

Florecimientos algales nocivos producidos por *Pyrodinium bahamense* en Oaxaca, México (2009-2010)

Rosalba Alonso-Rodríguez, Dra,⁽¹⁾ Elsa Mendoza-Amézquita, M en C,⁽²⁾ Sandra Abigail Velásquez-López, Ing en Acuac,⁽¹⁾ Jens Andreas Seim, M en C,⁽²⁾ Víctor Manuel Martínez-Rodríguez, M en C.⁽²⁾

Alonso-Rodríguez R, Mendoza-Amézquita E, Velásquez-López SA, Seim JA, Martínez-Rodríguez VM. Florecimientos algales nocivos producidos por *Pyrodinium bahamense* en Oaxaca, México (2009-2010). *Salud Publica Mex* 2015;57:343-351.

Resumen

Objetivo. Monitorear el dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* y sus toxinas en ostión de roca *Striostrea prismatica* en Santiago Astata y en Puerto Escondido, Oaxaca, de septiembre de 2009 a junio de 2010. **Material y métodos.** Se analizó mensualmente la abundancia de *Pyrodinium bahamense* mediante el método de Sedgewick-Rafter y la concentración de toxinas paralizantes y perfil tóxico en tejido blando del molusco en muestras compuestas de cada zona por el método de cromatografía líquida de alta resolución. **Resultados.** Se encontró alta abundancia de *Pyrodinium bahamense* en Santiago Astata en diciembre, febrero, abril y junio, y en Puerto Escondido en abril y junio. Los niveles de toxinas paralizantes fueron superiores al límite permisible para consumo humano en Santiago Astata en noviembre, diciembre, enero, febrero y junio; en la zona de Puerto Escondido, en diciembre y junio. **Conclusiones.** Estos niveles de toxinas representaron riesgo para la salud pública en la zona de estudio.

Palabras clave: floraciones algales nocivas; *Pyrodinium bahamense*; *Striostrea prismatica*; intoxicación por mariscos; Oaxaca

Alonso-Rodríguez R, Mendoza-Amézquita E, Velásquez-López SA, Seim JA, Martínez-Rodríguez VM. Harmful algal blooms produced by *Pyrodinium bahamense* in Oaxaca, Mexico (2009-2010). *Salud Publica Mex* 2015;57:343-351.

Abstract

Objective. *Pyrodinium bahamense* monitoring in water and their toxins in rock oyster *Striostrea prismatica* in Santiago Astata and Puerto Escondido Oaxaca was performed from September 2009 to July 2010. **Materials and methods.** *Pyrodinium bahamense* abundance in water, and concentration and toxic profile of paralytic shellfish toxins were analyzed monthly in soft tissue of mollusk in composite samples in high performance liquid chromatography. **Results.** High abundance of *Pyrodinium bahamense* was found in Santiago Astata on December, February, April and June; and in Puerto Escondido on April and June. The concentrations of the paralyzing toxin that exceeded the regulatory limit for human consumption of mollusks (800 µg STX eq. kg⁻¹) were presented in Santiago Astata on November, December, January, February and June; and in Puerto Escondido on December and June. **Conclusions.** For several months there was risk to public health due to the presence of paralytic shellfish toxins above the regulatory limit in oysters from the study area.

Key words: harmful algal bloom; *Pyrodinium bahamense*; *Striostrea prismatica*; shellfish poisoning; Oaxaca

(1) Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán. Mazatlán, Sinaloa, México.

(2) Universidad del Istmo. Oaxaca, México.

Fecha de recibido: 10 de marzo de 2015 • Fecha de aceptado: 10 de junio de 2015

Autor de correspondencia: Dra. Rosalba Alonso Rodríguez. Av. Joel Montes Camarena s/n, col. Playa Sur. 82040 Mazatlán, Sinaloa, México.
Correo electrónico: rosalba@ola.icmyl.unam.mx

El fitoplancton marino está compuesto por una amplia variedad de especies de microalgas, entre las que se encuentran aquéllas que forman florecimientos algales nocivos (FAN). Algunas son productoras de toxinas que provocan intoxicaciones humanas, cuyos síntomas son principalmente neurológicos y gastrointestinales. De éstos, los principales corresponden a la intoxicación paralizante, amnésica, diarreica, neurotóxica y ciguatera. La intoxicación paralizante por mariscos la producen dinoflagelados del género *Alexandrium*, *Pyrodinium bahamense* y *Gymnodinium catenatum*.

En las últimas décadas, en el suroeste de México se han registrado FAN con impacto en la salud pública. En 1989 se registró el primer FAN formado por el dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* en el Golfo de Tehuantepec, en coincidencia con otros puntos de la costa centroamericana; esto evidencia que se trata de eventos regionales.¹ En ese mismo año, en el Golfo de Nicoya, Costa Rica, se registró el primer brote de intoxicación paralizante por mariscos producido por *P. bahamense* var. *compressum*.² Los FAN de dinoflagelados son comunes en México y Costa Rica, posiblemente como resultado de las condiciones ambientales actuales, las cuales favorecen la proliferación masiva de especies tóxicas que pueden afectar otros sitios del pacífico americano. Éste es el caso de *P. bahamense* var. *compressum*, que puede desplazarse hasta las costas mexicanas a través de la Corriente Costera de Costa Rica y la Corriente Occidental Mexicana.² En Guatemala se han presentado eventos de intoxicación paralizante por consumo de moluscos bivalvos, con 26 casos de fatalidades humanas en 1987.^{3,4} En El Salvador, un FAN formado por *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* de noviembre de 2005 a abril de 2006 provocó la muerte de una persona por el consumo de caracol; además se encontró alta concentración de saxitoxinas en moluscos bivalvos y se registró mortandad de tortugas marinas.⁵ El principal vector de toxinas para el humano son los moluscos bivalvos, pues su alimentación se basa en la filtración de partículas, como las microalgas, las cuales contienen toxinas que se acumulan en el tejido de ostiones, almejas, mejillones, etc. Los estados de Jalisco, Michoacán, Oaxaca y Sonora contribuyeron en 2009 con apenas 0.79% de la producción de ostión a nivel nacional; en 2010 la producción de estos estados se incrementó a 1.84% de la nacional, la cual resulta, en 6.12% de la captura y en 93.88% del cultivo de este recurso.⁶ Cabe resaltar que en el estado de Oaxaca 100% de la producción de ostión corresponde solamente a captura. La veda reproductiva de este ostión silvestre es del 1 de junio al 31 de agosto de cada año, en las aguas marinas y estuarinas de jurisdicción federal.⁷

