

OBSERVACIONES DE MAREAS ROJAS EN LA BAHIA DE MAZATLAN, SINALOA, MEXICO

OBSERVATIONS OF RED TIDES IN THE MAZATLAN BAY, SINALOA, MEXICO

Roberto Cortés Altamirano
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
Universidad Nacional Autónoma de México
Estación Mazatlán
Apdo. Postal 811, Mazatlán, Sinaloa

Cortés Altamirano Roberto. Observaciones de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Observations of Red Tides in the Mazatlán Bay, Sinaloa, Mexico*. *Ciencias Marinas* 13(4): 1-19, 1987.

RESUMEN

Desde 1979 a 1985 se hicieron observaciones en la Bahía de Mazatlán sobre la presencia de mareas rojas. Estas fueron asociadas a surgencias cuya ocurrencia fue a finales de invierno y principios de primavera. A su vez, éstas últimas parecen estar influenciadas con una menor intensidad hasta su desaparición con el fenómeno climático-oceánico mundial llamado Oscilación del Sur. En 1979 la especie tóxica dominante fue *Gymnodinium catenatum*; de 1980 a 1982 se debió a *Mesodinium rubrum*, protozooario no tóxico; en 1983 no se presentó marea roja y finalmente en 1985 fue debido a *Ceratium tripos* var. *ponticum* no tóxica, junto con *Skeletonema costatum* que fue realmente la dominante. Las altas densidades del fitoplancton producido y la mortalidad de crustáceos, peces y anélidos sugieren que se hayan presentado condiciones anóxicas en el bentos durante las mareas rojas de 1979 y 1985. En este estudio se dan datos de la distribución y abundancia del fitoplancton de la Bahía.

ABSTRACT

From 1979 to 1985, observations on the occurrence of red tides in the Mazatlán Bay have been carried out. Their presence was found to be associated with the upwelling processes occurring at the end of winter and beginning of spring. The latter seems to be affected by the El Niño Southern Oscillation (ENSO) event which attenuates the intensity of upwelling and may even cause its disappearance. In 1979, the dominant toxic species was *Gymnodinium catenatum*, while from 1980 to 1982 the red tide was composed of *Mesodinium rubrum*, a non-toxic species. In 1983 no red tide could be detected. The species causing the red tide in 1985 were *Ceratium tripos* var. *ponticum*, a non-toxic species, and *Skeletonema costatum* which was the dominant one. The high phytoplankton densities that were observed and the simultaneous death of crustaceans, fishes and annelids, suggest that anoxic conditions could have occurred at the level of the benthic community during the 1979 and 1985 red tides. Information related to the distribution and abundance of phytoplankton in the Mazatlán Bay is also provided.

INTRODUCCION

La marea roja es frecuente en el litoral de Mazatlán. Sin embargo, poco se conoce de los procesos que lo causan y microorganismos

INTRODUCTION

The red tide is common in the Mazatlán littoral. However, little is known about the originating processes and its constituent mi-

que lo forman. Esto es debido quizá a que estos fenómenos suelen ser esporádicos, impredecibles y de duración variable. Este estudio tiene por objetivo dilucidar las poblaciones dominantes y codominantes causantes de marea roja, en base a observaciones en el transcurso de siete años (1979-1985), conocer el período de mayor frecuencia y procurar establecer los fenómenos que contribuyen a su formación en esta área.

Son escasos los antecedentes bibliográficos sobre marea roja en esta área. El primer trabajo referido al tema describe una marea roja tóxica producida por *Gymnodinium catenatum* (Mee *et al.*, 1984). Con muestras de esta misma marea roja, Morey-Gaines (1982) hizo una descripción detallada, con microscopía electrónica de barrido, de *Gymnodinium catenatum* y concluyó que esta especie está emparentada con los dinoflagelados tecados del género *Protogonyaulax*, por una serie de características morfológicas. Finalmente, Cortés (1984) describió las mareas rojas de 1980-1982 no tóxicas debidas a *Mesodinium rubrum* y aportó datos ecológicos.

La descripción del área de estudio ha sido ampliamente tratada por varios autores (Secretaría de Marina, 1974; Rojas, 1981; Sánchez, 1984)

MATERIAL Y METODOS

Desde 1979 hasta 1985 se efectuaron observaciones diarias sobre la presencia de marea roja en la Bahía de Mazatlán (Tabla I). Esto fue posible porque la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología se encuentra a orillas del mar, precisamente donde se manifiestan inicialmente las mareas rojas. No fue posible tomar muestras de todas ellas; aquellas donde sí hubo colecta están localizadas en la Fig. 1. La diferente simbología utilizada en el señalamiento de las estaciones de colecta indica la fecha de ocurrencia representada en la Fig. 3, donde además se indica su abundancia en cada estación o profundidad.

Todas las muestras de las mareas rojas para análisis del fitoplancton fueron tomadas con una botella Van Dorn, en superficie, con

croorganisms. This might be because these phenomena are sporadic, unpredictable and of variable length. The aim of this study is to elucidate the dominant and codominant populations which cause the red tide, based on observations during a seven year period (1979-1985), and to know its most frequent period, trying to establish the phenomena which contribute to its formation in this area.

Previous bibliography about the red tide in this area is scarce. The first study referring to this topic describes a toxic red tide produced by *Gymnodinium catenatum* (Mee *et al.*, 1984). Morey-Gaines (1982) carried out a detailed description of *Gymnodinium catenatum* with samples of this red tide, using electronic scanner microscopy, concluding that this species is related with the thecatated dinoflagellates from the *Protogonyaulax* genus, by a series of morphologic characteristics. Finally, Cortés (1984) described the 1980-1982 red tide as non toxic caused by *Mesodinium rubrum*, providing ecologic data.

The description of the study area has been widely studied by several authors (Secretaría de Marina, 1974; Rojas, 1981; Sánchez, 1984).

MATERIAL AND METHODS

From 1979 to 1985 daily observations were carried out of the presence of red tides in the Mazatlán Bay (Table I). This was made possible because the Mazatlán Station from the Instituto de Ciencias del Mar y Limnología is located on the shore, precisely where the red tides initially occur. It was not possible to sample all of them; the sampled ones are shown in Fig. 1. The different symbology used to indicate the collection stations show the occurrence date illustrated in Fig. 3; its abundance is also shown at each station or depth.

For the phytoplankton analysis, all the samples from the red tides were obtained with a Van Dorn sampler on surface, except those taken in 1980, which were taken at three different depths: surface, 3m and 5m, fixed and preserved in an alkaline lugol's solution with acetate, 1:100ml in relation to the

Tabla I. Ocurrencia de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán.
Table I. Occurrence of red tides in the Mazatlán Bay.

	Días de Presencia	Permanencia en días
<u>1979</u>		
abril*	9-25	17
<u>1980</u>		
marzo	(31)	
abril	1,2,?,4,5,?,7,8,9,10)	11
mayo	(2)	1
noviembre	(3) (17,18...22...27)	(1) (11)
diciembre	(27,28,29,30)	4
<u>1981</u>		
enero	(8)	1
febrero	(23,24)	2
marzo	(29)	1
mayo	(4)	1
<u>1982</u>		
enero	(28)	1
marzo	(30)	1
abril	(5)	1
mayo	(23,24)	2
octubre	(5)	1
<u>1983</u>	no aparecieron	0
<u>1984*</u>		
marzo	(10) (23)	(1) (1)
<u>1985*</u>		
enero	(22,23,24)	3
marzo	(1,2,3,4,5,?,7,8,9... ...13,14,?,16,17,18,19,20... ...25,26,?,?,29,30,?...)	44
abril	...1,2,?,4,5,6... ...12,13,14) (21,?,?,?,25)	5
mayo	(19,20,21,22,?,24)	6
noviembre	(15)	1

? No se observó en el área
 Not observed in the area

* No se efectuaron observaciones diarias (sólo de enero a abril)
 No daily observations (only from January to April)

... Significa posible continuidad en lapsos menores de una semana, mayores ya se considera convencionalmente otra marea roja, números dobles de la tercera columna.

... Means possible continuity in less than a week, if longer, it is conventionally considered as another red tide, double numbers in the third column.

