

Decoloración en proliferaciones de microalgas como parámetro bioindicador en la Bahía de Mazatlán, México

Roberto Cortés-Altamirano¹ & Sergio Licea-Durán²

- 1 Laboratorio de Plancton. Unidad Académica Mazatlán (ICMyL-UNAM). Apdo. Postal 811, C.P., 82040 Mazatlán, Sinaloa, México; robtko@ola.icmyl.unam.mx
- 2 Laboratorio de Fitoplancton y Productividad Primaria (ICMyL-UNAM). Apdo. Postal 70-305, C.P., 04510 México D.F., México; licea@mar.icmyl.unam.mx

Recibido 31-X-2002. Corregido 24-VI-2003. Aceptado 11-XII-2003.

Abstract: In order to verify whether harmful algal blooms increased since 1979, a long-term project for the study of harmful algal blooms in Mazatlán Bay began 25 years ago (1979-2003). Observations were done daily and results indicate five trend types: I) years without discoloration related to El Niño events; II) years with days of sudden occurrence of discoloration, related to the release of accumulated energy after El Niño events; III) years with similar number of discoloration events (days); IV) years with a progressive decrease of the occurrence (days) of discoloration events; V) years with gradual increase of discoloration events. The annual mean average of discoloration is of 25.3 days. Ninety-six discoloration events were recorded during year 2000, and represent the highest number of events in the last 25 years. Discoloration events are more common in March (174 days), harmful and toxic blooms included. This indicates continuity in the occurrence of the highest content of microalgae, and therefore, it is concluded that they play an important role for a better understanding of the environmental deterioration undergone by the coastal zone due to an increase of harmful and toxic microalgae blooms.

Key words: Discoloration, bioindicador, harmful algal bloom (HAB's), red tide, México.

Palabras clave: Decoloraciones, bioindicador de tendencia, proliferaciones algales nocivas (PAN's), mareas rojas, México.

Las manchas rojizas o de color diferente al del mar circundante (decoloraciones), son concentraciones temporales de microalgas, ocasionadas por diferentes factores ambientales (Steidinger 1975), y a veces, son dominadas por especies nocivas o tóxicas que pueden causar envenenamientos masivos (Lüthy 1979) y México no ha sido la excepción (Cortés *et al.* 1995).

El estudio de las microalgas tóxicas requiere de fuertes inversiones para realizar los muestreos de campo y para equipar al laboratorio en toxicología y microscopía, lo cual ge-

neralmente no está al alcance de la mayoría de los países en desarrollo. Por ello este tipo de estudios, permite obtener de manera económica, observaciones diarias de las decoloraciones, y así determinar su tendencia a aumentar o disminuir.

Este estudio aporta los registros de más de dos décadas, de los días en los cuales se presentaron manchas rojas, y esto representa el comportamiento de la máxima abundancia de las microalgas, de acuerdo a la dinámica de las mareas rojas (Steidinger 1983).

MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en un programa a largo plazo de la UNAM, desde 1979 y hasta el año 2003, se realizaron observaciones diarias de las decoloraciones del mar, desde elevaciones costeras hacia el mar, llevando el registro de acuerdo a Cortés *et al.* (1998). Además, se llevaron a cabo muestreos esporádicos en un área cercana a un emisor submarino de aguas negras (Fig. 1); el lugar fue seleccionado porque ahí principalmente, se manifiestan las decoloraciones.

Las especies que han formado estas decoloraciones ya han sido publicadas parcialmente (Cortés *et al.* 1999, Cortés 2002a, 2002b, Cortés *et al.* 2004). Se utilizaron datos estadísticos climatológicos del observatorio meteorológico de Mazatlán (1980-1999), Sinaloa, México: temperatura ambiental (en °C) y del agua con el fin de observar posibles relaciones con las mareas rojas (Steidinger 1975).

