

La Red Temática sobre Florecimientos Algales Nocivos (RedFAN) fue creada bajo el marco de la convocatoria 2014 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). La RedFAN agrupa a investigadores que realizan estudios sobre los florecimientos algales nocivos (FAN) en México y estudiantes con proyectos de investigación en el área. Asimismo, incluye a personal del sector gubernamental y productivo que tienen relación con la temática FAN.

La RedFAN tiene la misión de contribuir al conocimiento científico de los FAN para entender las causas que los originan, su efecto negativo sobre los ecosistemas, su impacto en la salud pública, mitigación y propuestas de manejo para el beneficio de la sociedad y sus actividades productivas.



RESPONSABLE TÉCNICO

Dr. Ernesto García Mendoza

COMITÉ TÉCNICO ACADÉMICO

Dr. Ernesto García Mendoza
(CICESE- Baja California)

Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre
(UABC- Baja California)

Dr. Antonio Almazán Becerril
(CICY- Quintana Roo)

Dr. José Jesús Bustillos Guzmán
(CIBNOR – Baja California Sur)

Dra. Christine J. Band
Schmidt (IPN-CICIMAR-
Baja California Sur)

Dr. José A. Aké Castillo
(UV- Veracruz)

Dra. Sonia Quijano Scheggia
(UCOL- Colima)