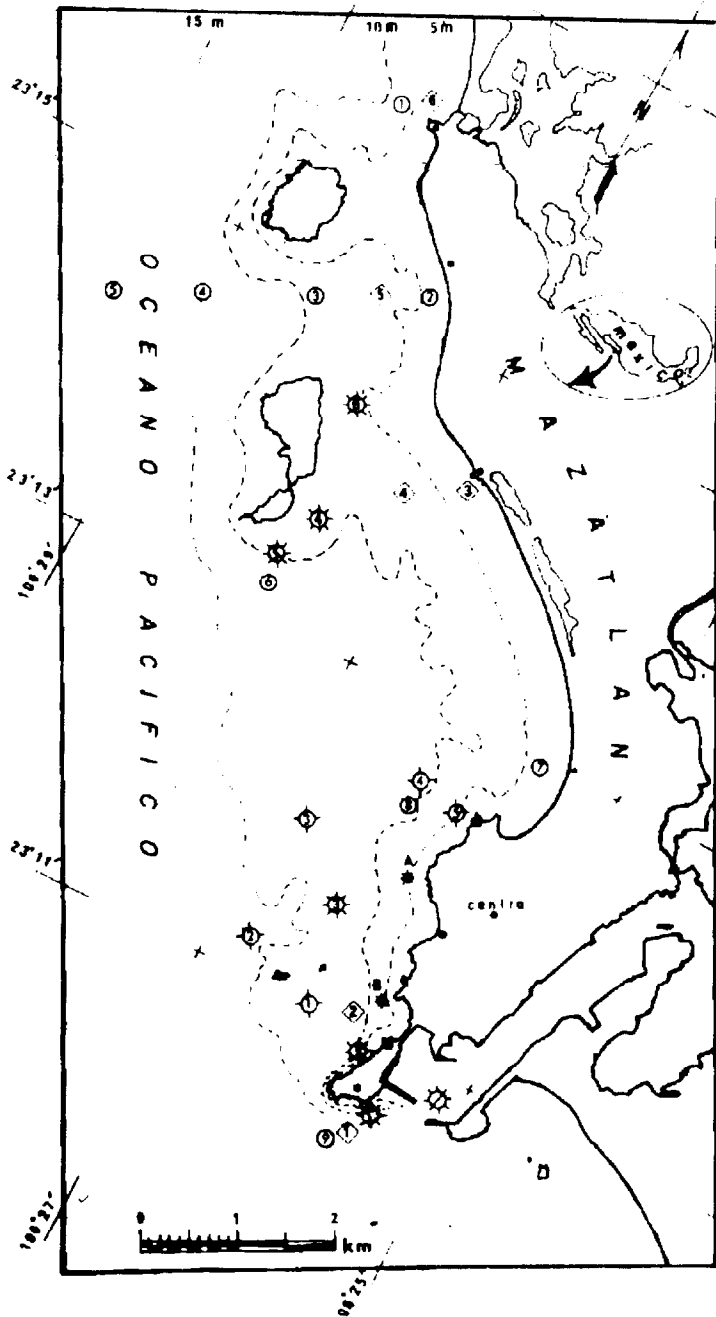


Figura 1. Localización del área de estudio. Las diferentes simbologías en las estaciones de colecta se refieren a diferentes fechas de estudio y densidades mostradas en la Fig. 3.
Figure 1. Localization of the study area. The different symbologies in the collect stations refer to different dates of study and densities shown in Fig. 3.

excepción de las tomadas en 1980 a tres profundidades: superficie, 3m y 5m, fijadas y conservadas en una solución de acetato lugol en relación a la muestra 1:100ml. La técnica para su conteo fue basada según recomendaciones de Hasle (1978) mediante un microscopio de objetivos invertidos en contraste de fase y con la utilización de cámaras compuestas de 1cc, 10cc y 50cc según su concentración. Se contabilizó toda el área del fondo de la cámara compuesta y se realizaron semanalmente determinaciones de temperaturas a superficie y 5m de profundidad mediante un termómetro de inversión de 0.1°C de precisión (Fig. 5: b y c).

Las microfotografías (Fig. 2) fueron realizadas con un foto-microscopio ICM 405, y con microscopio electrónico de barrido JEOL-mod. JSM-35 con voltaje de aceleración de 15Kv e inclinación de 30°.

RESULTADOS

Características

En general las mareas rojas se presentan en forma de manchas dispersas e irregulares y de contornos más o menos definidos. Las ocasionadas por el protozoario *Mesodinium rubrum* adquieren la forma de franjas paralelas a la costa, en virtud de su concentración en la frontera de la surgencia y aguas más cálidas (Ryther, 1967), son de pequeñas dimensiones, de 5-10m de ancho por 10 a 100m de largo. La coloración de la marea roja es variable, va desde el rojizo óxido hasta el vermellón y depende de la concentración del microorganismo dominante y de los codominantes (McAlice, 1968). En general estas mareas rojas son de muy corta duración, de unas cuantas horas hasta un par de días, raramente pasan de la semana (Cortés, 1984). Otras mareas rojas dominadas por dinoflagelados, *Gymnodinium catenatum*, *Ceratium tripos var. ponticum* y *Prorocentrum dentatum*, se presentan en forma de manchas dispersas e irregulares de contornos no bien definidos, cuyas dimensiones son difíciles de apreciar pero su área más intensa abarca aproximadamente los 20m² o más, su coloración es también variable, de café ladrillo hasta la tonalidad morada dependiendo de la concentración del dinoflagelado y su flora acompañante.

sample. The counting technic was based on Hasle's (1978) recommendations, using an inverted microscope in contrast phase, and with chambers composed of 1cc, 10cc and 50cc according to its concentration, counting all the bottom area of the composed chamber. Determinations of temperature were carried out weekly on surface and at 5m deep using a reversing thermometer of $\pm 0.1^{\circ}$ (Fig. 5: b and c).

The microphotographies (Fig. 2) were taken with an ICM 405 photo-microscope, and with a JEOL-mod. JSM-35 electronic scanner microscope with an acceleration voltage of 15Kv and a 30° slope.

RESULTS

Characteristics

In general, red tides are presented as spots, disperse and irregular and with nearly well defined outlines. Those caused by the protozoon *Mesodinium rubrum* get the shape of strips, parallel to the coast, due to their concentration in the border of the upwelling and warmer water (Ryther, 1967). They are of small dimensions, 5m to 10m wide by 10m to 100m long. The coloring of the red tide varies from oxide red to vermilion, and it depends on the concentration of the dominant and codominant microorganism (McAlice, 1968). In general, they are of short length, from some hours up to two days, they seldom last more than a week (Cortés, 1984). Other red tides dominated by the dinoflagellates *Gymnodinium catenatum*, *Ceratium tripos var. ponticum* and *Prorocentrum dentatum* are presented as disperse spots or with irregular outlines, not well defined, whose dimensions are difficult to determine but their most intense area cover approximately 20m² or more; their coloring is variable as well, from brick brown to purple tones, depending on the concentration of the dinoflagellate and its accompanying flora.

Specific Dominance and Abundance

After seven years of observation, approximately eight species responsible of red tides were detected for the Mazatlán Bay. These belong to several taxonomic groups: one ciliate, one cyanophyte, five dinoflagellates