En los últimos 25 años (1989 a 2014), en el estado de Oaxaca se han presentado 14 FAN producidos por

especies productoras de toxinas paralizantes como *Pyrodinium bahamense*, *Gymnodinium catenatum* y *Alexandrium minutum*, cuyo impacto suma 139 intoxicaciones y nueve decesos por el consumo de moluscos contaminados por estas toxinas. Otras implicaciones son el establecimiento de 708 días de veda sanitaria como medida preventiva a fin de evitar riesgos a la salud de la población mediante la prohibición de la extracción, comercialización y consumo de moluscos bivalvos en las zonas afectadas, con las consecuentes pérdidas económicas para los pescadores (cuadro I).

El seguimiento de toxinas producidas durante FAN es una de las herramientas más efectivas en la prevención de problemas de salud pública. En el caso de la intoxicación paralizante por mariscos, el diagnóstico se realiza a partir de la sintomatología, epidemiología y análisis de toxinas en moluscos bivalvos.¹⁶ En la literatura médica se encuentran pocos estudios epidemiológicos sobre intoxicación paralizante.⁴

Este estudio comprende el seguimiento de las toxinas paralizantes en ostión *Striostrea prismatica* (= *Crassostrea iridescens*) en dos zonas costeras: La Colorada, en el municipio de Santiago Astata, y playa Punta Colorada, agencia de Puerto Escondido, en el municipio de San Pedro Mixtepec, Oaxaca, durante un ciclo anual (septiembre de 2009 a junio de 2010), durante el periodo previo al florecimiento algal nocivo de la especie *P. bahamense* var. *compressum* en la costa de Oaxaca, ocurrido del 28 de junio de 2010 al 4 de febrero de 2011, cuyo impacto a la salud humana resultó en 23 casos de intoxicación humana y una veda sanitaria de 214 días¹⁵ después del periodo de este estudio.

Material y métodos

Área de estudio

La costa oaxaqueña se localiza entre las coordenadas 16°18'N y 98°32'O, y 16°00'N y 93°59'O. En este estudio se realizaron muestreos mensuales de septiembre de 2009 a junio de 2010 en seis sitios (figura 1, cuadro II). En cada estación de muestreo se colectaron muestras de agua con botella van Dorn; se fijaron con solución de lugol comercial para análisis cuantitativo de fitoplancton almacenándose en botellas de polipropileno de 500 mL de capacidad. Se realizó también un arrastre con red para fitoplancton de 20 µm de luz de malla en cada sitio para fotografía al microscopio *in vivo*. En la zona Santiago Astata (playa La Colorada) se tomaron muestras de ostión de la especie *Striostrea prismatica*, llamada también ostión de piedra u ostión de roca, en tres bancos de ostiones: estación 1 (San Diego), estación 2 (La Tranquita), estación 3 (La Colorada). En los dos

Cuadro I
REGISTROS HISTÓRICOS DE FLORECIMIENTOS ALGALES NOCIVOS EN LA COSTA DE OAXACA, MÉXICO, 1989-2014

Fecha	Localidad	Toxina (mg STX eq./kg)	Especies de fitoplancton	Abundancia (10^6 cél/L)	Impacto	Medidas	Ref.
7-21 diciembre de 1989	Salina Cruz a Santa Cruz, Huatulco	Saxitoxina 8 110	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i>	0.01-1.7	3 decesos, 99 intoxicados. Medio millón de dólares en pérdidas	Veda sanitaria 75 días. Seguimiento de fitoplancton y producto. Comunicación de riesgos a la población	8,9
Diciembre 1990-enero 1991	Huatulco	Saxitoxina	<i>P. bahamense</i> var. <i>compressum</i>	ND	6 decesos	ND	10
9 de noviembre de 1995-5 enero de 1996	Golfo de Tehuantepec y La Ventosa, Salina Cruz	Saxitoxina 2 760	<i>P. bahamense</i> var. <i>compressum</i>	ND	Ninguno	Veda sanitaria 60 días. Comunicación de riesgos a la población	11
Septiembre de 2001	Oaxaca	Saxitoxina 55 050	<i>P. bahamense</i> var. <i>compressum</i>	1.14	3 decesos, 17 intoxicados	Veda sanitaria 150 días. Comunicación de riesgos a la población	11,12
Enero a marzo de 2006	La Colorada y La Ventosa	Saxitoxina 330-7 870	<i>P. bahamense</i> var. <i>compressum</i>	0.001-0.007	Ninguno	ND	13
8-23 de marzo de 2006	Bahía de Sta. Cruz, Huatulco	Saxitoxina	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i>	ND	Ninguno	Veda sanitaria 15 días. Comunicación de riesgos a la población	14
23 de marzo-5 de abril 2009	Salina Cruz y Salinas del Marqués en Tehuantepec	Saxitoxina	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i>	>5 000	Ninguno	Veda sanitaria 14 días. Seguimiento de fitoplancton y producto. Comunicación de riesgos a la población	14
1-22 de mayo 2009	Salina Cruz y Salinas del Marqués en Tehuantepec	Saxitoxina Ictiotoxina Toxina Diarreica	<i>Alexandrium minutum</i> y <i>Prorocentrum micans</i>	ND	Se detectó mortandad de peces, 20 ton.	Veda sanitaria 22 días. Seguimiento de fitoplancton y producto. Comunicación de riesgos a la población	14
28 de junio de 2010-4 de febrero de 2011	Santiago Astata, Salina Cruz, San Pedro Mixtepec	Saxitoxina 8 560	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i>	10.5	23 intoxicados	Veda sanitaria 214 días. Seguimiento de fitoplancton y producto. Comunicación de riesgos a la población	15
15 de noviembre-2 de diciembre de 2011	Playa Abierta y Bahía La Ventosa en Salina Cruz	Saxitoxina	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i> <i>Gymnodinium catenatum</i>	0.67	Ninguno	Veda sanitaria 18 días. Seguimiento de fitoplancton y producto. Comunicación de riesgos a la población	14
16 de mayo-30 de junio de 2012	Santa Cruz, Tanguilunda, Cacaluta, el Órgano y Punta Colorada	Ictiotoxina Saxitoxina	<i>Gymnodinium catenatum</i> <i>C. polykrikoides</i> <i>Prorocentrum micans</i>	ND	Ninguno	Veda sanitaria 46 días. Seguimiento de fitoplancton y producto. Comunicación de riesgos a la población.	14
7 de diciembre de 2012-5 de marzo de 2013	La Colorada, Santiago Astata y Santa Cruz, Huatulco	Saxitoxina	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i>	>0.005	Ninguno	Veda sanitaria 82 días. Seguimiento de fitoplancton y producto. Comunicación de riesgos a la población	14
23 de junio-4 de julio de 2014	Punta Colorada en San Pedro Mixtepec	Saxitoxina 999	ND	ND	Ninguno	Veda sanitaria de 12 días de callo Margarita y veda reproductiva de moluscos bivalvos	14