RESULTADOS

La distribución anual del número de días de decoloraciones (Fig. 2) presenta bastante heterogeneidad año con año, sin embargo, resalta que en los años 1983 y 1992-1993, hay una total ausencia de mareas rojas, lo cual coincide con fuertes eventos de El Niño (Cortés *et al.* 1995), donde hay un calentamiento o tropicalización de la región, que inhibe el afloramiento de las surgencias, y por lo mismo impide el desmenuamiento o la proliferación de las microalgas en superficie, a este tipo de tendencia le llamamos tipo I o años sin decoloraciones.

También encontramos máximos súbitos de decoloraciones, con una duración superior a 30 días, en cuyo caso, la explicación más obvia es que hay nutrientes acumulados y/o "atrapados" en el fondo, durante los años que permanece el efecto de "El Niño", para posteriormente "liberarse" y fomentar las proliferaciones microalgales como aparece en los años 1985, 1994, 1997 y 2000; a esta tendencia le llamamos tipo II ó años de decoloraciones súbitas.

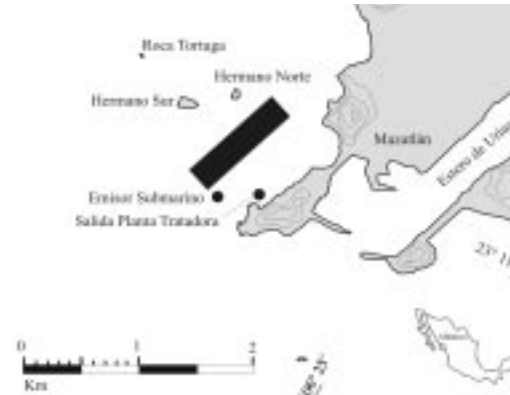


Fig.1. Área principal de observaciones de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México.

Fig. 1. Main area to observe red tides in Mazatlán Bay, México.

Por otro lado, encontramos valores menores a 30 días que pueden presentar varias tendencias; permanecer bastante regulares como se observa en los años de 1988 a 1991, consideradas tipo III o años de decoloraciones similares. Su explicación puede sustentarse en una casi igualdad de factores climáticos y físico-oceanográficos. El tipo IV es señalado cuando los años presentan una disminución continua como sucedió de 1980 a 1983. El tipo V es el más reciente y ocurre donde se presenta un aumento paulatino cada tres años como de 1995 a 1997 y de 1998 al 2000.

El año 2000 es el que presenta mayor número de días de decoloraciones del total de 25 años. Todos los años registrados suman 628 días de decoloraciones cuyo promedio es 25.1 días de decoloraciones por año, tomado como valor de referencia, para observar y comparar el incremento de decoloraciones, se presentan integrados cada tres, cinco y diez años (Cuadro 1). En los trienios los tres últimos tienen 82, 130 y 629 días de decoloraciones que representan un aumento de 1.05, 1.71 a 2.13 veces al promedio anual, o sea un aumento gradual, los demás trienios de 1979 a 1993 están por abajo del promedio. Por quinquenios el resultado es semejante, donde el último quinquenio es casi el doble

