causas (Ochoa *et al.* 1998b), todas ellas asociadas a eventos en la costa del Pacífico del país. Lo que indica que ésta es la zona más afectada por estos eventos en años recientes.

Se obtuvo información derivada de bases de datos meteorológicos, climatológicos y oceanográficos de algunos puntos de la costa Pacífico como Mazatlán, Sin., del periodo 1920-2000 (Anónimo 1920-2000) y Acapulco, Gro., del periodo 1983-2000 (Anónimo 2000), analizando la información obtenida mediante correlación con las observaciones documentadas de eventos de toxicidad en la misma región. La finalidad es establecer si es posible asociar el cambio climático, y en especial el fenómeno ENSO, al aparente aumento en la frecuencia y distribución de los eventos ocasionados por proliferaciones algales nocivas.

Los eventos asociados a toxicidad de tipo paralizante en la costa del Pacífico, se han reportado desde Mazatlán, Sin., México hasta Panamá en América Central. Desde 1976 a 2001 se han documentado 21 eventos, 13 de ellos causados por *P. bahamense* var. *compressum*, siete por *G. catenatum* y uno más, no determinado adecuadamente, causado por *G. catenatum* o *A. catenella*. Las zonas afectadas en forma recurrente en México son: Acapulco, Gro., con seis eventos (Saldate-Castañeda *et al.* 1991, Parrilla-Cerrillo *et al.* 1993, Colmenares

y Barradas-Sánchez 1996, Ramírez-Camarena *et al.* 1996, Anónimo 1997b, Ochoa *et al.* 1998a); Mazatlán, Sin., con tres (De La Garza-Aguilar 1983, Mee *et al.* 1986, Cortés-Altamirano y Núñez-Pastén 1992); Salina Cruz-Huatulco, Oax., con dos (Anónimo 1990-1994, Saldate-Castañeda *et al.* 1991, Sotomayor-Navarro y Domínguez-Cuellar 1993, Cortés-Altamirano *et al.* 1996) y, Puerto Madero, Chis., con dos (Anónimo 1992). La costa del Pacífico de América Central ha reportado tres eventos en Guatemala (Rosales-Loessener *et al.* 1989, Anónimo 1992, Sotomayor-Navarro y Domínguez-Cuellar 1993, Velázquez-Recino 1993), en tanto que en Panamá, Costa Rica, Nicaragua y El Salvador se han reportado dos eventos en cada país (Saldate-Castañeda 1991, Sotomayor-Navarro y Domínguez-Cuellar 1993). Dentro de México, los eventos de Mazatlán son producidos por *G. catenatum* durante el periodo primaveral (De La Garza-Aguilar 1983, Rosales-Loessener *et al.* 1989, Saldate-Castañeda *et al.* 1991, Anónimo 1992). En el sur del país (Guerrero, Oaxaca y Chiapas), las proliferaciones primaverales eran ocasionadas usualmente por *G. catenatum* (o *A. catenella*). Entonces, después del verano de 1987 en que ocurrió la proliferación de *P. bahamense* var. *compressum* en Guatemala, han ocurrido proliferaciones recurrentes en el periodo otoño-invierno a lo largo de las costas de América Central hasta el estado de Guerrero (De La Garza-Aguilar 1983, Rosales-Loessener *et al.* 1989, Saldate-Castañeda *et al.* 1991, Anónimo 1992, Colmenares y Barradas-Sánchez 1996). Finalmente, en la primavera de 1999, Acapulco fue afectado por un gran evento asociado a la ocurrencia de *G. catenatum*. Esta pausa en la aparición de proliferaciones de *P. bahamense* var. *compressum* (una especie tropical) y el resurgimiento de *G. catenatum* (una especie templada), pudiera estar relacionada con cambios climáticos durante los ciclos El Niño-La Niña.