ND: no determinado

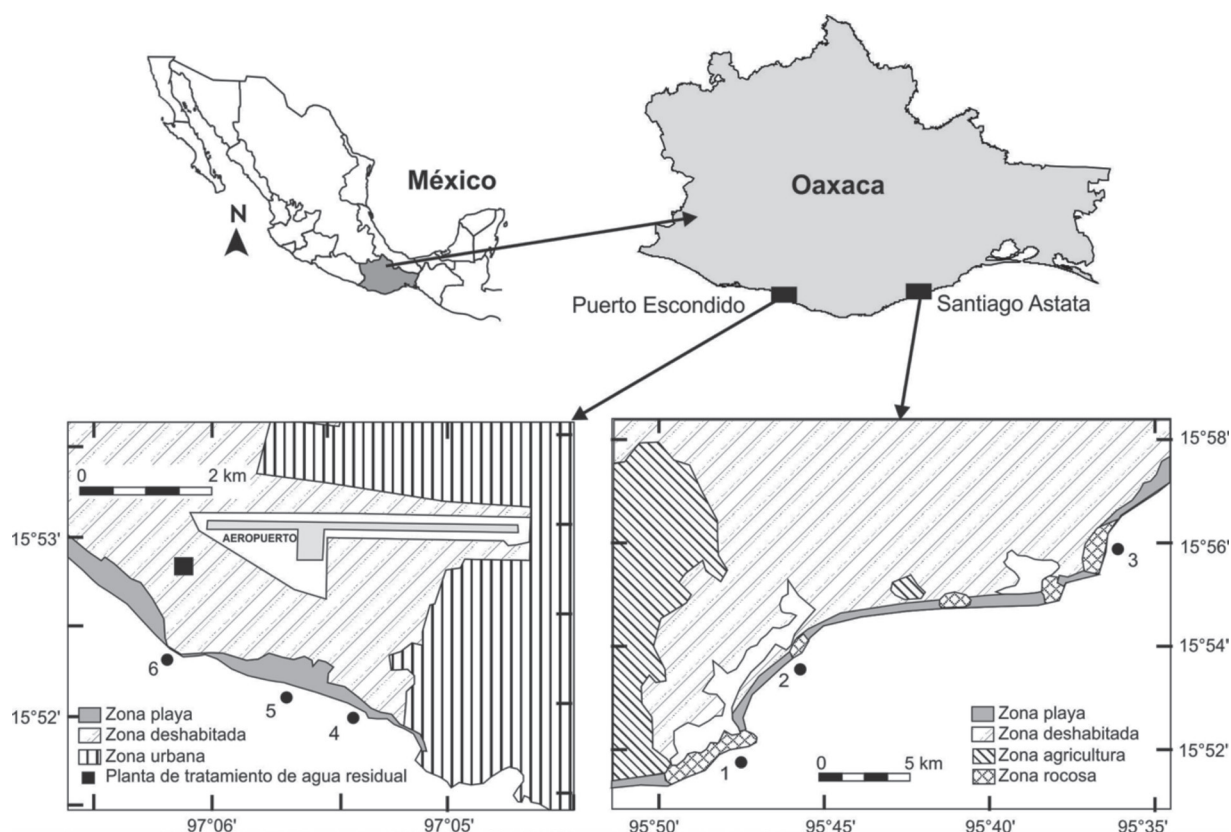


FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE COLECTA EN LA ZONA DE ESTUDIO. ZONA SANTIAGO ASTATA (EST. 1, 2 Y 3) Y ZONA PUERTO ESCONDIDO (EST. 4, 5 Y 6). PERIODO DE ESTUDIO DE SEPTIEMBRE DE 2009 A JUNIO DE 2010

Cuadro II
DESCRIPCIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO.
PERIODO DE ESTUDIO DE SEPTIEMBRE
DE 2009 A JUNIO DE 2010

Zona de estudio	Sitios de muestreo	Coordenadas UTM	
		Latitud N	Longitud O
Santiago Astata	Est. 1 (San Diego)	15.92990	95.61335
	Est. 2. (La Tranquila)	15.93857	95.60862
	Est. 3 (La Colorada)	15.94937	95.57878
Puerto Escondido	Est. 4 (Punta Colorada)	15.86990	97.10792
	Est. 5 (Punta Colorada)	15.86706	97.10420
	Est. 6 (Punta Colorada)	15.86433	97.09538

