

## Co-ocurrencia de *Chattonella marina* y *Gymnodinium catenatum* en la Bahía de La Paz, Golfo de California (primavera 2009)

## Co-occurrence of *Chattonella marina* and *Gymnodinium catenatum* in Bahía de La Paz, Gulf of California (Spring 2009)

David Javier López-Cortés,<sup>1</sup> Christine Johanna Band-Schmidt,<sup>2</sup> Ismael Gárate-Lizárraga,<sup>2</sup> José Jesús Bustillos-Guzmán,<sup>1</sup> Francisco Eduardo Hernández-Sandoval<sup>1</sup> y Erick Julian Núñez-Vázquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, A.P. 128, La Paz, B.C.S. CP. 23000, México

<sup>2</sup>Departamento de Plancton y Ecología Marina, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, A.P. 592, La Paz, B.C.S. CP. 23000  
e-mail: dlopez04@cibnor.mx

---

López-Cortés, D. J., C. J. Band-Schmidt, I. Gárate-Lizárraga, J. J. Bustillos-Guzmán, F. E. Hernández-Sandoval y E. J. Núñez-Vázquez. 2011. Co-ocurrencia de *Chattonella marina* y *Gymnodinium catenatum* en la Bahía de La Paz, Golfo de California (primavera 2009). *Hidrobiológica* 21(2): 185-196.

### RESUMEN

Durante el período del 24 de marzo al 14 de mayo de 2009 en la Bahía de La Paz, se obtuvieron muestras de agua y de red para análisis de fitoplancton. Una alícuota se fijó con una solución de Lugol para la identificación y cuantificación, la de red se utilizó para la identificación *in vivo*. Semanalmente se midió la temperatura *in situ*, se determinaron nutrientes inorgánicos y clorofila *a* en tres estaciones. Se identificaron dos especies: *Chattonella marina* (Subrahmanyam) Y. Hara *et* Chihara y *Gymnodinium catenatum* Graham. *Chattonella marina* fue la especie más abundante con densidades de  $14 \times 10^3$  a  $36 \times 10^3$  cél. L<sup>-1</sup> a nivel sub-superficial. *Gymnodinium catenatum* se registró con densidades de  $1 \times 10^3$  a  $19 \times 10^3$  cél. L<sup>-1</sup>. La temperatura del agua fue homogénea desde la superficie hasta los 20 m de profundidad, con un intervalo de 19.5 a 22.0 °C y de 20.0 a 21.5 °C a finales de marzo y abril respectivamente. En la primera mitad de mayo se inició la estratificación, con una diferencia térmica de 5.0 °C entre la superficie y los 20 m. Los nitratos variaron de 0.5 a 11.0 µM y los ortofosfatos de 0.4 a 2.6 µM. La clorofila *a* en marzo presentó un valor en superficie de 7.5 mg m<sup>-3</sup> y a 20 m de 3.5 mg m<sup>-3</sup>, en mayo varió de 2.0 a 7.0 mg m<sup>-3</sup>. Se concluye que la aparición de las dos especies observadas en este estudio se asocia a la disminución de los procesos de mezcla en esta bahía.

**Palabras clave:** *Chattonella marina*, *Gymnodinium catenatum*, Bahía de La Paz, Golfo de California, fitoplancton marino.

### ABSTRACT

During the period of 24 March to 14 May 2009, water and net samples were obtained for phytoplankton analyses; one aliquot was fixed in Lugol's solution for species quantification and identification. Net samples were used for the identification of live phytoplankton species. Additionally, temperature *in situ*, chlorophyll *a* and inorganic nutrients were measured weekly in three stations. Two species were identified: *Chattonella marina* (Subrahmanyam) Y. Hara *et* Chihara and *Gymnodinium catenatum* Graham. *Chattonella marina* was the most abundant species with a density at subsurface level of  $14 \times 10^3$  to  $36 \times 10^3$  cell L<sup>-1</sup>. *Gymnodinium catenatum* had densities were of  $1 \times 10^3$  to  $19 \times 10^3$  cell L<sup>-1</sup>. Water column temperature was *quasi* homogeneous from surface to 20 m in depth, with an interval of 19.5 to 22.0 °C and 20.0 to 21.5 °C from March to April respectively. In the middle of May stratification of the water column initiated with a slight temperature difference of 5.0 °C recorded from surface to 20 m in depth. Nitrates varied from 0.5 to 11.0 µM and

orthophosphates from 0.4 to 2.6  $\mu\text{M}$ . Chlorophyll *a* showed a value at surface level of 7.5  $\text{mg m}^{-3}$  and 3.5  $\text{mg m}^{-3}$  at 20 m in March; in May chlorophyll *a* values ranged between 2.0 to 7.0  $\text{mg m}^{-3}$ . We conclude that the presence of these two species during this study period was associated to the relaxation of the mixing processes in the zone.

**Key words:** *Chattonella marina*, *Gymnodinium catenatum*, Bahía of La Paz, Gulf of California, marine phytoplankton.

## INTRODUCCIÓN

Los florecimientos de microalgas son frecuentes y periódicos a lo largo de todo el año en la Bahía de La Paz, ubicada al suroeste del Golfo de California (Gárate-Lizárraga & Muñetón-Gómez, 2008). Estos autores señalaron que las especies causantes de estos florecimientos pertenecen a diversos grupos del fitoplancton: dinoflagelados, diatomeas, rafidofitas, silicoflagelados, cianobacterias planctónicas y al ciliado *Myrionecta rubra* (Lohmann) Jankowski. Recientemente, las rafidofíceas y los dinoflagelados han despertado el interés de muchos investigadores, ya que pueden llegar a representar un problema para la salud pública o para el bienestar de los ecosistemas costeros. Los miembros de la clase Raphidophyceae son organismos desnudos, flagelados y autótrofos, se distribuyen en aguas sub-árticas, templadas, subtropicales y tropicales (Marshall & Hallegraeff, 1999; Edvardsen & Imai, 2006). Algunas especies forman florecimientos algales nocivos y producen brevetoxinas, hemolisinas, hemaglutininas y sustancias reactivas de oxígeno (Shimada *et al.*, 1993; Bourdelais *et al.*, 2002; Marshall *et al.*, 2003; Tang *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2001, 2007; Jenkinson *et al.*, 2007; Kim & Oda 2010). El tamaño de sus células varía de 10 a 90  $\mu\text{m}$ , son unicelulares, de forma ovoide, alargadas y periformes, carecen de pared celular rígida, presentan dos flagelos heterodinámicos, contienen tricocistos y mucocistos (Hallegraeff & Hara, 1995) y forman quistes (Imai *et al.*, 1998; Yamaguchi *et al.*, 2008). Por su parte *Gymnodinium catenatum* Graham es un dinoflagelado desnudo, el tamaño de sus células varía de 20-60  $\mu\text{m}$ , forma cadenas y produce toxinas paralizantes (Hallegraeff & Fraga, 1998). Contiene más de 20 análogos de saxitoxina (Jaime *et al.*, 2007; Wiese *et al.*, 2011), su forma vegetativa ha sido encontrada en diferentes partes del mundo (Hallegraeff & Fraga, 1998) y en México únicamente se ha registrado en las costas mexicanas del Pacífico, incluyendo al Golfo de California (Band-Schmidt *et al.*, 2010). Esta especie fue descrita por primera vez para el Golfo de California por Graham (1943). El primer registro de decesos humanos por consumo de mariscos contaminados con *G. catenatum*, fue documentado por Mee *et al.* (1986) en el Golfo de California, aunque también esta especie provoca mortandad de peces (Mee *et al.*, 1986; Cortés-Altamirano *et al.*, 1995; Cortés-Altamirano & Alonso-Rodríguez, 1997).

