

Katzir G., 1997. Birds vs fish: environmental constraints on perception and information exchange. *Advances in Ethology* 32. Contributions to the XXV International Ethological Conference, Blakwell Wissenschafts. Verlag 33s:24 Vienna.

Krebs Ch., 1978. *Ecology*. Harper International Edition, New York.

Krivian V., 1977. Dynamic ideal free distribution: effects on optimal patch choice on predator-prey dynamics. *The American Naturalist* 149(1):164-177.

Lomnicki A., 1988. *Population Ecology of Individuals*. Princeton University Press, Princeton.

Moody A., A. Houston, and J. McNamara, 1996. Ideal free distributions under predation risk. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 38:131-143.

Sokal R., and F. Rohlf, 1995. *Biometry*. 3rd de. W.H. Freeman and Company, New York.

Sutherland W., 1983. Aggregation and the ideal free distribution. *Journal of Animal Ecology* 52:821-828.

Tregenza T., G. Parker, and D. Thompson, 1996. Interference and the ideal free distribution: models and tests. *Behavioral Ecology* 7(4):379-386.

Willard D., 1977. The feeding ecology and behavior of five species of herons in southeastern New Jersey. *The Condor* 79:462-470.

Abundancia anual de *Gymnodinium catenatum* Graham dinoflagelado tóxico de la costa Este del Golfo de California.

Roberto Cortés-Altamirano *

A. Nuñez-Pasten*

N. Pasten-Miranda **

Gymnodinium catenatum Graham 1943, es el único dinoflagelado desnudo que produce toxina del tipo PSP (paralytic shellfish poisons), se distingue de otros por su hábito de producir cadenas de individuos, generalmente de 4, 8 y 16 células y en ocasiones de 64 células (Taylor, Fukuyo y Larsen, 1995). En México, ha sido responsable de formar mareas rojas tóxicas durante 10 ocasiones en la bahía de Mazatlán (Cortés-Altamirano, 1998a) en algunas con mortalidades de peces y fallecimientos de humanos (Mee *et al*, 1986; Cortés-Altamirano y Alonso-Rodríguez, 1997). Aunque se conoce bien a la especie por su ciclo de vida hologámica y heterotámica, reproducida en cultivos y descrito por Blackburn *et al*. (1989), aún se desconoce la variación de su abundancia natural a lo largo del año. Este estudio se aboca a resolver este problema presentando cuatro ciclos en dos localidades geográficas de la costa pacífica mexicana, en la Bahía de Mazatlán durante los años de 1980, 81 y 97 y uno en puerto Libertad, Sonora en 1981, tres de estos ciclos anuales, son históricos y uno más reciente con la finalidad de encontrar cambios sustanciales. Teniendo como hipótesis que la abundancia de *G. catenatum* ha aumentado en años recientes y esto representa un riesgo potencial de intoxicaciones para peces y humanos.

Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a la bahía de puerto Libertad, Sonora, ubicada entre las coordenadas geográficas 29°52'30" y 29° 55' de latitud norte y 112° 40' y 112° 43' de longitud oeste. El clima de la región según García (1973) es del tipo BW (h') (hw'') (x') (e'), es decir, un clima ári-

* Estación Mazatlán, ICMYL-UNAM, Sinaloa, México.

** Unidad Experimental Bahía Kino, DICTUS, Universidad de Sonora, Bahía Kino, Sonora.

do o muy seco con régimen de lluvias repartido a través del año. La figura 1A muestra la ubicación de las seis estaciones de colecta a 0, 1, 5 y 10 m de profundidad, con 19 colectas. La segunda área es la bahía de Mazatlán (Fig. 1B), Sinaloa, cuyas coordenadas son $23^{\circ}15'$ y $23^{\circ}11'$ de latitud norte y los $106^{\circ}29'$ y $106^{\circ}25'$ de longitud oeste. El clima de la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano del tipo Awo (w) (e), sin clara distinción entre las estaciones del año. Las colectas se realizaron en 5 estaciones a 0, 1, 3 y 5 m de profundidad, con 24 colectas. En el ciclo de 1997 en la misma área, se realizaron 31 colectas.