UTM: Universal Transverse Mercator, N: norte, O: Oeste

primeros puntos se presenta la mayor extracción de ostiones; en la actualidad, el banco de ostión de la playa La Colorada, se encuentra sobrexplotado. En la playa Punta Colorada, Puerto Escondido, se seleccionaron los tres sitios restantes de monitoreo de la misma especie de ostión: Est. 4, Est. 5 y Est. 6. Los sitios de muestreo se georreferenciaron mediante equipo GPS Rino 520. Se realizaron las determinaciones de parámetros *in situ* (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH) mediante ecosonda multiparámetro YSI-6600-M2. Se aplicó una prueba *t* para medias de dos muestras pareadas con referencia a los resultados de variables fisicoquímicas, abundancia de *Pyrodinium bahamense* y concentración de toxinas en las dos zonas de muestreo.¹⁷

Análisis de fitoplancton

Los análisis cualitativos de las muestras frescas para la identificación de fitoplancton *in vivo* se realizaron en un

microscopio compuesto 400X. El análisis cuantitativo de muestras se llevó a cabo con muestras fijadas con lugol en cámara de Sedgewick-Rafter a 200X, observadas al microscopio mediante la revisión de toda la cámara.¹⁸ La identificación de las especies productoras de toxinas paralizantes, particularmente de *P. bahamense* var. *compressum*, se realizó con consulta de bibliografía general y especializada.

Determinación de toxinas en cromatografía líquida de alta resolución

Se aplicó el método de análisis de toxinas paralizantes en cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) con detección de fluorescencia, oxidación precolumna y con un gradiente binario.^{19,20} Se realizó una extracción ácida de las toxinas paralizantes a partir de 5 g de tejido de molusco fresco homogenizado en muestras compuestas por zona (Santiago Astata Est. 1, 2 y 3, y Puerto Escondido Est. 4, 5 y 6), al cual se le agregaron 3 ml de ácido acético a 1% y se mezcló en un vortex. Se calentó en baño maría a una temperatura de 100 °C durante 5 minutos. Se agitó la mezcla en vortex durante 1 min. y se colocó el tubo en un baño frío durante 5 min. Se centrifugó durante 10 min a 4 500 rpm y el sobrenadante se decantó en un tubo de centrifuga de 15 ml (1er extracto). Se añadieron 3 ml de ácido acético a 1% al residuo sólido o *pellet*, se mezcló en vortex 1 min. y se centrifugó por 10 min. a 4 500 rpm. (2do extracto). Se recuperó la solución sobrenadante del 2do extracto en el tubo que contenía el 1er extracto y se aforó a 10 ml con agua desionizada tipo I. Se realizó una limpieza con cartuchos SPE C18 y posteriormente se oxidó con periodato para análisis cualitativos. Una vez que se determinó la presencia de toxinas no hidroxiladas [saxitoxina (STX), decarbamato saxitoxina (dcSTX), gonyautoxina (GTX2,3), gonyautoxina (GTX5), toxinas C (C1,2)] se realizó el análisis cuantitativo oxidando el extracto con peróxido de hidrógeno a 10%. Si se detectaron toxinas N-hidroxiladas [neosaxitoxina (NeoSTX), gonyautoxina (GTX1,4), toxina C (C3,4)] se procedió a hacer una segunda limpieza con un cartucho intercambiador iónico débil (COOH) y una oxidación con periodato para obtener tres fracciones de derivados que comprenden las toxinas N-hidroxiladas. Todas las soluciones usadas fueron de calidad HPLC, filtradas con filtros GF/F de 0.45 y 0.22 micrómetros de tamaño de poro y desgasificadas antes de ser usadas.

Fase móvil: Sol. "A"-solución 0.1 M de formiato de amonio; se pesó 6.5 g en un litro de agua desionizada tipo I. Se ajustó el pH a 6 con ácido acético con el potenciómetro previamente calibrado. Se pasó por filtros GF/F de 0.45 micrómetros y después por filtros GF/F de 0.22 micrómetros. Se procedió a desgasificar en el

baño ultrasónico durante 10 min. y se conectó a la línea correspondiente a tal solución.

Sol. "B"-solución 0.1 M de formiato de amonio; se agregó una solución de acetonitrilo a 5%. Se ajustó el pH a 6 con ácido acético con el potenciómetro previamente calibrado y se aforó a 1 litro con agua desionizada tipo I. Se filtró con un filtro GF/F de 0.45 micrómetros y después por filtro GF/F de 0.22 micrómetros. Se procedió a desgasificar en el baño ultrasónico durante 5 min. y se conectó a la línea correspondiente. El flujo fue de 2 mL/min y el gradiente binario tuvo las siguientes proporciones de fase móvil A y B: 100% A, 5 minutos. 95% A, 4 minutos, 70% B, 5 minutos y 100% A, 4 minutos.

Acondicionamiento del cromatógrafo de líquidos: Se verificó que las soluciones estuvieran colocadas en las líneas correspondientes, filtradas y desgasificadas. En el sistema de la computadora se determinó el bombeo de 100% de la solución "A" a un flujo de 0.5 ml/min, aumentando a cada 5 minutos 0.5 mL/min hasta llegar a 2.0 ml/min por 20 minutos antes de iniciar la corrida. Los resultados de identificación del derivado fueron obtenidos mediante la comparación de los tiempos de retención de las muestras con los estándares. Los resultados de concentración de toxinas en las muestras se obtuvieron mediante la comparación de las áreas bajo la curva de muestras con los estándares, considerando el factor de toxicidad para cada derivado y el peso molecular de la saxitoxina; la toxicidad se expresó en mg STX eq. kg⁻¹.