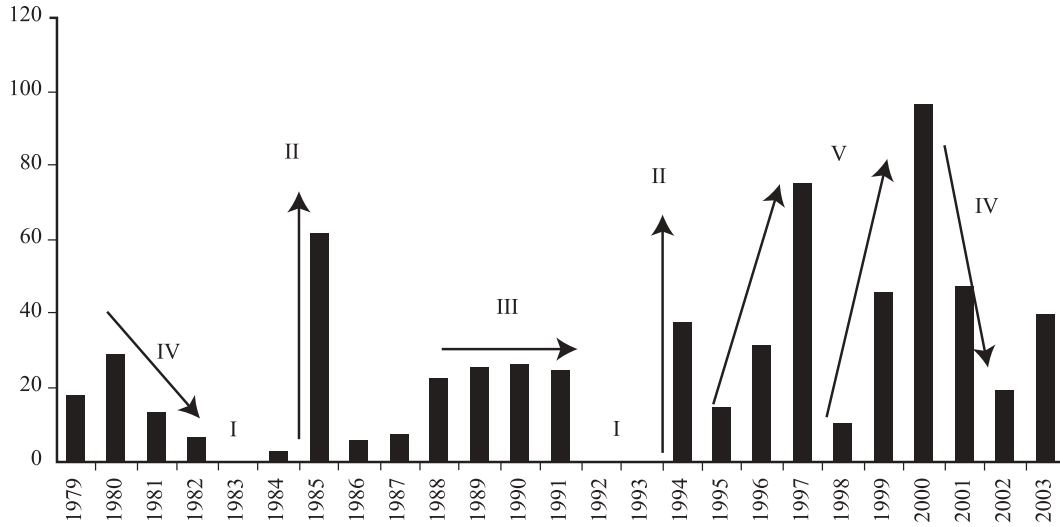


Fig. 2. Distribución anual de tendencias (flechas) de los días de decoloraciones en la Bahía de Mazatlán. (I) Sin decoloraciones; (II) Decoloraciones súbitas; (III) Decoloraciones similares; (IV) Decoloraciones en disminución; (V) Decoloraciones en aumento.

Fig. 2. Annual distribution of tendencies of red tide days (arrows) in the Mazatlán Bay. (I) Years without discoloration; (II) Years of sudden discolorations; (III) Years with similar days of discoloration; (IV) Years with a progressive decrease of discolorations; (V) Years with a gradual increase of discolorations.

(1.80) del promedio, el subsecuente con 1.33 veces al promedio y los tres restantes son inferiores al promedio. En cambio por décadas, la última representa el 60.7% de los días de decoloraciones de un total de 430 en los veinte años analizados. Por estas evidencias se comprueba un aumento continuo y determinante de días de decoloraciones en los últimos diez años.

La distribución mensual (Cuadro 2) indica que el mes de mayor frecuencia es marzo con 174 días, seguido por abril con 132 días de manchas, otro máximo lo encontramos entre septiembre y octubre con 29 y 26 días respectivamente, de valores mucho más bajos que los anteriores. Cuando se delimitan por décadas se observa casi una total ausencia de

CUADRO 1

Días de decoloraciones y porcentaje en décadas, quinquenios y trienios en la Bahía de Mazatlán, México

TABLE 1

Daily discolorations and percentage in decades, quinquennias and triennials in Mazatlán Bay, México

DECADAS	1980-89	1990-99	total	24.6 días prom.					
días	169	261	430						
%	39.3	60.7	100.0						
QUINQUENIOS	1979-83	1983-85	1986-88	1994-98	1999-2003	total	25.1 días prom.		
días	64	97	74	167	226	628			
%	10.2	15.4	11.8	26.6	36.0	100.0			
TRIENIOS	1979-81	1982-84	1985-87	1988-90	1991-93	1994-96	1997-99	2000-02	total
días	47	8	73	73	23	82	130	162	609
%	7.7	1.3	12.0	12.0	3.8	13.5	21.3	26.6	100.0
									25.3 días prom.

CUADRO 2

Distribución mensual de días de decoloraciones (1979-2003) en la Bahía de Mazatlán, México.
Los números dobles pertenecen a dos meses. (*) Corresponde a una sola marea roja

TABLE 2

Monthly distribution of discolorations days from 1979 to 2003 in Mazatlán Bay, México. In sites with more than one number, the right one indicates the number of days of the next month. (*) Means only one red tide

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	2	1	17	1	8+1	3	5	3	1	1	4
1	1	1	1+10	1		1	4	2	1	11	1
3	1	1	1	8		1	6	1		6	1
13	4	1	3	2		1		1		19	2
2	7	31+6	5	6				2			1
4	17	1	2	2				7+6			5
1	7	1	1	1				7			3
4	2	1	12	2				6+18			4+7
3	4	17+4	3	1							
6*	1	1	8	7+5							
	4	4	1	4							
	5	8	1	3							
	3	5	8	3							
	1	1	1								
	2	6+8	1								
	*1	1	6+1								
		9+8	7+23								
		6	4								
		14									
		17+14									
		25+8*									
		19									

sombreado los 90
shadow 90's

Los números dobles pertenecen a dos meses. (*) Es una sola marea roja.