En la región de Manzanillo, Col., la influencia de los eventos de surgencia se han dejado sentir con mayor frecuencia e intensidad desde 1997, estando asociados a la presencia

de manchas de marea roja en el periodo invierno-primavera (Cavazos-Guerra *et al.* 1999, Morales-Blake *et al.* 1999). Por ejemplo, durante marzo y abril de 1999 se manifestó una extensa y muy abundante proliferación de *G. catenatum* en la Bahía de Manzanillo (Blanco-Blanco *et al.* 1999). Posteriormente, en el periodo 2000-2001, un muy agresivo evento dominado por *P. bahamense* var. *compressum* se manifestó desde las costas de Costa Rica hasta Guerrero en México, ocasionando más de 50 intoxicados y 10 defunciones en México, en tanto que, en los países de Centroamérica, los intoxicados totalizaron más de 300, sin presentarse defunciones reportadas de manera oficial.

Aún siendo ambas especies de fitoplancton tóxico productoras del mismo tipo general de toxinas (PSP), las implicaciones biológicas y de salud pública de la presencia de una u otra especie son muy relevantes. La imagen clínica del envenenamiento por consumo de moluscos es la misma y esta claramente asociada al neurotropismo de las toxinas, yendo desde una ligera intoxicación, hasta una muy severa e incluso ocasionando la muerte por paro respiratorio (De La Garza-Aguilar 1983, Rosales-Loessener *et al.* 1989, Saldate-Castañeda *et al.* 1991, Anónimo 1992). En este sentido no existe diferencia entre los efectos ocasionados por las toxinas de *G. catenatum* o de *P. bahamense* var. *compressum*. Sin embargo, el tiempo en que se presentan los síntomas es, en promedio, de 4 horas para *G. catenatum*, en tanto que para *P. bahamense* var. *compressum* es de únicamente 1-2 horas (De La Garza-Aguilar 1983, Rosales-Loessener *et al.* 1989, Saldate-Castañeda *et al.* 1991, Anónimo 1992, Colmenares y Barradas-Sánchez 1996). Esto puede ser explicado por la diferente abundancia de la composición específica de las toxinas de las diferentes especies e indica claramente que son mucho más peligrosos los envenenamientos asociados con *P. bahamense* var. *compressum* ya que reducen el tiempo de absorción-difusión-efecto y por ello la posibilidad de asistir adecuadamente al afectado. La clara asociación descrita en las manifestaciones de eventos

relacionados a ocurrencias de *P. bahamense* var. *compressum* y el fenómeno El Niño en el Sudeste Asiático hace obligatorio el iniciar los estudios en este sentido. Al cotejar las ocurrencias de los eventos de toxicidad con los periodos de variabilidad climática asociada a El Niño en nuestra región, no es posible encontrar una clara relación del tipo descrito por otros autores en el Pacífico Sur (Hallegraeff 1995, Usup y Azanza 1996). Sin embargo, es evidente que el inicio de la ocurrencia de estos eventos en 1987 en las costas de Centroamérica si se encuentra precedido por un fenómeno El Niño (1983-1984) y, actualmente, al relajarse el evento 1997-1998 se observa un aparente retorno de *G. catenatum* a la zona, con un desplazamiento de *P. bahamense* var. *compressum*, por lo menos en lo que respecta a la presencia de proliferaciones, ya que es muy difícil evaluar la ausencia total de la especie en la zona.

Es evidente la existencia de una región costera y oceánica en las costas de México y América Central cuyas condiciones particulares denotan la existencia de un ecosistema independiente: el Gran Ecosistema Marino Costero del Pacífico de América Central. Este se encuentra delimitado al norte por el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de California (aproximadamente a los 20°24' latitud Norte, en Cabo Corrientes, Jalisco, México) y al sur limita con el Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt, frente a las costas de Ecuador. Está caracterizado por la presencia de corrientes costeras de recirculación, una menor amplitud espacial en los gradientes de temperatura y, adicionalmente, posee distintas características batimétricas, hidrográficas, así como regímenes de productividad y tróficos particulares (Bakun *et al.* 1999). En esta región, las temperaturas en las capas superiores del océano son más elevadas, fluctuando poco, alrededor de los 26°C, la mayor parte del año. Otra muy importante característica, en comparación con los dos ecosistemas fronterizos, es que en el Ecosistema Marino del Pacífico de América Central se encuentran planicies de sabana al norte, selva lluviosa tropical en la región del istmo y colinas costeras al sur, con diferentes y