Los florecimientos de rafidofíceas y de *G. catenatum* se han registrado en diferentes ecosistemas marinos costeros del mundo (Vrieling *et al.*, 1995; Hallegraeff & Fraga, 1998; Marshall & Hallegraeff, 1999; Tiffany *et al.*, 2001; Lu & Hodgkiss, 2001; Bourdelais *et al.*, 2002; Marshall *et al.*, 2003; Waite & Lindahl, 2006; Imai *et al.*,

2006; Mikhail, 2007; Yamaguchi *et al.*, 2008; Band-Schmidt *et al.*, 2010). En México se han registrado en el Golfo de California y en las costas del Pacífico mexicano (Cortés-Lara *et al.*, 2003; Faus-to-Sotelo, 2004; Band-Schmidt *et al.*, 2004, 2005; Barraza-Guardado *et al.*, 2004; Cortés-Altamirano *et al.*, 2006; Martínez-López *et al.*, 2006). Las rafidofíceas también se registraron en el Golfo de México (Band-Schmidt *et al.*, 2004). En un florecimiento mixto de *C. marina* (Subrahmanyam) Y. Hara *et* Chihara, *C. ovata* Y. Hara *et* Chihara, *C. cf. ovata*, *G. catenatum* y *Pseudo-nitzschia* sp., en la Bahía de Kun Kaak, Sonora y en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, se registraron mortandades de peces, moluscos, cangrejos y post-larvas de camarón (Barraza-Guardado *et al.*, 2004; Cortés-Altamirano *et al.*, 2006). En la Bahía de La Paz, sólo existe un reporte de un florecimiento de *C. marina* que ocurrió a una temperatura superficial de 22.0 °C (Band-Schmidt *et al.*, 2005), sin embargo, esta especie se ha registrado en temperaturas de 30.0 °C, sin observarse mortandad de peces (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2006).

Durante un monitoreo periódico realizado en el año 2009 en la Bahía de La Paz, para detectar organismos de la Clase Rafidofíceas, en marzo, abril y mayo se registró la presencia del género *Chattonella* y la especie *Gymnodinium catenatum*, por lo que en esta contribución se describen las condiciones ambientales durante su aparición.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Del 24 de marzo al 14 de mayo de 2009 se realizaron muestreos cada 7  $\pm$  4 días, en tres estaciones de muestreo (E-1, E-2, E-3) en la Bahía de La Paz, Baja California Sur (24°12.90' N y 110°19.57' O; 24°14.72' N y 110°20.64' O; 24°19.57' N y 110°21.60' O). (Fig. 1). En cada estación se recolectaron muestras de agua a profundidades discretas en la columna de agua (superficie, 5 m, 10 m, 15 m y 20 m), con una botella van Dorn de 3L para cuantificar nutrientes, clorofila *a*, y registrar la temperatura. De este volumen de agua de mar, 500 mL se utilizaron para el conteo e identificación de fitoplancton, 500 mL se pasaron a través de una membrana de fibra de vidrio (GF/F Whatman). El residuo filtrado se utilizó para cuantificar nutrientes y el material retenido en la membrana se usó para cuantificar la clorofila *a*. Para cuantificar la abundancia principalmente de rafidofíceas y *G. catenatum*, se fijó una muestra de agua de mar con solución de Lugol, los organismos fueron sedimentados en cubetas de sedimentación de 5 mL y se leyeron en un microscopio invertido (Carl Zeiss). También se hicieron observaciones para la identificación de las rafidofíceas con material vivo que fue extraído con una red de 20  $\mu\text{m}$  de luz de malla,

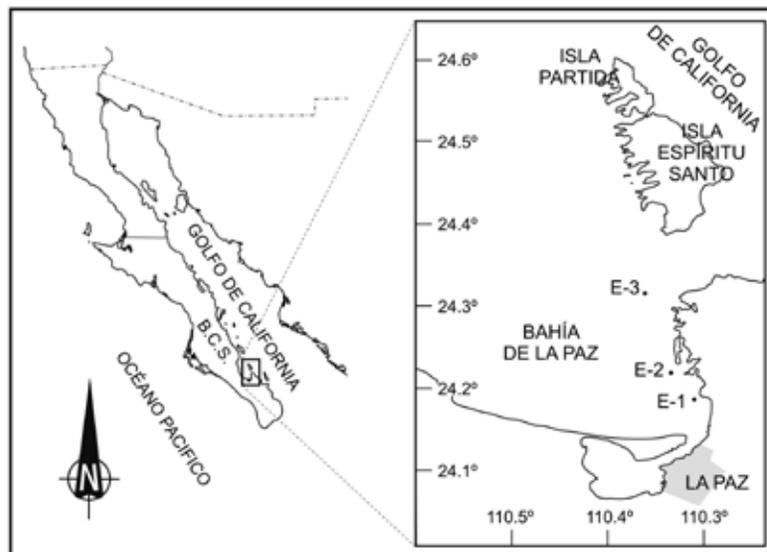


Figura 1. Zona de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo realizado de marzo a mayo de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California, México.

mediante arrastres verticales y superficiales. La temperatura se midió con un termómetro de cubeta ( $\pm 0.1$  °C) (Kahlsico International Corp., El Cajon, California). Los nutrientes ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ) se cuantificaron con un autoanalizador de iones de flujo continuo (Quik Chem, Series 8000, Milwaukee, WI, USA) siguiendo el método propuesto por Strickland y Parsons (1972). La clorofila *a* se cuantificó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) de acuerdo a Vidussi *et al.* (1996). Los datos de vientos fueron obtenidos de la estación meteorológica del CIBNOR (<http://www.cibnor.gob.mx/meteo/ecibmet.html>).

## RESULTADOS

Se identificaron dos especies; la rafdoficea *C. marina* y el dinoflagelado *G. catenatum*. Las células de *C. marina* variaron considerablemente en forma y tamaño (Fig. 2 a-c), observándose células alargadas, en forma de gota y redondas. La longitud varió entre 30 y 85  $\mu\text{m}$  y la anchura entre 30 y 47  $\mu\text{m}$  ( $n = 45$ ). Peculiarmente fue la estación E-1 donde se presentaron las mayores abundancias de *C. marina* y *G. catenatum* (Fig. 2 d-f) ya que en las otras estaciones fueron escasas. A fines de marzo la abundancia de *C. marina*, fue de  $14 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$  a los 5 m y máxima a los 15 m de  $36 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ , posteriormente, en abril la máxima abundancia fue a 5 m con  $10 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$  y a 15 m se encontraron  $12 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$  (Fig. 3 a). En abril en la E-2 se presentaron abundancias de  $2.6 \times 10^3$  a  $5.8 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$  aunque el 7 de abril de 2009 se registraron las mayores concentraciones a 5 m ( $32 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ ) y a 20 m ( $18.8 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ ). En la primera mitad de mayo, únicamente en la estación E-2 *C. marina* fue abundante ( $16 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ ), en la E-1 y E-3 las abundancias fueron bajas (de  $4 \times 10^3$  a  $10 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ ). En la estación

E-1 se registraron las máximas abundancias de *G. catenatum*. Su presencia en la columna de agua en marzo y abril fue con abundancias de  $1 \times 10^3$  a  $19 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ . El número máximo de células de *G. catenatum* se registró el 19 y 27 de marzo y 17 de abril a 15 y 20 m de profundidad con abundancias de  $12 \times 10^3$ ;  $15 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$  y de  $19 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ , respectivamente (Fig. 3 b). En mayo disminuyó la abundancia y no se detectaron en todas las profundidades, sólo en 10, 15 y 20 m en un intervalo de  $1.2 \times 10^3$  a  $3.6 \times 10^3$  cél  $\text{L}^{-1}$ . Ambas especies se han registrado como tóxicas, sin embargo en la zona de estudio no se observó mortandad de peces. En la tabla 1 se resumen los trabajos de especies de *Chattonella* para las costas de México y algunas variables registradas, así como florecimientos multispecíficos que incluyen a *G. catenatum*, especie tóxica ampliamente distribuida en el Pacífico mexicano.

La mayor concentración de clorofila *a* se registró en la estación E-1, a finales de marzo siendo de  $7.5 \text{ mg m}^{-3}$  en la superficie y a 20 m de  $3.5 \text{ mg m}^{-3}$  y en mayo fue con un gradiente de  $<1.0$  a  $7.5 \text{ mg m}^{-3}$  de superficie a 20 m. En abril los valores de clorofila *a* fueron homogéneos y relativamente bajos ( $<1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ). En la E-2 los valores fueron bajos con excepción del valor encontrado a los 10 m que tuvo un valor de  $3.2 \text{ mg m}^{-3}$ . En la E-3 en marzo y abril fueron de  $0.5$ - $1.0 \text{ mg m}^{-3}$  y valores altos en mayo ( $4.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) (Figs. 4 a, b, c).

