

Presencia de *Cochlodinium catenatum* (Gymnodiniales: Gymnodiniaceae) en mareas rojas de Bahía de Banderas, Pacífico mexicano

María del Carmen Cortés Lara¹, Roberto Cortés Altamirano² & Arturo P. Sierra-Beltrán³

- 1 Departamento de Ciencias del Centro Universitario de la Costa, campus Puerto Vallarta. (UG). Tel.: 01 322 22-622-18, Fax: 01-322-1-05-20 y 21; carmenc@pv1.udg.mx
- 2 Unidad Académica Mazatlán (ICMyL-UNAM), Apdo. Postal 811, Mazatlán 82040, Sinaloa, México. Fax: (01-6) 982-61-33; robtiko@ola.icmyl.unam.mx
- 3 Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Apdo. Postal 128, C.P. 23000, La Paz, B.C.S. México. Tel.: (52) 612 12 53633 ext. 3805; asierra04@cibnor.mx

Recibido 31-X-2002. Corregido 14-IX-2003. Aceptado 11-XII-2003.

Abstract: The evolution of an ichthyotoxic algal bloom caused by the dinoflagellate *Cochlodinium catenatum* was studied from July to December 2000. The abnormal multiplication of this dinoflagellate occurred in the form of a discoloration spreading between a temperature and salinity interval of 25-32°C and 33-35 ups, respectively. The density of *C. catenatum* reached 10 841 cells ml⁻¹. The event was observed in large areas of Banderas Bay affecting 13 fish species, whose massive killing was due to suffocation (gill obstruction and excessive mucus production). The human population around the area did not present respiratory affections or skin irritation. The *C. catenatum* measurements suggest a hologamic and heterothalic reproduction. Their morphological characteristics suggest that *C. polykrioides*, *C. heterolobatum* and *C. catenatum* are the same species. It is estimated that the species could be a recent introduction in the Mexican Pacific.

Key words: Microalgae, *Cochlodinium catenatum*, Banderas Bay, Mexican Pacific.

Palabras clave: Microalgas, *Cochlodinium catenatum*, Bahía de Banderas, Pacífico mexicano.

Antes del 2000 los estudios sobre las mareas rojas en Bahía de Banderas no se habían realizado con regularidad, limitándose a unas cuantas recolecciones esporádicas. El primer trabajo sobre mareas rojas en el área fue el de mayo del 1981, el cual describe un evento no tóxico con una duración de 14 días producido por *Noctiluca scintillans* y *Ceratium* spp., en concentraciones de 0.3 a 0.8 millones de células por litro (Gómez 1998). En 1986 Mee *et al.* documentaron la presencia del dinoflagelado tóxico *Gymnodinium catenatum* al norte de Puerto Vallarta, sin casos de envenenamiento. En el ciclo anual de 1990-1991 se identifica la totalidad de la composición taxonómica del fitoplancton de la Bahía de Banderas (Bravo 1998). Posteriormente Cortés *et al.* (1996) describe otra marea roja no tóxica en la localidad

debida al ciliado *Mesodinium rubrum*. Ninguno documentó casos de toxicidad. El dinoflagelado ictiotóxico *C. catenatum* ha sido implicado como agente causal de muerte masiva de peces en la Bahía de Banderas situada en el extremo sur oriental del Golfo de California (Cortés *et al.* 2001). Desde 1990 se conoce perfectamente la composición taxonómica del fitoplancton de la región, durante un ciclo anual, por lo que muy difícilmente podía haber pasado desapercibido un ejemplar colonial y de gran tamaño como *Cochlodinium* spp.

En otros países, la presencia de *C. catenatum* se ha reportado para el Golfo de Nicoya en Costa Rica (Hargraves y Viquez 1981, Viquez y Hargraves 1995), en aguas costeras de la provincia de Sucre Venezuela (Reyes *et al.* 1979), esta marea roja ocasionó 9 muertes y 159

intoxicados. En países orientales como Corea (Lee 1996) y en Japón (Onove *et al.* 1985, Onove y Mozawa 1989) su presencia es muy común en donde se les ha asociado con mortandades muy severas de peces.

Las primeras manifestaciones de proliferación microalgal se observaron hacia la parte norte de la bahía, desplazándose posteriormente a la región sur a manera de discoloraciones irregulares de color rojo-óxido muy intenso. El fenómeno se define como el más extenso y de mayor duración de la que se tiene conocimiento en ésta localidad y de las costas de México, despertando alarma en la población como resultado de la muerte de peces marinos. En términos generales la duración del evento fue de alrededor de 18 semanas en donde se afectaron al menos 63 km de costa particularmente en áreas en donde la actividad turística tiene gran afluencia, como es el caso de Puerto Vallarta, Jalisco y Nuevo Vallarta en el estado de Nayarit. Casi simultáneamente, un organismo similar fue observado en las bahías de Mazatlán, Sinaloa, de Manzanillo y de Santiago en Colima y en la Ensenada de La Paz en Baja California Sur, indicando con ello la magnitud geográfica del evento.

Los objetivos de este trabajo son conocer la variación cuantitativa de *C. catenatum* en la Bahía de Banderas en un periodo de 18 semanas observando la diferencia que hay entre mareas muertas, mareas vivas y las especies de peces que fueron afectadas. Asimismo, definir las dimensiones del dinoflagelado con la hipótesis de comprobar si corresponden a una misma especie y mostrar evidencias que comprueben que esta especie es de reciente introducción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit es una bahía abierta de régimen tropical con fuerte influencia oceánica. La circulación oceánica en el área varía tanto estacional como anualmente, debido a que es el punto de convergencia de tres importantes sistemas de corrientes marinas: a) la Corriente de California que fluye

hacia el sur trayendo aguas frías y de baja salinidad hacia la región; b) la Corriente de Costa Rica que fluye hacia el norte, trayendo aguas cálidas de salinidad intermedia (Badán 1997), y c) las masas de agua densa y cálida del Golfo de California la cual es transportada hacia el sur. Estas masas de agua convergen en esta región y se unen a la Corriente Nor-Ecuatorial (Carriquiry y Reyes 1997).

Bahía de Banderas se localiza en el extremo sur oriental del Golfo de California dentro de la Boca del Golfo de California. Con sus 1 407 km² de superficie es conocida como una de las grandes bahías del litoral centro occidente del Pacífico mexicano. Territorialmente comprende la parte suroeste y noroeste de los estados de Nayarit y Jalisco respectivamente. Se ubica entre los 20°15' a 20°47' N y los 105°15' a 105°42' O, teniendo como límites naturales a Punta de Mita Nayarit al norte y Cabo Corrientes Jalisco al sur.

Sus costas se dividen en tres: costa norte con una longitud de 24 km se extiende desde Punta de Mita hasta Bucerías, Nayarit; la costa este con 39 km desde Bucerías hasta Boca de Tomatlán, Jalisco y la costa sur con 52 km de extensión, comprende desde Boca de Tomatlán hasta Cabo Corrientes, Jalisco.

Las regiones insulares de la bahía corresponden a los islotes de Los Arcos y las Islas Marietas, siendo la primera de ellas la única región de protección de flora y fauna marina dentro de la Bahía de Banderas, decretada así en 1975 por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Industria y Comercio (Cupul 2001, 2002).