Las muestras se obtuvieron por medio de una botella van Dorn de 6 litros de capacidad, fijando la muestra de 250 ml con una solución de acetatolugol al 1:100ml. La identificación de *G. catenatum* y *Gyrodinium impudicum* se basó en Blackburn *et al.* (1989); Cortés *et al.* (1998b) y Fraga *et al.* (1995) respectivamente, se realizó tanto en especímenes *in vivo*, como en microfotografías de luz y del microscopio electrónico de barrido (Fig. 2). Para el análisis cuantitativo se siguió el método del microscopio de objetivos invertidos en contraste de fase (Hasle, 1978), en cuatro transectos diametrales de $250 \mu\text{m}$ de ancho utilizando cá-

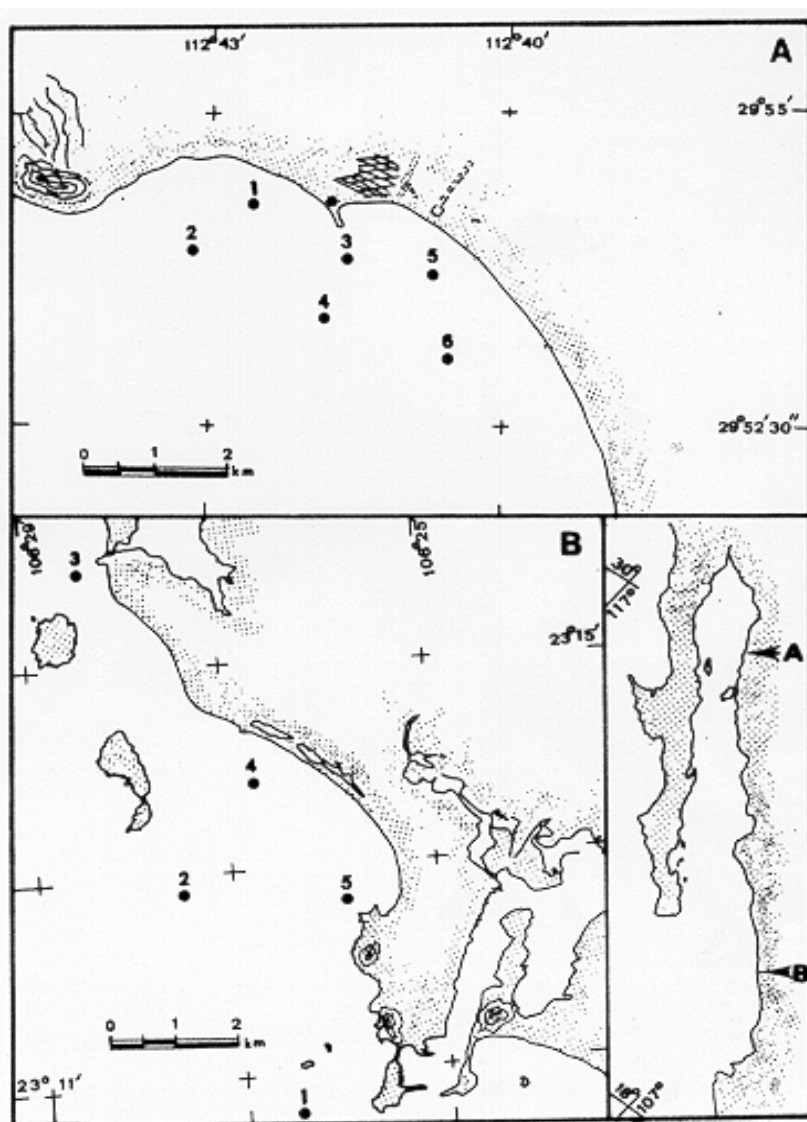


FIG. MAPA MOSTRANDO EL GOLFO DE CALIFORNIA MOSTRANDO LA UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO. A) BAHÍA DE PUERTO LIBERTAD CON LA LOCALIZACIÓN DE SEIS ESTACIONES DE COLECTA. B) BAHÍA DE MAZATLÁN CON LA LOCALIZACIÓN DE CINCO ESTACIONES DE COLECTA.

maras tubulares de 10 ml. Los conteos de 1997 fueron leídos con un disco de whippel marcado en cuadrantes de $114.2 \times 114.2 \mu\text{m}$, acoplado al ocular tipo Kpl 12.5x en objetivo de 10x. Todos los datos de abundancia son promedios de la columna de agua. La temperatura fue medida *in situ* con un termómetro de inmersión calibrado y marcado en décimas de grado, únicamente se presentan los valores de superficie en los máximos de abundancia.

