

# Toxinas paralizantes en moluscos bivalvos durante una proliferación de *Gymnodinium catenatum* Graham en la Bahía de La Paz, México

## Paralytic toxins in bivalve mollusks during a proliferation of *Gymnodinium catenatum* Graham in Bahía de La Paz, Mexico

Francisco E. Hernández-Sandoval<sup>1,2</sup>, David J. López-Cortés<sup>1</sup>,  
Christine J. Band-Schmidt<sup>2</sup>, Ismael Gárate-Lizárraga<sup>2</sup>,  
Erick J. Núñez-Vázquez<sup>1</sup> y José J. Bustillos-Guzmán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S. 23090, México

<sup>2</sup> Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Col. Playa Palo de Santa Rita. La Paz, B.C.S. 23096  
e-mail: jose04@cibnor.mx

Hernández-Sandoval F. E., D. J. López-Cortés, C. J. Band-Schmidt, I. Gárate-Lizárraga, E. J. Núñez-Vázquez y J. Bustillos-Guzmán. 2009. Toxinas paralizantes en moluscos bivalvos durante una proliferación de *Gymnodinium catenatum* Graham en la Bahía de la Paz, México. *Hidrobiológica* 19(3): 245-256.

### RESUMEN

De febrero a marzo de 2007, se presentó una proliferación de *Gymnodinium catenatum* Graham en la Bahía de La Paz (México), con densidades de  $6 \times 10^5$  a  $2,39 \times 10^6$  cél. L<sup>-1</sup>. Durante este evento se determinó la concentración y el perfil de toxinas paralizantes en moluscos bivalvos (*Pinna rugosa*, *Modiolus capax*, *Megapitaria squalida*, *Periglypta multicostata*, *Dosinia ponderosa* y *Megapitaria aurantiaca*) y en muestras de fitoplancton. También se obtuvieron algunos parámetros físicos y químicos. Los valores promedios de la temperatura superficial y del oxígeno disuelto fueron de  $20.9 \pm 0.7$  °C y  $6.9 \pm 0.3$  mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Las concentraciones promedios de nitritos, nitratos, amonio, fosfatos y silicatos fueron de  $0.22 \pm 0.05$ ,  $1.04 \pm 0.33$ ,  $0.89 \pm 0.88$ ,  $0.81 \pm 0.76$  y  $8.85 \pm 1.60$  µM, respectivamente. El contenido de toxinas paralizantes en las muestras de arrastres de red variaron de 4.32 a 79.60 ng saxitoxina equivalente filtro<sup>-1</sup>, identificándose 8 toxinas, siendo la C1 y C2 las dominantes. Las máximas concentraciones de toxinas paralizantes en los moluscos fueron de 31.14, 37.74 y 25.89 µg STXeq. 100 g<sup>-1</sup> en *M. capax*, *P. rugosa* y *M. aurantiaca*, respectivamente. Se dan a conocer las variaciones en el perfil de toxinas paralizantes en las diversas especies de moluscos.

**Palabras claves:** Bahía de La Paz, *Gymnodinium catenatum*, moluscos, proliferación algal, toxinas paralizantes.

### ABSTRACT

From February to March 2007 a harmful algae bloom of *Gymnodinium catenatum* Graham occurred in Bahía de La Paz, Mexico, with cell densities from  $6 \times 10^5$  to  $2,39 \times 10^6$  cells L<sup>-1</sup>. During this event the toxin concentration and toxin profile of paralytic shellfish toxins in mollusks (*Pinna rugosa*, *Modiolus capax*, *Megapitaria squalida*, *Periglypta multicostata*, *Dosinia ponderosa*, and *Megapitaria aurantiaca*), and in phytoplankton samples were determined. Some physicochemical data were obtained. The average values of the surface temperature and dissolved oxygen were  $20.9 \pm 0.7$  °C and  $6.9 \pm 0.3$  mg L<sup>-1</sup>. The average concentrations of nitrites, nitrates, ammonium, phosphates, and silicates were  $0.22 \pm 0.05$ ,  $1.04 \pm 0.33$ ,  $0.89 \pm 0.88$ ,  $0.81 \pm 0.76$ , and  $8.85 \pm 1.60$  µM, respectively. The concentration of paralytic shellfish

toxins in the net phytoplankton samples varied from 4.32 to 79.60 ng saxitoxin equivalents filter<sup>-1</sup>, identifying 8 toxins, the most abundant being C1 and C2. The highest toxin concentration found in mollusks were 31.14, 37.74, and 25.89 µg STXeq 100 g<sup>-1</sup> in *M. capax*, *P. rugosa*, and *M. aurantiaca*, respectively. The variations in the paralytic toxin profile in the different mollusks species are given.

**Key words:** Bahía de La Paz, *Gymnodinium catenatum*, mollusks, harmful algae, paralytic toxins.

## INTRODUCCION

Los florecimientos algales nocivos (FAN) son eventos naturales que en las últimas décadas se han incrementado a nivel mundial en número, intensidad y distribución geográfica (Hallegraeff, 1993; Anderson, 1994; Zingone & Oksfeldt, 2000; Smayda, 2002; Heisler et al., 2008). Las costas mexicanas no son la excepción, particularmente en el Pacífico donde ha habido un mayor registro de estos fenómenos (Mee et al., 1986; Cortés-Altamirano, 1987; Cortés-Altamirano & Alonso-Rodríguez, 1997; Cortés-Altamirano et al., 1999; Gárate-Lizárraga et al., 2001, 2008). En la Bahía de La Paz los FAN más comunes son causadas por el ciliado *Myrionecta rubra* (Lohmann) Jankowski (Ochoa et al., 1997; Gárate-Lizárraga et al., 2001, 2004). Sin embargo, también se han presentado floraciones de la cianobacteria *Oscillatoria erythraea* (Ehrenberg) Kützing (Ochoa et al., 1997), de diversas especies de dinoflagelados como *Prorocentrum rhathymum* A.R. Loeblich III, Sherley et Schmidt, *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy, *Gonyaulax polygramma* F. Stein, *Scrippsiella trochoidea* (F. Stein) A. R. Loeblich (Gárate-Lizárraga & Martínez-López, 1997; Gárate-Lizárraga et al., 2001, 2006a), *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Gárate-Lizárraga et al., 2000, 2004; Núñez-Vázquez et al., 2003), las diatomeas *Eucampia zodiacus*, *Chaetoceros debilis* Cleve, *Rhizosolenia debaryana* H. Peregallo, *Pseudo-nitzschia fraudulenta* (Cleve) Hasle,

*Thalassiosira* sp. y *Chaetoceros* sp. (Gárate-Lizárraga et al., 2001, 2003, 2006a, 2007; Guluarte-Castro & Bañuelos, 2007) y recientemente de la rafidoficea *Chattonella marina* (Subrahmanyam) Hara et Chihara (Band-Schmidt et al., 2005b).

*Gymnodinium catenatum* Graham, es un dinoflagelado desnudo que produce toxinas paralizantes (saxitoxina y análogos) fue descrita a partir de material colectado en el Golfo de California en 1939 (Graham, 1943). Esta especie se ha asociado a intoxicaciones y decesos de humanos por consumo de mariscos en la Bahía de Mazatlán (Mee et al., 1986) y costas de Oaxaca (Saldade-Castañeda et al., 1991). Se han descrito florecimientos de *G. catenatum* en las Bahías de Acapulco (Licea et al., 1999; Cabrera-Mancilla et al., 2000; Gárate-Lizárraga et al., 2008), Concepción (Gárate-Lizárraga et al., 2004) y Manzanillo (Morales-Blake et al., 2000; Zepeda-Esquivel & Meave del Castillo, 2007). En la Bahía de La Paz (BAPAZ) *G. catenatum* se registró por primera vez en el 2002 (Gárate-Lizárraga et al., 2004). Recientemente se han registrado proliferaciones de esta especie, reportando abundancias en el rango comprendido entre 10,000 cél L<sup>-1</sup> y 79,000 cél L<sup>-1</sup> (Gárate-Lizárraga et al., 2006a, 2008, 2009). Este trabajo tiene como objetivo determinar el contenido y el perfil de toxinas paralizantes en seis especies de moluscos bivalvos durante el florecimiento de *G. catenatum* en la Bahía de La Paz, B.C.S.