cuantiosos regímenes pluviales y diverso uso de la tierra, hechos que en conjunto pueden ocasionar importantes aportes de nutrientes al ecosistema marino. Entre las características oceanográficas distintivas de este ecosistema, se encuentra la existencia de plumas de surgencia costera, que se extienden a grandes distancias mar adentro a partir de las tres localidades, en donde la topografía montañosa varía drásticamente: el Golfo de Tehuantepec, en México, el Golfo de Papagayo, en Costa Rica y el Golfo de Panamá, en Panamá; cuyo efecto, al permitir el paso de los vientos que se alejan de la costa, es ocasionar la surgencia de agua del fondo, de baja temperatura, baja oxigenación y rica en nutrientes. Este tipo de surgencias puede bajar la temperatura de la superficie del mar en las costas hasta en 10°C. Adicionalmente, en el límite norte de éste ecosistema frente a las costas del Estado de Jalisco, México, se ha descrito recientemente un sistema de surgencias costeras en el periodo invierno-primavera cuya influencia hacia el sur, en ocasiones llega hasta las costas de Colima y Michoacán (Cavazos-Guerra *et al.* 1999, Morales-Blake *et al.* 1999).

Por otro lado, los eventos hacia la baja de la temperatura son muy marcados en ambos sentidos a partir del paralelo 17° N (efecto La Niña), donde de hecho, a comienzos de 1985 desapareció por completo la banda de agua caliente aún en la zona de Acapulco. Durante 1988-1989 se redujo drásticamente en ambos sentidos, manifestándose una notoria reducción al sur durante 1996-1997. Si se analizan las anomalías es posible evidenciar en ambos sentidos los efectos El Niño y La Niña.

Teniendo en cuenta la información del párrafo anterior, es posible aseverar que los eventos de toxicidad ocasionados por *P. bahamense* var. *compressum*, en la costa Pacífica de América Central (Rosales-Loessener *et al.* 1989, Anónimo 1990-1994, Saldate-Castañeda *et al.* 1991, Anónimo 1992, Parrilla-Cerrillo *et al.* 1993, Sotomayor-Navarro y Domínguez-Cuellar 1993, Velázquez-Recino 1993, Colmenares & Barradas-Sánchez 1996, Anónimo 1996a, b, Ramírez-Camarena *et al.* 1996, Cortés-Altamirano *et al.* 1996, Ochoa *et al.* 1998a,

b, Sierra-Beltrán *et al.* 1998) siempre han sucedido en la zona o banda considerada como una alberca cálida; nunca ocurriendo en una zona de anomalía producto del efecto El Niño y aparentemente, siempre han sido precedidos por un periodo frío inmediatamente antes de su ocurrencia.

Desde 1942, en que apareció el único reporte de la presencia de *P. bahamense* en las costas de México (Osorio-Tafall 1942), no existe evidencia de la presencia de este organismo en aguas del Pacífico de América, hasta la aparición del primer evento en las costas de Guatemala, en julio de 1987, precedido inmediatamente por un evento El Niño muy marcado (1983-1984) y un evento La Niña también muy fuerte (1984-1985). Es pertinente mencionar que en la descripción realizada por Osorio-Tafall (1942) no se indica la presencia de una característica muy importante y muy particular de la var. *compressum*, la formación de largas cadenas (Taylor y Fukuyo 1989). Esto sugiere que corresponde a la var. *bahamensis*, que no forma cadenas, sin embargo, también Osorio-Tafall (1942) da la descripción de *Pyrodinium schilleri* que es un sinónimo de *P. b.* var. *compressum*, comprobándose la existencia de las dos variedades en una misma población, recientemente confirmada por Vargas y Freer (2003) en el Golfo de Nicoya en Costa Rica.