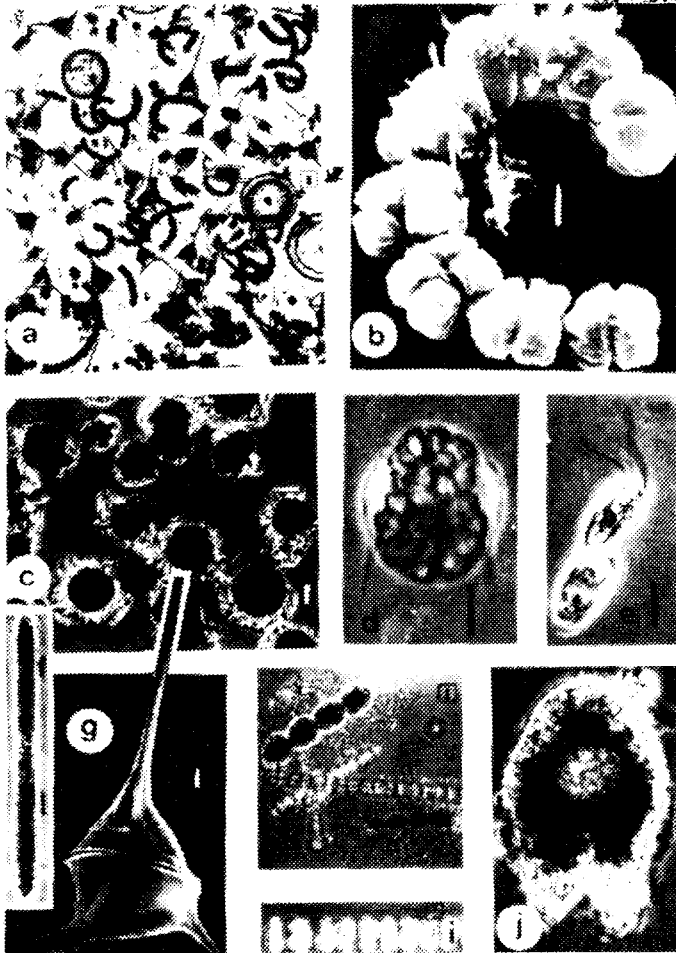


Figura 2. Especies dominantes y codominantes de mareas rojas en el litoral de Mazatlán. a) Marea roja poliespecífica debida a *Gymnodinium catenatum*; b) cadena de ocho células de *G. catenatum* (MEB); c) marea roja monoespecífica de *Mesodinium rubrum*, fijada en acetato-lugol, note las diferentes deformaciones; d) *M. rubrum* in vivo, note la banda ciliar ecuatorial y los grandes cloroplastos; e) *Prorocentrum dentatum* note los flagelos; f) trichomona de *Oscillatoria erythroa* note la región central más clara; g) *Ceratium tripos* var. *ponticum* (MEB); h) *Cochloclinium* sp. fijados, note las diferencias de tallas entre las dos cadenas; i) *Skeletonema costatum*; j) *Gymnodinium splendens*. (MEB) = Microscopio Electrónico de Barrido. Escala 10 μ .

Figure 2. Dominant and codominant species of red tides in the Mazatlán littoral, a) polyspecific red tide caused by *Gymnodinium catenatum*; b) chain of eight cells from *G. catenatum* (MEB); c) monospecific red tide of *Mesodinium rubrum*, fixed in an alkaline lugol's solution with acetate, note the different deformations; d) *M. rubrum* in vivo, note the equatorial ciliary band and the big chloroplasts; e) *Prorocentrum dentatum* note the flagelles; f) Trichomona de *Oscillatoria erythroa*, note the lighter central region; g) *Ceratium tripos* var *ponticum* (MEB); h) *Cochloclinium* sp. fixed, note the difference in size between the two chains; i) *Skeletonema costatum*; j) *Gymnodinium splendens*. (MEB) = Electronic Scanner Microscope. Scale 10 μ .

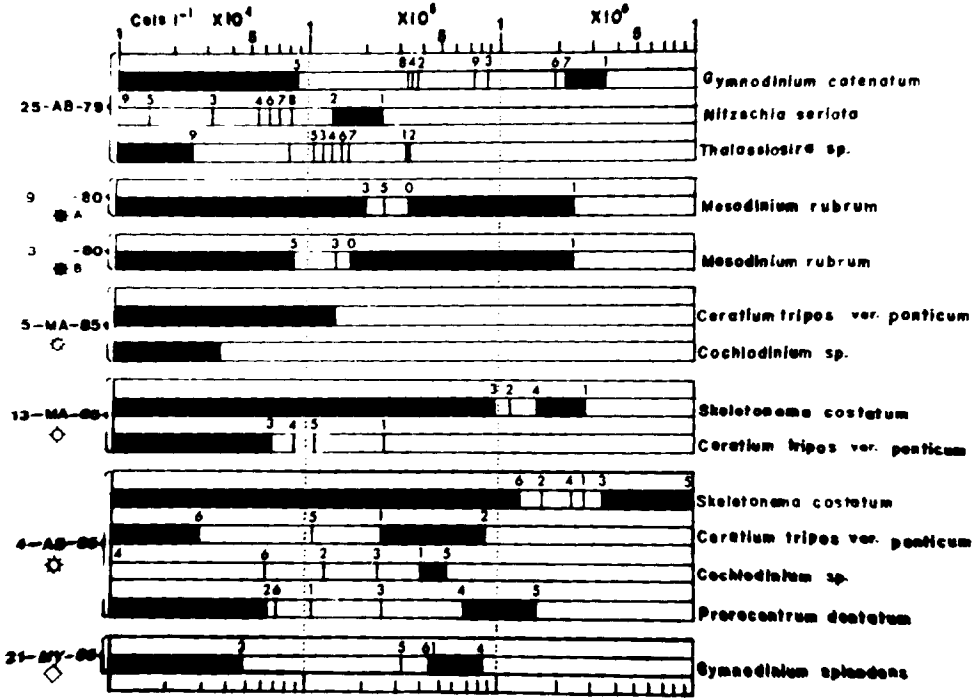


Figura 3. Abundancia de especies dominantes y codominantes de algunas mareas rojas registradas en el litoral de Mazatlán. Los números arriba de las barras horizontales son las estaciones de colecta localizadas en la Fig. 1, a excepción de 1980 (A y B) que significan las profundidades de colecta (0m, 3m y 5m). Las demás son de superficie.

Figure 3. Abundance of dominant and codominant species of some red tides recorded in the Mazatlán littoral. The numbers above the horizontal bars are the collect stations located in Fig. 1, except in 1980 (A and B) which means the different collect depths (0m, 3m and 5m). The other ones are from surface.

Dominancia específica y abundancias

Después de siete años de observaciones, se detectaron aproximadamente ocho especies dominantes responsables de mareas rojas para la Bahía de Mazatlán. Estas pertenecen a varios grupos taxonómicos: un ciliado, una cianofita, cinco dinoflagelados y una diatomea (Fig. 2). En décadas pasadas se pensaba que *Gonyaulax catenella* era el microorganismo responsable de las mareas rojas en la mayor parte del Golfo de California (Wheldon y Kofoid, 1935). Estudios posteriores han señalado que el responsable es *Gymnodinium catenatum* (Graham, 1943; Balech, 1977 y Morey-Gaines, 1982). Sin embargo, estudios más continuos han demostrado que las mareas rojas más frecuentes se deben al ciliado

and one diatom (Fig. 2). In past decades it was thought that *Gonyaulax catenella* was the responsible microorganism of the red tides in most parts of the Gulf of California (Wheldon and Kofoid, 1935). Subsequent studies have shown that the responsible one is *Gymnodinium catenatum* (Graham, 1943; Balech, 1977 and Morey-Gaines, 1982). However, more recent studies have shown that the most frequent red tides are caused by the ciliate *Mesodinium rubrum* (Cortés, 1984), moreover, it has been observed that there is a codominance, (shared dominance) in a few days period. This was enhanced during March, April and May, 1985, when suddenly changed the dominance of *Skeletonema costatum*, *Ceratium tripos* var. *ponticum*, *Prorocentrum dentatum* and *Gymnodinium splendens*,