In sites with more than one number, the right one indicates the number of the days of the next month. (*) Means only red tide.

decoloraciones durante la época de verano y otoño en los años 80's por lo que podemos asumir que las condiciones ambientales de esta última década han favorecido sustancialmente la proliferación de estos fenómenos. También se delimita a marzo y abril como periodo donde se presenta *Gymnodinium catenatum* Graham, especie tóxica por PSP y *Chloccodinium catenatum* Ikamura, ictiotóxica de esta área en septiembre y octubre; los anteriores constituyen datos valiosos para la prevención de sus efectos.

DISCUSIÓN

Las manchas o decoloraciones son la tercera etapa de la dinámica de las mareas rojas

(Steidinger y Vargo 1988), esta es la única etapa visible del fenómeno, y representa la máxima concentración de las microalgas, por lo tanto, tiene un valor del conocimiento de su comportamiento, cuando se registran diariamente. Sin embargo, en ocasiones las manchas no son fácilmente distinguibles y pueden pasar desapercibidas sobre todo aquellas cuyo color es muy semejante al del mar circundante, por ello, es conveniente aclarar que estos registros son válidos únicamente para las manchas que producen las microalgas, de un color muy diferente al entorno marino. En otras ocasiones, posiblemente las microalgas no proliferen y se manifiesten a media columna de agua o en el fondo, como posiblemente suceda durante épocas del fenómeno de "El Niño".