FLORECIMIENTOS ALGALES NOCIVOS EN MÉXICO

EDITORES

Ernesto García-Mendoza

Sonia J. Quijano-Scheggia

Aramis Olivos-Ortiz

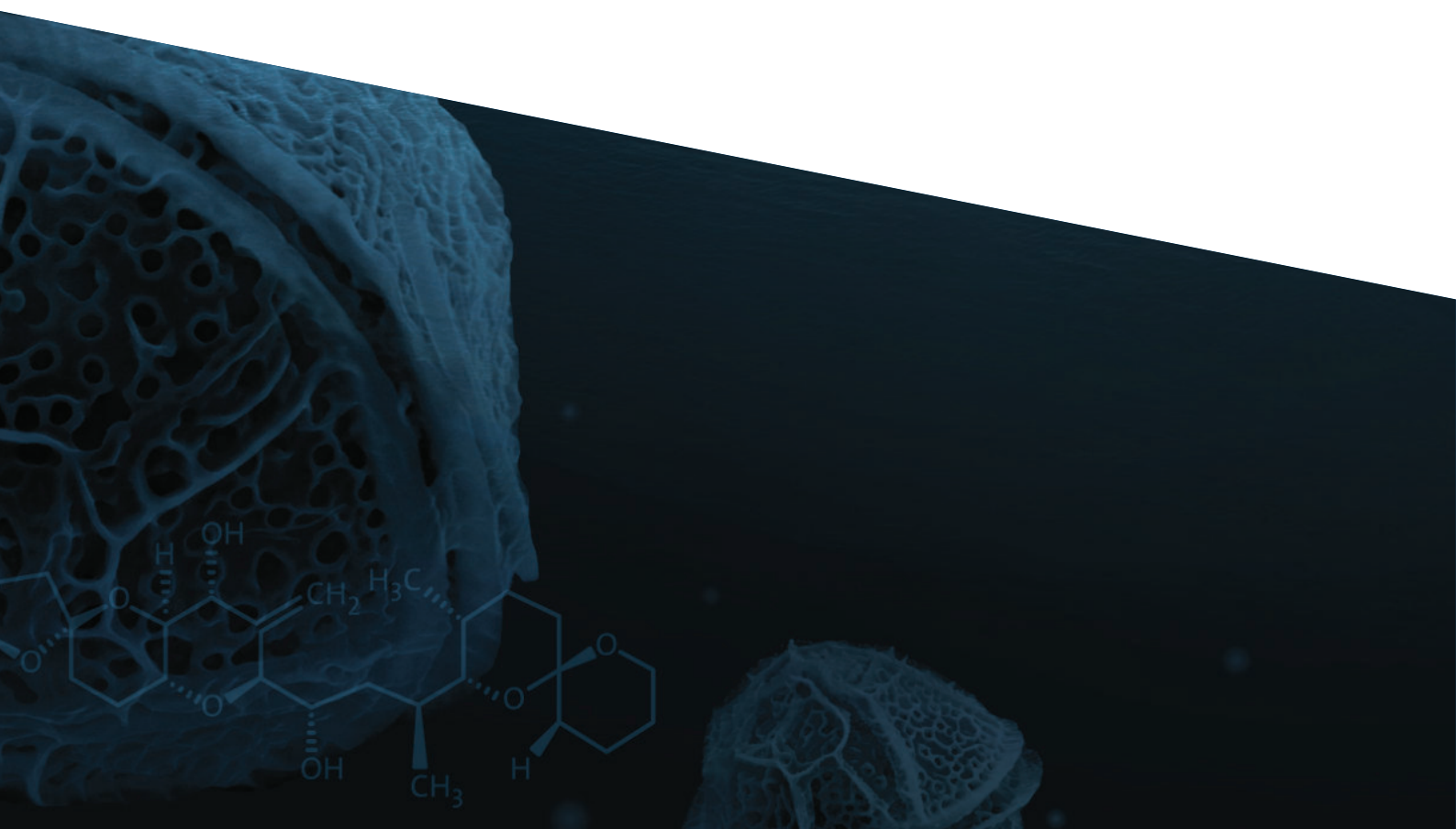
Erick J. Núñez-Vázquez



FLORECIMIENTOS ALGALES NOCIVOS EN MÉXICO

EDITORES

Ernesto García-Mendoza
Sonia I. Quijano-Scheggia
Aramis Olivos-Ortiz
Erick J. Núñez-Vázquez



Florecimientos Algaes Nocivos en México

EDITORES

Ernesto García-Mendoza (CICESE)
Sonia Isabel Quijano-Scheggia (UCOL)
Aramis Olivos-Ortiz (UCOL)
Erick J. Núñez-Vázquez (CIBNOR)

COORDINACIÓN EDITORIAL

Yaireb Alejandra Sánchez Bravo

CORRECCIÓN Y ESTILO

Norma Herrera Hernández
R. Ulises Cruz Aguirre

DISEÑO

Iken – Estudio de Diseño Gráfico

IMPRESIÓN

Imprecolor del Noroeste
Ensenada, Baja California

FORMA DE CITAR:

García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I.,
Olivos-Ortiz, A. y Núñez-Vázquez, E. J. (eds.)
2016. Florecimientos Algaes Nocivos en México.
Ensenada, México. CICESE. 438 p

Derechos reservados D.R. ©

Copyright, CICESE, 2016

Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California. Carretera
Ensenada-Tijuana Núm. 3918, Zona Playitas,
CP 22860. Ensenada, Baja California, México.

ISBN: 978-607-95688-5-6



Índice

Presentación	8
---------------------	---

Prólogo	9
----------------	---

Introducción general	10
García-Mendoza, Ernesto; Quijano-Scheggia, Sonia I.; Olivos-Ortiz, Aramis; Núñez-Vázquez, Erick Julian y Pérez-Morales, Alfredo.	

01 COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA 21

Introducción	23
Mary Carmen Ruiz-de la Torre	

Florecimientos algales nocivos y su impacto ecológico, económico y a la salud pública en la costa occidental de la península de Baja California	26
Medina-Elizalde, Jennifer; García-Mendoza, Ernesto; Ruiz-de la Torre, Mary Carmen; Peña-Manjarrez, José Luis; Sánchez-Bravo, Yaireb Alejandra; Paredes-Banda, Patricia Estefanía.	

Florecimientos algales nocivos en la costa occidental de Baja California Sur	44
Gárate-Lizárraga, Ismael; Verdugo-Díaz, Gerardo; Okolodkov, Yuri B.	

Ficotoxinas en la costa occidental de la península Baja California	60
Sánchez-Bravo, Yaireb Alejandra; García-Mendoza, Ernesto; Blanco, Juan; Paredes-Banda, Patricia Estefanía; Medina-Elizalde, Jennifer.	