La variación anual de la temperatura del mar en esta zona (18 y 35°C) y la salinidad (32.7 y 37.1 ups) tienen una estrecha relación con eventos locales, tales como surgencias en el sur de la bahía provocadas por los vientos del noroeste, calentamiento superficial y la mezcla de zonas someras entre otros. La precipitación promedio anual oscila entre los 930.8 mm, a 1 668.0 mm, presentándose la máxima incidencia de lluvias en el mes de septiembre y la mínima en abril. El régimen de lluvias en verano es de carácter monzónico y tiene importancia

decisiva la presencia de huracanes durante los meses de julio a octubre.

Las recolectas de fitoplancton se realizaron en cuatro estaciones de muestreo indicadas en la Fig.1 y se situaron de sur a norte: a) E-1, en Los Arcos donde la profundidad alcanza varios cientos de metros debido al cañón submarino que atraviesa la bahía con una profundidad máxima de 1 400 m, en esta zona los procesos de surgencias resultan más intensos; b) las estaciones E-2 y E-3, ubicadas en áreas adyacentes a las desembocaduras de los ríos Cuale y Ameca los que descargan una gran cantidad de material terrestre en época de lluvias; c) la estación E-4 en el puerto pesquero de la Cruz de Huanacaxtle Nayarit que es una zona muy somera y de gran turbidez (Fig. 1; Mapa basado en INEGI Carta topográfica 1:250 000 Pto.Vallarta F13-11).

El período de muestreo abarcó desde el 30 de julio hasta el 12 diciembre del 2000, con

una frecuencia quincenal. Las visitas se diseñaron con el propósito de recolectar en las mismas estaciones durante mareas muertas y mareas vivas.

Para estimar la abundancia de células, se tomaron muestras de agua de mar con la ayuda de una botella Van Dorn de un litro de capacidad a 0, 3 y 5 metros de profundidad. Simultáneamente se determinó la temperatura de la columna de agua utilizando un termómetro de cubeta de 0.1°C de precisión y la salinidad con un refractómetro ATAGO S/Mill-E de 0-100 ‰ al 1 ‰ de precisión. Las muestras se preservaron con una solución de acetato lugol en una proporción de 1:100 de acuerdo a lo propuesto por Cortés (1998) y cuantificadas por el método del microscopio invertido (Hasle 1978). En total se analizaron 80 muestras que fueron homogeneizadas durante un minuto y sedimentadas 24 horas en cámaras Sedgewick Rafter con capacidad 1 ml marcadas en

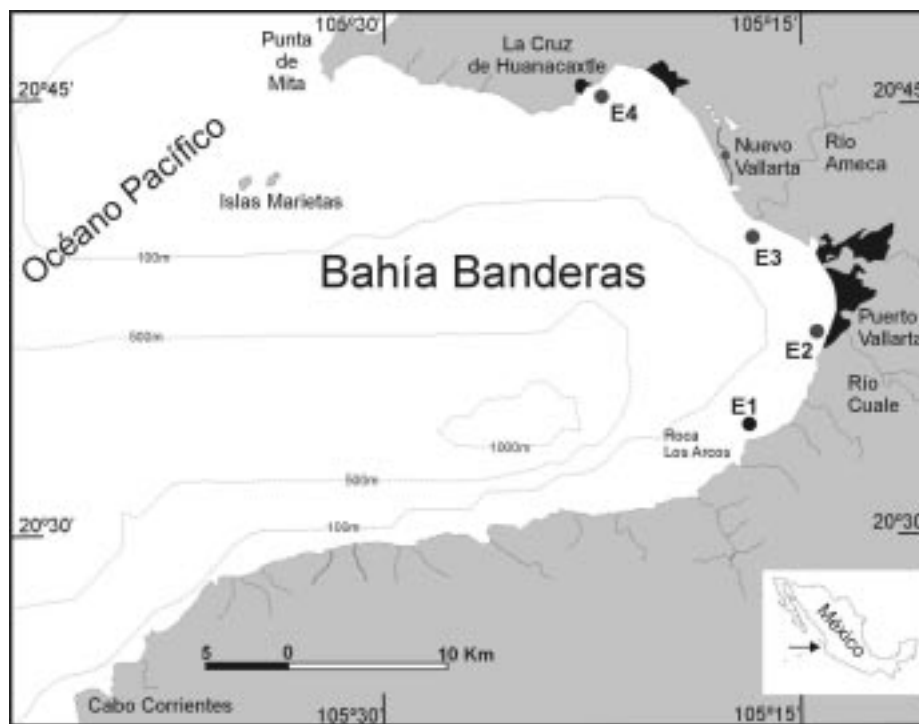


Fig. 1. Toponimia de la Bahía Banderas, Nay./Jal. con la ubicación de las estaciones de recolecta.

Fig. 1. Toponime of the Banderas Bay, Nay./Jal. with the location of the sampling stations.

recuadros de 1 mm² como marco de referencia. Se utilizó un fotomicroscopio compuesto Olympus CH30 con objetivos 20X y 40X. En algunas ocasiones fue posible recolectar muestras superficiales extra las cuales sirvieron para estimar la magnitud del evento en otras áreas de la bahía fuertemente afectadas. Se obtuvo microfotografías de los especímenes *in vivo*, para su correcta observación de microorganelos como cloroplastos, estigma y posición nuclear. En dos muestras del 5 de septiembre de Puerto Vallarta y 2 de octubre de Punta Mita se realizaron mediciones de largo y ancho en 119 células, por medio de un disco de whippel con 100 divisiones, acoplado a un ocular de 10X previamente calibrado mediante un portaobjetos con una microreglilla de precisión 0.01 mm.

RESULTADOS

Factores oceanográficos: En general durante el periodo de muestreo se observaron

grandes variaciones de temperatura en mareas muertas y mareas vivas (Fig. 2) con una tendencia a aumentar gradualmente en los meses cálidos de agosto-octubre alcanzando los 32°C. Las mínimas temperaturas se registraron en los meses de noviembre a diciembre con temperaturas de 25 a 26°C, observando similares tendencias en todas las estaciones de muestreo. Los valores de salinidad promedio se presentaron con un intervalo entre 30.66 a 35.33 ups y con una estructura en el tiempo muy variable (Fig. 3). Las salinidades más altas se observaron en la estación de Los Arcos (E-1) mientras que las mínimas se registraron al norte de la bahía.

El mes de mayor transparencia del agua en todas las estaciones de muestreo fue agosto para ambos periodos de marea (Fig. 4) destacando principalmente el área turística de Los Arcos (E-1).

Abundancia celular: Las densidades de *C. catenatum* se presentaron en un intervalo de 0 (no detectable) hasta 10 841 céls ml⁻¹

CUADRO 1

Temperatura, salinidad, transparencia e intervalo de la abundancia de Cochlodinium catenatum (cél/ml⁻¹) en las diferentes estaciones de muestreo en Bahía de Banderas

TABLE 1
Temperature, salinity and Secchi disc (m), Cochlodinium catenatum (cells ml⁻¹) abundance interval at the sampling stations in Banderas Bay

LOS ARCOS (E-1) Profundidad (mts.)	°C		UPS Promedio	Secchi (m)		(Céls ml ⁻¹)	
	Muertas	Vivas		Muertas	Vivas	Muertas	Vivas
Sup.	27-32	27-31	34 - 35.3	0.75 - 8	0.75 - 7.75	0 - 1 657	0 - 135
3	27-32	27-31	-	-	-	0 - 91	0 - 107
5	27-32	27-31	-	-	-	0 - 248	0 - 147
RIO CUALE (E-2)							
Sup.	27-32	27-31	33 - 35.33	1 - 8	1.25-10	0 - 65	0 - 171
3	27-32	27-31	-	-	-	0 - 137	4 - 138
5	27-32	27-31	-	-	-	0 - 347	0 - 32
RIO AMECA (E-3)							
Sup.	27-32	26-31	30.66-34	0.30-6	0.5-10	0 - 922	0 - 64
3	26-31	26-31	-	-	-	0 - 62	0 - 40
5	26-31	26-31	-	-	-	0 - 62	0 - 32
LA CRUZ DE H. (E-4)							
Sup.	28-32	27-31	34-35.33	0.5 - 5.25	0.5 - 7	0 - 10 841	0 - 2 039
3	27-32	27-31	-	-	-	0 - 53	0 - 1.438
5	26-32	27-31	-	-	-	0 - 107	0 - 348