El perfil tóxico muestra la concentración de toxinas en % mol (mmol L⁻¹) de cada derivado, en cada muestra compuesta por fecha.

Resultados

En la figura 2 se muestran los resultados de las mediciones *in situ* de pH, temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, realizados mediante la sonda multiparámetro en las seis estaciones de muestreo de los moluscos bivalvos agrupadas en dos zonas de estudio: Santiago Astata (Est. 1, 2 y 3) y Puerto Escondido (Est. 4, 5 y 6). La mínima temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se presentaron en enero de 2010 en ambas zonas de estudio. No se encontraron diferencias entre las medias de las variables observadas para cada zona.

El dinoflagelado *P. bahamense* var. *compressum* se registró de 27.4 a 31.3 °C en la zona de Santiago Astata y de 28.4 a 30 °C en la zona de Puerto Escondido.

La abundancia de *P. bahamense* var. *compressum* varió durante el ciclo de muestreo y mostró un aumento en junio de 2010 en ambas zonas de estudio. Se encontró alta abundancia promedio del dinoflagelado

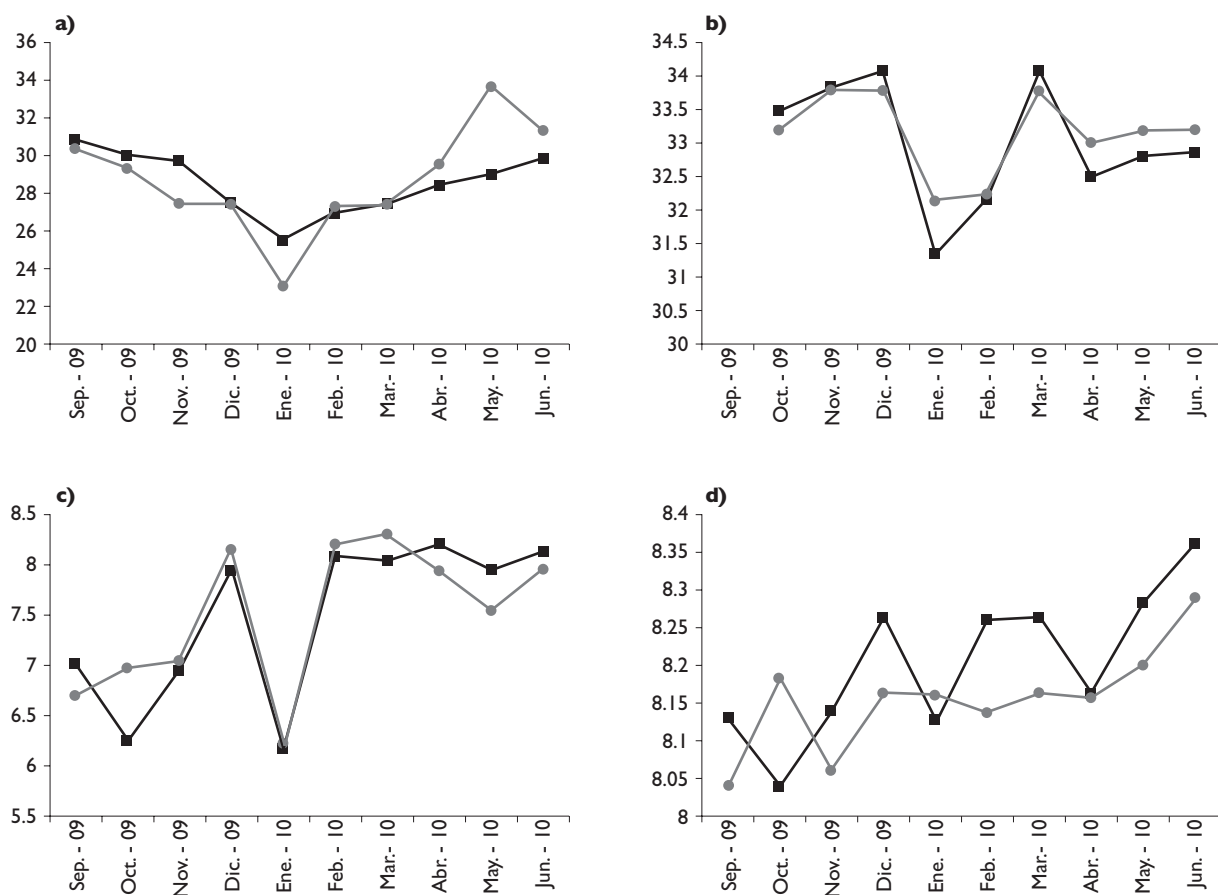


FIGURA 2. VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS EN LAS DOS ZONAS DE ESTUDIO. CÍRCULOS: SANTIAGO ASTATA, CUADRADOS: PUERTO ESCONDIDO. A) TEMPERATURA SUPERFICIAL (°C), B) SALINIDAD SUPERFICIAL, C) OXÍGENO DISUELTUO (MG L⁻¹), D) PH DURANTE EL PERIODO DE SEPTIEMBRE DE 2009 A JUNIO DE 2010

en Santiago Astata en los meses de diciembre de 2009 (9 333 cel L⁻¹), febrero (12 000 cel L⁻¹), abril (4 000 cel L⁻¹) y junio (32 500 cel L⁻¹) de 2010 y en Puerto Escondido en abril de 2010 (1 000 cel L⁻¹) y junio (8 500 cel L⁻¹). El dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* se presentó en las estaciones 1 (4 000 cél L⁻¹) y 5 (1 000 cél L⁻¹) en abril de 2009.