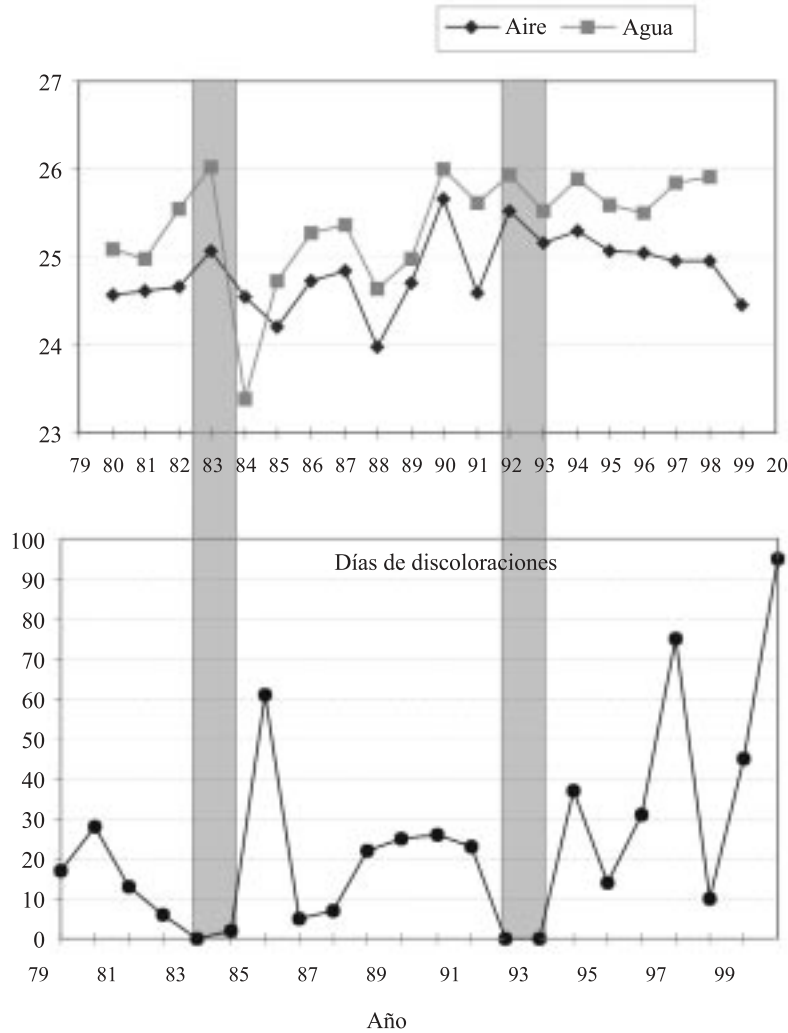


Fig. 3. Relación temperatura ambiental (°C) y del agua superficial en promedio anual con los días de decoloraciones en la Bahía de Mazatlán.

Fig. 3. Relationship between temperature (top) and annual discoloration days in the Mazatlán Bay (bottom).

Los resultados del registro diario de estas decoloraciones muestran en general una gran variación y no un aumento gradual como se piensa actualmente (Okaichi 1989, Zhu *et al.* 1997). Normalmente los resultados de las mareas rojas se dan por el número de eventos registrados por año, debido a que es difícil conocer y llevar un registro diario, esto trae como consecuencia negativa que se consideren

como iguales a una marea roja cuya permanencia fue de un día y a la de un mes de duración, provocando que se sub o sobre estime el posible efecto del evento. Las tendencias observadas de las decoloraciones van a depender de la especie de microalga que las produce y los óptimos ambientales que la favorecen, que pueden ser ayudadas y sustentadas por la contaminación antropogénica que se genere en el lugar.

Es llamativo que en algunos años la ausencia de estas decoloraciones, ha coincidido con el calentamiento de la región debido al fenómeno de "El Niño", con una duración de casi dos años; esto se puede corroborar cuando se comparan las temperaturas ambientales y de superficie del agua (Fig. 3). En 1983 no hubo decoloraciones y la máxima temperatura ambiental de los 80s fue de 25.07°C (26.02°C superficie del agua).

Durante los 90s también se comprueba esto, en 1992, se midieron 25.53°C de temperatura ambiente (25.93°C agua), pero, hay otra más caliente en 1990 con 25.65°C (26°C agua), que aparentemente rompe la regla, ya que durante este año hubo moderadamente 26 días de decoloraciones (en 6 mareas rojas), que correspondieron a *Mesodinium rubrum*, *Scripsiella trocoidea* y *Peridinium quinquecorne* (Cortés *et al.* 1999). Esto puede deberse a dos cosas: una a que son especies cosmopolitas y que pueden presentarse en casi cualquier ambiente y época del año, como sucedió en las especies antes mencionadas, o bien, pueden ser los cambios meteorológicos imprevistos, como los vientos generados por ciclones, que temporalmente pueden ocasionar surgencias y dar lugar a la formación de mareas rojas; esto se comprobó en noviembre del 2002, con 19 días de decoloraciones anómalas, por la influencia de vientos provenientes del ciclón Kena.

Posteriormente a los años de cero decoloraciones, hay un incremento súbito de éstas que sugiere la siguiente hipótesis; al presentarse una ausencia de mareas rojas durante dos años aproximadamente, quedan atrapados en el fondo, nutrientes que representan una reserva para los siguientes años, en los cuales el aporte nutritivo será mayor que en años "normales" y por lo tanto susceptibles a que en ellos aparezcan mareas rojas de mayor duración en tiempo y espacio.

La tercera tendencia indica una cierta regularidad de las mareas rojas, durante cada año, muy cercano al promedio global de 25 días por año. Esto quizá refleje cierta homogeneidad, donde hipotéticamente también son

equivalentes las corrientes que los concentran y las sales nutritivas que los mantienen.

La cuarta tendencia se refiere a la disminución de las mareas rojas, esto puede deberse a la entrada paulatina del fenómeno de El Niño donde los años del 80 al 82 van siendo cada vez más cálidos (24.57, 24.62 y 24.65°C, respectivamente) hasta que inhiben las decoloraciones superficiales; o también puede deberse al control que pueda ejercerse a la contaminación antropogénica, por ejemplo al exceso de fosfato, como sucedió en Japón (Okaichi 1989), donde después de cuatro años se logro disminuir las mareas rojas a la mitad.