La aparición de los eventos esta marcada por la evidencia dada por el fenómeno de toxicidad, y no por un monitoreo activo del fitoplancton, es necesario reconocer que este es un indicador mínimo de su presencia y que en ausencia de datos permanentes de monitoreo entre eventos, no es posible hablar de la ausencia de la especie en estos periodos. Uno de los principales problemas encontrados en el estudio de estos fenómenos, es la ausencia de series de muestreos sucesivos en sitios clave de las costas, como se ha mencionado, ya que con excepción de Mazatlán y Guaymas (Cortés-Altamirano *et al.* 1996, Cortés-Altamirano y Núñez-Pastén 1992) no existe este tipo de datos. En el caso de Acapulco, a pesar de que se realizan acciones de monitoreo coordinadas por la Secretaría de Salud, mediante la aplicación del

Programa Nacional de Sanidad de Moluscos Bivalvos, la información producida no se hace accesible a los grupos de investigación interesados en dichos fenómenos (Anónimo 1990-1994, Anónimo 1997b).

La información obtenida indica una vez más la necesidad de realizar acciones de muestreo permanente de ciertas variables biológicas, climatológicas y oceanográficas que permitan la integración de la información de una manera congruente y más firme, en caso contrario se continuará formando parte del grupo de espectadores de las manifestaciones de esta naturaleza.

Perspectivas

En la zona central del Golfo de California las actividades económicas preponderantes en la zona costera son la pesquera, el turismo y la acuicultura. Esta última con un enorme incremento en años recientes, en su importancia económica, volumen de producción y superficie utilizada. Los desechos acuáticos urbanos, asociados al explosivo incremento poblacional en las costas y, sobre todo, la eutroficación ocasionada por y en las granjas de acuicultura (principalmente de cultivo de camarón), pueden ser los responsables del establecimiento y proliferación de especies como *P. minimum*, *C. catenatum*, *Chattonella marina* y *Fibrocapsa japonica* (com. pers. R. Cortés-Altamirano) y, en general, del aumento del número de mareas rojas y el número de especies formadoras de estos eventos (Cortés-Altamirano *et al.* 1999). De hecho, dentro de la estructura de desarrollo de las granjas camaronerías, en aquellas cuya situación geográfica las ha dejado encajonadas en una maraña de canales y compuertas, son los lugares en donde se han presentado con mayor frecuencia e intensidad proliferaciones de cianobacterias y dinoflagelados afectando seriamente las producciones y, por ello, causando cuantiosas pérdidas económicas (Cortés-Altamirano *et al.* 1997). Estos eventos han sido ocasionados por diversos géneros de organismos como *Anabaena* sp., *Anabaenopsis* sp., *Nodularia* sp. *Microcystis* sp. y *Schizotrix* sp.,

causando mortandad en larvas y juveniles de camarón, y con potencialidad de causar daños al consumidor humano.

Por otro lado, en la zona del Pacífico Sur y Golfo de Tehuantepec se presentan un sinnúmero de particularidades con respecto a las otras. Como se ha mencionado, las mareas rojas eran un fenómeno desconocido hasta mediados de la década de los 70s (Cortés-Altamirano *et al.* 1996). A partir de entonces, en esta región han ocurrido más del 95% de los casos de intoxicación con biotoxinas de origen marino y el 90% de las defunciones por las mismas causas (Ochoa *et al.* 1998b). Los desarrollos turísticos han incrementado la densidad de las poblaciones en las zonas costeras y no se han realizado estudios comparativos, con relación a los niveles de eutroficación de las aguas litorales antes y después de estos asentamientos humanos. Por otro lado, es evidente que el cambio climático ha ocasionado intensas precipitaciones pluviales en la región de Chiapas y Oaxaca, cuya orografía ocasiona arrastres de sedimentos, así como nutrientes, fertilizantes y pesticidas, hacia los sistemas lagunares de ambos estados que bordean el Golfo de Tehuantepec. Ello afecta el comportamiento de las lagunas como reservorios naturales de etapas larvianas de diversos organismos de importancia económica y/o ecológica. Adicionalmente, los huracanes han incrementado su número e intensidad, y esto incide de manera particular en esta región, al menos de dos maneras: mediante el incremento de las corrientes de chorro que atraviesan el istmo de Tehuantepec en dirección Golfo de México-Pacífico, aumentando el efecto de surgencias costeras; y el aumento de los flujos de corrientes en dirección sur-norte a lo largo de las costas del Pacífico, causando corrientes de advección y convección, que facilitan la acumulación de organismos y permiten el mantenimiento de las condiciones óptimas para el desarrollo de los eventos de marea roja a lo largo de las costas, respectivamente.