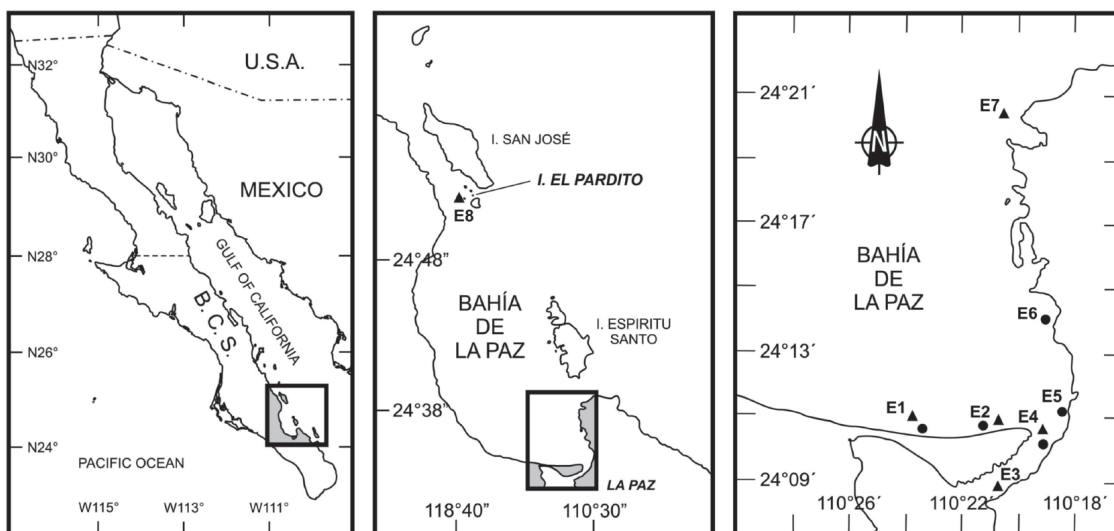


Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo en el sur de Bahía de La Paz, México. • (Recolecta de fitoplancton) ▲ (Recolecta de bivalvos).

Tabla 1. Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg L<sup>-1</sup>) y concentración de nutrientes (µM) en aguas superficiales de la Bahía de La Paz (7 marzo, 2007).

Estación	Temp.	Oxígeno disuelto	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	NIT	N:P
E1	21.9	7.1	0.2	0.9	0.5	0.9	7.0	1.5	1.8
E2	20	7.0	0.2	1.1	0.5	0.8	8.5	1.8	2.2
E4	21.2	7.0	0.3	1.1	0.5	0.9	10.6	3.9	4.3
E5	20.5	6.4	0.3	1.5	0.5	0.7	10.4	2.3	3.1
E6	20.9	7.0	0.2	0.6	0.5	0.7	7.9	1.3	1.7
Media	20.9	6.9	0.24	1.0	0.9	0.8	8.8	2.1	2.6
d.e.*	0.7	0.3	0.05	0.3	0.9	0.1	1.5	1.0	1.0

NIT= Nitrógeno inorgánico total, N:P= Nitrógeno-fósforo, d.e.\*= desviación estándar

## MATERIALES Y MÉTODOS

La Bahía de La Paz es un cuerpo de agua protegido que se encuentra ubicada sobre el margen suroriental de la Península de Baja California entre los 24° 10' y 24° 47' N, y los 110° 20' y 110° 44' O (Fig. 1). Con una superficie aproximada de 2,635 km<sup>2</sup> (Cruz-Orozco *et al.*, 1996). En la mitad noroeste de la bahía la profundidad máxima es de 400 m y la mínima en el sur de 40 m (Cruz-Orozco *et al.*, 1996; Pérez-Cruz, 2006). Hacia el sur disminuye la profundidad gradualmente formando una suave pendiente y extensas playas (Jiménez-Illescas *et al.*, 1997). El clima es seco y semi-cálido. La temperatura superficial del mar varía de 18 a 31 °C (Cervantes-Duarte *et al.*, 2001; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2009). En verano, los vientos dominantes son del sur con intensidades medias de 2 a 3 m s<sup>-1</sup> (Douglas *et al.*, 1993). Durante el invierno los vientos dominantes son del noroeste y norte, alcanzando en algunas ocasiones intensidades de 4 m s<sup>-1</sup> a 10 m s<sup>-1</sup> (Pérez, 1988; Pérez-Cruz, 2006). Esta zona es influenciada por ciclones tropicales durante los meses de septiembre y octubre (Espinoza, 1979; Cervantes-Duarte *et al.*, 2005).

Tabla 2. Porcentaje molar de toxinas paralizantes en muestras de fitoplancton de red en diversas localidades de la Bahía de La Paz (7 de marzo, 2007).

	E1	E2	E4	E5	E6
STX	3.40			31.09	5.04
NeoSTX	25.33	-	-	-	-
GTX2	0.61	-	-	-	5.37
GTX3	-	-	-	-	3.56
dcGTX3	1.09	-	-	-	-
B1	-	-	-	-	5.43
C1	15.75	35.64	37.02	-	16.96
C2	53.82	64.36	62.98	68.91	63.64

- No detectada

En ocho sitios de la Bahía de La Paz (Fig. 1), donde se extraen moluscos bivalvos para fines comerciales, se obtuvieron de enero a marzo de 2007 por buceo libre y SCUBA, organismos de seis especies de moluscos para cuantificar su contenido de toxinas paralizantes. Las especies recolectadas fueron: *Modiolus capax* Conrad, *Pinna rugosa* Sowerby, *Megapitaria squalida* Sowerby, *Megapitaria aurantiaca* Sowerby, *Dosinia ponderosa* Gray y *Periglypta multcostata* Sowerby. Para estimar el probable origen de las toxinas de estos bivalvos, se realizó un muestreo (7/03/07) para recolectar muestras superficiales de agua de mar con una botella van Dorn, el agua se filtró a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F de 0.7 µm para identificar y cuantificar las toxinas paralizantes del fitoplancton. El agua filtrada se usó para el análisis de nutrientes (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> y SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>) de acuerdo a Strickland & Parsons (1972) utilizando un auto-analizador de iones de flujo continuo (Lachat Instruments, modelo Quick Chem, serie 8000). Adicionalmente se midió la temperatura *in situ* con un termómetro de cubeta (Kahlsico Internacional Corp., El Cajon, California) y el oxígeno disuelto por el método de Winkler modificado por Strickland & Parsons (1972). A fin de observar los cambios temporales de temperatura superficial, se obtuvieron datos para un punto de la bahía (24.45 N, 110.5 E) de enero a abril del 2007 del programa CoastWatch de la National Oceanic and Atmospheric Administration (<http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/coastwatch>). Se recolectaron muestras de botella preservándose con Lugol ácido (Thronsdon, 1979) y de red (20 µm) para el análisis cuantitativo de fitoplancton de acuerdo a Utermöhl (1958). Un arrastre de red de 20 µm de luz de malla se concentró en filtros GF/F para el análisis de toxinas paralizantes. Los análisis de toxinas paralizantes se realizaron por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC-FLD) siguiendo el método descrito por Hummert *et al.* (1997), modificado por Yu *et al.* (1998). El análisis se hace por derivatización postcolumna y detección por fluorescencia en un sistema de cromatografía de fase inversa con un gradiente par iónico consistente en las soluciones de ácido octanosulfónico, fosfato de amonio a un pH de 6.9 y acetonitrilo para separar las toxinas. La columna utilizada fue Phenomenex de 5 µm RP-C18 (250 mm x 4.6 mm). Luego de la oxidación postcolumna con ácido periódico las toxinas son detectadas por fluorescencia con una excitación de un haz luminoso de longitud de onda de 330 nm y la emisión a 395 nm.