Estudios de ecofisiología sobre especies fitoplanctónicas nocivas en Baja California	78
Paredes-Banda, Patricia Estefanía; Cruz-López, Ricardo; García-Mendoza, Ernesto; Santiago-Morales, Ivonne; Ruiz-de la Torre, Mary Carmen; Murillo-Martínez, Ramón; Peña-Manjarrez, José Luis; Sánchez-Bravo, Yaireb Alejandra; Medina-Elizalde, Jennifer.	
Modelación numérica de interacción físico-biológica aplicada a florecimientos del fitoplancton en el Pacífico Mexicano frente a Baja California	92
Rivas, David; Cruz-Rico, Jorge; Vivas-Téllez, Iván; Arellano, Beatriz; Bermúdez, Anahí.	
Quistes de dinoflagelados de pared orgánica en las costas de México	108
Peña-Manjarrez, José Luis; Flores-Trujillo, Juan Gabriel; Helenes-Escamilla, Javier.	

02 GOLFO DE CALIFORNIA	125
Introducción	127
Band-Schmidt, Christine Johanna.	
Microalgas formadoras de florecimientos algales en el Golfo de California	130
Gárate-Lizárraga, Ismael; Okolodkov, Yuri B.; Cortés-Altamirano, Roberto.	
Condiciones ambientales asociadas a florecimientos algales nocivos en el Golfo de California	146
López-Cortés, David Javier; Hernández-Sandoval, Francisco Eduardo; Band-Schmidt, Christine Johanna; Bustillos-Guzmán, José Jesús; Núñez-Vázquez, Erick Julian.	
Ficotoxinas en aguas del Golfo de California: Una revisión	162
Bustillos-Guzmán, José Jesús; Leyva-Valencia, Ignacio; Hernández-Sandoval, Francisco Eduardo; Band-Schmidt, Christine Johanna; López-Cortés, David Javier; Núñez-Vázquez, Erick Julian.	
Autoecología de microalgas nocivas aisladas del Golfo de California	180
Band-Schmidt, Christine Johanna; Bustillos-Guzmán, José Jesús; Durán-Riveroll, Lorena María; López-Cortés, David Javier; Hernández-Sandoval, Francisco Eduardo; Núñez-Vázquez, Erick Julián	

Impactos de los FAN en la salud pública y animal (silvestres y de cultivo) en el Golfo de California 196

Núñez-Vázquez, Erick Julian; Band-Schmidt, Christine Johanna; Hernández-Sandoval, Francisco Eduardo; Bustillos-Guzmán, José Jesús; López-Cortés, David Javier; Cordero-Tapia, Amaury; Heredia-Tapia, Alejandra; García-Mendoza, Ernesto; Peña-Manjarrez, José Luis; Ruíz-de la Torre, Mary Carmen; Medina-Elizalde, Jennifer.

03 PACÍFICO TROPICAL MEXICANO 213

Introducción 215

Aramis Olivos-Ortiz; Sonia Quijano-Scheggia.

Registros de microalgas nocivas o tóxicas formadoras de florecimientos algales en las bahías de Manzanillo, Colima, México 218

Quijano-Scheggia, Sonia I.; Olivos-Ortiz, Aramis; Pérez-Morales, Alfredo; Álvarez-García, Carmen; Gaviño-Rodríguez, Juan H.; Sosa-Avalos, Ramón.

Florecimientos algales nocivos en las aguas costeras del estado de Guerrero, México 228

Gárate-Lizárraga, Ismael; Pérez-Cruz, Beatriz; Díaz-Ortiz, Jesús Antonio; Okolodkov, Yuri B.; López-Silva, Saúl.

Florecimientos algales nocivos en la costa de Oaxaca 242

Santiago-Morales, Ivonne Sandra.

Condiciones hidrográficas en el Pacífico Central Mexicano relacionadas con florecimientos algales en la zona costera de Colima 256

Olivos-Ortiz, Aramis; Quijano-Scheggia, Sonia I.; Pérez-Morales, Alfredo; Gaviño-Rodríguez, Juan H.; Kono-Martínez, Tadashi; Pelayo-Martínez, Gloria C.; Ortega-Ortiz, Christian D.; Verduzco-Zapata Manuel G.