Finalmente la tendencia al aumento puede ser moderada cuando no sobrepasa los 30 días de manchas, o de incremento paulatino y excesivo al finalizar los tres años, como ha sucedido recientemente. Este aumento de mareas rojas o más propiamente de días de decoloraciones, se ha duplicado en los últimos cinco años (Cuadro 1) y su explicación más contundente es que es debido a la eutroficación de la zona costera y estuarina (Mee *et al.* 1984, Alonso *et al.* 2000). Sin embargo, hay que considerar que este aumento es paulatino, y únicamente es observable por los registros de largo plazo. Estos tipos de desarrollo posiblemente tengan su explicación también en las complejas interrelaciones entre Si:P y N:P (Smayda 1990), así como los efectos antagonicos entre las mismas microalgas (Lefèvre 1952).

En la distribución mensual de las decoloraciones se aprecian dos máximos que recuerdan la variación encontrada en los mares templados del norte. El máximo primaveral corresponde al incremento diatomeico y otro otoñal ocasionado por la recirculación de nutrientes. Por ello, se asume que la Bahía de Mazatlán presenta normalmente este patrón anual y en la última década esto está cambiando, ya que en el verano de los 80's normalmente no había decoloraciones, dando lugar a estos dos máximos anuales, actualmente este espacio (verano) esta siendo sustituido por decoloraciones cada día mas frecuentes. Esto parece haber sucedido ya en la Bahía de Acapulco,

por ser lugares de mayor flujo de población y por lo tanto más expuestos a la contaminación antropogénica, sin embargo, por la carencia de datos a largo plazo esto no puede ser comprobado, pero el hecho, es que actualmente las decoloraciones pueden presentarse en cualquier día del año y presentar toxinas continuamente (Alonso y Barradas 1996). Por estas evidencias concluimos que las condiciones actuales están favoreciendo el desarrollo o proliferación de las microalgas nocivas. Por lo tanto, los registros de las decoloraciones y el tiempo de duración puede ser una herramienta útil y barata para conocer la tendencia de estos eventos, de esta forma podemos prevenir y quizá hasta eliminar, estos eventos nocivos.

AGRADECIMIENTOS

A Adolfo Gracia-Gasca, Director del ICMYL, por su continuo apoyo a la investigación de mareas rojas. A Arturo Nuñez-Pasten por su labor de muestreo en campo.

RESUMEN

Hace 25 años la UNAM desarrolló un programa de observación y muestreo de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán (1979-2003), con el propósito de conocer su evolución a través del tiempo. Se apoyó en observaciones diarias de las decoloraciones (manchas) y los resultados indican cinco tendencias: I) Años sin días de manchas, los cuales están asociados al fenómeno de El Niño; II) Años de días con manchas súbitas; III) Años con un número similar de días de manchas; IV) Años con una disminución progresiva de los días de manchas; V) Años con un aumento gradual de manchas. El promedio anual es de 25.3 días de decoloraciones y representa el más alto en los 25 años de registros. En marzo es donde existen más frecuentemente las manchas de mareas rojas (174 días) incluyendo las tóxicas. Estas tendencias nos indican un comportamiento continuo de la máxima concentración de las microalgas y por lo tanto desempeñan un papel muy importante para conocer el deterioro ambiental que sufren las zonas costeras por aumento de microalgas nocivas y tóxicas.