Los moluscos recolectados se mantuvieron en hielo y fueron transportados al laboratorio donde se enjuagaron con agua, se desconcharon y homogeneizaron sus tejidos. Se tomaron dos gramos del homogenizado y se le agregaron 2 mL de ácido acético 0.03 N, después las muestras inmersas en hielo se sonicaron tres veces a 35 kHz en lapsos de 1 min. Posteriormente, se centrifugaron a 10,000 rpm por 15 min a 10 °C, el sobrenadante se filtró a través de un acrodisco (0.45 µm), del extracto 150 µL fueron utilizados para la hidrólisis con HCl (1M). Se analizaron 10 µL de ambos extractos (con y sin hidrólisis). La identificación de las

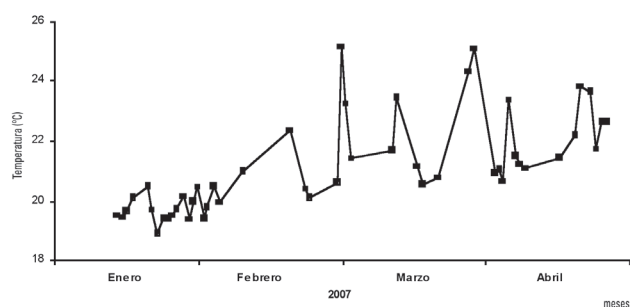


Figura 2. Temperatura superficial (promedio diaria) de la Bahía de La Paz de enero a abril del 2007.

toxinas paralizantes se realizó por comparación de los tiempos de retención de las muestras y por coelución con los de estándares comerciales: Saxitoxina (STX), neosaxitoxina (NeoSTX), goniautoxinas-1, 4 (GTX 1, 4), decarbamoilsaxitoxina (dcSTX), decarbamoilgoniautoxinas-2, 3 (dcGTX 2, 3) y N-sulfocarbamoil-11-hidroxisulfato (C1, 2), los cuales fueron adquiridos del National Research Council Canada, Halifax, NS, Canadá.

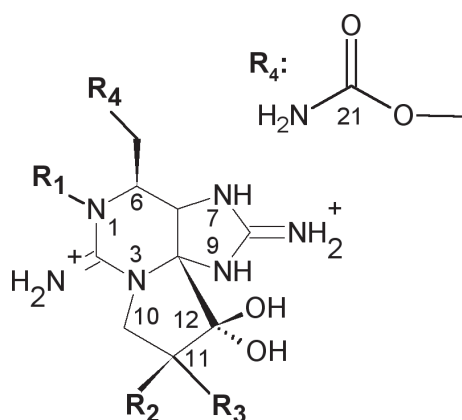
## RESULTADOS

**Variables ambientales.** Las condiciones de la zona de muestreo muestran temperaturas relativamente frías que oscilaron entre 20 y 21.9 °C y bajas concentraciones de nutrientes, los valores

de oxígeno fueron altos (tabla 1). Los datos de temperatura para el periodo enero-abril muestran claramente el periodo transitorio invierno-primavera con valores de alrededor de los 20 °C, a principios de febrero, y luego una tendencia a incrementar a 22-24 °C a finales de febrero principios de marzo (Fig. 2). La razón molar N:P también fue baja con valores entre 1.6 y 3.2 denotando deficiencia en nitrógeno.

**Toxinas paralizantes.** Los análisis de toxinas en muestras de red mostraron la presencia de toxinas del grupo sulfocarbamoil (toxinas B1, C1 y C2), carbamoil (saxitoxina, neosaxitoxina y goniautoxinas 2y3) y decarbamoiladas (decarbamoilgoniautoxina-3). Claramente existió una presencia mayor del primer grupo que representaron más del 68% molar en todas las estaciones (tabla 2). Es interesante observar el mayor número de toxinas en las estaciones E1 y E6 con respecto a las otras y la gran variación en los porcentajes de contribución de las diversas toxinas entre todas las estaciones. Destaca que en dos estaciones (E1 y E5) las toxinas de mayor potencia, saxitoxina y neosaxitoxina, contribuyeron de manera significativa.

La toxicidad de los moluscos (tabla 3) en ningún caso fue superior al señalado por la Norma Oficial Mexicana (NOM-129-SSA1-1995) para evitar su consumo (80 µg STXeq 100 g<sup>-1</sup> de tejido). A pesar de no haber analizado la misma especie en cada uno de los lugares durante el evento y de que se muestreo en fechas diferentes se puede resaltar: a) en general baja toxicidad,



Abreviaciones:

STX:	Saxitoxina
NEO:	Neosaxitoxina
GTX:	Goniautoxina
dc:	Decarbamoil
do:	Deoxidecarbamoil

Toxinas						
R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	Carbamoil	N-Sulfocarbamoil	Decarbamoil	Deoxidecarbamoil
			R <sub>4</sub> : OCO-NH <sub>2</sub>	R <sub>4</sub> : OCONH-SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	R <sub>4</sub> : OH	R <sub>4</sub> : H
H	H	H	STX	B1	dcSTX	doSTX
OH	H	H	NEO	B2	dcNEO	-
OH	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H	GTX1	C3	dcGTX1	-
H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H	GTX2	C1	dcGTX2	doGTX2
H	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	GTX3	C2	dcGTX3	doGTX3
OH	H	OSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	GTX4	C4	dcGTX4	-

Figura 3. Estructura química de las toxinas paralizantes (saxitoxina y análogos).

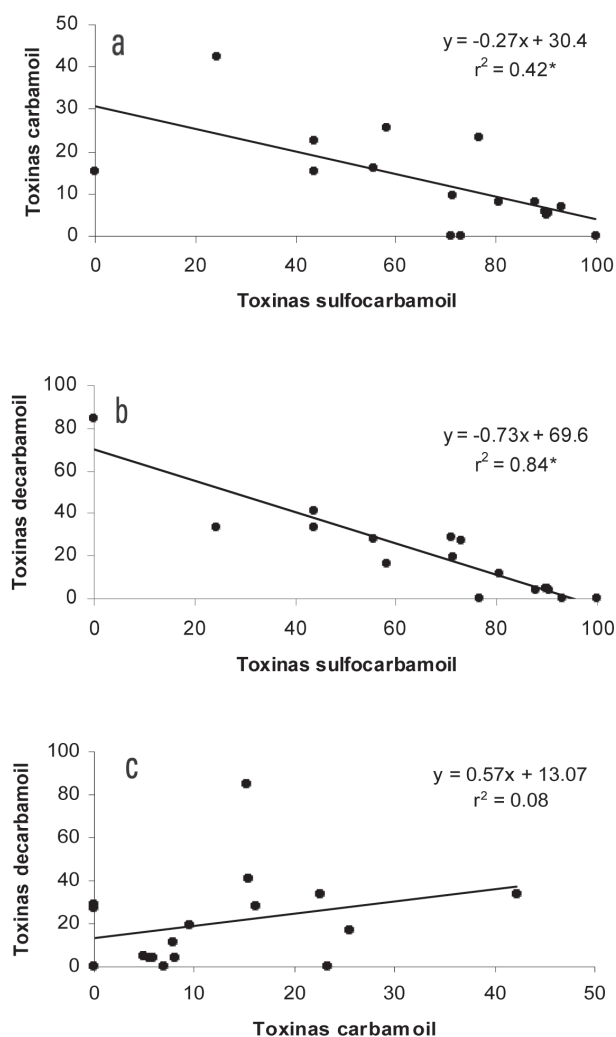


Figura 4a-c. Relación entre los diversos grupos de toxinas (en % molar) encontradas en las especies de moluscos estudiadas. \* = relación significativa ( $\alpha = 0.01$ ). a) sulfocarbamoil versus carbamoil; b) sulfocarbamoil versus decarbamoil; c) carbamoil versus decarbamoil.

b) poca variación en la toxicidad total entre las diversas especies muestreadas en la misma fecha y estación (*ie.* Estación 4), c) baja toxicidad y poca variación entre las diferentes especies de moluscos a pesar de haberse muestreado en diferentes estaciones (*ie.* 15/03/07) con excepción de *M. auriantaca*, y d) una tendencia en la toxicidad a disminuir hacia el final del evento.

En las tablas 4 y 5 se muestran los resultados del perfil de toxinas en los diversos moluscos. Claramente se observa que en general existió una dominancia de las toxinas tipo C, seguidas del grupo de las toxinas decarbamoil (dcSTX, dcGTX2 y 3). También estuvieron presentes las toxinas decarbamoil particularmente la GTX2 y 3. De este último grupo, se observa que la STX y la

NeoSTX aunque presentes, su proporción fue baja e irregular. Un análisis agrupando las toxinas de acuerdo al grupo funcional presente en la posición R4 de la molécula (Fig. 3), muestra claramente que existe una relación negativa entre la presencia de las toxinas carbamoil y las decarbamoil con respecto a las sulfocarbamoil (Figs. 4a-b). La relación entre los dos primeros grupos no fue significativa (Fig. 4 c).