Resultados

Los resultados indican que en la bahía de puerto Libertad las máximas abundancias se presentaron durante febrero y marzo con una densidad máxima de 196 cels/ml y al inicio de la primavera, posteriormente decaen con poca abundancia durante mayo y julio (Fig. 3). En la Bahía de Mazatlán se observan dos ciclos (1980-81), en el primer ciclo la máxima abundancia primaveral es semejante al caso anterior presentando su máxima abundancia durante abril (1980) con 106 cels/ml y el segundo ciclo, también en primavera, en mayo (1981) con 110 cels/ml, en ambos ciclos se presentan otros picos menores en todo el período primaveral en ocasiones abarcan al hasta el inicio del verano, posteriormente hay pequeñas densidades no mayores de las 10 cels/

ml (Fig. 4), pero estas debido a la temperatura mayor de 30°C posiblemente no correspondan a *G. catenatum*. En cambio durante 1997, después de 16 años de los ciclos antes mencionados, encontramos un patrón semejante y mejor definido que en los años anteriores. Esto consiste en la formación de dos curvas perfectamente definidas, una durante la época primaveral iniciándose a partir de marzo con una abundancia máxima de 5,051 cels/ml en abril, para finalizar en mayo y otra desarrollada en septiembre y alcanzando su máxima abundancia de 3,856 cels/ml en octubre (Fig. 5). Debido a las altas temperaturas registradas durante el verano y otoño ($> 30^\circ\text{C}$) no era de esperarse esta inusual curva de abundancia de *G. catenatum*, sin embargo, evidencias de otra especie no había, hasta analizar el trabajo de Fraga *et al.*, (1995).

Las máximas abundancias registradas en mareas rojas en la Bahía de Mazatlán (Tabla I) indican valores por abajo de las 1000 cels/ml durante los años 80's pero en los 90's sobrepasan las 1000 cels/ml. Estas últimas son semejantes a las abundancias presentadas en el sur de Tasmania que en ocasiones sobrepasan los 2000 cels/ml y coinciden con el incremento de las toxinas (Hallegraeff *et al.*, 1989). Sin embargo, en países como España y Japón están muy por debajo de