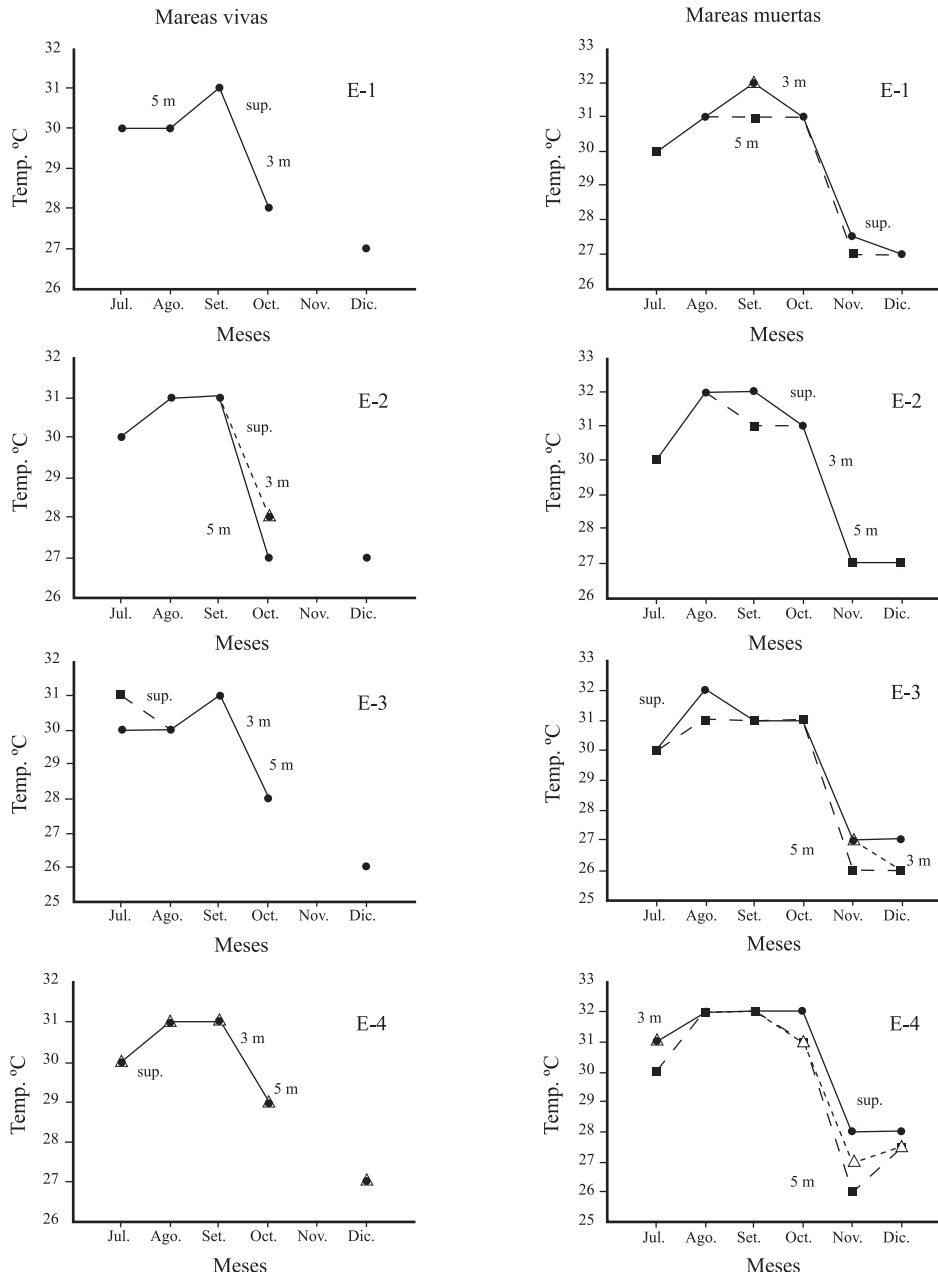


Fig. 2. Distribución de la temperatura (°C) durante mareas muertas y mareas vivas en Bahía de Banderas, México.

Fig. 2. Distribution of the temperature (°C) during dead tides and live tides at the Banderas Bay, Mexico.

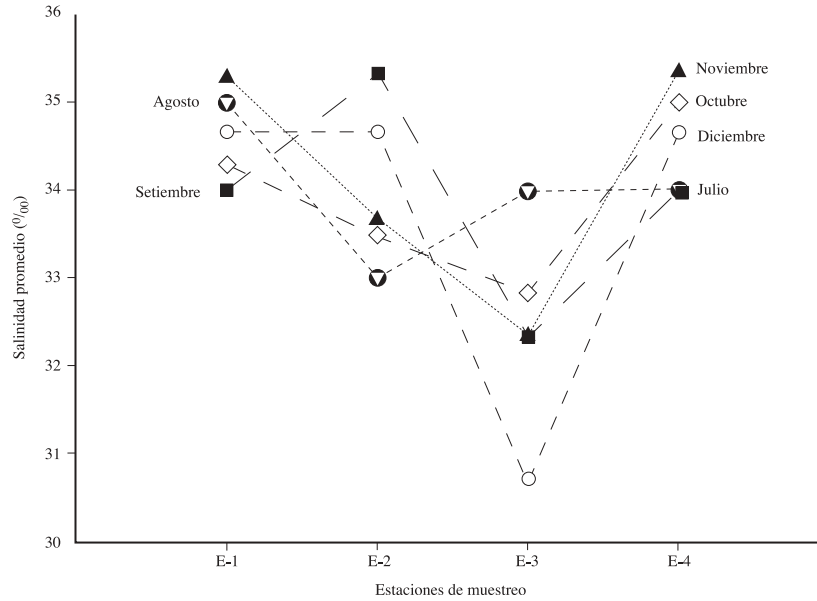


Fig. 3. Salinidad promedio en la Bahía de Banderas, México.

Fig. 3. Average salinity in the sampling stations at the Banderas Bay, Mexico.

(Cuadro 1). Sus mayores abundancias se localizaron en el mes de septiembre en la comunidad pesquera de la Cruz de Huanacastle (E-4) la cual se muestra en la Fig. 2 con un patrón de distribución muy variable y una tendencia a decrecer al entrar la época invernal. En cuanto a su distribución vertical, las mayores concentraciones de *C. catenatum* se observaron en la superficie tanto en mareas vivas como en mareas muertas (Fig. 5).

Mortandad de peces afectados por la marea roja: Los resultados mostraron un total de 13 especies diferentes de peces muertos en la orilla de la playa o muy cerca de las playas de la bahía a 10-20 m de la costa; las especies involucradas incluyen 10 a nivel de especie y 3 a nivel de familia siendo los más abundantes el tieso ecuatorial, tieso negro, sardinas y pargos (Cuadro 2). Unos cuantos peces fueron encontrados en el mes de julio durante los estados iniciales de la proliferación con un importante incremento de mediados de septiembre a mediados de octubre. La mayoría de los peces encontrados mostraron evidencias de grandes producciones de mucus. Para la descripción de

los hábitos alimenticios de las especies afectadas se consultó a Raymundo y Chiappa 2000, Amezcua 1996, Allen y Robertson 1998, De la Cruz 1997.