## DISCUSIÓN

*Gymnodinium catenatum* se distribuye en diferentes ecosistemas marinos del mundo (Hallegraeff & Fraga, 1996; Negri *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2004; Amarin & Dale, 2006), en México se han registrado únicamente para las costas del Pacífico (Mee *et al.*, 1986; Cortés-Altamirano, 1987; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2005; Hernández-Becerril *et al.*, 2007; Band-Schmidt *et al.*, 2008). Su amplia tolerancia a la salinidad y temperatura (Band-Schmidt *et al.*, 2004), formación de quistes (Amarin & Dale, 2006) y diferentes regímenes de nutrientes (Smayda, 1977) le han permitido proliferar en diferentes ecosistemas marinos. La hidrografía de la Bahía de La Paz, se encuentra regulada por diferentes corrientes marinas y por los vientos del noroeste en invierno y del sureste en el verano (Monreal-Gómez *et al.*, 2001; Obeso-Nieblas *et al.*,

Tabla 3. Toxicidad total ( $\mu\text{g STXeq } 100 \text{ g}^{-1}$ ) en moluscos colectados en la Bahía de La Paz de enero a marzo del 2007 durante un florecimiento de *Gymnodinium catenatum*.

Estación	Especie de molusco	Fecha de muestreo (día/mes) 2007	Toxicidad
E1	<i>Dosinia ponderosa</i>	15/03	9.39
	<i>Periglypta multicosata</i>	15/03	10.14
E2	<i>Megapitaria squalida</i>	07/03	12.21
	<i>D. ponderosa</i>	15/03	4.48
E3	<i>D. ponderosa</i>	15/03	4.96
	<i>Pinna rugosa</i>	09/03	37.74
E4	<i>Modiolus capax</i>	07/03	31.34
	<i>M. squalida</i>	07/03	10.73
E7	<i>M. capax</i>	07/03	25.88
	<i>D. ponderosa</i>	15/01	0.40
E8		12/02	9.62
		08/03	5.72
		15/03	3.80
	<i>M. squalida</i>	15/03	3.00
	<i>Megapitaria auriantaca</i>	16/03	25.89
		20/03	2.98
	<i>P. rugosa</i>	27/03	2.24



2004). En invierno-primavera, periodo en el que se realizó este trabajo, la temperatura promedio fue de  $20.9 \pm 0.5$  °C y el oxígeno fue de  $6.9 \pm 0.3$  mg L<sup>-1</sup>, valores característicos de este periodo anual (De Silva-Dávila & Palomares-García, 2002). En general, la concentración de los nutrientes y la razón molar N:P fueron bajas, pero se ubican dentro del rango reportado por otros autores para la misma zona (Cervantes-Duarte & Guerrero-Godínez, 1987; Cervantes-Duarte et al., 2001; Reyes-Salinas, 1999; López-Cortés et al., 2008). Las temperaturas obtenidas en este trabajo muestran claramente que este florecimiento ocurrió en invierno-primavera y se enmarcan en los valores reportados para diferentes zonas del Pacífico Mexicano durante florecimientos masivos de *G. catenatum* (Mee et al., 1986; Cortés-Altamirano & Núñez-Pasten, 1991; Cortés-Altamirano et al., 1999; Gárate-Lizárraga et al., 2004a, b). Esto sugiere que estas condiciones son adecuadas para el crecimiento de esta especie.

En la Bahía de La Paz la frecuencia de los florecimientos algales han aumentado en la última década (Gárate-Lizárraga et al., 2001, 2006a, 2008). Aunque en esta bahía *G. catenatum* ha sido registrada en bajas abundancias: de 160 a 2,600 cél. L<sup>-1</sup> en 2002 (Gárate-Lizárraga et al., 2004), de 800 a 1,200 cél L<sup>-1</sup> en junio del 2003 (López-Cortés et al., 2006) y de 8,000 a 79,000 cél L<sup>-1</sup> en 2008 (Gárate-Lizárraga et al., 2009). En este trabajo, se registra por primera vez una floración masiva de *G. catenatum* con una

densidad celular elevada (entre  $6 \times 10^5$  y  $2.39 \times 10^6$  cél L<sup>-1</sup>), que estuvo asociada a la toxicidad en moluscos bivalvos. El análisis microscópico y toxicológico de las muestras de red demostraron la presencia de *G. catenatum* como única especie productora de saxitoxina (4.32 - 79.60 ng STXeq filtro<sup>-1</sup>) y sus análogos. Dentro de los resultados de Gárate-Lizárraga et al. (2004a) de muestras de red para esta Bahía encontraron toxinas para el periodo del 2001-2002, aunque en muy bajas concentraciones. Los valores de *G. catenatum*, sin embargo, también fueron menores a las 3,000 cél L<sup>-1</sup>. Para Bahía Concepción en el Golfo de California reportaron concentraciones de toxinas paralizantes de 5.94 a 90.54 ng STXeq filtro<sup>-1</sup>) para enero-julio del 2002 donde también se presentaba *G. catenatum* (Gárate-Lizárraga et al., 2006b). Los resultados de este trabajo muestran diferencias en los perfiles de toxinas, expresadas como porcentaje molar, provenientes de muestras de red, no obstante que son de la misma región geográfica (tabla 2). En la mayoría de las estaciones dominan las toxinas de menor toxicidad C1 y C2. En las estaciones E1 y E6, donde se presenta la mayor concentración de toxinas después de la C1 y C2 predominaron las toxinas carbamoil y las decarbamoil. Por otra parte, en la E5 únicamente se detectaron STX (31.09 %) y la N-sulfocarbamoil C2 (68.91 %) (tabla 2). Estas diferencias pueden ser explicadas por la existencia de un posible desfase temporal en el desarrollo del

Tabla 4. Porcentaje molar de de las toxinas carbamoil (saxitoxina, neosaxitoxina y goniautoxina) y decarbamoil (decarbamoilsaxitoxina y decarbamoilgoniautoxina 2 y 3) en diversas especies de moluscos durante el FAN de *G. catenatum* en la Bahía de La Paz.

Estación	Especie	Fecha colecta (día/mes) 2007	STX	NeoSTX	GTX2	GTX3	dcSTX	dcGTX2	dcGTX3
E1	<i>D. ponderosa</i>	15/03	-	-	5.92	3.65	6.03	3.56	9.50
	<i>P. multicostrata</i>	15/03	-	-	15.19	-	49.24	29.05	6.52
E2	<i>M. squalida</i>	07/03	1.30	-	2.52	1.69	1.00	0.59	2.29
		15/03	2.28	-	13.81	-	16.19	9.55	2.55
	<i>D. ponderosa</i>	15/03	-	-	-	-	14.72	8.68	3.69
E3	<i>P. rugosa</i>	09/03	-	-	7.83	-	5.64	3.33	2.53
E4	<i>M. capax</i>	07/03	0.66	4.84	1.81	0.81	1.42	0.84	1.69
	<i>M. squalida</i>	07/03	1.12	-	2.13	1.66	1.94	1.14	1.73
	<i>M. capax</i>	07/03	0.66	3.54	2.25	0.53	-	-	-
E7	<i>D. ponderosa</i>	15/01	-	-	-	-	-	-	-
		12/02	4.21	15.79	5.47	-	6.89	4.06	5.50
		08/03	1.63	-	4.24	-	-	-	4.33
		15/03	-	-	-	-	16.26	9.51	3.07
	<i>M. squalida</i>	15/03	-	-	12.70	10.71	-	-	-
E8	<i>M. aurantiaca</i>	16/03	4.75	12.50	22.06	3.05	18.80	11.09	3.35
		20/03	-	-	18.33	4.36	17.29	10.20	5.91
	<i>P. rugosa</i>	27/03	-	-	15.37	-	21.74	12.82	6.45

Tabla 5. Porcentaje molar de toxinas sulfocarbamoil (B1, B2, C1 y C2) en diversas especies de moluscos durante el FAN de *G. catenatum* en Bahía de La Paz.