La temperatura del agua en las tres estaciones de muestreo fue con escasa variación desde la superficie hasta los 20 m de profundidad al final de marzo y durante abril, con un intervalo de  $19.5$  a  $22.0$  °C. En la primera mitad de mayo, se observó la estratificación de la columna de agua por debajo de los 5 m de profundidad principalmente en la estación E-1 y E-2, con un gradiente térmico

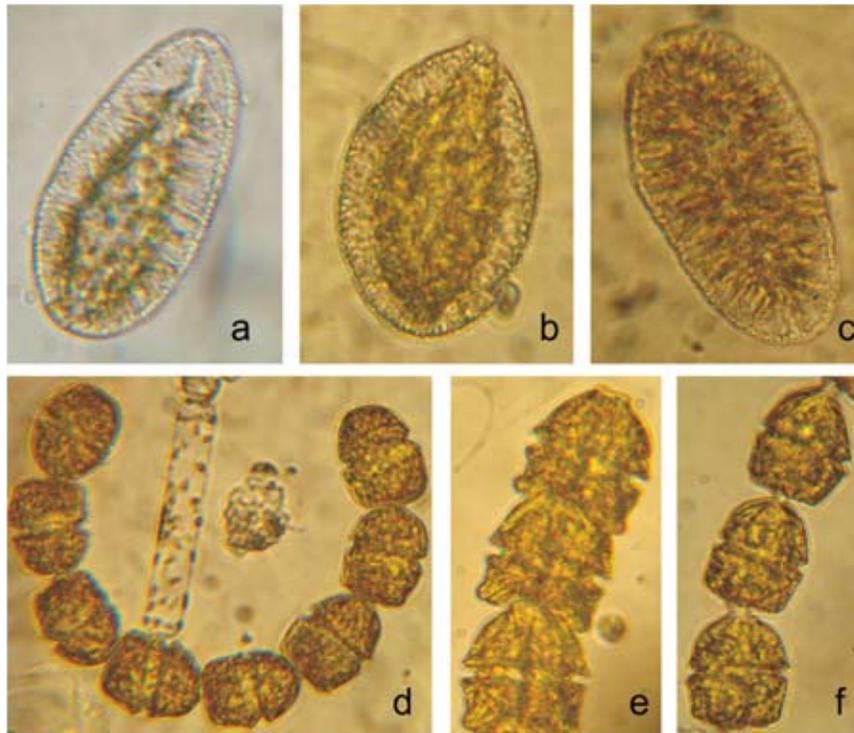


Figura 2a-f. Microfotografías de microscopio óptico obtenidos en el periodo de marzo a mayo de 2009 en la Bahía de la Paz, Golfo de California. Figs. a-c muestran la variación morfológica de *Chattonella marina*; Figs. d-f cadenas de *Gymnodinium catenatum*.

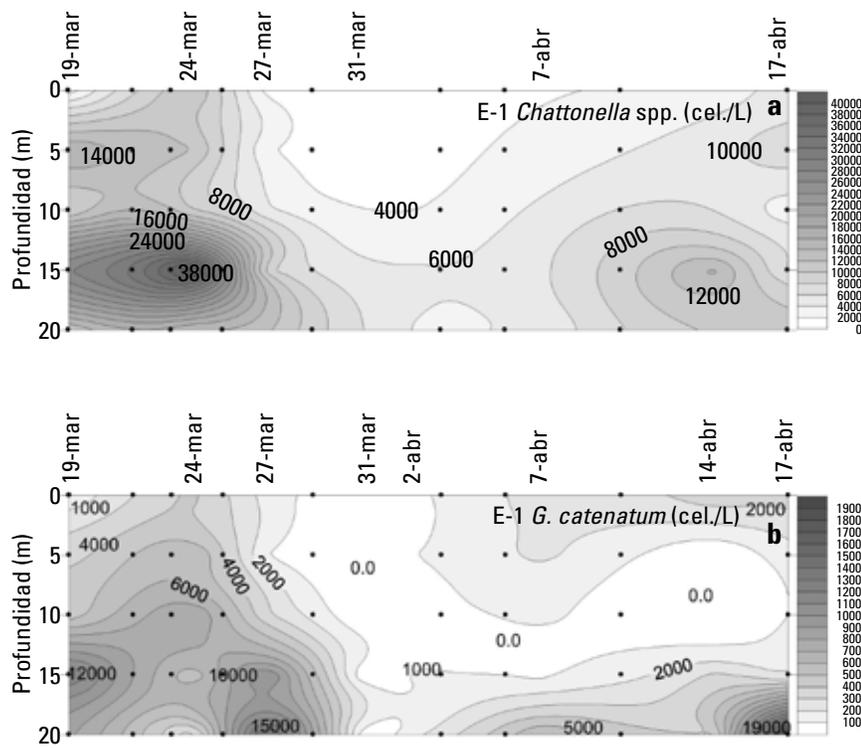


Figura 3a-b. Distribución vertical de *C. marina* (a) y *G. catenatum* (b) durante marzo y abril de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

Tabla 1. Registro de algunas variables físicas y químicas durante la presencia y florecimientos de rafidofíceas en diferentes regiones de México

Localidad	Especie y abundancias (cél. L <sup>-1</sup> )	T (°C)	Salinidad (ups)	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> (µM)	PO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Efectos	Referencias
B. Matanche, Nayarit	<i>F. japonica</i> Toriumi <i>et Takano</i> 4-6 × 10 <sup>6</sup>	>26	>34						N.o.	Cortés-Lara <i>et al.</i> , 2003
B. Kun-Kaak, Son.	<i>C. marina</i> y <i>C. ovata</i> 0.480-0.568	25.9-26.9	36-38		1.6-24		5.6- >31.5		Mortandad de peces y moluscos	Barraza-Guardado <i>et al.</i> , 2004
B. Concepción, B.C.S	<i>C. marina</i> y <i>F. japonica</i>		35						N.o.	Band-Schmidt <i>et al.</i> , 2004
B. Acapulco, Gro.	<i>Heterosigma akashiwo</i> (Y. Hada) Y. Hada <i>et M. Chihara</i>								N.o.	Band-Schmidt <i>et al.</i> , 2004
Tuxpan, Ver.	<i>H. akashiwo</i>								N.o.	Band-Schmidt <i>et al.</i> , 2004
B. de Kun-Kaak, Son.	<i>C. marina</i> <i>C. ovata</i> : 0.267-0.546 <i>G. catenatum</i> <i>Heterocapsa</i> sp. <i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent								Mortandad de peces y moluscos	Cortés-Altamirano <i>et al.</i> , 2004
B. de La Paz, B.C.S	<i>C. marina</i> 1.9 - 3.5 × 10 <sup>6</sup>	22.0							N.o.	Band-Schmidt <i>et al.</i> , 2005
	<i>C. marina</i> 1200-4800	26-30							N.o.	Gárate-Lizarraga <i>et al.</i> , 2006
Laguna de Navachiste, Sin.	<i>C. subsalsa</i> Biecheler: 952 059	15.4-32.7	30-45	0.28	0.64	4.4	0.46		N.o.	Martínez-López <i>et al.</i> , 2006
B. Mazatlán, Sin.	<sup>1</sup> <i>C. marina</i> <sup>2</sup> <i>C.fc. ovata</i> (1 + 2) = 0.332 <i>G. catenatum</i> : 0.148	21.2-22.7	34.5-34.7						Mortandad de peces y moluscos	Cortés-Altamirano <i>et al.</i> , 2006
B. Mazatlán, Sin.	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.:0.015									
B. de La Paz, B.C.S.	<i>C. marina</i> <i>F. japonica</i> <i>C. ovata</i> : 3 × 10 <sup>3</sup> -37 × 10 <sup>3</sup> <i>Noctiluca scintillans</i> (Ehrenberg) McCartney	18.5-22.5							N.o.	Gárate-Lizarraga <i>et al.</i> , 2009
B. de La Paz, B.C.S.	<i>Chattonella</i> spp. 36 × 10 <sup>3</sup> <i>F. japonica</i> <i>G. catenatum</i> 12-19.2 × 10 <sup>3</sup>	20.8-22.0		0.1-0.68	0.47-8.0	0.1-4.5	0.2-1.5	2.0-36.0	N.o.	Este estudio