La concentración de toxinas paralizantes expresada como mg STX eq. kg⁻¹ de tejido de ostión superó el límite máximo permisible para consumo humano (800 mg STX eq. kg⁻¹)²⁰ en la zona de Santiago Astata en noviembre de 2009 (1 193), diciembre 2009 (3 235), enero 2010 (1 982), febrero 2010 (1 702) y en junio de 2010 (3 846) (figura 3a). En la zona de Puerto Escondido los niveles fueron superiores al máximo permisible en diciembre de 2009 (2 082) y en junio de 2010 (3 739) (figura 3b). Se encontraron diferencias significativas entre las con-

centraciones de toxinas en la zona de Santiago Astata y Puerto Escondido; éstas fueron mayores en Santiago Astata que en Puerto Escondido ($p=0.01$, $\alpha=0.05$).

El perfil tóxico mostrado en la zona de Santiago Astata muestra la concentración de toxinas en % mol (mmol L⁻¹) de derivados producidos por *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* como STX, GTX5 (B1) y dcSTX, y otros producidos por otros dinoflagelados como la toxina C1,2 la cual se encontró mayoritariamente en septiembre y octubre de 2009 en condiciones de baja concentración de toxinas (figura 3a). En los meses subsiguientes se observa la combinación de STX, GTX5 y C1,2. Finalmente, en junio de 2010 se presentó una pequeña proporción de dcSTX. En el caso del perfil tóxico en Puerto Escondido se observa algo similar: los meses de septiembre a noviembre de 2009 y mayo de 2010 tienen dominancia de los derivados C1,2, lo que coincide con

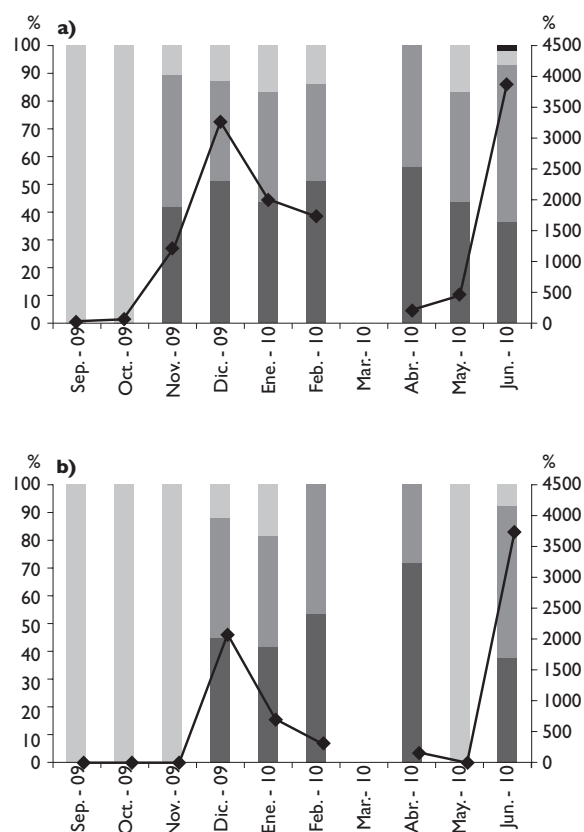


FIGURA 3. PERFIL TÓXICO (% MOL, BARRAS) Y CONCENTRACIÓN DE TOXINAS (MG STX EQ. KG⁻¹, LÍNEAS); A) SANTIAGO ASTATA Y B) PUERTO ESCONDIDO. COLOR DE LA BARRA: GRIS CLARO: C1,2, GRIS OSCURO: STX, GRIS MEDIO: GTX5 Y NEGRO: dcSTX. PERIODO DE ESTUDIO DE SEPTIEMBRE DE 2009 A JUNIO DE 2010

bajas concentraciones de toxinas, y de diciembre de 2009 a abril de 2010 y en junio de 2010 con la combinación de STX y GTX5 (B1) (figura 3b).

Discusión

Pyrodinium bahamense var. *compressum* estuvo presente dentro del intervalo de temperatura reportado para esta especie en Baja California Sur²² y en el Pacífico oeste,²³ lo que demuestra que la eurialina pertenece a ambientes tropicales y subtropicales. En este estudio esta especie se presentó dentro del intervalo de salinidad indicado por la literatura.²³ Se han documentado altos niveles de toxinas analizados mediante el bioensayo en ratón en extractos de moluscos en las costas de Oaxaca durante florecimientos algales formados por el dinoflagelado

P. bahamense var. *compressum*, como el evento en Salina Cruz, Oaxaca, de diciembre de 1989 a enero de 1990 en el cual se encontraron de 5 420 a 8 110 mg STX eq. kg⁻¹ y una abundancia del dinoflagelado de 1.7×10^6 cél L^{-1.8} (cuadro I). Durante otro evento tóxico en Pinotepa Nacional, Oaxaca, en noviembre de 2001, se reportaron niveles de 14 560 mg STX eq. kg⁻¹ en mejillón *Mytella arciformis*²⁴ y, por último, un evento en La Colorada y la Ventosa, Oaxaca, de enero a marzo de 2006, en el cual se encontró toxicidad de 330-7 870 mg STX eq. kg⁻¹, con una abundancia del dinoflagelado de 1 024 a 7 000 cel L^{-1.13}

En todos estos casos la toxicidad alcanzada superó los niveles permisibles en moluscos para consumo humano; en los dos primeros casos se presentaron decesos. Los niveles de toxinas encontrados en el presente estudio fueron menores a los mencionados y no se presentaron intoxicaciones ni decesos durante el periodo de estudio. Servicios de Salud de Oaxaca, a través de la Jurisdicción Sanitaria 04 ubicada en Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, realiza seguimiento mensual de agua y moluscos bivalvos en Punta Colorada. Estas muestras se envían al Laboratorio Estatal de Salud Pública Dr. Galo Soberón y Parra, en Acapulco, Guerrero. El método de análisis que se utiliza es el bioensayo en ratón: si los niveles superan los límites permisibles se impone una veda sanitaria, informando a la población mediante notas periodísticas y seguimiento conjunto con la cooperativa "Puerto Angelito", en Puerto Escondido, para que se respete la veda hasta que se normalice la situación. Actualmente, en Santiago Astata el banco de ostión "La Colorada" se encuentra sobreexplotado y la extracción de ostiones es ocasionalmente realizada por turistas y locales. La Jurisdicción Sanitaria del Istmo da seguimiento a esta zona mediante muestreos mensuales de agua para determinar la presencia de especies productoras de toxinas paralizantes (comunicación personal. Jurisdicción Sanitaria 04, Puerto Escondido).