Estación	Especie	Fecha colecta 2007 (día/mes)	B1	B2	C1	C2
E1	<i>D. ponderosa</i>	15/03	-	-	43.01	28.32
	<i>P. multcostata</i>	15/03	-	-	-	-
E2	<i>M. squalida</i>	07/03	-	19.43	38.15	33.02
		15/03	-	-	35.98	19.64
	<i>D. ponderosa</i>	15/03	-	-	50.42	22.48
E3	<i>P. rugosa</i>	09/03	0.79	-	27.80	52.07
E4	<i>M. capax</i>	07/03	-	5.96	42.09	39.88
	<i>M. squalida</i>	07/03	0.16	26.77	35.88	27.47
	<i>M. capax</i>	07/03	0.22	0.11	85.61	7.08
E7	<i>D. ponderosa</i>	15/01	21.45	-	35.52	43.02
		12/02	1.38	-	30.49	26.21
		08/03	0.85	-	30.40	58.55
		15/03	-	-	47.57	23.59
	<i>M. squalida</i>	15/03	-	-	51.40	25.19
E8	<i>M. aurantiaca</i>	16/03	1.38	20.91	-	2.11
		20/03	-	-	26.58	17.33
	<i>P. rugosa</i>	27/03	-	-	23.74	19.88

floreCIMIENTO en las diferentes zonas muestreadas, lo que implicaría el predominio de diferentes estadios de crecimiento celular en cada área. En Bahía Concepción, también se observaron diferencias en el perfil de toxinas en muestras de red en presencia de *G. catenatum* (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2006b), sin embargo, en la mayoría de las muestras dominaron las toxinas dcGTX 2-3.

Se ha demostrado que el contenido de toxinas varía con la fase de crecimiento en cepas de *G. catenatum* de Bahía de La Paz y de Bahía de Mazatlán, existiendo diferencias en el perfil de toxinas con el origen de la cepa (Band-Schmidt *et al.*, 2006). Es probable que otros factores metabólicos y/o genéticos puedan ser determinantes en el perfil y composición de las toxinas de *G. catenatum*. Oshima *et al.* (1993) asumen que los perfiles de toxinas son una expresión de las enzimas involucradas en la biosíntesis de toxinas y que la presencia o ausencia de toxinas es una evidencia de diferencias genéticas entre y dentro de las poblaciones. En general, la presencia de toxinas C1 y C2 es una característica común de diversas cepas de *G. catenatum* (Band-Schmidt *et al.*, 2005a, 2006; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2005). Sin embargo, existen diferencias en el perfil de toxinas entre cepas de distinto origen geográfico. Por ejemplo, las cepas del Pacífico Occidental, se caracterizan por un alto porcentaje de toxinas C1-C4 (Negri *et al.*, 2001). Cepas de Portugal y España presentan un

mayor contenido de toxinas B (Anderson *et al.*, 1989; Negri *et al.*, 2001; Camino-Ordás *et al.*, 2004). Cepas de Corea y Singapur presentan un mayor contenido de toxinas GTX2-3 (Park *et al.*, 2004). Es probable que diferencias genéticas deriven en diferentes respuestas fisiológicas hacia la localidad geográfica y que su composición tóxica esté gobernada por su carga genética, hipótesis aún por comprobar. Otra explicación pudiera deberse al método utilizado, ya que el perfil de toxinas en cepas de *G. catenatum* de Bahía Concepción han mostrado diferencias importantes en el perfil de toxinas al utilizar métodos diferentes (Pérez-Linares *et al.*, 2009). La presencia de los derivados como los hidroxibenzoatos descritos para esta especie (Negri *et al.*, 2007) no pueden descartarse pues el método que utilizamos no los detecta.

Uno de los mayores impactos nocivos durante los florecimientos de *G. catenatum* es la transferencia de sus toxinas hacia moluscos bivalvos. Durante el florecimiento masivo de este dinoflagelado tóxico diversas especies de moluscos bivalvos fueron contaminadas con toxinas paralizantes. Las concentraciones de las toxinas fueron diferentes en cada estación de recolecta, incluso en organismos de la misma especie. Sin embargo, sus mayores concentraciones ( $37.74 \mu\text{g STXeq } 100 \text{ g}^{-1}$ ) no rebasaron los límites permisibles de  $80 \mu\text{g STXeq } 100 \text{ g}^{-1}$ , especificados por la NOM-129-SSA-1995 y la regulación internacional como límites

máximos permisibles para el consumo humano (NOM, 1995; FAO, 1995). Los valores de toxinas son mayores a lo reportado para *Megapitaria squalida* de la Bahía de La Paz en el 2002 (Gárate-Lizárraga et al., 2004a), donde se presentó una concentración máxima de toxinas paralizantes de 5.46 µg STXeq 100 g<sup>-1</sup> coincidiendo con bajas abundancias de *G. catenatum*.

Un total de 11 toxinas paralizantes fueron identificadas y cuantificadas en los moluscos analizados. Sus perfiles difieren ampliamente con lo registrado en las muestras de red, aunque coinciden las muestras de fitoplancton y de moluscos en presentar altos porcentajes molares de C1 y C2. Gárate-Lizárraga et al. (2004a) identificaron siete toxinas en muestras de red de Bahía Concepción, siendo las principales dcGTX2, dcGTX3 y B1, mientras que los porcentajes de C1 y C2 fueron bajos. Estas dos últimas toxinas se registraron con porcentajes altos (>79 % molar) en la almeja *M. squalida* atribuyendo este hecho a su baja capacidad de biotransformación. Sin embargo, en el laboratorio se ha demostrado una activa biotransformación de las C1 y C2 a NeoSXT (Pérez-Cruz, 2008). Existen varios registros en diversas bahías del Golfo de California, donde la presencia de *G. catenatum* coincide con un alto porcentaje de toxinas C1 y C2 en diversas especies de moluscos (Band-Schmidt et al., 2004; Gárate-Lizárraga et al., 2004a, b). Cepas aisladas de *G. catenatum* del Golfo de California también se caracterizan por presentar un mayor porcentaje de toxinas C1 y C2 (Band-Schmidt et al., 2004, 2006; Gárate-Lizárraga et al., 2004, 2005). Es probable que los organismos bivalvos analizados en este trabajo adquirieron las toxinas C1 y C2 al alimentarse de *G. catenatum*.

Estudios de laboratorio han confirmado que algunas especies de moluscos retienen las toxinas durante diferentes tiempos variando sus tasas de depuración y cambiando la composición inicial de toxinas. Por ejemplo, la almeja *Patinopecten yessoensis* durante su depuración registra una disminución del grupo de toxinas GTX1-4 y neosaxitoxinas, e incrementa la concentración de GTX2-3, saxitoxina, y elimina el grupo O-sulfato (Oshima, 1995; Jaime et al., 2006). Choi et al. (2003), demuestran también que los moluscos *Chlamys nobilis* y el mejillón *Perna viridis* al exponerlas a la toxina N-sulfocarbamoil (C2) ejercen una biotransformación de esta toxina, encontrando evidencias de la presencia de goniautoxina GTX2 y GTX3, así como derivados de la decarbamoil dcGTX2, dcGTX3 y GTX5 derivados todo de la C2, indicando su biotransformación. Otra probable fuente de transformación de las toxinas en los moluscos es la actividad enzimática de algunas bacterias (Kodama et al., 1990; Smith et al., 2001), actividad que probablemente influyó en los resultados de este trabajo.

Nuestros resultados muestran que probablemente estos moluscos bivalvos tienen la capacidad de una hidrólisis enzimática para transformar toxinas N-sulfocarbamoil y carbamoil. Una transformación similar fue observada en la almeja *M. squalida*

bajo condiciones de laboratorio. En dicho estudio Pérez-Cruz (2008) encontró que *M. squalida* puede transformar toxinas del grupo N-sulfocarbamoil a toxinas carbamoil en poco tiempo. Así mismo, la transformación a toxinas decarbamoil, también ha sido reportada en otras especies de moluscos (*Macra chinensis*, *Peronidia venulosa*, *Protothaca staminea*, *Patinopecten yessoensis*, *Mytilus edulis*, *Chlamys nobilis*, *Perna viridis*), y algunas especies de caracoles (Sullivan et al., 1983; Anderson et al., 1989; Oshima et al., 1990; Oshima, 1995; Nagashima et al., 1995; Bravo et al., 1999; Choi et al., 2003). La relación inversa que muestran las toxinas sulfocarbamoil con respecto a las decarbamoil y carbamoil, en este estudio, apoyan esta biotransformación.