N.o.= No observados

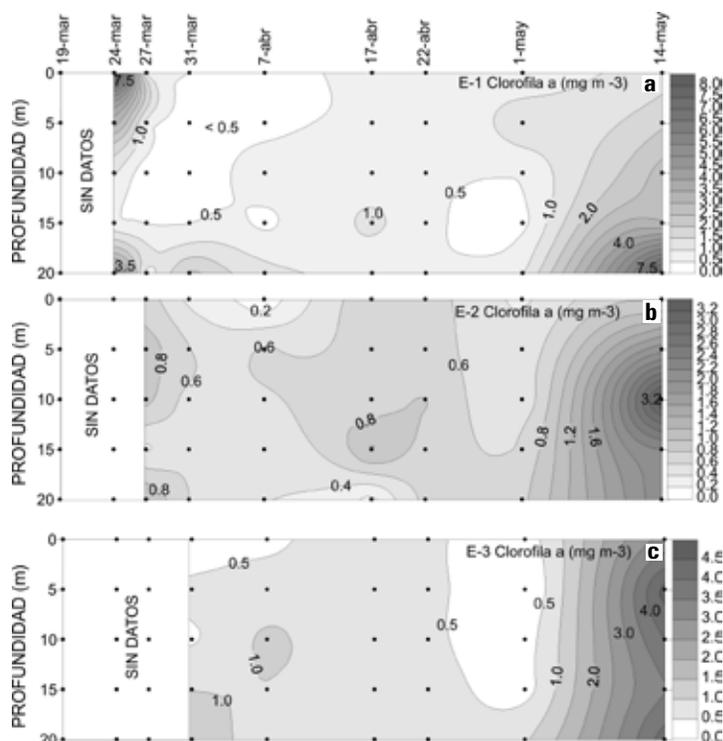


Figura 4a-c. Perfil de clorofila *a* durante la presencia de *C. marina* y de *G. catenatum* en marzo (a), abril (b) y mayo (c) de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

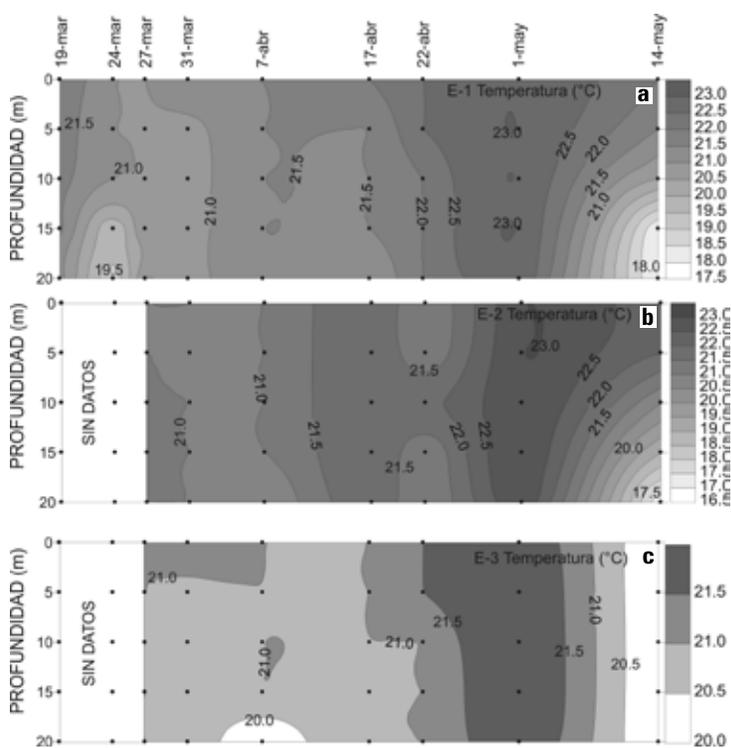


Figura 5a-c. Perfil de temperatura durante la presencia de *C. marina* y *G. catenatum* durante marzo (a), abril (b) y mayo (c) de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

de 5.0 °C. Sin embargo, en la E-3 la temperatura fue homogénea desde la superficie a los 20 m (20.0-21.5 °C) (Figs. 5 a-c).

La homogeneidad de la columna de agua durante los meses de marzo y abril, parece asociarse a la acción de los vientos, aunque los vientos del noroeste (NO) fueron de baja intensidad durante esos meses (<0.5 m s<sup>-1</sup>). Los dominantes fueron con dirección del sur-sureste (S-SE) con velocidades de <0.5 m s<sup>-1</sup> en marzo. En abril se incrementaron a 1.5 m s<sup>-1</sup> y en mayo fueron de <1.0 m s<sup>-1</sup> y los siguientes meses se intensificaron (Fig. 6).

Los nitratos se registraron con amplios intervalos (0.5 a 11.0 µM). En la estación E-1 las máximas concentraciones se registraron en abril y a la mitad de mayo con valores de 9.0 µM y de 11.0 µM en superficie y 20 m respectivamente (Fig. 7a). En la E-2 los valores mayores se ubicaron a 10 y 20 m (3.5-5.0 µM) (Fig. 7b). Una tendencia similar se registró en la E-3 con un intervalo de 1.0-5.0 µM (Fig. 7c). El mayor valor en la columna de agua se observó en mayo.

La concentración de amonio en marzo en la estación E-1 fue alto en toda la columna de agua de 2.2 a 4.2 µM. En los tres meses muestreados, se registraron valores altos (>3.0 µM) en los estratos sub-superficiales. En la estación E-2 y E-3 también se registraron valores altos de amonio en superficie y a 20 m (3.0 a 7.0 µM) (Figs. 8 a-c). Los nitritos fueron bajos durante el periodo estudiado con un rango de 0.1 a 0.68 µM (datos no presentados).

La concentración de ortofosfatos en la columna de agua fue homogénea en las tres estaciones al final de marzo y durante abril con un intervalo de 0.8-2.2 µM. En las dos primeras semanas de mayo en la estación E-1 y E-2 se registró un gradiente de 0.4 a 2.6 µM y de 0.3 a 1.6 µM respectivamente, por debajo de los 10 m de profundidad. En la E-3 el intervalo fue de 0.8-1.4 µM (Figs. 9 a-c).

## DISCUSIÓN

En este estudio se registraron dos especies formadoras de florecimientos algales nocivos, *C. marina* y *G. catenatum*. Aunque de *C. marina* se encontraron dos variedades en este estudio se decidió trabajar con ella a nivel específico debido a la dificultad de identificarlas de manera apropiada en muestras fijadas en Lugol (Gárate-Lizárraga *et al.*, 2009b). *Chattonella marina* presentó valores de abundancia máxima de  $36 \times 10^3$  cél L<sup>-1</sup>, las cuales son muy bajas si se comparan con los valores reportados en florecimientos de esta especie para el Golfo de California (Band-Schmidt *et al.*, 2005). Estas concentraciones no fueron suficientemente grandes para que causaran una mortandad de peces como ha ocurrido en otras regiones (Marshall *et al.*, 2003; Kim & Oda, 2010).

Las concentraciones de *G. catenatum* estimadas en este estudio fueron bajas ( $1 \times 10^3$  a  $19 \times 10^3$  cél L<sup>-1</sup>) comparadas con las de *C. marina*. La co-ocurrencia de estas dos especies parece ser común en algunas zonas costeras del Golfo de California. Barraza-Guardado *et al.* (2004) y Cortés-Altamirano *et al.* (2006) reportaron la presencia de *C. marina* + *C. cf. ovata* (0.332 cél L<sup>-1</sup>), *G. catenatum* (0.148 cél L<sup>-1</sup>) y *Pseudo-nitzschia* sp. (0.015 cél L<sup>-1</sup>) en la Bahía de Kun-Kaak y en las costas de Sinaloa. A pesar de que las densidades fueron bajas registraron una alta mortandad de peces.