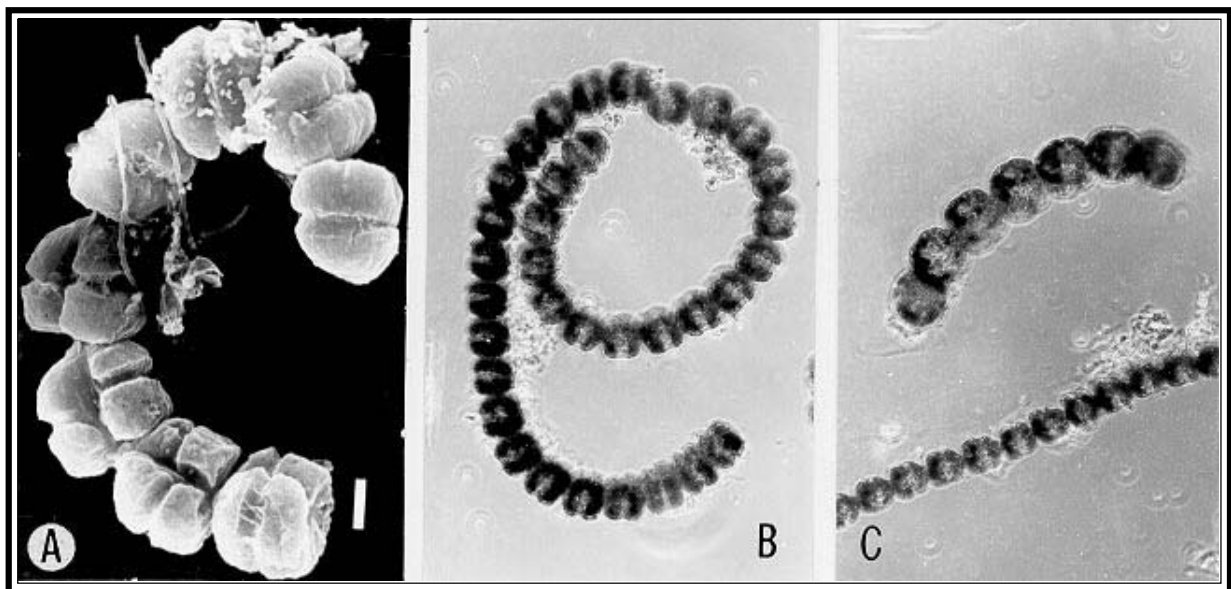


FIG. 2. A) CADENA DE OCHO CÉLULAS DE *Gymnodinium catenatum* TOMADO EN MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO. B) CADENA DE 34 CÉLULAS EN MICROSCOPIA DE LUZ. EN CONTRASTE DE FASES. C) DOS COLONIAS DE DIFERENTE TALLA, LA CADENA CORTA Y DE MAYOR TAMAÑO ES EL RESULTADO DE LA FUSIÓN DE DOS CADENAS HAPLOIDES (1N). ESCALA $10 \mu\text{m}$, EN B Y C EN CADA DIVISIÓN.

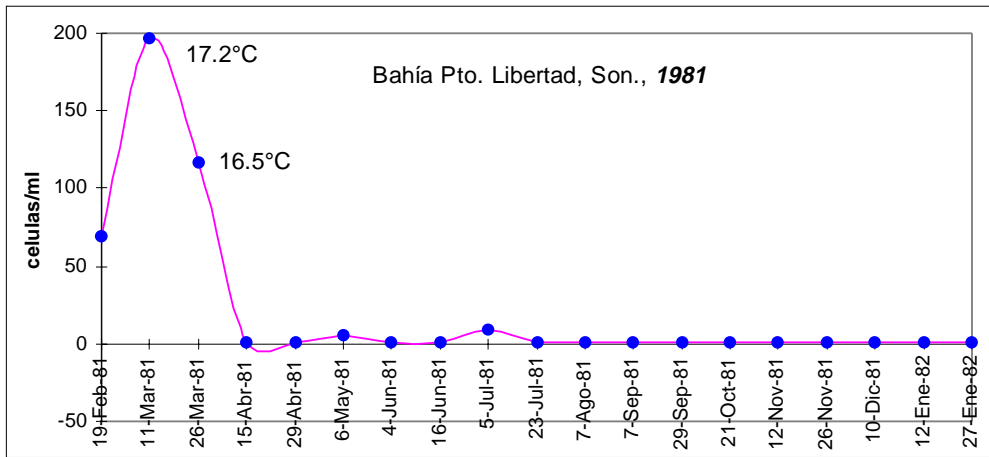


FIG. 3. VARIACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE *G. catenatum* EN 1981 EN LA BAHÍA DE PUERTO LIBERTAD

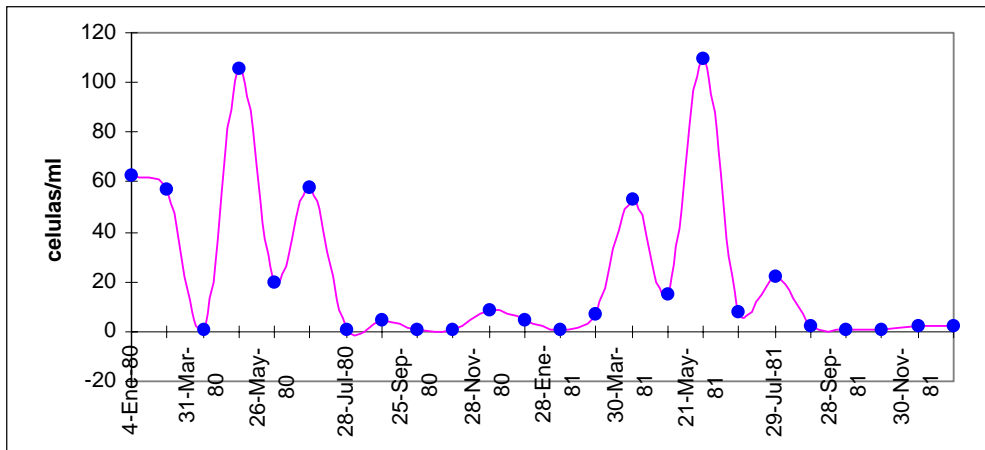


FIG. 4. VARIACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE *G. catenatum* EN 1980 Y 1981 EN LA BAHÍA DE MAZATLÁN, SIN., MÉXICO.