Los derivados producidos por *P. bahamense* var. *compressum* incluyen STX, NeoSTX, dcSTX, y GTX5 (B1).²⁵ Otros dinoflagelados como *Gymnodinium catenatum* o algunas especies del género *Alexandrium* producen, además de los derivados mencionados, las toxinas de baja potencia C1,2,²⁶⁻²⁸ por lo que la presencia de estos derivados se asocia con dinoflagelados distintos a *Pyrodinium bahamense*, como es el caso del dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* registrado en abril de 2010 o especies del género *Alexandrium* no detectadas en este estudio que pueden estar asociados con la producción de derivados de toxinas paralizantes que no corresponden al perfil tóxico de *P. bahamense* var. *compressum*.

La toxicidad observada en este estudio refleja la presencia de un derivado de alta potencia (STX) en combinación con uno de baja potencia (GTX5) en las

dos zonas de estudio durante la mayor parte del periodo de estudio. Las toxinas de menor potencia (C1,2) se presentaron como único derivado a las menores concentraciones. Otro derivado de alta potencia (NeoSTX) producido por *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* estuvo ausente en este estudio. Este dinoflagelado produce derivados de alta potencia tóxica, por lo que es el responsable de la mayoría de las intoxicaciones y muertes humanas producidas por toxinas paralizantes a nivel mundial.²³

Para la intoxicación paralizante en la costa de Oaxaca (cuadro I), se estimó una tasa de mortalidad humana de 8.6% (1989-2014), mayor a la encontrada en el Pacífico mexicano, de 6.7% (1970-2004)²⁹ y de 3.4% para América, Europa y Asia-Pacífico (1900-1994).³⁰ En el caso mencionado de intoxicación paralizante en Guatemala, la tasa en el evento fue de 14.0% (1987).⁴ Estas tasas son menores a la estimada a nivel mundial, de 15% de mortalidad con 2 000 casos de intoxicación por año.³¹

La toxicidad encontrada en el ostión *Striostrea prismatica* durante el ciclo 2009-2010 corresponde a la presencia del dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* y superó el límite permisible para consumo de mariscos en Santiago Astata y en Puerto Escondido. En las fechas señaladas, lo anterior representó un riesgo para la salud pública por el consumo de mariscos contaminados con toxinas paralizantes. Se encontraron diferencias significativas en la toxicidad entre las dos zonas de estudio: ésta fue mayor en la zona de Santiago Astata que en Puerto Escondido. El perfil de toxinas encontrado correspondió al perfil tóxico de *P. bahamense* var. *compressum*, excepto por la presencia de toxinas C1,2, las cuales son producidas por el dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* y algunas especies del género *Alexandrium*. El dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* forma FAN en el Golfo de Tehuantepec asociados con surgencias costeras en el invierno; su mayor abundancia en la columna de agua se presenta hasta la época de lluvias.²⁹ El seguimiento de las toxinas mediante el método de cromatografía líquida es útil como apoyo para la prevención de intoxicaciones paralizantes en esta zona, donde los FAN son recurrentes, y para conocer la composición y potencia de las toxinas presentes en moluscos bivalvos. Este estudio forma parte del inicio de un evento que provocó la intoxicación de 23 personas y 214 días de veda sanitaria para la extracción y comercialización de moluscos bivalvos en las costas de Oaxaca (2010-2011).¹⁵

Agradecimientos

Los autores agradecen a Sonia Jeanette Delgado del Villar, Ma. Vicia Bernal Córdova y Lidia Iliana Moreno

Hernández por su asistencia técnica en los análisis de toxinas. A Germán Ramírez Reséndiz por su apoyo en elaboración de figuras y asesoría estadística. Este proyecto fue financiado por Servicios de Salud del Estado de Oaxaca mediante el proyecto "Identificación de fitoplancton y saxitoxinas en la Playa Colorada de Santiago Astata y Punta Colorada en Puerto Escondido, Oaxaca".

Declaración de conflicto de intereses. Los autores declararon no tener conflicto de intereses.