Ante este panorama, es evidente que en algunos campos, se tiene bastante conocimiento en lo referente a las proliferaciones algales nocivas. Pero nuestra capacidad de describir los

factores que controlan la dinámica de las especies individuales está limitada por “lagunas” de conocimiento en las características fisiológicas, morfológicas y de comportamiento de las especies, e interaccionan con las condiciones ambientales para promover la selección de una u otra. Se desconocen cuáles son los factores determinantes que promueven el enquistamiento y la germinación y, de igual manera, el conocimiento de la integración del ciclo de vida con la hidrografía, la disponibilidad de nutrientes y de luz, es pobremente conocida. Adicionalmente, la capacidad de alimentación heterótrofa ha complicado el análisis adecuado de los modelos experimentales de crecimiento y toxicidad contra la disponibilidad de nutrientes. Por último, el efecto conjunto de las fuerzas físicas del medio y el aporte de nutrientes sobre las poblaciones de algas nocivas ejercen su influencia en las interacciones cadena alimenticia/comunidad que finalmente determinarán la selección a favor o en contra de una especie en particular (Cullen 1998, Glibert y Pitcher 2001).

A pesar de que las mareas rojas eran eventos francamente desconocidos en México hace algunos años, la magnitud de los eventos de toxicidad, tanto en humanos como en animales en años recientes, ha hecho que, de un total desconocimiento del tema, se conozca ahora que en las costas de México hay la presencia de todos los síndromes tóxicos descritos a la fecha en el ámbito mundial, habiendo sido demostrada químicamente la presencia de las toxinas responsables. No sólo eso, sino que se han encontrado, asimismo, eventos ocasionados por toxinas no descritas con anterioridad y que requieren de mayor capacidad de análisis, de manera que se identifique su composición química, el organismo que las produce, su posible participación en la cadena alimenticia y que, mediante ello, se pueda estimar el factor de riesgo que representan para humanos y la vida silvestre.

RESUMEN

La región costera del Pacífico de Centro y Norte América ha sido afectada de manera frecuente por

fenómenos que se denominan proliferaciones algales nocivas o en inglés, "Harmful Algal Blooms" (HAB). A pesar de la gran cantidad de efectos en la salud pública, las actividades económicas y el medio ambiente, aún existe una abrumadora carencia de información en el tema. Esto no permite establecer si las causas principales de este evidente aumento en el número e intensidad de los eventos son naturales o antropogénicas. La incrementada utilización de las zonas costeras para actividades humanas encuentra paralelo en el denominado cambio climático, lo que dificulta discriminar entre la posible influencia de estos dos fenómenos. Series de datos de larga duración en regiones reducidas, así como las observaciones esporádicas realizadas cuando se presenta algún evento, nos permite comparar regímenes climáticos, condiciones geográficas, disponibilidad de nutrientes (incluyendo la eutroficación) y parámetros oceanográficos que promueven o permiten el desarrollo y mantenimiento de las proliferaciones, haciendo evidentes cambios drásticos en la biodiversidad y la biogeografía de los organismos productores de HAB.