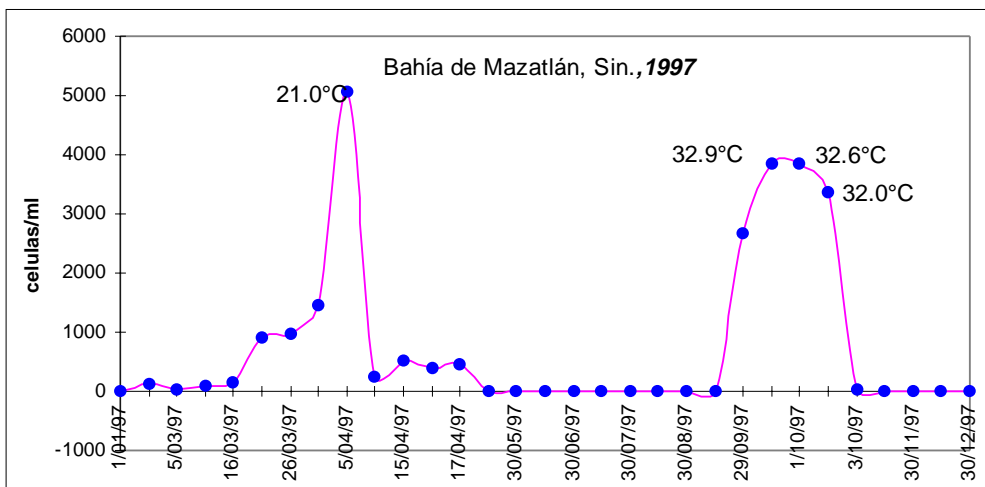


FIG. 5. VARIACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE *G. catenatum* EN 1997 EN LA BAHÍA DE MAZATLÁN, SIN., MÉXICO

Num.	Duración (días)	Fecha de Colecta	Densidad céls/ml	Temp.°C	Referencias
1	17	25-Abr-79	1,148	21.6	Mee et al., 1986
1	idem ant.	idem anterior	972	21.6	Morey-Gaines, 1982
2	37	5-Mar-85	*35	19.74	Cortés y Nuñez, 1991
2	idem ant.	a abril 1985	*544	20.52	Cortés y Nuñez, 1991
3	2	1-Abr-86	*65	22.04	Cortés y Nuñez, 1991
4	7	18-Feb-88	*170	20.64	Cortés y Nuñez, 1991
4	1	4-Mar-88	*360	20.84	Cortés y Nuñez, 1991
5	12	20-Abr-88	845	22.34	Cortés y Nuñez, 1991
5	idem ant.	21-Abr-88	940	22.34	Cortés y Nuñez, 1991
6	21	31-Mar-94	*1,000	20.94	Cortés et al, 1995
7	17	5-Abr-97	5,000	21	Cortés y Alonso, 1997.
8	13	1-Oct-97	3,856	32.9	Cortés y Alonso, 1997
9	4	9-Mar-95	**49	22.54	Alonso, 1998
10	?	10-Jun-96	**34	21.14	Alonso, 1998
* No fueron los dominantes de la comunidad fitoplanctonica.					
**No son mareas rojas, picos máximos del ciclo anual.					

TABLA I. ABUNDANCIAS DE *Gymnodinium catenatum* DURANTE MAREAS ROJAS EN LA BAHÍA DE MAZATLÁN, SIN., MÉXICO.