La presencia de rafidofíceas en las costas del Pacífico Mexicano se ha asociado a intervalos de temperatura de 22.0 a 33.1 °C (Tabla 1) y de salinidad de 34.5 a 38.5 ups (Barraza-Guardado *et al.*, 2004; Band-Schmidt *et al.*, 2005; Martínez-López *et al.*, 2006; Cortés-Altamirano *et al.*, 2006). Gárate-Lizárraga *et al.* (2009a) reportaron la presencia de *C. marina*, *C. ovata*, y *Fibrocapsa japo-*

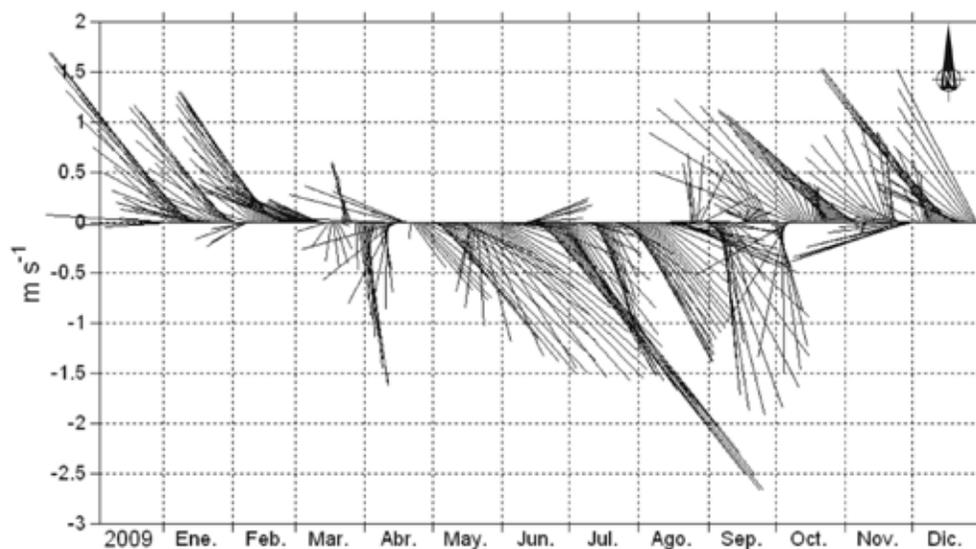


Figura 6. Velocidad del viento instantáneo durante la recolección de rafidofíceas y del dinoflagelado tóxico *G. catenatum* durante marzo, abril y mayo de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

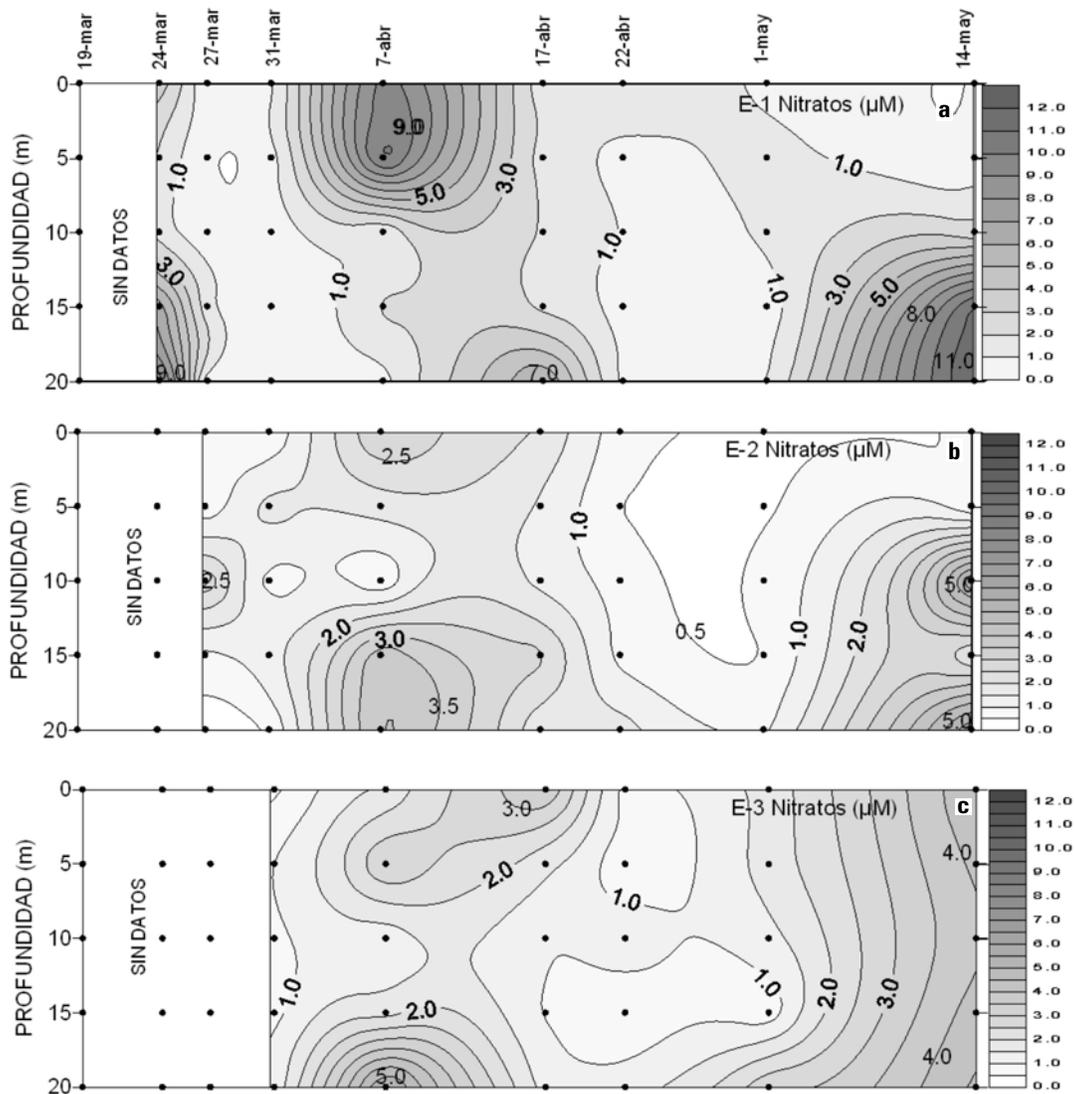


Figura 7a-c. Perfil de nitratos durante la presencia de rafidofíceas y de *G. catenatum* durante marzo (a), abril (b) y mayo (c) de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

*nica* Toriumi y Takano a 22.0 °C en la Bahía de La Paz, sugiriendo que desde el invierno se pueden registrar escasas formas vegetativas. Es probable que los intervalos térmicos registrados en este trabajo no fueran los más propicios para una mayor presencia de *C. marina* durante marzo, abril y mayo en la Bahía de La Paz. Aunque en otras latitudes se ha registrado la aparición y florecimientos de *C. antiqua* (Hada) Ono y *C. marina* en aguas de Japón, a temperaturas entre 15.0 y 30.0 °C, formando florecimientos a 16 °C (Imai *et al.*, 1998). Otros trabajos mencionan que *C. antiqua*, *C. marina*, y *F. japonica* aparecen cuando la temperatura fue de <10.0-18.0 °C (Vrieling *et al.*, 1995; Marshall & Hallegraeff, 1999; Tiffany *et al.*, 2001), lo cual sugiere una amplia tolerancia térmica, que debe probarse experimentalmente para cada especie. Demura *et al.* (2009), sugieren que algunas especies de rafidofíceas

tienen la capacidad de formar florecimientos bajo condiciones ambientales específicas y que cada especie tiene respuestas fisiológicas y ecológicas particulares, las cuales en nuestro caso no se presentaron, por la inestabilidad de la columna de agua.