REFERENCIAS

- Anónimo 1920-1998. Datos de intensidad y dirección de los vientos. Periodo 1920-1998 (datos intermitentes). Servicio Meteorológico Nacional. México, D.F.
- Anónimo. 1990-1994. Informes técnicos del Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PMSMB). Comité Central de la Dirección General de Salud Ambiental, México.
- Anónimo. 1992. Boletín Semanal de Notificación Epidemiológica. Secretaría de Salud (SSA), México, D.F. 2(49): 28.
- Anónimo. 1996a. Documento de Fundamentos para la creación de la Red Nacional de Laboratorios de la Vida Silvestre. Dirección General de Verificación al Ordenamiento Ecológico (DGVOE), Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F.
- Anónimo. 1996b. Reporte de la Dirección General de Verificación al Ordenamiento Ecológico (DGVOE), Dirección de Atención a Contingencias, PROFEPA/SEMARNAT, México D.F.
- Anónimo. 1997a. Mortandad de mamíferos marinos cuyos cadáveres arribaron a las costas de Sinaloa. Informe técnico. PROFEPA. México, D.F. 119 p.
- Anónimo. 1997b. Reporte de trabajo del Programa Estatal de Control Sanitario de Moluscos Bivalvos. SSA. Gobierno del Estado de Guerrero. Ministerio de Salud. Chilpancingo, Guerrero.
- Bakun, A., J. Csirke, D. Lluch-Belda & R. Steer-Ruiz. 1999. The Pacific Central American Coastal LME, pp. 268-280. In K. Sherman & Q. Tang (eds.). Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. Assessment, Sustainability, and Management. Blackwell Science, Oxford.
- Blanco-Blanco, M., S. Aguilar-Olguín & A. Morales-Blake. 1999. Caracterización de una marea roja en la Bahía de Manzanillo, Colima, México, pp. 338-339. In A.E. Tresierra-Aguilar & Z.G. Culquichicón-Malpica (eds.). Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, 17-21 octubre, Trujillo, Perú.
- Cavazos-Guerra, C., S. Elias-Figueroa & A. Morales-Blake. 1999. Variabilidad oceanográfica interanual en la zona costera de Manzanillo, Colima, México, pp. 713-714. In A.E. Tresierra-Aguilar & Z.G. Culquichicón-Malpica (eds.). Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, 17-21 octubre, Trujillo, Perú.
- Colmenares, G.A. & H. Barradas-Sánchez. 1996. Reporte de trabajo del Programa Estatal de Control Sanitario de Moluscos Bivalvos. Gobierno del Estado de Guerrero. Ministerio de Salud. Chilpancingo, Guerrero, México, pp 1-31.
- Cortés-Altamirano, R., S. Licea Durán & S. Gómez Aguirre. 1999. Evidencias de aumento de microalgas nocivas en la Bahía de Mazatlán, Sin., México, pp. 343-345. In A.E. Tresierra-Aguilar & Z.G. Culquichicón-Malpica (eds.). Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar, 17-21 octubre, Trujillo, Perú.
- Cortés-Altamirano, R.A. & A. Núñez-Pasten. 1992. Doce años (1979-1990) de registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. UNAM. 19: 113-121.
- Cortés-Altamirano, R. 1998. Distribución y efectos de las mareas rojas en México, pp. 33-42. In R. Cortés-Altamirano (ed.). Las Mareas Rojas. ATG, México.
- Cortés-Altamirano, R., D.U. Hernández-Becerril & R. Luna-Soria. 1996. Red tides in México, pp. 101-104. In T. Yasumoto, Y. Oshima & Y. Fukuyo (eds.). Harmful and Toxic Algal Blooms. IOC/UNESCO, Paris.
- Cortés-Altamirano, R., F.A. Manrique & R. Luna Soria. 1997. Harmful phytoplankton blooms in shrimp farms from Sinaloa, México, pp. 56. In Abstracts from VIII International Conference on Harmful Algae. June 25th-29th, Vigo, Spain.
- Cortés Lara, M.C., R. Cortés-Altamirano & A.P. Sierra-Beltrán. 2003. Presencia de *Cochlodinium catenatum* (Gymnodiniales: Gymnodiniaceae) en mareas rojas