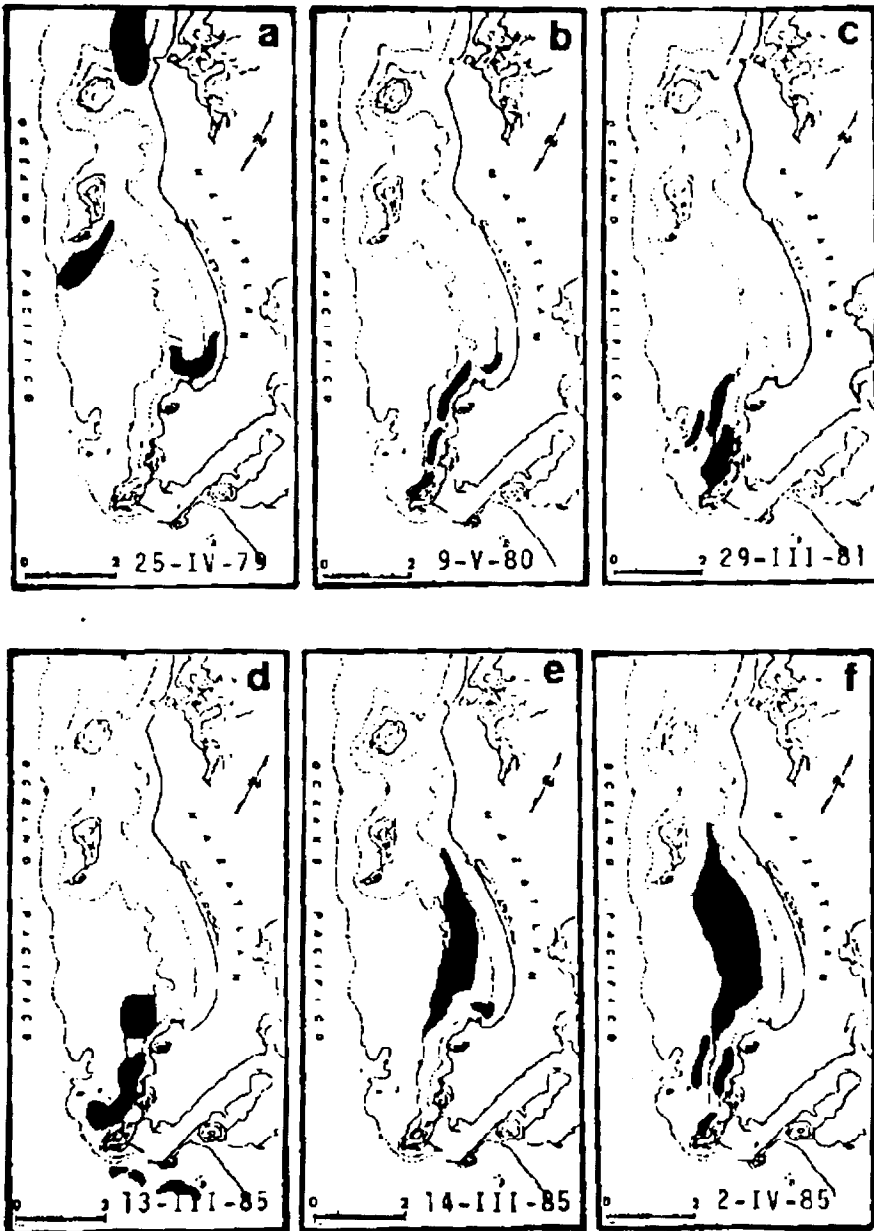


Figura 4. Distribución y transporte de mareas rojas, en base a apreciación visual. a-c) Localización de mareas rojas en diferentes años. d-f) Seguimiento de una marea roja durante un corto período de tiempo de un mismo año.

Figure 4. Distribution and transport of red tides, based on visual appearance. a-c) Localization of red tides in different years. d-f) Tracking of a red tide in a short period during the same year.

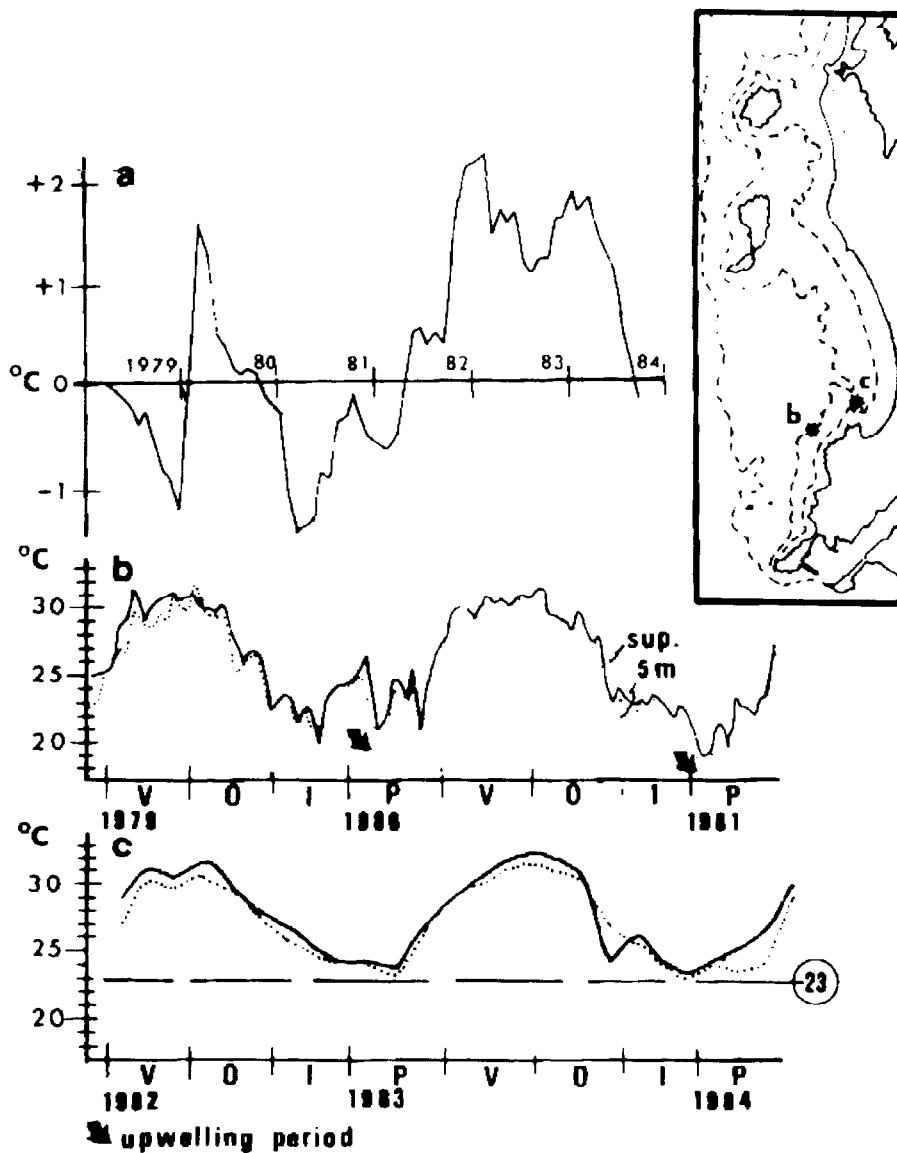


Figura 5. Registro de temperaturas antes y durante la oscilación del sur. a) Desviación estándar de la temperatura media de siete años (tomado de Mee *et al.*, 1985). b) Temperatura normal del punto b tomada cada semana, antes del ENSO. c) Temperatura normal del punto c durante el ENSO.

Figure 5. Temperature record before and after the Souther Oscillation. a) Standard deviation of the average temperature during a seven year period (recorded by Mee *et al.*, 1985). b) Normal temperature of point b, recorded each week before the ENSO. c) Normal temperature of point c during the ENSO.

Mesodinium rubrum (Cortés, 1984), además se ha observado que hay una codominancia (dominancia compartida) en el lapso de pocos días. Esto se avaló durante marzo, abril y mayo de 1985, donde rápidamente sucedieron cambios de dominancia entre *Skeletonema costatum*, *Ceratium tripos* var. *ponticum*, *Prorocentrum dentatum* y *Gymnodinium splendens*, entre los más abundantes (Fig. 3). Es fácil advertir que no solamente la coloración es debida a la abundancia, sino que interviene decisivamente la talla de fitoplancton, puesto que el mayor tamaño del *Ceratium tripos* var. *ponticum* y *G. splendens* los hace responsables de la coloración rojiza aunque *P. dentatum* y *S. costatum* dominen en cantidad.

Las densidades de microorganismos durante las mareas rojas se estimaron en pocos casos (Fig. 3). Durante la marea roja ocurrida durante 1979, ésta no fue estimada en su punto máximo ya que la colecta de los especímenes fue tardía. Sin embargo otros trabajos indican los siguientes valores promedio: 972×10^3 céls. l^{-1} de cuatro estaciones de colecta superficiales (Morey-Gaines, 1982) y $1,148 \times 10^3$ céls. l^{-1} de nueve estaciones de colecta superficiales (Cortés, 1981).

Durante 1980 se efectuaron dos registros de *Mesodinium rubrum* a diferentes profundidades. Ambas abundancias demostraron ser muy semejantes, aunque distaba un intervalo de más de 6 meses entre ellas. Se encontraron sus máximas abundancias de 1m, con un poco más de 2.4 millones de céls. l^{-1} en ambos casos. Durante 1981-82 la especie dominante en todos los casos fue *Mesodinium rubrum* en densidades semejantes a las de 1980 (Cortés, 1984). Durante 1983 no fue visible en esta área ninguna marea roja, pero sí se observó un aumento de la cianofita *Oscillatoria erythraea*, también responsable de formar mareas rojas. En este caso sus abundancias llegaron a 600 mil tricomas por m^{-3} , dos veces superior a lo registrado en años anteriores (Cortés, 1985). Durante 1984 fue casi nula la presencia de las mareas rojas y se registraron en dos ocasiones presencias efímeras de *M. rubrum*.