Todos los moluscos bivalvos analizados presentaron toxinas paralizantes durante el FAN de *G. catenatum* y por consiguiente pueden actuar como vectores de transferencia dentro de la cadena trófica marina y repercutir en la salud humana. Es probable que en las muestras de red, la falta de un amplio elenco de toxinas como el registrado en cepas aisladas de la Bahía de La Paz, se explique por el bajo número de células concentradas en la red de fitoplancton y a los límites de detección del equipo de cromatografía utilizado. La discrepancia entre el elenco de toxinas de las muestras de red de *G. catenatum* y la detectada en los moluscos bivalvos indican una biotransformación por los moluscos bivalvos como ha sido demostrado para otras especies de moluscos (Oshima, 1995; Bricelj & Shumway, 1998; Choi et al., 2003; Jaime et al., 2006). Este es el primer reporte bajo condiciones naturales del perfil de toxinas paralizantes para *M. aurantiaca*, *P. multicostrata* y *D. ponderosa*, en el Golfo de California. Se requiere un conocimiento más detallado sobre la adquisición, transformación y depuración de las toxinas paralizantes en moluscos de la Bahía de La Paz para su adecuado manejo pesquero ante la presencia de un FAN de esta especie.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a O. Armendáriz por la elaboración del mapa. Este trabajo estuvo financiado por los proyectos de CONACyT SEP-2007-84064, CONACyT SEP-2006-61226, SNI-90102 e institucionales PC3.1 y PC3.2. FEHS es estudiante de Posgrado del CICIMAR-IPN, becario CONACYT 202241. IGL y CJBS son becarios COFAA y EDI.

## REFERENCIAS

- AMORIN, A. & B. DALE. 2006. Historical cyst record as evidence for the recent introduction of the dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* in the north-eastern Atlantic. *African Journal of Marine Sciences* 28: 193-197.
- ANDERSON, D. M., J. J. SULLIVAN & B. REGUERA. 1989. Paralytic shellfish poisoning in Northwest Spain: the toxicity of *Gymnodinium catenatum*. *Toxicon* 27: 665-674.



- ANDERSON, D. M., D. M. KULIS, G. J. DOUCETTE, J. C. GALLAGHER & E. BALECH. 1994. Biogeography of toxic dinoflagellates in the genus *Alexandrium* from the northeastern United States and Canada. *Marine Biology* 120: 467-478.
- BAND-SCHMIDT, C. J., L. MORQUECHO, C. LECHUGA-DEVÉZE & D. M. ANDERSON. 2004. Effects of growth medium, temperature, salinity and seawater source on the growth of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) from Bahía Concepción, Gulf of California. *Journal of Plankton Research* 26:1459-70.
- BAND-SCHMIDT, C., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, I. GÁRATE-LIZÁRRAGA, C. H. LECHUGA-DEVÉZE, K. REINHARDT & B. LUCKAS. 2005a. Paralytic shellfish toxin profile in strains of the dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* Graham and scallop *Argopecten ventricosus* G.B. Sowerby II from Bahía Concepción, Gulf of California, Mexico. *Harmful Algae* 4: 21-31.
- BAND-SCHMIDT, C. J., A. MARTÍNEZ-LÓPEZ & I. GÁRATE-LIZÁRRAGA. 2005b. First record of *Chattonella marina* in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Harmful Algae News, IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms* 28: 6-7.
- BAND-SCHMIDT, C., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, L. MORQUECHO-ESCAMILLA, I. GÁRATE-LIZÁRRAGA, R. ALONSO-RODRÍGUEZ, A. REYES-SALINAS, K. ERLER & B. LUCKAS. 2006. Variations of PSP toxin profiles during different growth phases in *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) strains isolated from three locations in the Gulf of California, Mexico. *Journal of Phycology* 42: 757-768.
- BAND-SCHMIDT, C. J., D. ROJAS-POSADAS, L. MORQUECHO & N. Y. HERNÁNDEZ-SAAVEDRA. 2008. Heterogeneity of LSU rDNA sequences and morphology of *Gymnodinium catenatum* strains in Bahía Concepción, Gulf of California, Mexico. *Journal of Plankton Research* 30: 755-763.
- BRAVO, I., M. I. REYERO, E., CACHO & J. M. FRANCO. 1999. Paralytic shellfish poisoning in *Haliotis tuberculata* from the Galician coast: geographical distribution, toxicity by lengths and parts of the mollusks. *Aquatic Toxicology* 46: 79-85.
- BRICELJ, V. M. & S. E. SHUMWAY. 1998. Paralytic shellfish toxins in bivalve mollusks: occurrence, transfer kinetics, and biotransformations. *Reviews in Fisheries Science* 6: 315-383.
- CABRERA-MANCILLA, E., C. RAMÍREZ-CAMARENA, L. MUÑOZ-CABRERA, L. & A. MONREAL-PRADO. 2000. Primer registro de *Gymnodinium catenatum* Graham (Gymnodiniaceae) como causante de marea roja en la Bahía de Acapulco, Gro. México. In: Ríos-Jara, E., E. Juárez-Carillo, Pérez-Peña, M., López-Uriarte, E., Robles-Jarero, E.G., Hernández-Becerril, D.U. & Silva-Briano, M. (Eds.). *Estudios sobre plancton en México y el Caribe*. Sociedad Mexicana de Planctología y Universidad de Guadalajara. pp. 85-86.
- CAMINO-ORDÁS, M. S. FRAGA, J. M. FRANCO, A. ORDÁS & A. FIGUERAS. 2004. Toxin and molecular analysis of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) strain from Galicia (NW Spain) and Andalucía (S Spain). *Journal of Plankton Research* 26: 341-329.
- CERVANTES-DUARTE, R., F. AGUIRRE-VAENA, A. REYES-SALINAS & J. VALDEZ-HOLGUÍN. 2001. Hidrological characterisation of a coastal lagoon of Baja California Sur, México. *Océánides* 16: 93-105.
- CERVANTES-DUARTE, R., G. VERDUGO-DÍAZ & J. VALDEZ-HOLGUÍN. 2005. Seasonal model of primary production estimated by natural fluorescence in a coastal region of Gulf of California, Mexico. *Hidrobiológica* 15:79-87.
- CHOI, M. C., D.P. HSIEH, P. K. LAM & W. X. WANG. 2003. Field depuration and biotransformation of paralytic shellfish toxins in scallop *Chlamys nobilis* and green-lipped mussel *Perna viridis*. *Marine Biology* 143: 927-934.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R. 1987. Observaciones de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sin., México. *Ciencias Marinas* 13: 1-19.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R. & R. ALONSO-RODRÍGUEZ. 1997. Mareas rojas durante 1997 en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Ciencias del Mar, UAS* 15: 31-37.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R. & A. NÚÑEZ-PASTEN. 1991. Registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Revista de Investigación Científica, UABCS* 2: 44-55.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R. & A. NÚÑEZ-PASTEN. 1992. Doce años (1979-1990) de registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 19: 113-121.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R., P. A. NÚÑEZ & M. N. PASTEN. 1999. Abundancia anual de *Gymnodinium catenatum* Graham dinoflagelado tóxico de la costa este del Golfo de California. *Ciencias del Mar* 35: 51-56.
- CRUZ-OROZCO, R., C. MARTÍNEZ-NORIEGA & A. MENDOZA-MARAVILLA. 1996. Batimetría y sedimentos de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Océánides* 11: 21-27.
- DE SILVA-DÁVILA, R. & R. PALOMARES-GARCÍA. 2002. Distributional patterns of the euphausiids community in Bahía de La Paz, B.C.S., Mexico. In: Hendrickx, M.E. (Ed.). *Contributions to the Study of East Pacific Crustaceans [Contribuciones al Estudio de los Crustáceos del Pacífico Este]*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. pp. 109-125.
- DOUGLAS, M. W., R.A. MADDIX, K. HOWARD & S. REYES. 1993. The Mexican monsoon. *Journal of Climate* 6: 1665-1677.
- ESPIÑOZA, A. J. 1979. Resultados preliminares sobre la distribución superficial de parámetros físico-químicos en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, durante la primavera de 1976. California cooperative oceanic fisheries investigations (*CalCOFI Report* 20:150-163).
- FAO. 2005. Marine Biotoxins. FAO Food and Nutrition Paper 80. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Roma, Italia. 278 pp.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I. & A. MARTÍNEZ-LÓPEZ. 1997. Primer registro de una marea roja de *Prorocentrum mexicanum* (Prorocentraceae) en el Golfo de California. *Revista de Biología Tropical* 45: 1263-1271.

- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, L. M. MORQUECHO & C. H. LECHUGA-DÉVEZE. 2000. First Outbreak of *Cochlodinium polykrikoides* in the Gulf of California. *Harmful Algae News IOC Newsletter on toxic and algae blooms*, Paris, France. 21: 7.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., M. HERNÁNDEZ-OROZCO, C. J. BAND-SCHMIDT & G. SERRANO-CASILLAS. 2001. Red tides along the coasts of the Baja California Sur, Mexico (1984 to 1999). *Oceánides* 16: 127-134.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., D. A. SIQUEIROS-BELTRONES & V. MALDONADO-LÓPEZ. 2003. First record of a *Rhizosolenia debyana* bloom in the Gulf of California, Mexico. *Pacific Science* 57: 141-145.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., D. J. LÓPEZ-CORTÉS, J. J., BUSTILLOS-GUZMÁN, & F. HERNÁNDEZ-SANDOVAL. 2004. Blooms of *Cochlodinium polykrikoides* (Gymnodiniaceae) in the Gulf of California, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 52: Supl. (1): 51-58.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, K. ERLER, S. MUÑETÓN-GÓMEZ, B. LUCKAS & A. TRIPP-QUEZADA. 2004a. Paralytic shellfish toxins in the chocolata clam, *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae), in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Biología Tropical* 52: 133-140.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, R. ALONSO-RODRÍGUEZ, & B. LUCKAS. 2004b. Comparative paralytic shellfish toxin profiles in two marine bivalves during outbreaks of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) in the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 48(3,4): 397-402.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., J. J. BUSTILLOS GUZMÁN, M. MORQUECHO, C. J. BAND-SCHMIDT, R. ALONSO-RODRIGUEZ, K. ERLER, B. LUCKAS, A. REYES-SALINAS & D.T. GÓNGORA-GONZÁLEZ. 2005. Comparative paralytic shellfish toxin profiles in the strains of *Gymnodinium catenatum* Graham from the Gulf of California, México. *Marine Pollution Bulletin* 50: 213-219.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I. M. S. MUÑETÓN-GÓMEZ & V. MALDONADO-LÓPEZ. 2006a. Florecimiento del dinoflagelado *Gonyaulax polygramma* frente a la isla Espíritu Santo, Golfo de California, México. *Revista de Investigaciones Marinas* 27: 31-39.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, D. LÓPEZ-CORTÉS, F. HERNÁNDEZ-SANDOVAL, K. ERLER & B. LUCKAS. 2006b. Paralytic shellfish toxin profiles in net phytoplankton samples from Bahía Concepción, Gulf of California, México. *Marine Pollution Bulletin* 52: 800-815.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., C. J. BAND-SCHMIDT, J.J. BUSTILLOS-GUZMÁN & D. LÓPEZ-CORTÉS. 2007. Bloom of *Pseudo-nitzschia fraudulenta* in Bahía de La Paz, Gulf of California (June-July 2006). *Harmful Algae News*, IOC-UNESCO 32: 6-7.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., B. PÉREZ-CRUZ, J. DÍAZ-ORTÍZ & C. J. BAND-SCHMIDT. 2008. Microalgas y biotoxinas marinas en las costas mexicanas. *Conversus* 9: 22-26.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., C. J. BAND-SCHMIDT, F. AGUIRRE BAHENA & T. GRAYEB-DEL ALAMO. 2009. A multi-species microalgae bloom in Bahía de La Paz, Gulf of California, Mexico (June 2008). *CICIMAR Oceánides* 24 (1): 15-29.
- GRAHAM, H. W. 1943. *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. *Transactions of the American Microscopical Society* 62: 259-261.
- GULUARTE-CASTRO, A. L. & M. A. BAÑUELOS. 2007. Florecimiento de Algas Nocivas (Marea roja) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur. *Red Sanitaria* 3: 1-4.
- HALLEGRAEFF, G. M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32: 79-99.
- HALLEGRAEFF, G. M. & S. FRAGA. 1996. Blooms dynamics of the toxic *Gymnodinium catenatum*, with emphasis on Tasmanian and Spanish coastal waters. In: Anderson, D.M. & G.H. Hallegraeff (Eds.). *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. NATO ASI. Series*, P. 41: 59-80.
- HEISLER, J., P. M. GILBERT, J. M. BURKHOLDER, D. M. ANDERSON, W. COCHLAN, W.C. DENNISON, A. DORTCH, C.J. GOBLER, C.A. HEIL, E. HUMPHIES, A. LEWITUS, R. MAGNIEN, H.G. MARSHALL, K. SELLNER, D.A. STOCKWELL, D. K. STOECKER & M. SUDDLESON. 2008. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae* 8: 3-13.
- HERNÁNDEZ-BECERRIL, D. U., R. ALONSO-RODRÍGUEZ, C. ÁLVAREZ-GÓNGORA, S.A. BARÓN-CAMPIS, G. CEBALLOS-CORONA, J. HERRERA-SILVEIRA, M.E. MEAVE DEL CASTILLO, N. JUÁREZ-RUIZ, F. MERINO-VIRGILIO, A. MORALES-BLAKE, J.L. OCHOA, E. ORELLANA-CEPEDA, C. RAMÍREZ-CAMARENA & R. RODRÍGUEZ-SALVADOR. 2007. Toxic and harmful marine phytoplankton and microalgae (HABS) in Mexican Coasts. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 42: 1349-1363.
- HUMMERT, C., M. RITSCHER, K. REINHARDT & B. LUCKAS. 1997. Analysis of the characteristic PSP profiles of *Pyrodinium bahamense* and several strains of *Alexandrium* sp. by HPLC based on ion-pair chromatographic separation, post-column oxidation, and fluorescence detection. *Chromatographia* 45: 312-316.
- JAIME, E., G. GERDTS & L. BERN. 2006. *In vitro* transformation of PSP toxins different shellfish tissues. *Harmful Algae* 6: 308-316.
- JIMÉNEZ-ILLESCAS, A. R., M. OBESO-NIEBLAS & D. A. SALAS-DE-LEÓN. 1997. Oceanografía física de la Bahía de La Paz, B.C.S. pp. 31-41. In: Urban R. J. & M. Ramírez-Rodríguez (Eds.). *La Bahía de La Paz, Investigación y Conservación*. UABCS-CICIMAR-SCRIPPS, 345 p.
- KODAMA, M., T. OGATA, S. SATO & S. SAKAMOTO. 1990. Possible association of marine bacteria with paralytic shellfish toxicity of bivalves. *Marine Ecology Progress Series* 61: 203-206.
- LICEA, S., S. GÓMEZ-AGUIRRE, R. CORTÉS-ALTAMIRANO & S. GÓMEZ, S. 1999. Notas sobre algunos florecimientos algales y la presencia de especies tóxicas en cinco localidades del Pacífico Mexicano (1996-1999). In: Tresierra-Aguilar, A.E. & Z.G. Culquichicón-Malpica (Eds.). *VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar*, p. 335-337.