Localidad	Abundancia céls/ml	Período	Temp.°C*	Referencia
Norte Gol. California	1000	Mar-39	14-17	Graham, 1943
Ría Buen, España	6-222	Oct-76	?	Estrada et al., 1984
Ria de Arousa y Muros, España.	3	Oct-81	?	Campos et al., 1982
Ria de Vigo, España	1-500	Nov-85	17.2	Fraga et al., 1990
Ria de Vigo, España	10-+1000	Oct-86	17.8	Fraga et al., 1990
Ria de Vigo, España	0.1-8	Oct-87	17.9	Fraga et al., 1990
Ria de Vigo, España	0.5-100	jul-nov-88	18.4-16	Fraga et al., 1990
Ria de Vigo, España	54	Nov-85	17	Fraga, et al., 1988
Rio Miño, España	1.48	Oct-90	16	Fraga et al., 1993
Espinho, Portugal	28	Ago-87	-?	Franca y Almeida., 1989
Estuarios del Sur de Tasmania, Australia	100 a 2,000	ene-1986 a jul-1987	16	Hallegraef et al, 1989
[Cultivo]Tasmania, Aus.	2000 máx.	Opti..30 días	17.5-20	Blackburn, et al., 1989
Kamae, Japón	44	Abr-96	?	Takatani et al., 1998
Islas Amakusa, Japón	380	Ene-98	?	Takatani et al., 1998

*La temperatura esta referida al máximo de abundancia. Cuando hay dos valores se refieren a dos máximos.

TABLA II.- ABUNDANCIA DE *Gymnodinium catenatum* EN ALGUNOS PAÍSES.

las 1000 cels/ml. Es también determinante que la mayoría de las máximas densidades coinciden con sus temperaturas óptimas, 17.5 a 20°C, observados en cultivos de *G. catenatum* (Blackburn et al., 1989). En las Rías Gallegas de España y el sur de Tasmania, cercanos a las latitudes 40° Norte y Sur respectivamente, sus temperaturas están muy cercanas a 17°C, como temperaturas mínimas óptimas cuando se presentan las máximas abundancias de *G. catenatum* (Tabla II), en cambio la Bahía de Mazatlán cercana al Trópico de Cáncer, las temperaturas están cercanas a los 20°C, o sea, el máximo óptimo, ó un°C más (Figs.3-5), esto también se confirma cuando analizamos las mareas rojas presentadas en la región

(Tabla I). Además de los máximos picos de las curvas anuales se presentan estas temperaturas óptimas con excepción de las generadas en otoño de 1997, donde se registran temperaturas de 32.0°-a 32.9°C.

Discusión

La variación de la abundancia anual del fitoplancton esta fuertemente influenciada por las interrelaciones físico-químicas, nutrientes y la depredación que explican ampliamente estas fluctuaciones en el transcurso del tiempo, esto es ya muy conocido y referido en muchos textos y publicaciones (Boney, 1975; Raymont, 1963). Sin

embargo, los datos aquí presentados, comparativamente muestran que la temperatura es una de las variables ambientales más influyentes en el desarrollo de *G. catenatum*, independientemente de los nutrientes y otras variables que también influyen pero mucho más difíciles de cuantificar. En las Rías Gallegas españolas estos máximos de abundancia anual parecen concentrarse en los meses de octubre y noviembre cuando están más cerca los valores de 17°C o un poco arriba y cuando corresponden a diferentes meses vg. agosto es porque también se encuentran valores de temperatura superficial arriba de los 17°C (Fraga *et al.*, 1988; Fraga *et al.*, 1990), en cambio el sur de Tasmania, presenta el patrón anual de abundancia de máximos en marzo, abril y mayo coincidentes también con temperaturas por arriba de los 16°C (Hallegraeff *et al.*, 1989) muy semejantes en tiempo y densidad a la primera curva de máxima abundancia de la Bahía de Mazatlán. Esto confirma los resultados de cultivo de la especie donde se menciona como temperaturas óptimas para el crecimiento de la especie de 17.5 a 20°C (Blackburn, 1989). En el presente trabajo los valores de máxima densidad en mareas rojas se encuentran en el intervalo de 16°C a 24°C. En cambio en los picos de máxima densidad de los ciclos anuales presentan una diferencia de 1°C, en Puerto Libertad de 16-17°C y en la bahía de Mazatlán de 20-21°C (Figs. 3-5), ambos valores coinciden con las temperaturas óptimas obtenidas en cultivos controlados para el desarrollo de la especie.