En 1985 las mareas rojas volvieron a presentarse con fuerte intensidad y permanencia, de forma intermitente pero constante. Los

among the most abundant (Fig. 3). The color is due not only to the abundance, but the size of the phytoplankton also contributes strongly; the largest size of *Ceratium tripos* var. *ponticum* and *G. splendens* makes them responsible of the reddish coloration, although *P. dentatum* and *S. costatum* are more abundant.

The microorganism densities during the red tides were estimated in few cases (Fig. 3). During the 1979 red tide, this was not estimated at its maximum level since the specimen collection was belated. However, other studies show the following average values: 972×10^3 cells. l^{-1} from surface collection at four stations (Morey-Gaines, 1982) and $1,198 \times 10^3$ cells. l^{-1} from surface collection at nine stations (Cortés, 1981).

In 1980 two records were carried out of *Mesodinium rubrum* at different depths. Both abundances showed to be very similar, although there was a six month interval, finding out their maximum abundance of 1m, with more than 2.4 million cells. l^{-1} in both cases. During 1981-82, the dominant species in all cases was *Mesodinium rubrum*, in densities similar to those of 1980 (Cortés, 1984). During 1983 no red tide was visible in this area, but an increase of the cyanophytes *Oscillatoria erythraea* was observed, responsible of the formation of red tides as well. In this case, their abundances reached 600 thousand trichomonas by m^{-3} , two times more than those recorded in the past years (Cortés, 1985). During 1984 red tides were almost non existent, recording in two cases ephemeral presence of *M. rubrum*.

In 1985 red tides came back with a high intensity and permanence, intermittent but constant. The first outbreaks were caused by *Ceratium tripos* var. *ponticum* with more than 100 thousand cells. l^{-1} during March. By the end of this month, *Skeletonema costatum* was dominant and in some places it nearly reached three million cells. l^{-1} , leaving *C. tripos* var. *ponticum* as codominant with 250 thousand cells. l^{-1} . In April the density increased considerably and the dominance was shared with other different places of the Bay. In this way *Skeletonema costatum* reached its maximum with 9.8 million cells. l^{-1} , *C. tripos*

primeros brotes se debieron a *Ceratium tripos* var. *ponticum* con un poco más de 100 mil céls. 1^{-1} durante marzo. Para finales de éste, ya dominaba *Skeletonema costatum*, que en algunos lugares casi alcanzó los 3 millones de céls. 1^{-1} y quedó como codominante *C. tripos* var. *ponticum* con 250 mil céls. 1^{-1} . En abril aumentó considerablemente la densidad cuya dominancia fue compartida con otros diferentes lugares de la Bahía. Es así que *Skeletonema costatum* llegó a presentar máximos de 9.8 millones de céls. 1^{-1} , *C. tripos* var. *ponticum* 800 mil céls. 1^{-1} y *Cochlodinium* sp. el medio millón de céls. 1^{-1} y *Prorocentrum dentatum* 1.6 millones de céls. Esto indica una gran codominancia. De hecho, para mayo el cuadro cambió completamente y encontramos como dominante a *Gymnodinium splendens* cuya densidad máxima fue de 800 mil céls. 1^{-1} (Fig. 3).

En el caso particular de *Mesodinium rubrum*, el transporte y concentración se realiza por migración a través de la masa de agua en fronteras creadas por picnoclinas, como ya lo mostró Ryther *op. cit.* y de la misma forma que estableció Margalef *et al.* (1979), sin embargo, no se descarta que contribuyan a su formación la escasez de depredadores, la exclusión inhibitoria o la ventaja competitiva por medio de tasas o utilización de nutrientes. Respecto a la última etapa de dispersión se cree deberse a los mismos procesos físicos que contribuyen a su concentración, sin embargo, aún se ignoran muchas causas que favorecen la extinción de las proliferaciones. Es esta etapa la menos estudiada, ya que no es simplemente debida a procesos físicos, hay evidencias por ejemplo de la foto-oxidación letal en cianofitas como la responsable de disminuir y regular las proliferaciones de estas algas (Shilo, 1980).

Ocurrencia y distribución

El análisis de las observaciones efectuadas en el área de Mazatlán indica una constancia de presencia durante fines de invierno y principios de primavera (Tabla I).

Normalmente la durabilidad o permanencia está en función de los agentes físicos que trasladan las masas de agua, sin embargo,

var. *ponticum* 800 thousand cells. 1^{-1} , *Cochlodinium* sp. half thousand cells. 1^{-1} and *Prorocentrum dentatum* 1.6 million cells. 1^{-1} , showing in this way a great codominance. By May the chart changed completely and *Gymnodinium splendens* was found as dominant, its maximum density was of 800 thousand cells. 1^{-1} (Fig. 3).

Occurrence and Distribution

The analysis of the observations in the Mazatlán area shows a constant presence during the end of winter and beginning of spring (Table I).

In general, the length or permanence depends on the physical agents which transport the mass of water, however, it was observed that the red tides composed by the ciliate *M. rubrum* were in general of short length, one to two days and exceptionally longer. On the other hand, red tides caused by dinoflagellates are less frequent but their length get to be longer, two of this cases were found in 1979 with 17 days and in 1985 with almost 44 days, intermittent.

The first signs of a red tide are found in the southern region of the Mazatlán Bay; if the spot is more or less permanent, this suffers a displacement as a littoral transport to the northeast. Although the speed of the current is not well known, it has been estimated between 4-7cm/sec and in some cases up to 10cm/sec (Secretaría de Marina, 1974), based on this data, a spot of red tide would leave this area from 3.7 to 2.1 days and in some cases a day and a half. It was possible to prove it visually because when the red tides appear in the southern part, the next day they are found in the northern part of the last island. In some cases, when the red tide stays for longer than a week in the area, the displacement is not observed but a gradual invasion is shown, which embraces the Mazatlán Bay considerably (Fig. 4).

Origin

Winter time and beginning of spring is the time of the occurrence of the red tide, and during this time the upwellings also appear

aunado a esto se observó que las mareas rojas formadas por el ciliado *M. rubrum* fueron normalmente de poca permanencia, uno a dos días y excepcionalmente más. Por el contrario, las mareas rojas formadas por dinoflagelados son menos frecuentes pero su permanencia llega a ser mayor. Dos casos de este tipo los tenemos en 1979 con 17 días y 1985 con cerca de 44 días intermitentes.

Las primeras manifestaciones de la marea roja se encuentran localizadas en la región sur de la Bahía de Mazatlán; si la mancha es más o menos permanente ésta sufre un desplazamiento como transporte litoral hacia el Noroeste. Aunque las velocidades de las corrientes se conocen muy poco, éstas se han estimado entre 4-7cm/seg y en algunas ocasiones llegan a ser hasta de 10cm/seg (Secretaría de Marina, 1974), en base a estos datos una mancha de marea roja saldría de esta área en 3.7 a 2.1 días y en ocasiones en un día y medio. Esto ha sido posible comprobarlo visualmente ya que cuando aparecen las mareas rojas en la parte sur, al día siguiente se encuentran al norte a la altura de la última isla. En algunos casos, cuando la marea roja permanece más de una semana en el área, el transporte no es observado y sí una invasión gradual que va abarcando notablemente la Bahía de Mazatlán (Fig. 4).

Origen

En invierno y principios de primavera es la época de ocurrencia de la marea roja, y también durante este tiempo se presentan las surgencias (Roden, 1958; Roden y Emilsson, 1984) que introducen en la Bahía de Mazatlán masas de agua sub-superficial de temperaturas más bajas (Mee *et al.*, 1985). Por su presencia intensidad y duración en esta zona en particular: las surgencias están estrechamente relacionadas con el fenómeno dominado ENSO (=El Niño Southern Oscillation Event). Este tipo de fenómenos sólo pueden detectarse a escalas de tiempo de mediano plazo (de un año a otro y de una década a otra) y se le responsabiliza de provocar otro tipo de perturbaciones como el fenómeno de El Niño, la intensidad del invierno en latitudes medias, temperaturas del agua superficial más cálidas

(Roden, 1958; Roden and Emilsson, 1984), which introduce sub-surface masses of water of low temperatures into the Mazatlán Bay (Mee *et al.*, 1985). Because of its presence, intensity and lasting, the upwellings in this particular zone are closely related with the phenomenon called ENSO (=El Niño Southern Oscillation Event). This kind of phenomena can only be detected in midterm scales (from one year to another and from one decade to another) and it is responsible of bringing other phenomena such as the El Niño, the intensity of the winter in medium latitudes, warmer temperature of the surface water in the Tropical Pacific, etc. (Barberan, 1983). In the Mazatlán Bay, it causes the penetration of warmer waters from the Tropical Pacific (Fig. 5) and the decrease of the upwelling, availing the abundance of *Oscillatoria erythraea* (= *Trichodesmium erythraea*) and avoiding the penetration of the wedge of cold water with the phytoplankters or dinoflagellate cysts of the red tide, and in this way the formation of red tides is prevented. It is also proved in the series of periodic observations (Table I) where the ENSO had its effect during 1983, and no observation of red tides were recorded nor temperature stratification (Fig. 5a and c).