La temperatura superficial del mar y su relación con florecimientos algales nocivos en áreas costeras del Pacífico Tropical Mexicano 268

Acosta-Chamorro, Verónica; Moreno-Ramos, Olga Lidia; Cano-Ibarra, Gregorio.

Control de Florecimientos Algales Nocivos con aplicación en la camaricultura 282

Frausto-Sotelo, Elizabeth Dalila; Alonso-Rodríguez, Rosalba.

04	GOLFO DE MÉXICO	293
	Introducción	295
	Aké-Castillo, José Antolín.	
	FAN en el Golfo de México: panorama general sobre eventos y especies	298
	Aké-Castillo, José Antolín; Poot-Delgado, Carlos Antonio.	
	Toxinas marinas en el Golfo de México: orígenes e impactos	308
	Núñez-Vázquez, Erick Julian; Ramírez-Camarena, Casimiro; Poot-Delgado, Carlos Antonio; Almazán-Becerril, Antonio; Aké-Castillo, José Antolín; Pérez-Morales, Alfredo; Hernández-Sandoval, Francisco Eduardo; Fernández-Herrera, Leyberth José; Heredia-Tapia, Alejandra; Band-Schmidt, Christine Johana; Bustillos-Guzmán, José; López-Cortés, David Javier; Domínguez-Solis, Gabriel; Ley-Martínez, Tai Coh; Cauich-Sánchez, Yonkany Raúl; Barra-González, Luis Alfredo.	
	FloreCIMIENTO de <i>Heterocapsa rotundata</i> (Dinophyta) en el estuario río Jamapa, Veracruz	322
	Aké-Castillo, José Antolín; Rodríguez-Gómez, Carlos Francisco; Perales-Valdivia, Héctor; Sanay-González, Rosario.	
	Especies fitoplanctónicas formadoras de florecimientos algales en los sistemas fluvio-deltáicos Palizada del Este y Pom-Atasta	334
	Muciño-Márquez, Rocío Elizabeth; Figueroa-Torres, María Guadalupe; Aguirre-León, Arturo.	
05	CARIBE MEXICANO	347
	Introducción	349
	Almazán-Becerril, Antonio.	
	Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014-2015)	352
	Rodríguez-Martínez, Rosa Elisa; van Tussenbroek, Brigitta I; Jordán-Dahlgren, Eric.	
	El género <i>Gambierdiscus</i> de Quintana Roo, México	366
	Almazán-Becerril, Antonio; Irola-Sansores, Elda Damaris; Escobar-Morales, Sergio.	

Morfología y taxonomía de los géneros <i>Ostreopsis</i> y <i>Coolia</i> en el Caribe Mexicano	378
Almazán-Becerril, Antonio; Escobar-Morales, Sergio; Irola-Sansores, E. D.; Delgado-Pech, Benjamín.	
Proliferaciones de <i>Lyngbya</i> en arrecifes coralinos del Caribe Mexicano	394
Delgado-Pech, Benjamín; Almazán-Becerril, Antonio; Escobar-Morales, Sergio; Cervantes-Ontiveros, Augusto.	

06 AGUAS INTERIORES	405
Estado actual del estudio de cianobacterias dulceacuícolas formadoras de florecimientos en el centro de México	408
Pérez-Morales, Alfredo; Olivos-Ortiz, Aramis; Quijano-Scheggia, Sonia Isabel; Espinosa-Rodríguez, Cristian Alberto; Jiménez-Santos, Marco Antonio.	
Florecimientos algales de cianobacterias en un cenote de Quintana Roo y su relación con la calidad del agua	422
Hernández-Terrones, Laura Margarita; Nava-Ruiz, Viridiana Margarita; Escobar-Morales, Sergio; Ortega-Camacho, Daniela.	
Anexo	434
Agradecimientos	437