Referencias

- Rodríguez-Salvador R, Meave-del Castillo ME. Monitoreo del dinoflagelado tóxico *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* en las costas de Chiapas. Resúmenes del II Taller sobre Florecimientos Algales Nocivos en México, Ensenada, México, 21-23 de noviembre 2007. Ensenada, México: CICESE-CETMAR, 2007:6.
- Vargas-Montero M, Freer-Bustamante E, Guzmán JC, Vargas JC. Florecimientos de dinoflagelados nocivos en la costa Pacífica de Costa Rica. *Hidrobiológica* 2008;18 suppl 1:15-23.
- Rosales-Loessener F. The Guatemala experience with red tides and paralytic shellfish poisoning. En: Hallegraeff GM, Macelan JL (eds). *Biology, Epidemiology and management of Pyrodinium red tides*. ICLARM Conference Proceedings 21 1989:49-51.
- Rodrigue CD, Etzel AR, Hall S. de Porras E, Velazquez HO, Tauxe VR, Kilbourne ME, Blake AP. Leta paralytic shellfish poisoning in Guatemala. *Am J Trop Med Hyg* 1990;42(3):267-271.
- Barraza JE. Food poisoning due to consumption of marine gastropod *Plicopurpura columellaris* in El Salvador. *Toxicon* 2009;54:895-896.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, pesca y alimentación. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2010. [Monografía de internet] México [consultado el 27 de febrero de 2015]. Disponible en <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario2010>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Periodos de veda para especies marinas y dulceacuícolas [monografía de internet]. México: SAGARPA 2014 [consultado el 27 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/work/sites/cona/resources/PDFContent/14029/vedas.pdf>
- Cortés-Altamirano R, Muñoz-Cabrera L, Sotomayor-Navarro O. Envenenamiento paralítico por mariscos (PSP), causado por el dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* en la costa suroeste de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 1993;20:43-54.
- Saldade-Castañeda O, Vázquez-Castellanos JL, Galván J, Sánchez-Anguiano A, Nazar A. Intoxicaciones por toxina paralizante de molusco en Oaxaca. *Salud Publica Mex* 1991;33:240-247.
- Cortés-Altamirano R, Hernández-Becerril DU, Luna-Soria R. Mareas rojas en México: una revisión. *Rev Latinoam Microbiol* 1995;37:343-352.
- Sistema Federal de Protección Sanitaria. Reunión sobre el fenómeno de marea roja en México; 2003; oct 16 y 17; Huatulco, Oaxaca, México.
- Gárate-Lizárraga I, Pérez-Cruz B, Días-Ortiz J, Band-Schmidt CJ. Microalgas y biotoxinas marinas en las costas mexicanas. *CICIMAR* 2008;22-26.
- Rojas-Crisóstomo R, Ramírez-García H, Barón-Campis S, Ojeda-Salinas H. Presencia de *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, niveles de toxina en moluscos bivalvos e identificación del fitoplancton marino en las costas de La Colorada y La Ventosa, Oaxaca durante 2006. Resúmenes del II Taller sobre Florecimientos Algales Nocivos, Ensenada, México, 21-23 de noviembre 2007. Ensenada, México: CICESE-CETMAR, 2007:20.

14. Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios. Seguimiento de FAN en México por año de 2003 a 2013 [Monografía en internet]. México: COFEPRIS, 2014 [Consultado 2015 febrero 27] 3 pág. para cada año. Disponible en: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Marea%20Roja/AntecedentesMexico.aspx>
15. Comisión Federal de Protección contra Riesgos Sanitarios. Informe de Presencia de Marea Roja en Costas Nacionales durante 2010. [Monografía en internet]. México: COFEPRIS, 2010 [consultado el 27 de febrero de 2015]. Disponible en: www.cofepris.gob.mx/AZ/Documents/MareaRoja/FAN2010.pdf
16. Stafford GR, Hines HB. Urinary elimination of saxitoxin after intravenous injection. *Toxicon* 1995;33(11):1501-1510.
17. Zar JH. Paired sampled hypotheses. En: Zar, J.H. *Biostatistical Analysis*. 2a Ed. Nueva Jersey: Prentice Hall, 1984:150-161.
18. Reguera B, Alonso-Rodríguez R, Moreira A, Méndez S. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas. COI de UNESCO y OIEA, Paris y Viena 2011. *Manuales y Guías de la COI*, 59 2011 [consultado el 27 de febrero de 2015]. Disponible en: http://www.ioc-unesco.org/hab/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=20
19. Lawrence JF, Niedzwiedek B, Menard C. Quantitative determination of paralytic shellfish using prechromatographic oxidation and liquid chromatography with fluorescence detection: Collaboratory Study. *JAOAC Int* 2005; 88:1714-1732.
20. Anon. AOAC Official method 2005.06 Quantitative determination of Paralytic Shellfish Poisoning Toxins in shellfish using pre-chromatographic oxidation and liquid chromatography with fluorescence detection. Gaithersburg, MD, USA: AOAC Int, 2005.
21. NOM-242-SSA1-2009. Norma Oficial Mexicana, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Secretaría de Salud. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba, Diario Oficial de la Federación 10 febrero de 2011. México: DOF, 2011.
22. Gárate-Lizárraga I, González-Armas R. Occurrence of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* along the southern coast of the Baja California Peninsula. *Mar Pollut Bull* 2011;62:626-630.
23. Usup G, Ahmad A, Matsuoka K, Lim PT, Leaw CP. Biology, ecology and bloom dynamics of the toxic marine dinoflagellate *Pyrodinium bahamense*. *Harmful Algae* 2012;14:301-312.
24. Gárate-Lizárraga I, Díaz-Ortiz JA, Alarcón-Tacuba M, Pérez-Cruz B, Torres-Jaramillo A, Alarcón-Romero MA, López-Silva S. Paralytic shellfish toxin in marine mollusks from the Southwestern region of the Mexican coasts (1992-2006). 40th Annual Meeting of the Western Society of Malacologists; 2007 jul 25-28; La Paz, Baja California Sur, México.
25. Gedaria AI, Luckas B, Reinhardt K, Azanza RV. Growth response and toxin concentration of cultured *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* to varying salinity and temperature conditions. *Toxicon* 2007;50:518-529.
26. Wiese M, D'Agostino PM, Mihali TK, Moffitt MC, Neilan BA. Neurotoxic alkaloids: saxitoxin and its analogs. *Marine Drugs* 2010;8:2185-2211.
27. Vale P. Hydrolysis of hydroxybenzoate saxitoxin analogues originating from *Gymnodinium catenatum*. *Food Chemistry* 2011;125:1160-1165.
28. Anderson DM, Alpermann TJ, Cembella AD, Collos Y, Masseret E, Montresor M. The globally distributed genus *Alexandrium*: Multifaceted roles in marine ecosystems and impacts on human health. *Harmful Algae* 2012;14:10-35.
29. Hernández-Becerril DU, Alonso-Rodríguez R, Alvarez-Góngora C, Barón-Campis SA, Ceballos-Corona G, Herrera-Silveira J, et al. Toxic and harmful marine phytoplankton and microalgae (HABS) in Mexican Coasts. *J Environ Sci Health A* 2007;42:1349-1363.
30. Batoréu CCM, Dias E, Pereira P, Franca S. Risk of human exposure to paralytic toxins of algal origin. *Env Tox Pharm* 2005;19:401-406.
31. Hallegraeff MG. A review on harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 1993;32(2):79-99.