El tipo de curva en todos los ciclos anuales muestran una clara semejanza con el tipo de curva clásica de mares de latitudes templadas (Boney, *op cit.*) donde es muy decisivo el suministro de nutrientes en la época primaveral y su recirculación en el otoño. Sin embargo, lo que más llama la atención es la gran diferencia de las abundancia entre los años 1980-81 y el de 1997, en los primeros tanto en las Bahías de Puerto Libertad como de Mazatlán encontramos densidades promedio de alrededor de los 100 cels/ml, en cambio en los 97 las abundancias son del orden de las 1000 cels /ml, esto significa un aumento drástico de más de 50 veces más en comparación a los años 1980-81. Esta evidencia pone en alerta y hace suponer que las características ambientales actuales han favorecido a la proliferación de esta espe-

cie tóxica, al menos en esta zona turística con tendencia a la eutroficación (Mee *et al.*, 1984; Alonso, 1998).

Las temperaturas no óptimas encontradas durante el otoño de 1997, puede tener su explicación al tratarse de otra especie, *Gymnodinium impudicum* Fraga *et al.*, que presenta forma muy semejante a *G. catenatum*, pero difiere por las siguientes razones, no se encontró toxicidad alguna (Ramírez-Camarena *et al.*, 1999), su talla es menor y forma de la célula inicial coinciden con *G. impudicum* y las cadenas fueron muy cortas y rectas generalmente de 4 a 8 individuos y recubiertas por una sustancia mucoide. Muestras de este espécimen fueron enviadas al Instituto Español de Oceanografía, en Vigo, España para la confirmación de *G. impudicum* por sus autores originales (Fraga, *et al.*, 1995). Esto representa un nuevo registro para el Golfo de California.

Agradecimientos

A los Drs. A.A. Ortega-Salas y S. Gómez-Noguera por la revisión crítica al manuscrito inicial. A la biól. Y. Hornelas por la toma de las fotografías electrónicas de barrido.

Bibliografía

- Alonso Rodríguez, R. 1998. *Mareas rojas y su relación con la calidad del agua en la porción sur de la Bahía de Mazatlán, Sin., México*. Tesis de Maestría en Ciencias del mar. Proyecto académico de especialización, maestría y doctorado. UACPyP-UNAM. 165 pp, 56 anexos.
- 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.
- Boney, A.D. 1975. *Interactions with other organisms*. In: Phytoplankton: E. Arnold (Publishers) Limited, London: 72-82.
- Campos, M.J., S. Fraga, J. Mariño, F.J. Sánchez, 1982. *Red tide monitoring programme en NW Spain*. Report of 1977-1981. ICES C.M. 1982/L:2.
- Cortés-Altamirano, R. y A. Nuñez-Pasten, 1991. *Registros de mareas rojas en la bahía de Mazatlán, Sin., México (1985-1990)*. Rev. Investigación Científica, UABCS, 2(1): 44-55.