The intensity of the upwelling seems to influence the dominant species, since from 1980 to 1982, when the ENSO started, only ENSO started, only *Mesodinium rubrum* was found as the dominant species and responsible of the formation of red tides of short length. This ciliate presents a short size and a great motion ability by cilia and membranules, which contribute to its sustenance in waters of slow currents. In 1983 no upwelling was detected, and after the ENSO, in 1984 ephemeral red tides were reestablished by the ciliate, and in 1985 where the upwelling was found in its fullness, and big and heavy dinoflagellates appeared as responsible of red tides such as *Ceratium tripos var. ponticum*, *Gymnodinium catenatum* and *G. splendens*. Moreover, this red tides were intense and longer.

Toxicity

To analyse the toxicity of red tides, it is necessary to consider the different syndroms

en el Pacífico Tropical, etc. (Barberan, 1983). La Bahía de Mazatlán es causante de la penetración de aguas más cálidas provenientes del Pacífico Tropical (Fig. 5) y provoca la disminución de la surgencia, favoreciendo la abundancia de *Oscillatoria erythraea* (= *Trichodesmium erythraea*) e impiden la penetración de la cuña de agua fría con los fitoplancteres o dinoquistes de la marea roja, y por tanto imposibilita la formación de mareas rojas. También se comprueba en la serie de observaciones periódicas (Tabla I) donde el ENSO tuvo su efecto durante 1983, y no se registraron observaciones de marea roja y ninguna estratificación de temperaturas (Fig. 5a y c).

La intensidad de la surgencia parece influir en la sustentación de la especie dominante, puesto que desde 1980 a 1982 cuando se iniciaba el ENSO, únicamente se encontró a *Mesodinium rubrum* como especie dominante y responsable de formación de mareas rojas de corta duración. Este ciliado presenta una talla pequeña y una gran capacidad de movimientos por cilios y membranelas, que contribuyen a la sustentación en aguas de pocas corrientes; no se detectó surgencia en 1983, y después del ENSO, en 1984 se restablecieron las mareas rojas efímeras por el ciliado, y en 1985 donde la surgencia se encontró en plenitud y surgieron como responsables de mareas rojas dinoflagelados grandes y pesados como *Ceratium tripos* var. *ponticum*, *Gymnodinium catenatum* y *G. splendens*. Además estas mareas rojas fueron intensas y de mayor duración.

Toxicidad

Para analizar la toxicidad de las mareas rojas, es necesario considerar los distintos síndromes que se presentan en el ser humano a través de la ingestión de moluscos filtradores o bien por los efectos que produce en la biota marina:

1. Envenenamiento paralítico por mariscos (PSP= "Paralytic Shellfish Poisoning"; venenos solubles en agua).

Mee *et al.*, 1984 han sido los primeros en alertar el envenenamiento por *Gymnodini-*

that appear in the human being through the ingestion of filter mollusks or by the effects produced in the marine biota:

1. Paralytic Shellfish Poisoning; soluble poisons in water).

Mee *et al.*, 1984 have been the first ones to warn the population about the poisoning by *Gymnodinium catenatum*, which took place in April, 1979 and was caused by the ingestion of filter mollusks: *Crassostrea iridescens*, *Crassostrea corteziensis* and *Donax sp.* Eighteen people resulted intoxicated and three deceased occurred, the great majority were children. This seems to suggest that there is a relation between the body weight and the quantity of toxine ingested. The symptoms appear approximately twelve hours after the ingestion of the mollusks.

2. Neurotoxic Shellfish Poisoning; soluble poisons in lipids. Some authors use the term DSP= Diarrhetic Shellfish Poisoning.

In the Gulf of California there is no evidence of this syndrom but in the Gulf of Mexico, mainly in the southern part of Tamaulipas, Veracruz and Yucatán, this syndrom caused fish mortality in 1955. The human population of the surroundings presented numerous cases of breathing affections ingested, no cases of intoxication were found (Ramírez-Granados, 1963). It is mainly produced by *Ptychodiscus brevis* (= *Gymnodinium brevis*) or by its benthic temporal resistant. In general, it affects fish by breath inhibition in concentrations greater than 2.5×10 cells. l^{-1} . This toxin can be bioaccumulated in oysters, clams, etc. without apparent effect on them but in the human being it produces poisoning if a filter shellfish is ingested containing more than 50MU/100g. Heating or cooking the shellfish does not destroy its toxic properties.

In the Gulf of California, particularly in the Mazatlán littoral, marine fish mortality has been recorded in small proportions and it is deduced that this mortality is caused by low concentration of diluted oxygen, which is consumed for the oxidation of the massive organic matter formed after the red tide, since

um catenatum, acaecido en abril de 1979 y causado por la ingestión de moluscos filtradores: *Crassostrea iridescens* (ostión de piedra), *Crassostrea corteziensis* (ostión de placer) y almejas (*Donax* sp.). Fueron intoxicadas 18 personas y resultaron tres descesos fatales, la gran mayoría de los afectados fueron niños. Parece sugerir una relación del peso corporal con la cantidad de toxina ingerida. Los síntomas se presentan aproximadamente a las 12 horas después de la ingestión de los moluscos.

2. Envenenamiento neurotóxico por mariscos (NSP = Neurotoxic Shellfish Poisoning; venenos solubles en lípidos). Algunos autores usan DSP = Diarrhetic Shellfish Poisoning.

En el Golfo de California no se tiene antecedente de este síndrome pero sí existen en el Golfo de México, principalmente en el sur de Tamaulipas, Veracruz y Yucatán, donde causaron mortandad de peces en 1955. La población humana aledaña presentó numerosos casos de afecciones respiratorias e irritación de los ojos, y aún cuando hubo consumo de pescado, no hubo casos de intoxicación (Ramírez-Granados, 1963), es producido principalmente por *Ptychodiscus brevis* (= *Gymnodinium brevis*) o bien por su estado de resistencia bentónico temporal. Generalmente afecta a los peces por inhibición respiratoria en concentraciones arriba de 2.5×10^5 céls. l^{-1} . Esta toxina puede bioacumularse en ostiones, almejas, etc. sin daño aparente a ellas pero en el humano produce envenenamiento si es consumido algún marisco filtrador que contenga más de 50MU/100g de marisco. A semejanza de la anterior toxina, el calentado o cocinado no destruye sus propiedades tóxicas.

En el Golfo de California, en particular el litoral de Mazatlán, se han registrado mortalidad de peces marinos en pequeñas proporciones y se deduce que son ocasionadas por la baja en la concentración de oxígeno disuelto, el cual es consumido para la oxidación de la materia orgánica masiva formada después de la marea roja, ya que los peces que afecta en su gran mayoría presenta un habitat o conducta alimenticia que la margina a permanecer en áreas restringidas cercanas al fondo marino (Mee *et al.*, 1984).

the affected fish, in its great majority, present an habitat or feeding behavior which fringe them to stay in limited areas near the marine bottom (Mee *et al.*, 1984).

DISCUSSION

Nowadays, red tides are not considered as a mere group of marine microorganisms which are reproduced speedily and explosively. According to Steidinger (1983) red tides pass through four stages of dynamic development to be produced: initiation, growing, concentration and dispersion, (including their end by dilution). In this context, the transportation of resistant elements (cysts) or microorganisms and the conjunction of them in the red tide are part of the concentration stage of the dynamics of the formation of this phenomenon, this disappears when the ENSO is produced, it is possible that the upwelling does not disappear at all and only it decreases its intensity and influence towards more coastal zones, but there is a complete disappearance of the red tide in the Mazatlán littoral. Referring to the first two stages, initiation and growing, this is unknown. In the first case, for the majority of the species, the kind of spores which form them is unknown, if in the area or far away exists the seed substrate as well as their locality and their transportation is caused by the upwelling. In the second case, the active life stage, the mechanism is unknown, as well as the life cycle of the responsible species and their rate of division.