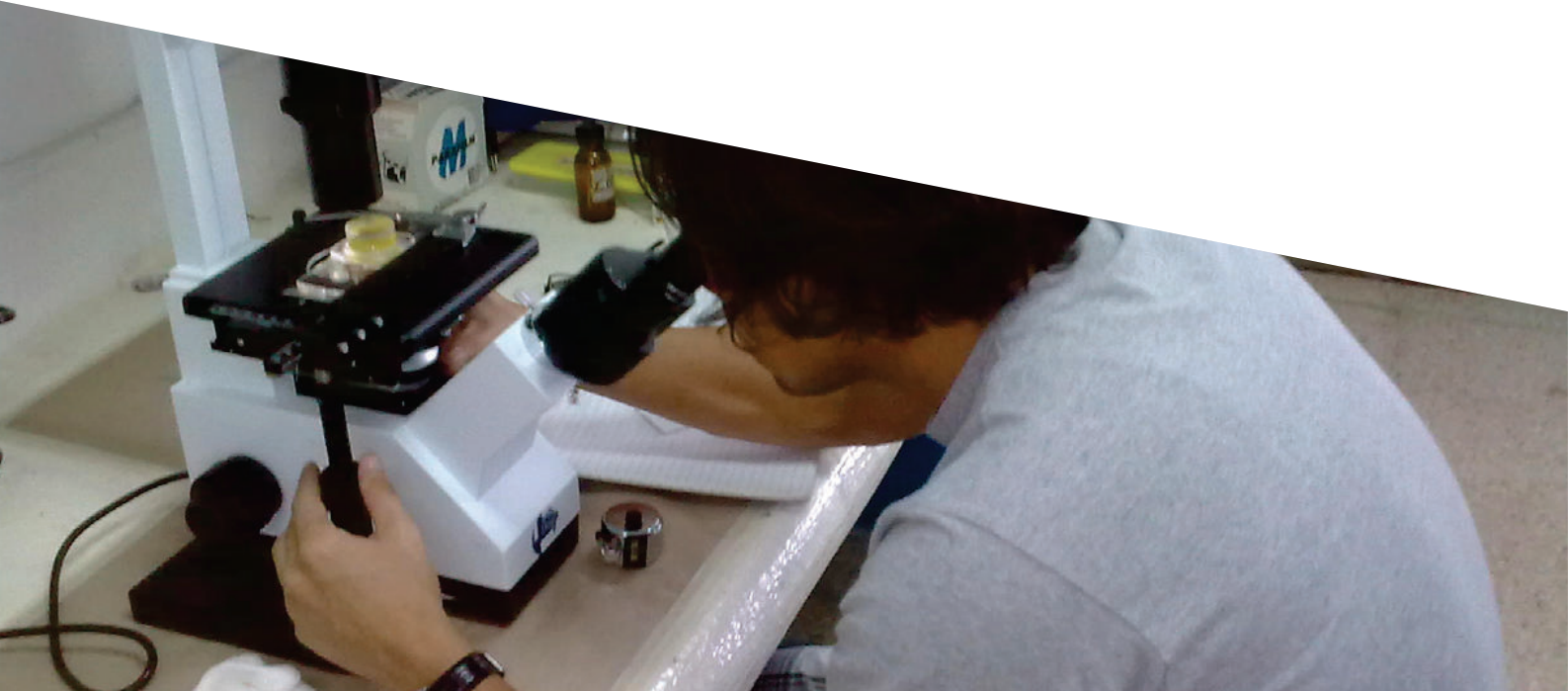
FAN en el Golfo de México: panorama general sobre eventos y especies

Aké-Castillo, José Antolín¹ y Poot-Delgado, Carlos Antonio^{2, 3}

¹ Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Calle Hidalgo Núm. 617, Colonia Río Jamapa, CP 94290. Boca del Río, Veracruz, México.
aake@uv.mx

² Centro de Estudios Tecnológicos del Mar, Campeche 02. Km 1 carretera Campeche-Hampolol, Colonia Palmas, CP 24027. Campeche, Campeche, México.

³ Instituto Tecnológico Superior de Champotón. Km 2 Carretera Champotón-Isla Aguada, Col. El Arenal, CP 24400. Champotón, Campeche, México.