Análisis morfométrico de *C. catenatum*: Los resultados de las dimensiones del largo (long.) y transdiámetro (tdr.) indican una gran variación de acuerdo al número de células que presenta la colonia: 1, 2, 4, 8 y muy rara 16 células. En ellas se nota una disminución gradual de las dimensiones conforme la colonia presenta más células, es decir, las células únicas son mayores que las células de una colonia de 8 células (Cuadro 3), pero en todas las células siempre son más largas que anchas, dando un aspecto oval a la mayoría de ellas. Sin embargo, las colonias de cuatro en adelante presentan bien diferenciadas tres tipos de células: la inicial de tipo cónico, las intercalares isodiamétricas casi con el mismo largo que ancho y la célula final con el hipocono bilobulado.

Dada la gran variabilidad de las tallas se promediaron 119 datos que indican: longitud extrema 22.5-62.5 μm , media 33.1 μm , error típico 0.64, S 7.0, S² 49.0, CV 21.1% nivel de

CUADRO 2
Peces afectados por *Cochlodinium catenatum* en Bahía de Banderas

TABLE 2
Fishes affected by *Cochlodinium catenatum* at the Banderas Bay

Nombre científico	Nombre común	Hábitos alim.	Abun. rel.
1. <i>Canthigaster punctatissima</i> Gunther 1870	Botete	Invertebrados	*
2. <i>Diodon holocantus</i> Linnaeus 1758	Pez erizo, pez globo	Moluscos	**
3. <i>Apterchus equatorialis</i> Myers & Wade 1941	Tieso ecuatorial	Peces y crustáceos	***
4. <i>Letharchus rosenblatii</i> McCosker 1974	Tieso negro	Peces y crustáceos	***
5. <i>Chaetodon humeralis</i> Gunther 1860	Mariposa de tres bandas	Invertebrados	*
6. <i>Astroscopeus zephyreus</i> (Gilbert & Starks, 1896).	Miracielos, pejesapo	Peces	*
7. <i>Balistes polylepis</i> Steindachner 1876	Bota, cochito, pez puerco	Moluscos y crustáceos	**
8. Familia Bothidae	Lenguado, platija, plato	Peces y crustáceos	*
9. Familia Cupeidae	Sardinias	Planctofago	***
10. Familia Haemulidae	Pargos	Invertebrados y plancton.	***
11. <i>Muraena argus</i> Steindachner, Ichth. Notizen 1870	Morena moteada	Peces y macro crustáceos	*
12. <i>Cirrihus rivulatus</i> Valenciennes 1855	Chino mero	Peces y crustáceos	*
13. <i>Holocantus passer</i> Valenciennes 1855	Angel real	Invertebrados	*

Abundancia relativa: *poco, **regular y ***mucho

CUADRO 3
Tallas promedio de *Cochlodinium catenatum* (μm) de dos lugares de Bahía de Banderas, México

TABLE 3
Average size of *Cochlodinium catenatum* (μm) in two places at the Banderas Bay, México

Localidad	Pta. Mita	2-oct-00	Pto. Vallarta	5-sept-00
	Long.	Tdr.	Long.	Tdr.
1 célula (7)*	36.0	28.5	41.2	31.2
2 células (22)	32.8	30.1	41	36.9
4 células (11)	28.6	27.6	34.8	32.8
8 células (3)	no hubo	no hubo	26.4	27.8
Total	31.3	28.8	34.3	32.5
			planocigoto (7)	45.4

*Los números en paréntesis son los especímenes analizados.

confianza (95%) 1.27, n=119. Transdiámetro extremo 22.5-62.5 μm , media 31.1 μm , error típico 0.54, S 5.9, S² 34.3, CV 18.9%, nivel de confianza (95%), n=119 long/tdr=1.06.

DISCUSIÓN

La multiplicación anormal de este dinoflagelado se presentó en un intervalo de temperatura

entre 25 y 32°C y salinidades de 33-35 ups. En general se registraron grandes variaciones temporales de salinidad y temperatura, observándose similares tendencias en todas las estaciones de muestreo. Estos cambios bruscos en las características oceanográficas denotan una gran hidrodinámica, explicada por la gran complejidad de este sistema costero del estado de Jalisco, en el cual la acción de los ríos Ameca y Cuale juegan un rol fundamental.

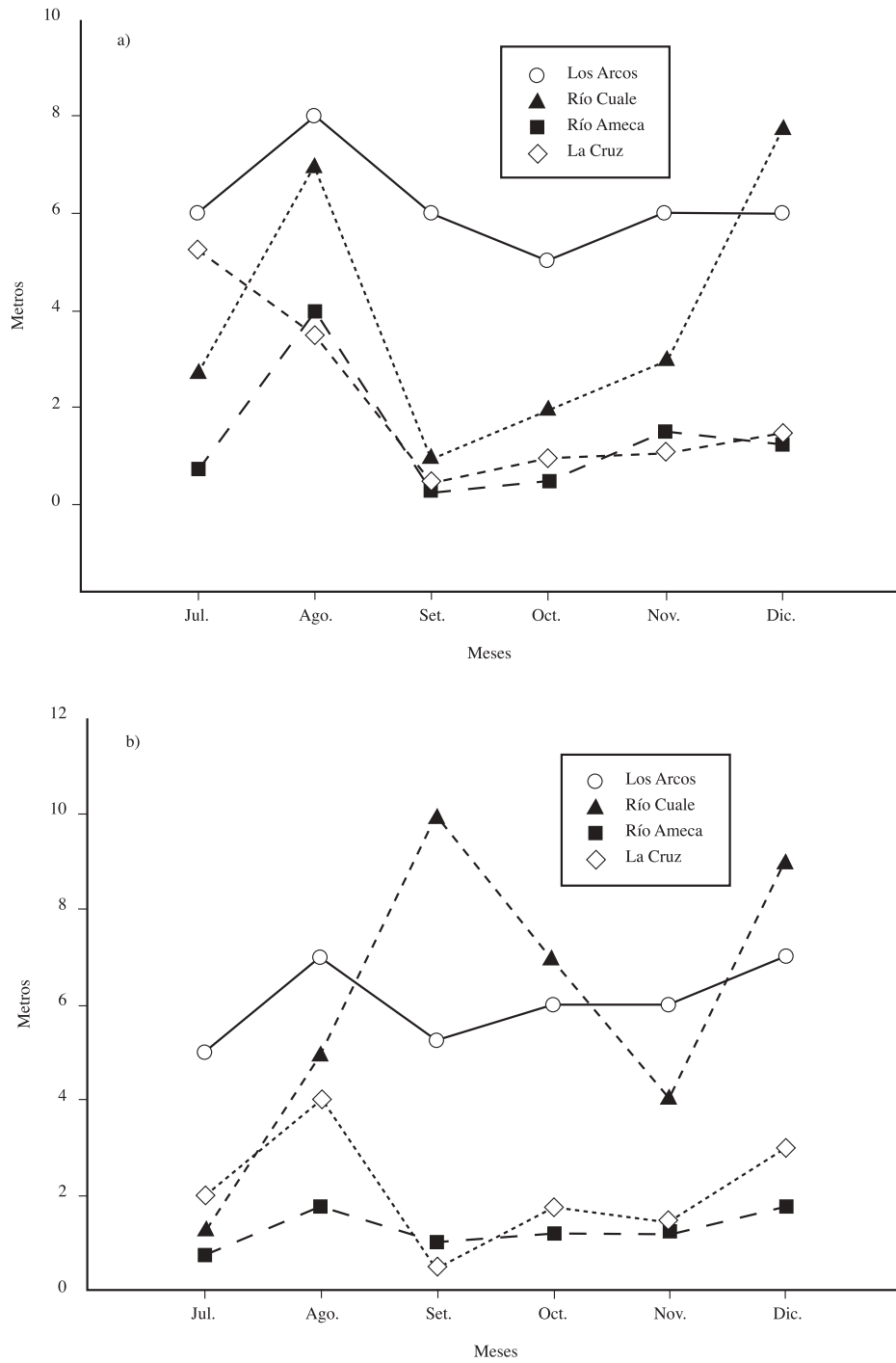


Fig. 4. Distribución de la transparencia del agua (m) durante mareas muertas (a) y mareas vivas (b) en Bahía de Banderas, México.