Particularly in the case of *Mesodinium rubrum*, the transportation and concentration take place by migration through the mass of water in frontiers created by pycnoclines, as Ryther *op. cit.* showed in the same way as Margalef *et al.* (1979) established. However, the idea that the shortage of depredators contribute to their formation is not discarded, the inhibitory exclusion or the competitive advantage by means of uptake rates or the use of nutrients. Referring to the last stage of dispersion, it is believed that this is due to the same physical processes which contribute to their concentration, however, several causes that make suitable the extinction of the proliferations are ignored, being this stage less studied, since this is not only due to physical

DISCUSION

Las mareas rojas ya no son consideradas como un simple conjunto de microorganismos marinos que se reproduce aceleradamente o explosivamente. Según Steidinger (1983) las mareas rojas pasan a cuatro estadios de desarrollo dinámico para producirse: iniciación, crecimiento, concentración y dispersión, (incluyendo su final por dilución). En este contexto la transportación de elementos de resistencia (quistes) o microorganismos y la conjunción de ellos en la marea roja son parte del estadio de concentración de la dinámica de formación de este fenómeno. Este desaparece en cuanto se produce el ENSO, quizá la surgencia no desaparezca del todo y sólo disminuya su intensidad e influencia hacia zonas más costeras, lo que sí hay una completa desaparición de la marea roja en el litoral de Mazatlán. En cuanto a las dos primeras etapas: iniciación y el crecimiento se desconoce todo. En el primer caso, se desconoce en la mayoría de las especies el tipo de esporas de reposo que forman, si existe en el área o más lejos de ella el llamado "lecho de semillas" así como su localidad y el transporte de éstas es quizá debido a la surgencia. En la segunda etapa se desconocen los mecanismos de desenquistamiento, el ciclo de vida de las especies responsables, así como su tasa de división.

En el caso particular de *Mesodinium rubrum*, el transporte y concentración se realiza por migración a través de la masa de agua en fronteras creadas por picnoclinas, como ya lo mostró Ryther *op. cit.* y de la misma forma que estableció Margalef *et al.* (1979), sin embargo, no se descarta que contribuyan a su formación la escasez de depredadores, la exclusión inhibitoria o la ventaja competitiva por medio de tasas o utilización de nutrientes. Respecto a la última etapa de dispersión se cree deberse a los mismos procesos físicos que contribuyen a su concentración, sin embargo, aún se ignoran muchas causas que favorecen la extinción de las proliferaciones. Es esta etapa la menos estudiada, ya que no es simplemente debida a procesos físicos, hay evidencias por ejemplo de la foto-oxidación letal en cianofitas como la responsable de disminuir y regular las proliferaciones de estas algas (Shilo, 1980).

processes. There are evidences of the lethal photo-oxidation, for example, in cyanophytes as responsible of the decrease and regulation of the proliferation of these algae (Shilo, 1980).

The function of the toxins or secondary metabolites in the dinoflagellates is unknown and there are only speculations. Some authors confer them inhibitory properties for other phytoplankters growth (Freeberg *et al.*, 1979). Other authors consider them as chelate substances (Fenical, 1982; Murakami *et al.*, 1982). It is thought that these toxins could act mainly as a metabolic inhibitor and secondarily as a chelate substance which makes easier the transportation of cations through the cytoplasmatic membrane.

CONCLUSIONS

The upwellings are the main concentrators of the red tide, closely associated to its appearance period, altered by the presence of the ENSO, which diminishes the strenght of the upwellings with the consequent disappearance of the red tides.

The eight responsible species are: *Mesodinium rubrum* (Protozoon), *Oscillatoria erythraea* (Cyanophyte), *Gymnodinium catenatum*, *G. splendens*, *Cochlodinium* sp., *Prorocentrum dentatum*, *Certium tripos* var. *poncticum* (Dinoflagellates) and *Skeletonema costatum* (Diatom). The red tides caused by the first and second microorganism are of the monospecific kind, those caused by other species are of the polyspecific kind and with codominance. The cyanophyte is the only species that is found in higher densities during summer time.

In general, the maximum densities were between 2 and 3 million cells. 1^{-1} , except *S. costatum*, which reached more than 9 million cells. 1^{-1} . However, the maximum frequency of the densities is found in the range of 10^5 cells. 1^{-1} .

Only *Gymnodinium catenatum* has been associated with the PSP syndrome, affecting human beings. The NSP is unknown in the Mazatlán Bay, even if there has been fish mortality, there is no evidence of microorgan-

Respecto a la función de las toxinas o metabolitos secundarios en los dinoflagelados, aún no se conoce y todo cae en especulaciones. Algunos les confieren propiedades inhibitorias para el crecimiento de otros fitoplancteres (Freeberg *et al.*, 1979); otros consideran que son sustancias quelantes o inóforos (Fenical, 1982; Murakami *et al.*, 1982). Así, se piensa que estas toxinas pueden actuar principalmente como un inhibidor metabólico y secundariamente como un inóforo que facilita el transporte de cationes a través de la membrana citoplasmática.

CONCLUSIONES

Son las surgencias los principales concentradores de marea roja, asociadas íntimamente a su período de aparición, alterados por la presencia del ENSO, que atenúa la fuerza de las surgencias con la consecuente desaparición de las mareas rojas.

Son las ocho especies responsables: *Mesodinium rubrum* (Protozoario), *Oscillatoria erythraea* (Cianofita), *Gymnodinium catenatum*, *G. splendens*, *Cochlodinium sp.*, *Proocentrum dentatum*, *Ceratium tripos var. ponticum* (Dinoflagelados) y *Skeletonema costatum* (Diatomea). Las mareas rojas producidas por el primer y segundo microorganismo son del tipo monoespecífico, en las demás especies son del tipo poliespecífico y con codominancia. La cianofita es la única especie que se encuentra en altas densidades en el verano.

En general, las densidades máximas estuvieron entre los 2 y 3 millones de céls. 1^{-1} , a excepción de *S. costatum*, que llegó a presentar más de 9 millones de céls. 1^{-1} . Sin embargo, la mayor frecuencia de las densidades se encuentra en el rango de 10^5 céls. 1^{-1} .

Únicamente *Gymnodinium catenatum* se ha asociado con el síndrome de PSP afectando a vidas humanas. El NSP no se conoce en la Bahía de Mazatlán, aunque ha habido mortalidad de peces, no hay evidencia de microorganismos productores de ictiotoxinas, y sí de bajas de oxígeno, por lo que se deduce que la mortalidad sea debida a condi-

isms producers of ichtiotoxins, but there has been oxygen loss, for which it is deduced that the mortality is due to anoxic temporary conditions of the benthic community by the oxidation of the organic matter produced during the red tide.

The staying of the red tide for a week or more in a certain place and when it coincides with the dominance of a toxic species whose density is more than half million cells. 1^{-1} is a reason of public health concern.

RECOMMENDATIONS

Because red tides can affect the fishery economy and the public health, several methods of control have been attempted, for example, the introduction of a parasite or pathogenic competitive predator, removal by trace metal or chelation, supplying of toxics, lithic chemicals or growth inhibitors, changes of the optimum environmental parameters such as light, introducing turbulence or turbidness artificially, etc. These means have been discussed widely by Steidinger *op. cit.*, who concludes that those means have not been successful because they deal with the symptoms rather than the causes, which are the lying benthic seeds, because in the first case, the magnitude of control in the natural environment is great and the cost-benefit relation is adverse. Not existing a safe method to avoid or at least decrease the catastrophic effects of the red tides, a close surveillance when this phenomenon appear is advisable in places where they occur to prevent the population, by the following steps:

1. To identify the dominant and codominant species because not all the red tides are toxic.
2. To quantify the density in places of maximum concentration. It is well known that concentrations higher than half million cells. 1^{-1} are dangerous.
3. To assess the permanence in a certain place and to consider if there is a coincidence with zones of exploitation of bivalve mollusks.

With these dispositions there will be some basis to warn the population not to

ciones temporales anóxicas del bentos por la oxidación de la materia orgánica producida durante la marea roja.