- LÓPEZ-CORTÉS, D.J., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN & I. GÁRATE-LIZÁRRAGA. 2006. Unusual mortality of Krill (Crustacea: Euphausiacea) in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Pacific Science* 60: 235-242.
- LÓPEZ-CORTÉS, D. J., I. GÁRATE-LIZÁRRAGA J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN & F. HERNÁNDEZ-SANDOVAL. 2008. Proceso tróficos en la porción Suroccidental de la península de Baja California [http://www.ine.gov.mx/dgioece/ord\\_ecol/bienal\\_poem\\_golfo\\_california.html](http://www.ine.gov.mx/dgioece/ord_ecol/bienal_poem_golfo_california.html)
- MEE, L. D., M. ESPINOSA & G. DÍAZ. 1986. Paralytic shellfish poisoning with a *Gymnodinium catenatum* red tide on the Pacific coast of Mexico. *Marine Environmental Research* 19: 17-92.
- MONREAL-GÓMEZ, M. A., A. MOLINA-CRUZ, A. & D. A. SALAS-DE LEÓN. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1988. *Journal of Marine Systems* 30: 305-331.
- MORALES-BLAKE, A., D.U. HERNÁNDEZ-BECERRIL & C. CAVAZOS-GUERRA. 2000. Registros de Mareas Rojas en las Bahías de Manzanillo, Colima, México. In: Ríos-Jara, E., E. Juárez-Carillo, 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. p. 81-82.
- NAGASHIMA, Y., O. ARAKAWA, K. SHIOMI & T. NOGUCHI. 1995. Paralytic shellfish poisons of former, *Haliotis tuberculata*, from Spain. *Journal of the Hygienic Society of Japan* 36: 627-631.
- NEGRI, A. P., C. BOLCH, S. BLACKBURN, M. DICKMAN, L. E. LLEWELLYN & S. MENDEZ. 2001. Paralytic shellfish toxins in *Gymnodinium catenatum* strain from six countries. In: Hallegraeff, G.M., S.I. Blackburn, C.J. Bolch & R.J. Lewis (Eds.). *Harmful Algal Blooms 2000. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO*, Paris, pp. 210-213.
- NEGRI, A. P., C. BOLCH, S. GEIER, D. GREEN, TAE-GYU & S. BLACKBURN. 2007. Widespread presence of hydrophobic paralytic shellfish toxins in *Gymnodinium catenatum*. *Harmful Algae* 6: 774-780.
- NOM. 1995. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-129-SSA-1995. Bienes y Servicios. Productos de la pesca: secos-salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. *Diario Oficial de la Federación*. 6 de Marzo de 1995. México.
- NÚÑEZ-VÁZQUEZ, E. J., A. HEREDIA-TAPIA, J. C. PÉREZ-URBIOLA, R. ALONSO-RODRÍGUEZ, J. ARELLANO-BLANCO, A. CORDERO-TAPIA, J. PÉREZ-LINARES & J. L. OCHOA. 2003. Evaluation of dinoflagellate toxicity implicated in recent HAB events in the Gulf of California, Mexico. p. 94. In: Holland, P., L. Rhodes & L. Brown (Eds.). *Cawtron Report No. 906. Proceedings from HABTech 2003, APEC. A workshop on technologies for monitoring of harmful algal blooms and marine biotoxins*. Cawthron Institute. 26-30 November 2003 Nelson, New Zealand.
- OBESO-NIEBLAS, B. SHIRASAGO, L. SÁNCHEZ-VELASCO & J.H. GAVIÑO-RODRIGUEZ. 2004. Hydrographic variability in Bahía de La Paz, B.C.S., Mexico, during the 1997-1998 El Niño. *Deep-Sea Research II* 51: 689-710.
- OCHOA, J. L., A. SÁNCHEZ-PAZ, A. CRUZ-VILLACORTA, E. NÚÑEZ-VÁZQUEZ & A. SIERRA-BELTRÁN. 1997. Toxic events in the northwest Pacific coastline of Mexico during 1992-1995: origin and impact. *Hidrobiologia* 352:195-200.
- OSHIMA, Y., K. SUGINO, H. ITAKURA, M. HIROTA & T. YASUMOTO. 1990. Comparative studies on paralytic shellfish toxin profile of dinoflagellates and bivalves. In: Granéli, E., B. Sundstrom, L. Elder & D.M. Anderson (Eds.). *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier, New York, pp. 391-396.
- OSHIMA, Y., H. ITAKURA, L. KIAN-CHUAN, T. YASUMOTO, S. BLACKBURN & G.M. HALLEGRAEFF. 1993. Toxin Production by the dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. In: Smayda, Y. J. & Y. Shimizu. (Eds.). *Toxic Marine Phytoplankton in the Sea*. Elsevier, New York, pp. 907-912.
- OSHIMA, Y. 1995. Chemical and enzymatic transformation of paralytic shellfish toxins in marine organisms. In: Lassus, P., G. Arzul, E. Erard, P. Gentien & C. Marcaillou (Eds.). *Harmful Marine Algal Blooms*. Lavoisier Science Publishers, Paris, pp. 475-480.
- PARK, T. G., C. H. KIM & Y. OSHIMA. 2004. Paralytic shellfish toxin profiles of different geographic populations of *Gymnodinium catenatum* Dinophyceae in Korean coastal waters. *Phycological Research* 52: 300-305.
- PÉREZ-CRUZ, L. 2006. Climate and ocean variability during the middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. *Quaternary Research* 65: 401-410.
- PÉREZ-CRUZ, B. 2008. Tasa de depuración de toxinas paralizantes producidas por *Gymnodinium catenatum* (Graham, 1943) en la almeja chocolata *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835). Tesis de Maestría en Ciencias. Centro Interdisciplinario en Ciencias Marinas-IPN. La Paz, B.C.S. México. 52 p.
- PÉREZ, G. 1988. El viento superficial en el noroeste de México. *Instituto de Geografía*. Bol. No. 18. UNAM. México, D.F. pp. 31-49.
- PÉREZ-LINARES, J., J.L. OCHOA & A.G. MARTÍNEZ. 2009. Retention and tissue damage of PSP and NSP toxins in shrimp: Is cultured shrimp a potencial vector of toxins to human population?. *Toxicon* 53: 185-195.
- REYES-SALINAS, A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en la Bahía de La Paz, B.C.S. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro Interdisciplinario en Ciencias Marinas-IPN, México, 111 p.
- SALDATE-CASTAÑEDA, O., J. VÁZQUEZ-CASTELLANOS, J. GALVÁN, A. SÁNCHEZ-ANGUIANO & A. NAZAR. 1991. Intoxicaciones por toxina paralizante de molusco en Oaxaca. *Salud Pública Mexicana* 33: 240-247.

- SMAYDA, T. J., 1997. Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnology and Oceanography* 42 (5, part 2): 1137-1153.
- SMAYDA, T. 2002. Adaptative ecology, growth strategies and the global bloom expansion of dinoflagellates. *Journal of Oceanography* 58: 281-294.
- SMITH, J. J., F. GRANT, C. M. J. FERGUSON & S. GALLACHER. 2001. Biotransformation of paralytic shellfish toxin by bacteria isolated from bivalve mollusks. *Applicate of Environmental Microbiology* 67: 2345-2353.
- STRICKLAND J. D. H. & T. R. PARSONS. 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Bulletin 167 of the Fisheries. Research, Board of Canada* (second edition). pp. 71-80, 49-52, and 263-266.
- SULLIVAN, J. J., W. T. IWAOKA & J. LISTON. 1983. Enzymatic transformation of PSP toxins in the littleneck clam (*Protothaca staminea*). *Biochemical Biophysical Research Communications* 114: 465-472.
- THRONDSEN, J. 1979. Special methods-micromanipulators. In: Stein, R. J. (Ed.). *Handbook of phycological methods: culture methods and growth measurements*. Cambridge. London, pp. 139-144.
- UTERMÖHL, H. 1958. Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung Theorie Angewandte Limnologie* 9: 1-38.
- YU, R. C., C. HUMMERT, B. LUCKAS, P.Y. QIAN & M. J. ZHOU. 1998. Modified HPLC method for analysis of PSP toxins in algae and shellfish from China. *Chromatographia* 48: 671-676.
- ZEPEDA-ESQUIVEL, M.A. & M.E. MEAVE DEL CASTILLO. 2007. FAN de dinoflagelados en Manzanillo, Col., durante abril-mayo del 2007. *Resúmenes del II Taller sobre Florecimientos Algales Nocivos*, Ensenada, B.C., México, p. 9.
- ZINGONE, A. & E.H. OKSFELDT. 2000. The diversity of harmful algal blooms: A challenge for science and management. *Ocean Coastal Management* 43: 725-748.

Recibido: 16 de junio de 2009.

Aceptado: 23 de noviembre de 2009.