Fig. 4. Distribution of water transparency (m) during dead tides (a) and live tides (b) at the Banderas Bay, Mexico.

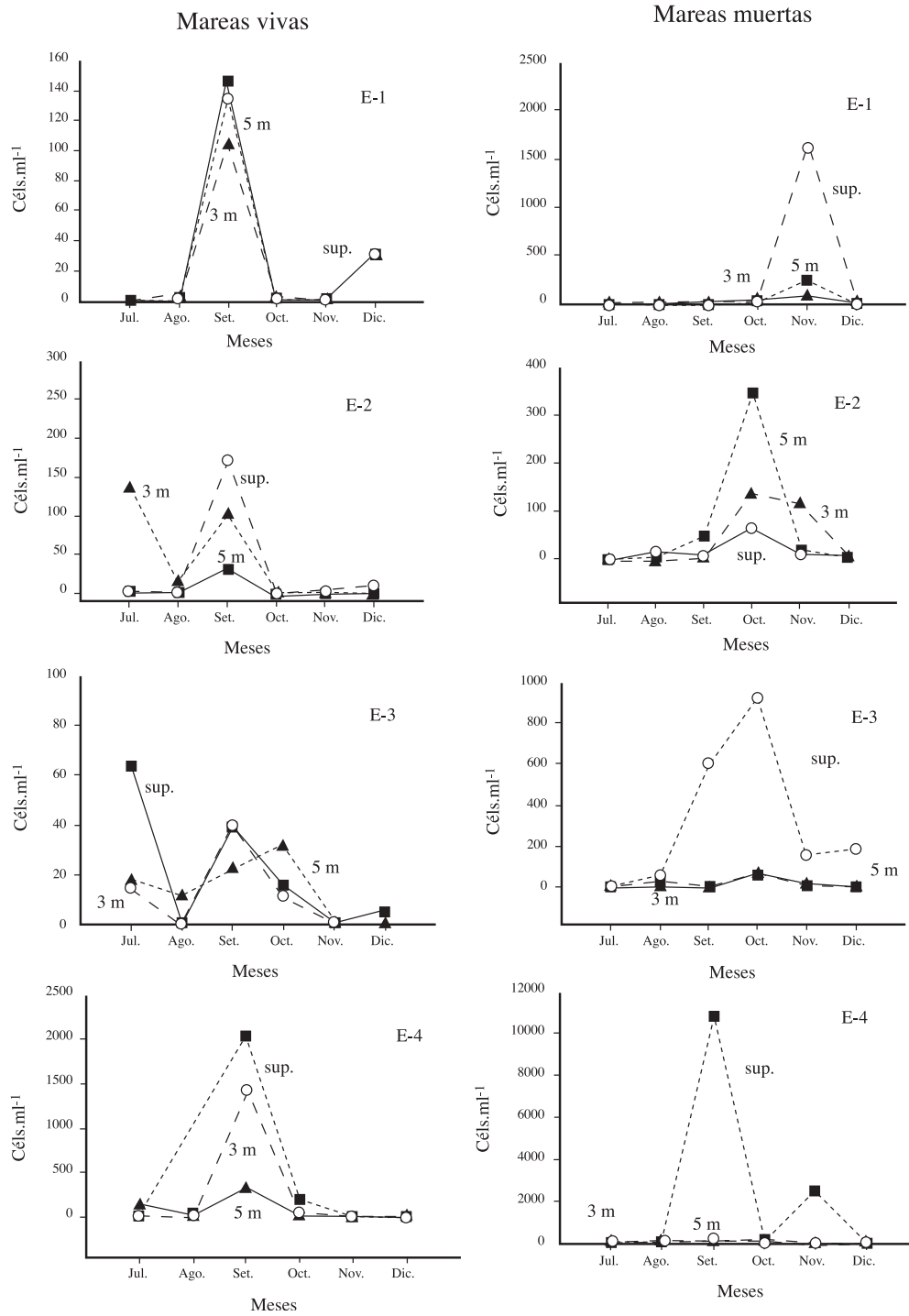


Fig. 5. Abundancia (cél^s.ml⁻¹) de *C. catenatum* durante mareas muertas (a) y mareas vivas (b) en Bahía de Banderas, México.

Fig. 5. Abundance (cells ml⁻¹) of *C. catenatum* during dead tides (a) and live tides (b) at the Banderas Bay, México.

Con base en las lecturas del disco de Secchi se podría dividir la Bahía de Banderas en dos: a) zona norte, somera, caracterizada por una baja visibilidad y b) una zona sur más profunda caracterizada por una alta visibilidad. Es de esperarse que debido al gran aporte de material terrígeno y mayor productividad orgánica, la visibilidad sea mucho menor en las zonas adyacentes a las desembocaduras de los ríos.

Las grandes abundancias registradas particularmente en el puerto pesquero de la Cruz de Huanacaxtle Nayarit podrían indicar que *C. catenatum* estuvo mejor adaptado a esta zona caracterizada por bajas intensidades de luz y aporte de nutrientes del Río Ameca en ésta zona. Los cambios bruscos en la abundancia tanto en mareas vivas como en muertas podrían explicarse como resultado de diferentes inóculos de dinoquiste provenientes del fondo, además del desarrollo en el habitat adecuado y de la concentración que ejercen las corrientes convectivas o de concentración de acuerdo a la dinámica propuesta por Steidinger (1983). En tal sentido, las altas concentraciones a 3 y 5 metros de profundidad se deben posiblemente a la propiedad que tiene *C. catenatum* de flocularse y hundirse rápidamente hasta el fondo de la columna de agua evitando así la fotoinhibición superficial. Los picos de abundancia máximos en septiembre en la Cruz de Huanacaxtle (E-4), en octubre para Río Cuale (E-2) y Río Ameca (E-3), y noviembre en la zona de Los Arcos (E-1), podrían indicar que la discoloración de mayor concentración tardó dos meses en desplazarse de la zona norte a la zona sur de la bahía hasta diluirse. Futuras investigaciones de las velocidades y dirección de las corrientes litorales en la bahía podrán o no, comprobar este transporte.

Es importante mencionar que el color rojo-óxido del agua del mar en la Bahía de Banderas fue muy notable e intenso a manera de discoloraciones de 2-4 kilómetros de longitud, hasta mayores de 7 a 9 kilómetros de extensión. Aunque el fenómeno afectó significativamente un gran número de playas de gran atractivo turístico por la presencia de abundante espuma que disminuyó la calidad del agua

de mar, no hubo ningún caso de intoxicación o hiperpigmentación en la población humana.