La permanencia de la marea roja durante una semana o más en determinado lugar y cuando coincide con la dominancia de una especie tóxica cuya densidad es mayor de medio millón de céls. l^{-1} es motivo de preocupación para la salud pública.

RECOMENDACIONES

Debido a que las mareas rojas pueden afectar la economía pesquera y la salud pública, se han intentado varios medios de control, por ejemplo: introducción de un depredador, competidor, parásito o patógeno, remoción por metales traza o quelación, suministro de tóxicos, químicos líticos o inhibidores de crecimiento, cambios de parámetros ambientales óptimos como la luz al introducir artificialmente turbulencia o turbidez, etc. Estos medios han sido discutidos ampliamente por Steidinger *op. cit.* en que concluye que no han tenido éxito porque tratan a los síntomas y no las causas, que son las semillas de reposo bentónicas, ya que en el primer caso la magnitud de control en el medio natural es grande y la relación costo-beneficio es adversa. Al no haber un método seguro para evitar o al menos disminuir los efectos catastróficos de las mareas rojas es recomendable en los lugares donde existe, una estrecha vigilancia en la aparición de este fenómeno para prevenir principalmente a la salud pública, y realizar los siguientes pasos:

1. Identificar las especie dominante y codominante, ya que no todas las mareas rojas son tóxicas.
2. Cuantificar la densidad en los puntos de máxima concentración; muy gruesamente se sabe que en concentración arriba de medio millón de céls. l^{-1} son peligrosas.
3. Evaluar la permanencia en determinado lugar y considerar si hay coincidencia con zonas de explotación de bivalvos.

Con estas disposiciones se podrá contar con algunas bases para alertar a la población

consume filter mollusks and to prevent a massive poisoning.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was partially financed by CONACyT (PC MANAL-90001) and the CORTES-CONACyT Project (ICECX-NA-021996).

Thanks to Saúl Alvarez-Borrego for his critical revision of the original manuscript and to Arturo Núñez-Pastén and Ma. de los Angeles Herrera-Vega for their technical assistance.

Contribution No. 423 of the Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM). Paper presented in the 1st National Colloquy on Plankton and Fertility of the Aquatic Medium, 2-4 May, 1985, in Mazatlán, Sin.

Guadalupe González translated this paper into English.

del no consumo de moluscos filtradores y evitar un envenenamiento masivo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por CONACyT (PC MANAL-90001) y Proyecto CORTES CONACyT (ICECSNA-021996).

Agradecemos en particular a Saúl Alvarez-Borrego por la revisión crítica del trabajo original y a Arturo Núñez-Pastén y Ma. de los Angeles Herrera-Vega por su asistencia técnica.

Contribución No. 423 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM). Trabajo presentado en el 1er. Coloquio Nacional sobre Plancton y Fertilidad del Medio Acuático, del 2-4 mayo de 1985 en Mazatlán, Sin.

LITERATURA CITADA

Barberán, J. (1983) La oscilación del sur y el clima. *Naturaleza*, 3: 154-163.

- Balech, E. (1977) *Introducción al fitoplancton marino*. Ed. Univ. de Buenos Aires. Argentina: 103-114.
- Cortés-Altamirano, R. (1981) Redescrición y distribución de *Gymnodinium catenatum* Graham (Dinophyceae), causante de "mareas rojas" tóxicas. VI Simposio sobre el medio ambiente del Golfo de California, del 8-12 abril 1981. Hermosillo, Son. México. (Inédito).
- Cortés-Altamirano, R. (1984) Mareas rojas producidas por el ciliado *Mesodinium rubrum* (Lohmann) en el área litoral de Mazatlán, Sinaloa, México. *Biotica* 9(3): 259-270.
- Cortés-Altamirano, R. (1985) Abundancia de *Oscillatoria erythraea* (Ehr. ex Gomont) Gleiter, en el litoral de Mazatlán, Sin., México. *Rev. Biol. Trop.* (en prensa).
- Fenical, W. (1982) Natural Products Chemistry in the Marine Environment. *Science*. 215: 923-928.
- Freeberg, L.R., Marshal, A. and Heyl, M. (1979) Interrelationships of *Gymnodinium breve* (Florida Red Tide) within in the Phytoplankton Community. In: D.L. Taylor and M.H. Seliger (eds.) *Toxic Dinoflagellate Blooms*. Elsevier/North Holland, New York. pp. 139-144.
- Graham, H.W. (1943) *Gymnodinium catenatum*, a New Dinoflagellate from the Gulf of California. *Trans. Am. Microsc. Soc.*, 62: 259-261.
- Hasle, G.R. (1978) Using the Inverted Microscope. In: A. Sournia (Ed.), *Phytoplankton manual*. UNESCO, París: 191-196.
- Margalef, R., M. Estrada and Blasio, D. (1979) Functional Morphology of Organisms Involved in Red Tides, as Adapted to Decaying Turbulence. In: D.L. Taylor and H.H. Seliger (eds.). *Toxic Dinoflagellates Blooms*, Elsevier/North-Holland, New York. pp. 89-94.
- Mee, L.D., Díaz-González, G. y Espinosa-Damian, M. (1984) Marea roja en el sur de Sinaloa. In: Ayala-Castañares, A. F.B. Phleger; R.C. Schwartzlose y J. Vargas (eds.). *The Gulf of California*. UNAM, Mexico city (in press).
- Mee, L.D., Ramírez-Flores, A. Flores-Verdugo, F., González-Farías, F. (1985) Coastal Upwelling and the Fertility of the Southern Gulf of California: Impact of the 1982-1983 ENSO Event. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, 31: 9-10.
- Murakami, Y., Oshima, Y. and Yasumoto, T. (1982) Identification of Okadaic Acid as a Toxic Component of a Marine Dinoflagellate *Prorocentrum lima*. *Bull. Japn. Soc. Sci. Fish.* 48(1): 69-72.
- McAlice, B.J. (1968). An Occurrence of Ciliate Red Water in the Gulf of Maine. *J. Fish. Res. Bd. Canadá* 25(8): 1749-1751.
- Morey-Gaines, G. (1982) *Gymnodinium catenatum* Graham (Dinophyceae): Morphology and Affinities with Armoured Forms. *Phycologia*, 21(2): 154-163.
- Ramírez-Granados, R. (1963) Marea roja. Datos para su conocimiento y pronóstico. Sec. de Ind. y Com. Dir. Gral. de Pesca e Ind. Conexas. Depto. de Est. Biol. Pesq. Trabajos de divulgación 4(35): 1-9.
- Rojas-Trejo, S.P. (1984). Ciclo anual del fitoplancton de la Bahía de Mazatlán, Sin., México (1980). Tesis profesional. Esc. Biol. Univ. Autón. del Edo. de Morelos: 54 p.
- Roden, G.I. (1958) Oceanographic and Meteorological Aspects of the Gulf of California. *Pacific Sci.* 12(1): 21-45.
- Roden, G.I. y Emilsson, I. (1984) The Physical Oceanographic of the Gulf of California. In: A. Ayala-Castañares, F.B. Phleger, R.C. Schwartzlose y J. Vargas (eds.) *The Gulf of California*. UNAM, Mexico City (in press).
- Ryther, J.H. (1967) Occurrence of Red Water Off Peru. *Nature* 214: 1318-1319.
- Sánchez-Vargas, D.P. (1984) Ecología y estructura de las comunidades de moluscos y crustáceos decápodos en la ensenada de Puerto Viejo, Mazatlán, Sin. Tesis Profesional. Esc. Biol. Univ. Autón. de Guadalajara: 186 p.
- Secretaría de Marina (1974). Estudio geográfico de la región de Mazatlán, Sin. Dir. Gral. Oceanogr. Señal. Marít. 353 p.

Shilo, M. (1980). Factores implicados en la dinámica de las proliferaciones de algas en la naturaleza. In: W.H. van Dobbey R.H. Lowe McConnell (eds.). Conceptos unificados en ecología, Editorial Blume, Barcelona. pp. 160-171.

Steidinger, K.A. (1983) A Re-evaluation of Toxic Dinoflagellate Biology and Ecology. In: Round/Chapman (eds.). Progress in Phyco-logical Research, 2, Elsevier Science Publishers B.V. pp. 147-188.

Whedon, F.W. and Kofoid, C.A. (1935) Dinoflagellate of the San Francisco Region. Cal. Publ. Zool. 41(1): 25-34.