Experimentalmente y en el ambiente natural se menciona que algunas especies de *Chattonella* y *G. catenatum* realizan migraciones verticales a través de la nutriclina y termoclina para adquirir nutrientes para su alimentación facilitando su proliferación (Watanabe *et al.*, 1995; Imai *et al.*, 1991, 1998; Naustvoll *et al.*, 2002; Hallegraeff & Fraga, 1998). Aunque también *G. catenatum* se presenta durante eventos de surgencias provocadas por vientos (Mee *et al.*, 1986; Manrique & Molina, 1997; Gárate-Lizárraga *et al.*, 2009b), durante su disminución permite la estratificación de

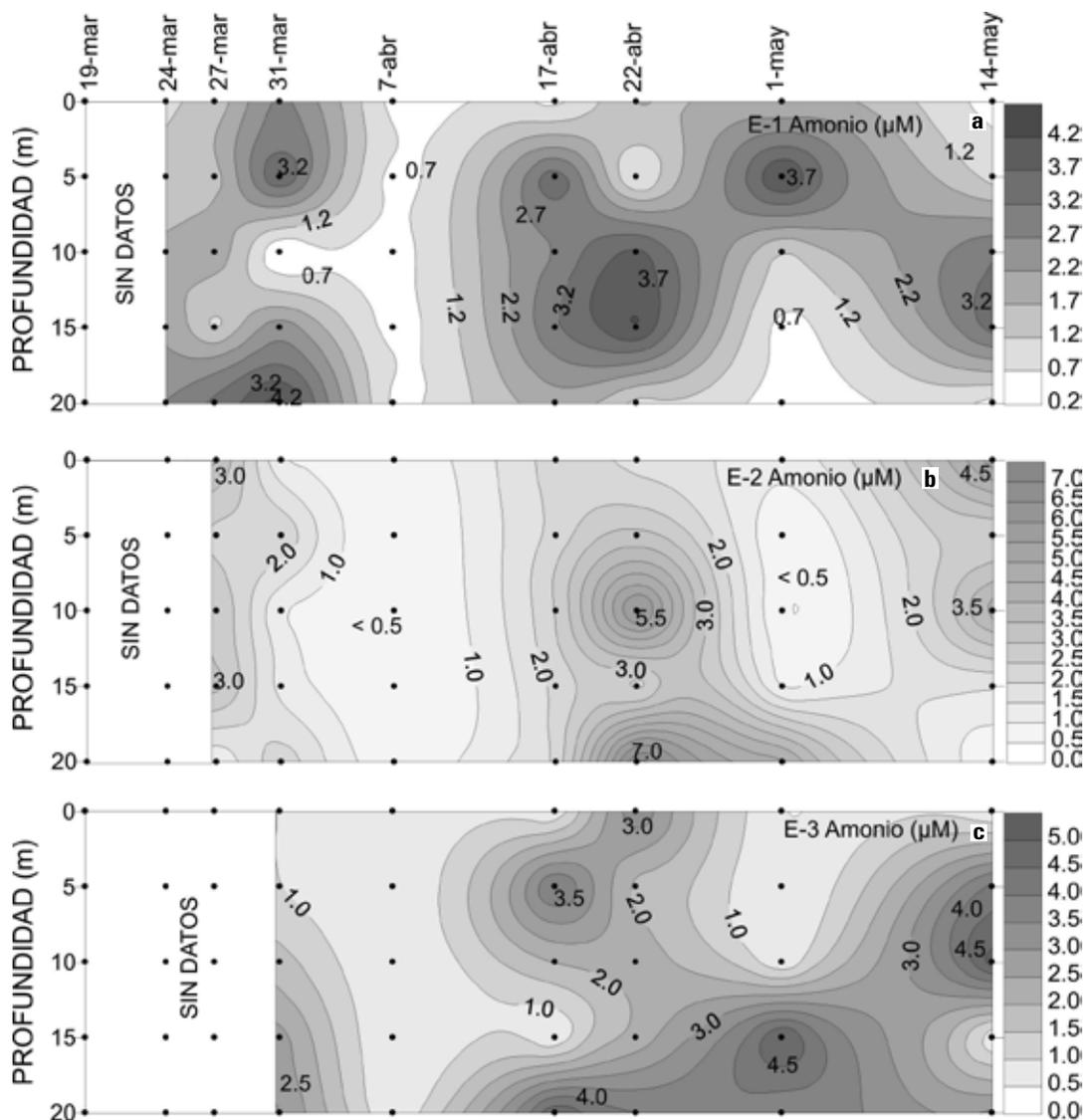


Figura 8a-c. Perfil vertical de amonio durante la presencia de rafdifíceas y de *G. catenatum* durante marzo (a), abril (b) y mayo (c) de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

la columna de agua favoreciendo el desarrollo de este dinoflagelado (Smayda & Reynolds, 2001; Moita & da Silva, 2001; Smayda, 2002). En Salton Sea, California, durante la estratificación de la columna de agua, *C. marina* fue abundante en la parte superior de la columna, aunque la estratificación fue interrumpida brevemente por efecto del viento, provocando por convección, la mezcla de la columna de agua y disminución de su abundancia (Tiffany *et al.*, 2001). En las costas de Portugal los vientos asociados a la mezcla de la columna de agua también provocan dispersión de *G. catenatum* fuera de la costa, reduciendo el número de células (Moita & da Silva, 2001). Es probable que el desvanecimiento de los movimientos de convección del agua en la zona estudiada, principalmente en las estaciones menos expuestas a los vientos

del S-SE, o cuando éstos disminúan su efecto en la columna de agua (E-1 y E-2), ocasionaran que *C. marina* y *G. catenatum*, encontradas en bajo número, pudieran migrar en la columna de agua y asimilar los nutrientes resuspendidos en la columna de agua. Nuestros resultados muestran altas concentraciones de nitratos y amonio en la columna de agua en la estación E-1, donde coinciden con las mayores abundancias de *C. marina* y *G. catenatum*, probablemente por su afinidad por los nitratos (Aure *et al.*, 2001; Yamamoto *et al.*, 2004); sin embargo también se menciona que especies de *Chattonella* dependen de compuestos reciclados como el amonio (Waite & Lindahl, 2006). Entonces es probable que las dos fuentes de nitrógeno hayan favorecido la presencia de estas especies. Los valores altos de clorofila *a* también coincidieron

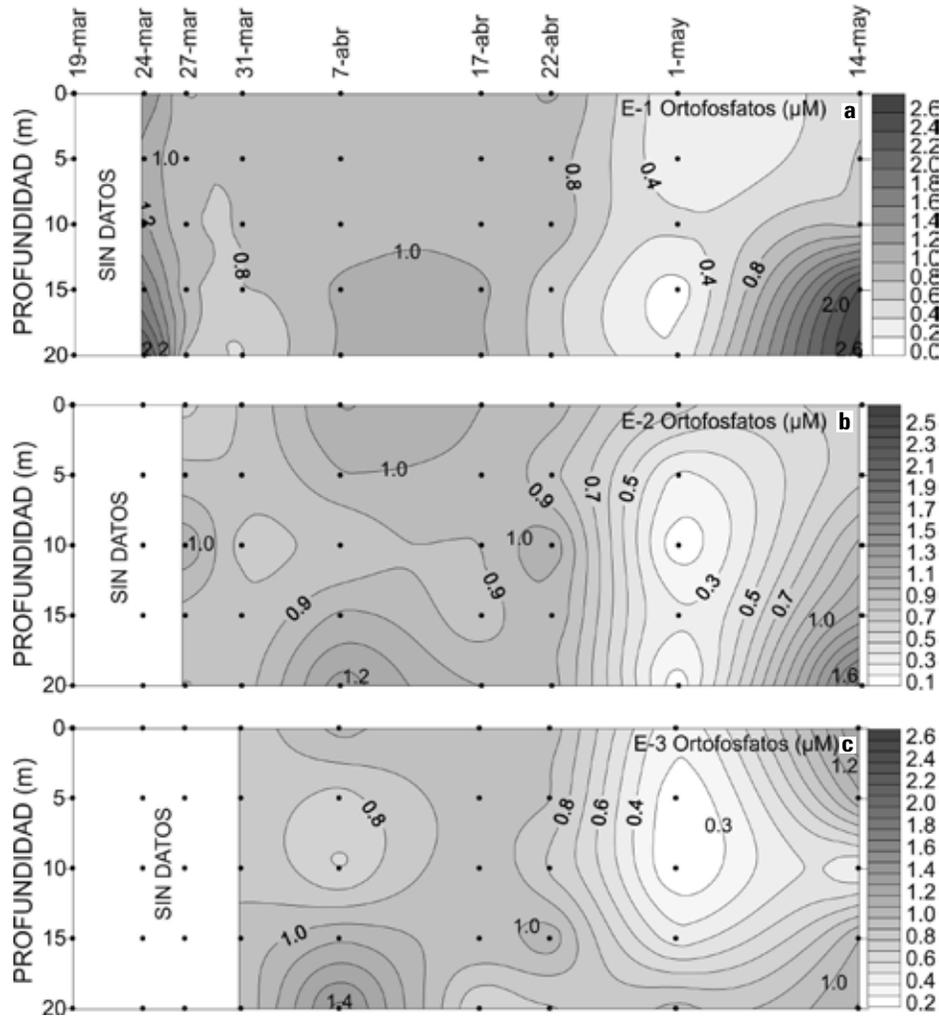


Figura 9a-c. Perfil de ortofosfatos durante la presencia de radiodifíceas y de *G. catenatum* durante marzo (a), abril (b) y mayo (c) de 2009 en la Bahía de La Paz, Golfo de California.

con las altas densidades de estas dos especies, aunque no toda la clorofila proviene de ellas, pues otros grupos fitoplanctónicos, no determinados en este trabajo, probablemente contribuyan a esta biomasa de clorofila *a*.