Existen algunos estudios que relacionan los eventos de mareas rojas con la alternancia de mareas muertas y vivas (Balch 1986) sin embargo, nuestros resultados no reflejaron un patrón definido entre los dos periodos de marea, posiblemente debido a la gran complejidad hidrodinámica de Bahía de Banderas.

En este trabajo se observaron densidades $> 10\ 000$ céls ml^{-1} , por lo que se considera que está localidad fue la más afectada cuando se compara con el puerto interior de la Bahía de Manzanillo Colima, donde se estimaron máximos de 4 000 céls ml^{-1} (Morales Blake *et al.* 2000, Figueroa y Zepeda 2001), en la Bahía de Mazatlán presentaron 3 512 céls ml^{-1} (Cortés y Gómez 2001) y en la Ensenada de La Paz Baja California Sur con 7 050 céls ml^{-1} (Gárate *et al.* 2001) de *C. catenatum*, aunque todos ellos lo identifican como *C. polykrikoides*, a excepción de Mazatlán.

Es importante no pasar desapercibidas las abundancias registradas en la localidad ya que algunos datos de campo en combinación con pruebas de laboratorio han demostrado que densidades letales de *Cochlodinium* spp. se presentan a partir de 1 000 céls ml^{-1} en aguas costeras de Corea, llegando a afectar grandes áreas de cultivo de peces particularmente en verano desde 1995 con pérdidas de 95 millones de dólares (Hank com. pers.) lo cual denota el gran impacto que pueden llegar a tener estos fenómenos.

En contraste en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, se han determinado máximos de 80 000 céls ml^{-1} hasta hoy el más abundante registrado en el mundo (Hargraves y Viquez 1981).

Aunque se han propuesto varias hipótesis para explicar la muerte masiva de los peces por *Cochlodinium* spp., en este trabajo se sugieren dos explicaciones: a) que la mortandad de peces se debió a sofocación por una secreción anormal de mucus y b) a la excesiva cobertura de dinoflagelados en la superficie de las agallas, como lo han propuesto Chang *et al.* (1999), Hallegraef (1992) y Lee (1996). Por otro lado, la

gran mayoría de los peces afectados se encuentran usualmente en profundidades someras y son de hábitats de áreas muy restringidos. Esto podría explicar por que los peces fueron altamente vulnerables a la migración vertical de *C. catenatum* dentro de la columna de agua y a sus concentraciones.

Es interesante notar que a pesar de que en las muestras de *C. catenatum* no se ha confirmado la presencia de ficotoxinas PSP y DSP, Onoue *et al.* (1985) y Onoue y Nozawa (1989a) sugieren que *Cochlodinium* spp. podrían secretar sustancias neurotóxicas, hemolíticas y hemaglutinantes, al igual que dos toxinas del grupo de las PSP. Por otro lado, es importante considerar la hipótesis de Chang *et al.* (1999) para explicar la mortandad de peces, en donde *Cochlodinium* spp. son caracterizados como organismos ROS generadores de radicales O₂ tales como aniones de superóxidos (O₂⁻), hidroxilos (OH) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂). Tales compuestos causan daños oxidativos a nivel de funcionamiento y estructura de las células de las agallas, reduciendo la capacidad para la transferencia de oxígeno.

Según Anderson (com. pers.) en la mayoría de los casos de muerte masiva de peces, la calidad de la carne se deteriora rápidamente por lo que no se recomienda la venta ni el consumo debido al grado de descomposición de los peces. Se menciona que países con industrias de maricultivo a gran escala como Japón, Noruega o Corea, tienen severas prohibiciones en este rubro. Sin embargo en muchos otros lugares como Noruega y British Columbia estos peces son utilizados como alimento para animales en las granjas de mink.

En cuanto a las características morfométricas las mediciones coinciden con todas las tallas registradas por los diferentes autores, tanto para *C. catenatum* como para *C. polykrikoides*, inclusive la medición más grande registrada por Margalef (1961) y también para *C. heterolobatum* según Silva (1967). Por lo tanto las dimensiones se traslapan en las consideradas diferentes especies, por lo cual no es significativo como carácter diferenciador. En mediciones de *Cochlodinium* de Colima se ob-

tuvo un CV=2.91% para la long. y CV= 0.03% de tdr., que son muy pequeños (Figuroa y Zepeda 2001) debido a que hicieron muy pocas mediciones o hubo una selectividad de un sólo tipo de colonia en las células medidas, por lo cual no es confiable como indicador ya que la variación es muy grande como se comprueba en los CV de dos dígitos obtenidos en este estudio. Inclusive hay notables diferencias y muy marcadas en las dimensiones de los especímenes de Bahía de Banderas, ya que la población de Puerto Vallarta (E-2) resulto mayor de 5 a 8 µm de long. y 2 a 6 µm de tdr. que los especímenes de Punta Mita, esto posiblemente sea resultado de su crecimiento en condiciones ambientales más óptimas. Sin embargo, en la misma población encontramos cadenas de 4 células chicas y otras más grandes. Esto hace reflexionar que las dimensiones de la talla no solamente obedecen al espectro trófico y ambiental, sino también va a depender de la reproducción, ya que las células más grandes sugieren una fusión celular para llegar a formar un planocigoto. Por esta evidencia, es factible que este dinoflagelado presente un ciclo reproductivo hologámico y heterotálico muy semejante al determinado por investigadores australianos con *G. catenatum* (Blackburn *et al.* 1989). No solamente se observan en células aisladas más grandes, sino también de colonias de 2 o 4 células con dimensiones que recuerdan la fusión de dos cadenas.

Las características morfológicas de epicorno asimétrico, núcleo anterior y dorsal, estigma anterior y dorsal, muchos cloroplastos en forma de barra de color verde-amarillento y gran cantidad de pequeñas gotas aceitosas de color verde-azulado de *C. heterolobatum* y *C. polykrikoides* no difieren con los encontrados en nuestros especímenes (Fig. 6) y por lo tanto son sinónimos de *C. catenatum*, es decir, son una única especie y por prioridad de autor la tutoría corresponde más a Okamura (1916) que las posteriores descripciones de Margalef (1961) realizada de forma preliminar y sin exactitud de las dimensiones y la de Silva (1967), corroborando lo ya expuesto para las tres especies por Hergraves y Viquez (1981).