- de Bahía de Banderas en el Pacífico mexicano. *Rev. Biol. Trop.* 52: 35-49.
- Cullen, J. 1998. SCOR-IOC Joint Meeting. GEOHAB: Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms (1998). A plan for Coordinated Scientific Research and Cooperation to Develop International Capabilities for Assessment, Prediction and Mitigation. John Cullen (Chair and Editor). October 11th-19th. Havreholm Slot, Denmark.
- De la Garza-Aguilar, J. 1983. Intoxicación alimentaria por ingestión de mariscos contaminados. *Sal. Pub. Mex.* 23: 145-150.
- Glibert, P & G. Pitcher. 2001. GEOHAB. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. Science Plan. SCOR and IOC, Baltimore and Paris, pp. 86.
- Graham, H.W. 1943. *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 62: 259-261.
- Hallegraeff, G.M. 1995. Harmful Algal Blooms: A global overview, pp. 1-22. *In* G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson, A.D. Cembella & H.O. Enevoldsen (eds.). *Manual on Harmful Marine Microalgae*. IOC/UNESCO Manuals and Guides N° 33, Paris.
- Lechuga Devéze, C.H., M. Hageltorn, C. Band Schmidt, J.L. Ochoa, M.L. Morquecho Escamilla & I. Gárate Lizarraga. 1993. Marees rouges du Golfe de Californie, Mexique. Activite PSP. *In* Book of Abstracts VI International Conference on Toxic Marine phytoplankton, October 18th-22th, Nantes, Francia.
- Mee, L.D., M. Espinosa & G. Díaz. 1986. Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific coast of México. *Mar. Environ. Res.* 19: 77-92.
- Morales-Blake, A., I. Galindo-Estrada & R. Solano-Barajas. 1999. Identificación de una zona de surgencia en las costas del Estado de Jalisco, México, utilizando imágenes AVHRR, pp. 662-663. *In* A.E. Tresierra-Aguilar & Z.G. Culquichicón-Malpica (eds.). *Libro de Resúmenes Ampliados VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar*, 17-21 octubre, Trujillo, Perú.
- Núñez Cabeza de Vaca, A. (Siglo XVI). *Naufragios (Shipwrecks)*, España.
- Ochoa, J.L., A.P. Sierra-Beltrán, G.A. Colmenares, H. Barradas-Sánchez, A. Cruz-Villacorta, E. Núñez-Vázquez & A. Sanchez-Paz. 1998a. Biotoxins in the Pacific Coast of México, pp. 441-448. *In* M. Miraglia, H. van Egmond, C. Brera & J. Gilbert (eds.). *Mycotoxins and Phycotoxins Developments in Chemistry, Toxicology and Food Safety*. Alaken, Fort Collins.
- Ochoa, J.L., A.P. Sierra-Beltrán, G. Olaiz-Fernández & L.M. Del Villar-Ponce. 1998b. Should mollusk toxicity in México be considered a public health issue? *J. Shellfish Res.* 17: 1671-1673.
- Osorio-Tafall, B.F. 1942. Notas sobre algunos dinoflagelados planctónicos marinos de Mexico, con descripción de nuevas especies. *An. Esc. Nac. Cien. Biol.* 2: 435-450.
- Parrilla-Cerrillo, M.C., J.L. Vázquez-Castellanos, E.O. Saldade-Castañeda & L.M. Nava-Fernández. 1993. Foodborne toxic infection outbreaks of microbial and parasitic origin. *Sal. Pub. Mex.* 35: 456-463.
- Ramírez-Camarena, C., L. Muñoz-Cabrera, E. Cabrera-Mancilla, A.R. Castro-Ramos, P. López-Ramírez & E. Orellana-Cepeda. 1996. Identificación de la marea roja frente a la costa Suroeste de México en Oct-Dic de 1995. *In* Abstracts, Reunión Internacional de Planctología / VIII Reunión Nacional de la SOM-PAC, Pátzcuaro, Michoacán, México. 47 p.
- Rosales-Loessener, F., E. De Porras & M.W. Dix. 1989. Toxic shellfish poisoning in Guatemala, pp. 113-116. *In* T. Okaichi, D.M. Anderson & T. Nemoto (eds.). *Red tides: Biology, environmental science and toxicology*. Elsevier Science, Amsterdam.
- Saldade-Castañeda, O., J.L. Vázquez-Castellanos, J. Galván, A. Sánchez-Anguiano & A. Nazar. 1991. Poisoning from paralytic shellfish toxins in Oaxaca, México. *Sal. Pub. Mex.* 33: 240-247.
- Sierra-Beltrán, A.P., M.L. Morquecho-Escamilla, C. Lechuga-Deveze & J.L. Ochoa. 1996. PSP Monitoring program at Baja California Sur, México, pp. 105-108. *In* T. Yasumoto, Y. Oshima, & Y. Fukuyo (eds.). *Harmful and Toxic Algal Blooms*. IOC-UNESCO, Paris.
- Sierra-Beltrán, A., M. Palafox-Urbe, J. Grajales-Montiel, A. Cruz-Villacorta & J.L. Ochoa. 1997. Sea bird mortality at Cabo San Lucas: evidence that domoic acid is spreading. *Toxicon* 35: 447-454.
- Sierra-Beltrán, A.P., A. Cruz, E. Núñez, L.M. Del Villar, J. Cerecero & J.L. Ochoa. 1998. An overview of the marine food poisoning in México. *Toxicon* 36: 1493-1502.
- Sierra-Beltrán, A.P., M.L. Morquecho-Escamilla, C. Lechuga-Deveze & J.L. Ochoa. 1996. PSP Monitoring program at Baja California Sur, México, pp. 105-108. *In* T. Yasumoto, Y. Oshima & Y. Fukuyo (eds.). *Harmful and Toxic Algal Blooms*. IOC-UNESCO, Paris.
- Sotomayor-Navarro, O. & E. Dominguez-Cuellar. 1993. Toxic red tide of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, in the Tehuantepec Gulf, México, and the