Es probable que las condiciones de transición hidrográficas mezcla-estratificación haya favorecido la presencia de ambas especies; sin embargo, cambios cortos de 3-4 días en la dirección de los vientos e incremento en la intensidad interrumpió la estabilidad de la columna de agua, evitando la proliferación de estas especies, aunque una mayor estratificación probablemente les permita incrementar su tasa de crecimiento poblacional (Watanabe *et al.*, 1995; Imai *et al.*, 1998; Smayda & Reynolds, 2001; Moita & da Silva, 2001; Tiffany *et al.*, 2001; Smayda, 2002). En este estudio, los nutrientes y la temperatura no fueron limitantes para la proliferación de ambas especies. La co-ocurrencia de *C. marina*

de *G. catenatum* es un hallazgo importante, ya que futuros florecimientos tóxicos pudieran repercutir en la salud del ecosistema y del humano. Por lo que es importante continuar con los monitoreos con mayor frecuencia para detectar futuros florecimientos tóxicos y evaluar los probables efectos en la fauna marina y en la acuicultura local como se ha demostrado para otras regiones del mundo.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto SEP-CONACYT 61226, PC 0.12-CIBNOR y PC 0.11-CIBNOR y SIP 20095299 y 20100192 del IPN-CICIMAR. I. Gárate Lizárraga y C. J. Band Schmidt son becarios COFAA y EDI. A. Fernando Aguirre Bahena (CICIMAR-IPN) y Gerardo Rafael Hernández García (CIBNOR) por la edición de figuras. A los revisores por sus acertadas sugerencias.

## REFERENCIAS

- AURE, J., D. S. DANIELSSEN, M. SCOGEN, E. SVENDSEN, H. SØILAND & L. PETERS-SON. 2001. Environmental conditions during the *Chattonella* bloom in the North Sea and Skagerrak in May 1998. In: Hallegraeff, G.M., Blackburn, S. L., Bolch, C. J., & Lewis, R. J. (Eds.) Harmful Algal Blooms. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, pp. 82-85.
- BAND-SCHMIDT, J., L. MORQUECHO, D. U. HERNÁNDEZ-BECERRIL, A. REYES-SALINAS & E. BRAVO-SIERRA. 2004. Raphidophyceans on the coasts of Mexico. *Hydrobiologia* 515: 79-89.
- BAND-SCHMIDT, C. J., A. MARTÍNEZ-LÓPEZ & I. GÁRATE-LIZÁRRAGA. 2005. First record of *Chattonella marina* in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Harmful Algae News* 28: 6-7.
- BAND-SCHMIDT, C. J., J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, D. J. LÓPEZ-CORTÉS, I. GÁRATE-LIZÁRRAGA, E. J. NUÑEZ-VÁZQUEZ & F. E. HERNÁNDEZ-SANDOVAL. 2010. Ecological and Physiological Studies of *Gymnodinium catenatum* in the Mexican Pacific: A Review. *Marine Drugs* 8: 1935-1961.
- BARRAZA-GUARDADO, R., R. CORTÉS-ALTAMIRANO & A. SIERRA-BELTRÁN. 2004. Marine die-offs from *Chattonella marina* and *Ch. cf. ovata* in Kun Kaak Bay, Sonora in the Gulf of California. *Harmful Algae News* 25: 7-8.
- BOURDELAIS, A. J., C. R. TOMAS, J. NAAR, J. KUBANEK & D. G. BADEN. 2002. New fish-killing algal in coastal Delaware produces neurotoxins. *Environmental Health Perspectives* 110 (5): 465-470.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R., D. U. HERNÁNDEZ-BECERRIL, R. LUNA-SORIA. 1995. Evaluación y prevención de los efectos de las mareas rojas en la Bahía de Mazatlán (1994). *Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa* 14: 10-14.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R., R. ALONSO-RODRÍGUEZ. 1997. Mareas rojas durante 1997 en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa* 15: 31-37.
- CORTÉS-ALTAMIRANO, R., R. ALONSO-RODRÍGUEZ & A. SIERRA-BELTRÁN. 2006. Fish mortality associated with *Chattonella marina* and *C. cf. ovata* (Raphidophyceae) blooms in Sinaloa (México). *Harmful Algae News* 31: 7-8.
- CORTÉS-LARA, M. C., R. CORTÉS-ALTAMIRANO & A. C. MAGAÑA. 2003. First record of *Fibrocapsa cf. japonica* in Matanchen Bay, Nayarit, Mexican Pacific coast. *Harmful Algae News* 24: 1-4.
- DEMURA, M., M. H. NOEL, F. KASAI, M. M. WATANABE & M. KAWACHI. 2009. Taxonomic revision of *Chattonella antiqua*, *C. marina*, and *C. ovata* (Raphidophyceae) based on their morphological characteristics and genetic diversity. *Phycologia* 48 (6): 518-535.
- EDVARDSEN, B. & I. IMAI. 2006. The ecology of harmful flagellates within Prymnesiophyceae and Raphidophyceae. In: Granéli, E. & J. T. Turner (Eds.) *Ecology of harmful algae*. Ecological Studies vol. 189. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 67-79.
- FAUSTO-SOTELO, E. D. 2004. Determinación de mareas rojas y calidad de agua en la desembocadura del Estero de San Cristóbal en San Blas Nayarit. Tesis de licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de Nayarit, México. 65 p.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., & M. S. MUÑETÓN-GÓMEZ. 2008. Bloom of *Peridinium quinquecorne* Abé in La ensenada de La Paz, Gulf of California (July 2003). *Acta Botanica Mexicana* 83: 33-47.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., M. S. MUÑETÓN-GÓMEZ & V. MALDONADO-LÓPEZ. 2006. Florecimientos del dinoflagelado *Gonyaulax polygramma* frente a la isla Espíritu Santo, Golfo de California, México. *Revista de Investigaciones Marinas* 27 (1): 31-39.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., C. J. BAND-SCHMIDT, D. J. LÓPEZ-CORTÉS & J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN. 2009a. Raphidophytes in Bahía de La Paz, Gulf of California. *Harmful Algae News* 40: 1-4.
- GÁRATE-LIZÁRRAGA, I., C. J. BAND-SCHMIDT, F. AGUIRRE-BAHENA & T. GRAYBDEL ÁLAMO. 2009b. A multi-species microalgae bloom in Bahía de La Paz, Gulf of California, México (June 2008). *CICIMAR Océánides*, 24 (1): 1-15.
- GRAHAM, H. W. 1943. *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. *Transaction of the American Microscopical Society* 62: 259-261.
- HALLEGRAEFF, G. M. & Y. HARA. 1995. Taxonomy of Harmful Marine Raphidophytes. In: Hallegraeff, G. M., D. M. Anderson & A. D. Cembella (Eds.) *Manual on Harmful Marine Microalgae*, IOC Manuals and Guides No. 33. UNESCO, Paris, pp. 365-371.
- HALLEGRAEFF, G. M. & S. FRAGA. 1998. Bloom dynamics of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*, with emphasis on Tasmanian and Spanish coastal waters. In: Anderson, D. M., Cembella, A. D. and Hallegraeff, G. M. (Eds.) *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Vol. 41. Springer-Verlag, Berlin, pp. 59-80.
- IMAI, I., S. ITAKURA & K. ITOH. 1991. Life cycle strategies of the red tide causing flagellate *Chattonella* (Raphidophyceae) in the Seto Inland Sea. *Marine Pollution Bulletin* 23: 165-170.
- IMAI, I., M. YAMAGUCHI & M. WATANABE. 1998. Ecophysiology, life cycle, and bloom dynamics of *Chattonella* in the Seto Inland Sea, Japan. In: Anderson, D.M., A.D. Cembella & G.M. Hallegraeff (Eds.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*, NATO ASI Series Vol. G. 41: 95-111.
- IMAI, I., M. YAMAGUCHI & Y. HORI. 2006. Eutrophication and occurrences of harmful algal blooms in Seto Inland Sea, Japan. *Plankton Benthos Research* 1 (2): 71-84.
- JAIME, E., G. GERDTS & B. LUCKAS. 2007. In vitro transformation of PSP toxins different shellfish tissues. *Harmful Algae* 6: 308-316.
- JENKINSON, I. R., Y. SHIKATA & T. HONJO. 2007. Modified ichthyoviscometer shows high viscosity in *Chattonella* culture. *Harmful Algae News* 35: 1-5.
- KIM, D. K., T. OKAMOTO, T. ODA, K. TACHIBANA, K. S. LEE, A. ISHIMATSU, Y. MATSUYAMA & T. HOMJO. 2001. Possible involvement if the glycocalyx in