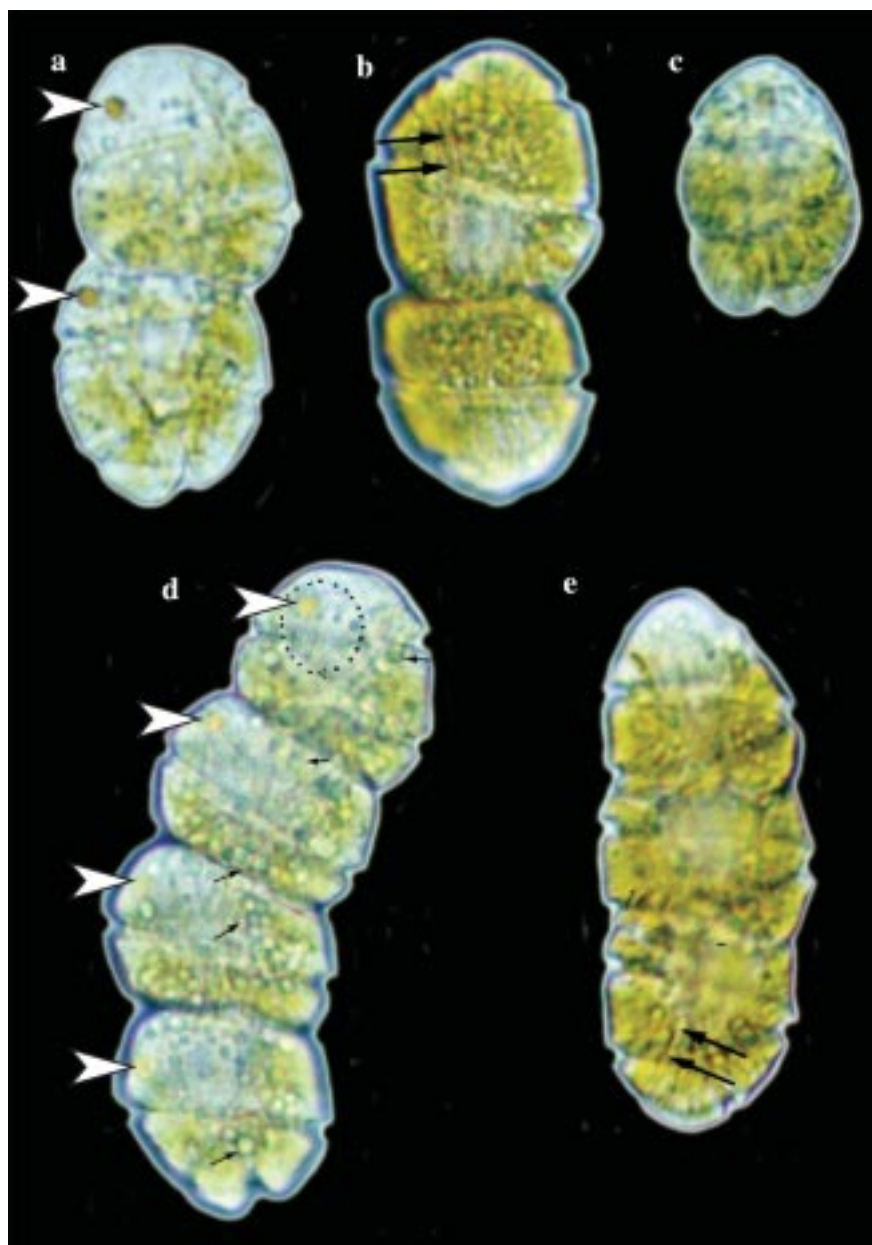


Fig. 6. Características morfológicas de *C. catenatum*. a-b) colonia de dos células mostrando el estigma (puntas de flecha) y los cloroplastos en forma de barra (flechas paralelas), en esta última la célula inicial es menor que la final. c) Célula aislada mostrando su forma típica oval y cuyo giro del cíngulo es mayor que en las células de las colonias. d-e) Colonia de cuatro células mostrando estigmas, múltiples y pequeños cuerpos verde-azules (flechas pequeñas) y posición dorso-anterior del núcleo, resaltado en la primera célula por contorno punteado.

Fig. 6. Morphological characteristics of *C. catenatum*. a-b) colony of two cells showing the stigma (arrow heads) and bar shaped chloroplast (parallel arrow) in the latter the initial cell is smaller than the final. c) Isolated cell showing the typical oval shape with a cingulum turn greater than the one in cells of colonies. d-e) Colony of four cells showing multiple stigmas and small green-blueish bodies (small arrows) and dorsal-anterior position of the nucleus, remarked in the first cell by a pointed contour.

En conclusión, la Bahía de Banderas ya presenta su primer dinoflagelado ictiotóxico: *C. catenatum*, distribuido en toda el área, llegando hasta La Paz B.C.S y Mazatlán Sinaloa más al norte, donde en algunos lugares alcanzó abundancias muy grandes durante el verano, con máximos en septiembre. Debido a que no se había registrado su presencia con anterioridad, aunque se han efectuado muestreos continuos en 1990-1991 en el área de estudio (Bravo 1998) y desde hace 22 años en el área de Mazatlán, Sinaloa (Cortés *et al.* 1999), de 1984-1986 en la laguna Magdalena-Almejas en B.C.S. (Gárate y Siqueiros 1998) y de todo el Golfo de California (Licea *et al.* 1995).

Además, es interesante notar que los registros de quistes del Golfo de California no confirman su presencia (Martínez y Hernández 1991), por consiguiente suponemos que esta especie es de reciente introducción en el Pacífico mexicano. Estudios sobre su toxicología deberán realizarse por el impacto que pueden tener en la economía de la región ya que han sido asociados a mortandad de organismos marinos y por el deterioro en las playas a causa de la abundante espuma que producen. Estas playas son el punto focal para la recreación costera y el turismo.

La mortandad de peces es un serio problema por la paralización temporal de la actividad pesquera con las respectivas consecuencias económicas y sociales para las comunidades asentadas a lo largo del litoral de la bahía. La presencia de *C. catenatum* puede también tener interesantes implicaciones a nivel ecológico cuando el ecosistema natural se ve alterado al generarse condiciones de anoxia.

Con base en las abundancias de *C. catenatum* en este severo evento se sugiere que la porción somera del norte, podría ser el área de mayor incidencia y de generación de las proliferaciones algales debido a sus condiciones oceanográficas particulares. El efecto de la mezcla vertical en la columna de agua en cada ciclo de marea y las significativas descargas del Río Ameca acarrear a esta zona masas de agua ricas en nutrientes, los cuales quedan a disposición de las microalgas favoreciendo su proliferación.

Aunado a lo anterior, es muy importante considerar en estudios subsecuentes otros procesos oceanográficos (locales y regionales) y la situación meteorológica, para definir la ocurrencia estacional de las proliferaciones algales. Existe la posibilidad de que *C. catenatum* pueda volverse recurrente en eventos anuales en la Bahía de Banderas, ya que presenta dinocistes de reposo que sirven de inóculo en nuevas áreas para iniciar la proliferación de las formas vegetativas haploides. Se recomienda intensificar los monitoreos a lo largo de la costa para detectar zonas y estaciones de ocurrencia con el objetivo de desarrollar medidas para minimizar el daño al ambiente, la economía y la salud pública.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo financiero del Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara. Se agradece de manera muy especial a Amílcar Leví Cupul Magaña, Jefe del Departamento de Ciencias, ya que sin su interés y apoyo difícilmente un proyecto como este hubiera fructificado. Al Sector Naval de Puerto Vallarta Jalisco por su valiosa colaboración durante los muestreos, en la persona de Luis Vidal Rodríguez Nava. A Kim Hak Gyoon de la División de Biología de las Algas Tóxicas en Pusan, Korea, y a Donald M. Anderson del Departamento de Biología del Instituto Oceanográfico de Woods Hole por sus comentarios y sugerencias.

RESUMEN

Se describe la evolución de una proliferación algal ictiotóxica (julio a diciembre del 2000) causada por el dinoflagelado *Cochlodinium catenatum*. La multiplicación anormal de este dinoflagelado se presentó a manera de decoloraciones dispersas dentro de un intervalo de temperatura de 25-32°C y salinidades de 33-35 ups. La densidad de *C. catenatum* fue desde no detectable hasta 10 841 céls ml⁻¹. El evento se presentó en grandes extensiones en la Bahía de Banderas, afectando a 13 especies de peces, cuya muerte masiva se debió a sofocación por la obstrucción en las agallas y por excesiva producción de mucus. La población

humana aledaña no presentó afecciones respiratorias ni irritaciones en la piel. Las dimensiones de *C. catenatum* sugieren que pueda presentar una reproducción hologámica y heterotálica. Por sus características morfológicas se sugiere que *C. polykrikoides*, *C. heterolobatum* y *C. catenatum* son una única especie. Esta última parece de reciente introducción en el Pacífico mexicano.