- Central American Pacific system, pp. 185. *In* Abstracts VI International Conference on Toxic Marine Phytoplankton. October 18th-22th. Nantes.
- Taylor, F.J.R. & Y. Fukuyo. 1989. Morphological features of the motile cell of *Pyrodinium bahamense*, pp. 207-218. *In* G.M. Hallegraeff & J.L. Maclean (eds.). Biology, epidemiology and management of *Pyrodinium* red tides. ICLARM Conference Proceedings 21. Fisheries Department, Ministry of Development, Brunei Darussalam, and International Center for Living Aquatic Resources Management. Manila, Phillipines.
- Usup, G. & R.V. Azanza. 1996. Physiology and bloom dynamics of the tropical dinoflagellate *Pyrodinium bahamense*, pp. 81-94. *In* D.M. Anderson, A.D. Cembella & G.M. Hallegraeff (eds.). NATO-SCOR-IOC, Advanced Study Institute on the Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms, Bermuda Biological Station, May 27th-June 6th. Springer Verlag.
- Vargas-Montero, M. & E. Freer. 2003. Co-occurrence of different morphotypes of *Pyrodinium bahamense* during an extensive bloom in the Gulf of Nicoya, Costa Rica, pp. 211-217. *In* A. Villalba, B. Reguera, J.L. Romalde & R. Beiras (eds.). Molluscan Shellfish Safety. Xunta de Galicia & IOC-UNESCO, España.
- Velázquez-Recino, O.H. 1993. Marea roja en Guatemala, nov-dic 1992, Dinoflagelado: *Pyrodinium bahamense*. Boletín. Epidemiol. Nal. 8(8): 40-42.

REFERENCIAS DE INTERNET

- Anónimo. 1998. Integrated Global Ocean Services System Product Bulletin. IRI-IGOOS. (Consultado: 9 de septiembre, 2003, <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/IGOOS/nmc.monthly/sst/>).