- the ichthyotoxicity of *Chattonella marina* (Raphidophyceae): immunological approach using antiserum against cell surface structures of flagellate. *Marine Biology* 139: 625-632.
- KIM, D., T. NAKASHIMA, Y. MATSUYAMA, Y. NIWANO, K. YAMAGUCHI & T. ODA. 2007. Presence of the distinct systems responsible for superoxide anion and hydrogen peroxide generation in red tide phytoplankton *Chattonella marina* and *Chattonella ovata*. *Journal of Plankton Research* 29 (3): 241-247.
- KIM D. K. & T. ODA. 2010. Possible factors responsible for the fish-killing mechanisms of the Red Tide Phytoplankton, *Chattonella marina* and *Cochlodinium polykrioides*. In: Ishimatsu, A. & H. J. Lie (Eds.) *Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East China Sea*. TERRAPUB and Nagasaki University, pp. 245-268.
- LU, S., & I. J. HODGKISS. 2001. More Raphidophyte blooms in South China waters. *Harmful Algae News* 22: 1-2.
- MANRIQUE, F. A. & R. E. MOLINA. 1997. Presencia de mareas rojas en la Bahía de Bacochibampo, Guaymas, Sonora, México. *Hidrobiología* 7: 81-86.
- MARSHALL, J. A. & G. M. HALLEGRAEFF. 1999. Comparative ecophysiology of the harmful alga *Chattonella marina* (Raphidophyceae) from South Australian and Japanese waters. *Journal of Plankton Research* 21 (10): 1809-1822.
- MARSHALL, J. A., P. D. NICHOLS, B. HAMILTON, R. J. LEWIS & G. M. HALLEGRAEFF. 2003. Ichthyotoxicity of *Chattonella marina* (Raphidophyceae) to damselfish (*Acanthochromis polycanthus*): the synergistic role of reactive oxygen species and fatty acids. *Harmful Algae* 2: 273-281.
- MARTÍNEZ-LÓPEZ, A., C. J. BAND-SCHMIDT, D. ESCOBEDO-URÍAS & A. E. ULLOA-PÉREZ. 2006. Bloom of *Chattonella subsalsa* in an impacted coastal lagoon in the Gulf of California. *Harmful Algae News, IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms* 31: 1-4-5.
- 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: 77-92.
- MIKHAIL, S. K. 2007. First monospecific bloom of the harmful raphidophyte *Chattonella antiqua* (Hada) Ono in Alexandria waters related to water quality and copepod grazing. *Chemistry and Ecology* 23: 393-407.
- MOITA, M. T., & A. J. DA SILVA. 2001. Dynamics of *Dinophysis acuta*, *D. acuminata*, *D. tripos* and *Gymnodinium catenatum* during an upwelling event off the Northwest coast of Portugal. In: Hallegraef, G. M., Blackburn, S. L., Bolch, C. J., & Lewis, R. J. (Eds.) *Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris*, pp. 169-172.
- NAUSTVOLL, L. J., D. EINAR & D. DIDRIK. 2002. A new bloom of *Chattonella* in Norwegian waters. *Harmful Algae News* 23: 3-5.
- SHIMADA, M., S. KAWAMOTO, Y. NAKATSUKA & M. WATANABE. 1993. Localization of superoxide anion in the red tide alga *Chattonella antiqua*. *The Journal of Histochemistry and Cytochemistry* 41 (4): 507-511.
- SMAYDA, T. J., & C. S. REYNOLDS. 2001. Community in marine phytoplankton: application of recent model to harmful dinoflagellate blooms. *Journal of Plankton Research* 23 (5): 447-461.
- SMAYDA, T. J. 2002. Adaptive ecology, growth strategies and the global bloom expansion of dinoflagellates. *Journal of Oceanography*. 58: 281-294.
- STRICKLAND, J. D. H. & T. R. PARSONS. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin 167 of the Fisheries Research Board of Canada* (second edition), pp. 49-52, 71-80, 263-266.
- TANG, J. Y. M., D. M. ANDERSON & D. W. T. AU. 2005. Hydrogen peroxide is not the cause of fish kills associated with *Chattonella marina*: Cytological and physiological evidence. *Aquatic Toxicology* 72: 351-360.
- TIFFANY, M. A., S. B. BARLOW, V. E. MATEY & S. H. HULBERT. 2001. *Chattonella marina* (Raphidophyceae), a potentially toxic alga in the Salton Sea, California. *Hydrobiologia* 466: 187-194.
- VIDUSSI, F., H. CLAUSTRE, J. J. BUSTILLOS-GUZMÁN, C. CAILLEAU & J. C. MARTY. 1996. Determination of chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton: separation of chlorophyll *a* from divinyl-chlorophyll *a* and zeaxanthin from lutein. *Journal of Plankton Research* 18: 2377-2382.
- VRIELING, E. G., R. P. T. KOEMAN, K. NAGASAKI, Y. ISHIDA, L. PEPEZAK, W. W. C. GIESKES & M. VEENHUIS. 1995. *Chattonella* and *Fibrocapsa* (Raphidophyceae): First observation of, potentially harmful red tide organisms in Dutch coastal waters. *Netherlands Journal of Sea Research* 33 (2): 183-191.
- WAITE, A. M., & O. LINDAHL. 2006. Bloom and decline of the toxic flagellate *Chattonella marina* in Swedish fjord. *Marine Ecology Progress Series* 326: 77-83.
- WATANABE, M., K. KOHATA, T. KIMURA, T. TAKAMATSU & S. I. YAMAGUCHI. 1995. Generation of a *Chattonella antiqua* bloom by imposing a shallow nutricline in mesocosm. *Limnology and Oceanographic* 40 (8): 1447-1460.
- WIESE, M., P. M. D'AGOSTINO, T. K. MIHALI, M. C. MOFFITT & B. A. NEILAN. 2011. Neurotoxic Alkaloids: Saxitoxin and Its Analogs. *Marine Drugs* 8: 2185-2211.
- YAMAGUCHI, M., H. YAMAGUCHI, G. NISHITANI, S. SAKAMOTO & S. ITAKURA. 2008. Morphology and germination characteristics of cysts of *Chattonella ovata* (Raphidophyceae), a novel red tide flagellate in the Seto Inland Sea, Japan. *Harmful Algae* 7: 459-463.
- YAMAMOTO, T., S. J. OH & Y. KATAOKA. 2004. Growth and uptake kinetics for nitrate, ammonium and phosphate by the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* isolated from Hiroshima Bay, Japan. *Fisheries Science* 70: 108-115.

Recibido: 10 de diciembre del 2010.

Aceptado: 18 de julio de 2011.