REFERENCIAS

- Amezcuca Linares, F. 1996. Peces Demersales de la Plataforma Continental del Pacífico Central de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Allen, A. & R. Robertson. 1998. Peces del Pacífico Oriental Tropical. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Agrupación Sierra Madre, S.C.
- Badán, A. 1997. La Corriente de Costa Rica en el Pacífico Mexicano, pp. 99-112. In M.F. Lavín. (ed.). Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana.
- Balch, W.M. 1986. Are Red Tides Correlated to Spring-Neap Tidal Mixing? Use of a Historical Record to Test Mechanisms Responsible for Dinoflagellate Blooms, pp. 193-213. In J. Bowman, M. Yentsch & W.E. Peterson (eds.). Tidal Mixing and Plankton Dynamics. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, vol.17, Springer-Verlag, Berlin.
- Blackburn, S.I., G.M. Hallegraeff & C.J. Bolch. 1989. Vegetative reproduction and sexual life cycle of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* Graham. J. Phycol. 25: 577-590.
- Bravo Sierra, E. 1998. Composición del Fitoplancton de red en Bahía de Banderas, México, 1990-91. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos). Facultad de Ciencias, UNAM. 142 p.
- Carrquiry, J.D. & H. Reyes Bonilla. 1997. Community Structure and Geographic Distribution of the Coral Reefs of Nayarit, Mexican Pacific. Cien. Mar. 23: 227-248.
- Chang Sook, K., S.G. Lee, C.K. Lee, H.G. Kim & J. Jung. 1999. Reactive Oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. J. Plankton Res. 21(11): 2105-2115.
- Cortés Altamirano R., R. Alonso-Rodríguez & I. Peña-Ramírez. 1996. Composición, abundancia y tasa promedio de crecimiento diario de una marea roja debida a *Mesodinium rubrum* (Protozoa: Ciliata) en Bahía de Banderas, México. Rev. Biol. Trop. 44(3)/45(1): 675-690.
- Cortés Altamirano, R. & R. Soria Luna. 1998. Las Mareas Rojas, AGT, México, D.F., México.
- Cortés Altamirano, R., S. Licea D. & S. Gómez A. 1999. Evidencias de aumento de microalgas nocivas en la bahía de Mazatlán, Sin., México, pp. 343-345. In A.A.E. Tre-sierra & Z.G. Culquichicón M. (eds.). Memorias VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. Universidad de Trujillo, COLACMAR, Perú.
- Cortés Lara, M.C., M.C. Gómez-Villarreal & R. Cortés-Altamirano. 2001. Mortandad de peces debido a *Cochlodinium catenatum* (Okamura, 1916) en Bahía de Banderas Jalisco-Nayarit. Resúmenes del VIII Congreso de la Asociación de Investigadores del Mar de Cortés A.C. y II Simposium Internacional Sobre el Mar de Cortés. Mayo 29-Junio 1 del 2001, Ensenada Baja California, México.
- Cupul Magaña, F.G. 2001-2002. Bahía de Banderas: un escaparate para la contemplación de las aves. Rev. Mex. 3(1-2): 45-58.
- De la Cruz Aguero, J. 1997. Catálogo de los Peces Marinos de Baja California Sur. IPN-CICIMAR.
- Figueroa Torres, M.G. & M.A. Zepeda-Esquivel. 2001. Mareas rojas del Puerto Interior, Colima, México. Sci. Nat. 3(2): 39-52.
- Gárate Lizárraga, I. & D.A. Siqueiros Beltrones. 1998. Time variation in phytoplankton assemblages in a subtropical lagoon system after the 1982-83 "El Niño" event (1984 to 1986). Pacific Sci. 52(1):79-97.
- Gárate Lizárraga, I., J.J. Bustillos-Guzmán, L. Morquecho & C. Lechuga-Déveze. 2001. First Outbreak of *Cochlodinium polykrikoides* in the Gulf of California. Harmful Algae News, IOC-UNESCO 21: 7.
- Gómez Aguirre, S. 1998. Red tide occurrences recorded in Mexico from 1980 to 1992. An. Inst. Biol., UNAM, Ser. Zool. 69(1): 13-22.
- Hasle, G.R. 1978. Using the inverted microscope. pp. 191-196. In Sournia, A. (eds.). Phytoplankton Manual. UNESCO. Paris.
- Hallegraeff, G.M. 1992. Harmful Algal Blooms in the Australian region. Mar. Pollut. Bull. 25: 186-190.
- Hargraves, P.E. & R. Viquez. 1981. The Dinoflagellate red tide in Golfo de Nicoya, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 29(1): 31-38.

- Lee, J.S. 1996. Bioactive components from red tide plankton *Cochlodinium polykryoides*. J. Korean Fish. Soc. 29: 165-173.
- Licea Duran, S., J.L. Moreno, H. Santoyo & G. Figueroa. 1995. Dinoflagelados del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California, SEP-FO-MEX. 165 p.
- Martínez Hernández, E. & H.E. Hernández Campos. 1991. Distribución de quistes de dinoflagelados y acritarcas en sedimentos holocénicos del Golfo de California. Paleontología Mexicana 57, Instituto de Geología, UNAM. 133 p.
- Margalef, R. 1961. Hidrografía y fitoplancton de una área marina de la costa meridional de Puerto Rico. Inv. Pesq. 18: 76-78.
- 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., D. Hernández Becerril & C. Cavazos-Guerra. 2000. Registros de Mareas Rojas en las bahías de Manzanillo Colima, México, pp. 81-82. In E. Ríos-Jara, E. Juárez Carrillo, M. Pérez Peña, E. López Uriarte, E.G. Robles Jarero, D.U. Hernández Becerril & M. Silva-Briano (eds.). Estudios sobre plancton en México y el Caribe. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara.
- Onoue, Y., K. Nozawa, K. Kumanda, K. Takeda & T. Aramaki. 1985. Toxicity of *Cochlodinium polykryoides* type '78 Yatsushiro occurring in Yatsushiro Sea. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 51: 147.
- Onoue, Y. & K. Nozawa. 1989. Separation of toxins from harmful red tides occurring along the coast of Kagoshima prefecture, pp. 371-374. In T. Okaichi, D.M. Anderson & T. Nemoto (eds.). Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology. Elsevier, New York.
- Raymundo Hizar, A. & F.X. Chiappa Carrara. 2000. Hábitos alimenticios de *Diodon histrix* y *Diodon holocantus* (Pices: Diodontidae), en las costas de Jalisco y Colima, México. Bol. Inform. Centro Inv. Biol. 34(2): 81-304.
- Reyes Vásquez, G., E. Ferraz-Reyes & E. Vasquez. 1979. Toxic dinoflagellate blooms in northeastern Venezuela during 1977, pp. 191-194 In Taylor & Selinger (eds.). Toxic Dinoflagellate Blooms. Elsevier North Holland.
- Silva, E.S. 1967. *Cochlodinium heterolobatum* n. sp.: structure and some cytophysiological aspects. J. Protozool. 14(4): 745-754.
- 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 Science Publishers B. V.
- Viquez, R. & P.E. Hargraves. 1995. Annual cycle of potentially harmful dinoflagellates in the Gulf de Nicoya, Costa Rica. Bull. Mar. Sci. 57(2): 467-475.