REFERENCIAS

- Alonso Colmenares, G. & H. Barradas Sánchez. 1996. Informe de trabajo 1995. Programa 1996. Programa estatal de control sanitario de moluscos bivalvos. Servicios Estatales De Salud. Gobierno del Estado de Guerrero. pp. 1-28.
- Alonso Rodríguez, R., F. Paéz Osuna & R. Cortés Altamirano. 2000. Trophic conditions and stoichiometric nutrient balance in subtropical waters influenced by municipal sewage effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Mar. Poll. Bull.* 40: 331-339.
- Cortés, A.R., F.A. Manrique & R. Luna-Soria. 1995. Presencia de mareas rojas en la costa Este del Golfo de California. *Rev. Latinoamer. Microbiol.* 37: 337-342.
- Cortés, A.R., R. Luna Soria, J.L. Pech Pacheco & J. Alvarez Borrego. 1998. Evaluación de las mareas rojas, pp. 13-32. *In* R. Cortés-Altamirano (ed.). Las mareas rojas. AGT. México, D.F.
- Cortés, A.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.A.E. Tre Sierra & M.Z.G. Culquichicón. (eds.). Memorias VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. Universidad de Trujillo. COLACMAR. Perú.
- Cortés, A.R. 2002a. Contaminación de recursos pesqueros por microalgas nocivas, pp. 113-125. *In* P. Guzmán Amaya *et al.* (eds.). La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo. SAGARPA, Instituto Nacional de Pesca y Universidad Veracruzana. México.
- Cortés, A.R. 2002b. Mareas rojas: biodiversidad de microbios que pintan el mar, pp. 29-41. *In* J.L. Cifuentes L. & J. Gaxiola López (eds.). Atlas de Biodiversidad de Sinaloa. Colegio de Sinaloa, México.
- Cortés, A.R., A. Sierra-Beltrán & M.C. Cortés-Lara. 2004. Dominance and permanence of species of harmful algae forming blooms in Mazatlán Bay (1979-2002). *In* Proceedings of the Xth International Conference on Harmful Algae, October 21-25, 2002, St. Pete Beach, Florida; USA. (In press).
- Lefèvre, M., H. Jakob & M. Nisbet. 1952. Auto et hetero-antagonisme chez les algues d'eau douce *in vitro* et dans les collections d'eaux naturelles. *Ann. Stn. Cent. Hydrobiol. Appl.* 4: 5-198.
- Lüthy, J. 1979. Epidemia paralytic shellfish poisoning in Western Europe, 1976, pp. 15-22. *In* D.L. Taylor & H.H. Sliger (eds.). Toxic Dinoflagellated Blooms. Elsevier. Nueva York.

- Mee, L.D., R. Cortés Altamirano & L. García P. 1984. Dinitrogen Fixation in a Eutrophic Tropical Bay. *Est. Coast. Shelf Sci.* 19: 477-483.
- Okaichi, T. 1989. Red tide problems in the Seto Inland Sea, Japan, pp. 137-142. *In* T. Okaichi, D.M. Anderson & T. Nemoto (eds.). *Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology*. Elsevier. New York.
- Smayda, T.H. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: Evidence for a global epidemic, pp. 29-40. *In* E. Graneli, B. Sundström, L. Edler & D.M. Anderson (eds.). *Toxic marine phytoplankton*. Elsevier. Nueva York.
- Steidinger, K.A. 1975. Basic factors influencing red tides, pp. 153-162. *In* V.R. LoCicero (ed.). *Proceedings of the First International Conference on Toxic Dinoflagellate Blooms*. Mass. Sci. Technol. Found. Wakefield, Massachuset.
- Steidinger, K.A. 1983. A re-evaluation of toxic dinoflagellate biology and ecology, pp. 147-188. *In* Round & Chapman (eds.). *Progress in Phycological Research* 2. Elsevier. Nueva York.
- Steidinger, K.A. & G.A. Vargo. 1988. Marine dinoflagellate blooms: dynamics and impacts, pp. 373-401. *In* C.A. Lembi & J.R. Waaland (eds.) *Algae and Human Affairs*. University of Cambridge. USA.
- Zhu, M., R. Li, X. Mu, R. Ji. 1997. Harmful algal blooms in China Seas. *Ocean Res.* 19: 173-184.