- Cortés-Altamirano, R., D.U. Hernández-Becerril y R. Luna-Soria, 1995. *Evaluación y prevención de los efectos de las mareas rojas en la bahía de Mazatlán, Sin., México (1994)*. Rev. Ciencias del Mar, U.A.S., 14: 14-18.
- Cortés-Altamirano, R. y R. Alonso-Rodríguez, 1997. *Mareas rojas durante 1997 en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, Mexico*. Rev. Ciencias del mar, U.A.S., 15: 31-37.
- Cortés-Altamirano, R., 1998a. *Informe regional sobre Mareas Rojas en México*. IOC/ARIBE-ANCA. II Taller Regional. 1ra. Sesión de trabajo del grupo regional del Caribe y áreas adyacentes. Ciudad de la Habana, Cuba. 29 de junio al 1 de julio de 1998. 4 págs, 7 figs.
- Cortés-Altamirano, R., 1998b. *Las mareas Rojas*. AGT, Editor, S.A. México, D.F.: 161 pp.
- Estrada, M., F.J. Sánchez y S. Fraga, 1984. *Gymnodinium catenatum (Graham) en las rías Gallegas (NO de España)*. Investigación Pesquera, 48(1): 31-40.
- Fraga, S., D.M. Anderson, I. Bravo, B. Reguera, K. A. Steidinger and C.M. Yentsch, 1988. *Influence of upwelling relaxation on dinoflagellates and shellfish toxicity in Ría de Vigo, Spain*. Estuarine, Coastal and shelf Sciences, 27: 349-361.
- Fraga, S., B. Reguera and I. Bravo, 1990. *Gymnodinium catenatum bloom formation in the Spanish rías*. In: Edna Graneli et al. (eds). Toxic marine phytoplankton. Elsevier science: 149-154.
- Fraga, S., I. Bravo and B. Reguera, 1993. *Poleward surface current at the shelf break and blooms of Gymnodinium catenatum in Ría de Vigo (NW Spain)*. In: T.J. Smayda and Y. Shimizu (eds.) Toxic phytoplankton blooms in the sea. Elsevier Science: 245-247.
- Fraga, S., I. Bravo, M. Delgado, J.M. Franco, M. Zapata, 1995. *Gyrodinium impudicum sp. Nov. (Dinophyceae), a nontoxic, chain-forming, red tide dinoflagellate*. Phycologia, 34(6): 514-521.
- Franca, S. and J.F. Almeida, 1989. *Paralytic shellfish poisons in bivalve molluscs on the Portuguese coast caused by a bloom of the dinoflagellate Gymnodinium catenatum*. In: Okaichi, Anderson, and Nemoto (eds.) Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology. Elsevier Science: 93-96.
- García, E., 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.: 246 pp.
- Graham, H.W., 1943. *Gymnodinium catenatum, a new dinoflagellate from the Gulf of California*. Trans. Am. Microsc. Soc., 62(3): 259-261.
- Hallegraeff, G.M., S.O. Stanley, C.J. Bolch and S.I. Blackburn., 1989. *Gymnodinium catenatum blooms and the shellfish toxicity in the southern Tasmania*. In: Okaichi, Anderson, and Nemoto (eds.) Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology. Elsevier Science: 77-80.
- Hasle, G.R., 1978. *Using the inverted microscope*. In: Sournia A. (ed.) Phytoplankton Manual, UNESCO, Paris: 191-197.
- Mee, D.L.; R. Cortés-Altamirano y L. García De La Parra, 1984. *Dinitrogen fixation in a eutrophic tropical bay*. Est. Coastal and shelf Sci., 19: 477-483.
- Mee, D.L., M. Espinosa and G. Diaz, 1986. *Paralytic shellfish poisoning with a Gymnodinium catenatum red tide on de pacific coast of Mexico*. Mar. Environ. Res., 19: 17-92.
- Morey-Gaines, G., 1982. *Gymnodinium catenatum Graham (Dinophyceae): morphology and affinities with armoured forms*. Phycologia, 21 (2): 154-163.
- Ramírez-Camarena, C., R. Cortés-Altamirano y L. Muñoz-Cabrera, 1999. *Mareas rojas provocadas por Gymnodinium catenatum en la bahía de Mazatlán, Sin., México, durante 1997*. Revista de Biología Trópical, Costa Rica: En prensa.
- Raymont, J.E.G., 1963. *Phytoplankton and productivity in the oceans*. Pergamo Press, Oxford, London: 660 pp.
- Takatani, T., T. Morita, A. Anami, H. Akaeda, Y. Kamijo, K. Tsutsumi, T. Noguchi., 1998. *Appearance of Gymnodinium catenatum in association with the toxification of bivalves in Kamae, Oita prefecture, Japan*. Journal of the food hygienic Society of Japan, 39(4): 275-280.
- Takatani, T., H. Akaeda, T. Kaku, M. Miyamoto, H. Mukai, T. Noguchi., 1998. *Paralytic shellfish poisons infestation to oyster Crassostrea gigas due to dinoflagellate Gymnodinium catenatum in the Amakusa Islands, Kumamoto Prefecture, Japan*. Journal of the food hygienic Society of Japan, 39(4): 292-295.
- Taylor, F.J.R., Y. Fukuyo and J. Larsen., 1995. *Taxonomy of harmful dinoflagellates*. In: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M. and Cembella, A.D. (eds.) Manual on Harmful Marine Microalgae. 288 pp.