Resumen

Los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán que colindan con el Golfo de México tienen registros de florecimientos algales nocivos (FAN). La Secretaría de Salud es la responsable de la regulación, control y fomento sanitario en materia de FAN que afectan la salud humana, por lo que tienen registros de eventos FAN sucedidos en los diferentes estados de la República Mexicana. Adicionalmente, la comunidad científica ha generado información acerca del tema. Con base en esta información, se presenta un panorama general de los acontecimientos de FAN y las especies que se han presentado, ya sea de manera ocasional o recurrente en la región. Tamaulipas y Tabasco son los estados con menos reportes de FAN. Tamaulipas es el más afectado por FAN de la especie tóxica *Karenia brevis*, que representa un problema regional al haber registros en todo el litoral del Golfo de México. *Peridinium quadridentatum* var. *quadridentatum* y especies de *Pseudo-nitzschia* constituyen un riesgo potencial regional al incrementar sus reportes al igual que *Prorocentrum minimum* y *Pyrodinium bahamense* var. *bahamense* para el sur y sureste del Golfo de México. *Cylindrotheca closterium* se perfila como una especie potencialmente formadora de FAN en el litoral mexicano del Golfo de México.

Palabras clave: FAN, Golfo de México, especies recurrentes.

Abstract

Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche and Yucatán, states that define the Gulf of Mexico have records of harmful algal blooms (HABs). Health Department in México is the responsible of regulation, control and sanitary promotion related to HAB issues that have repercussion in human health and hence it has records of events in Mexico. In addition, scientific community has generated information about the topic. Using this information, a general scene of occurrences of HAB and species that have occasionally or recurrently occurred is presented. Tamaulipas and Tabasco are the states with less records of HAB. Tamaulipas is the state more affected by the toxic dinoflagellate *Karenia brevis* that represents a regional problem because of the records in sites along all states. *Peridinium quadridentatum* var. *quadridentatum* and different species of *Pseudo-nitzschia* are considered a potential problem due to the increment of HAB occurrences along Mexican coast, and *Prorocentrum minimum* and *Pyrodinium bahamense* var. *bahamense* represents a problem to the south and southeast of Gulf of Mexico. *Cylindrotheca closterium* is thought to be appearing in HAB all along Mexican coast in the Gulf of Mexico.

Key words: HAB, Gulf of Mexico, recurring species.

► Introducción

Los cinco estados mexicanos que conforman el Golfo de México tienen registros de la presencia de florecimientos algales nocivos (FAN) en sus costas (Band-Schmidt *et al.*, 2011). En la última revisión de los estudios del fenómeno que ocurren en esta región, Band-Schmidt *et al.* (2011) señalan la presencia de tres principales especies: *Karenia brevis*, *Cylindrotheca closterium* y *Scrippsiella trochoidea*, y al género *Gambierdiscus*, que han tenido un impacto negativo ya sea en la salud humana o en el ambiente. Asimismo, identifican los problemas emergentes y riesgos potenciales asociados a los registros de otras especies que sumaban hasta el momento del estudio alrededor de nueve especies plenamente identificadas, y otras especies pertenecientes a cinco géneros en el Golfo de México.

Conforme a la Ley General de Salud (Diario Oficial de la Federación, 2014) la Secretaría de Salud es la dependencia que tiene atribuciones de regulación, control y fomento sanitario, a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) en lo relativo a los FAN. El artículo 17bis señala las competencias de la dependencia, de las cuales algunas se relacionan directamente con los efectos que los FAN pueden tener en la salud humana: la evaluación de riesgos a la salud, prevención y control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre y aplicación del control y vigilancia sanitarios de los productos alimenticios.

Así, la COFEPRIS tiene registros de eventos FAN que están a disposición de los usuarios a través de su página de internet (<http://www.cofepris.gob.mx/>) que datan desde 2003 a la fecha. Estos registros representan la historia de los eventos que han causado la alerta de las autoridades de salud y que en algunos casos han determinado la veda temporal de la actividad pesquera. Por otro lado, dado que el fenómeno FAN puede representar una etapa de la dinámica ecológica de las comunidades planctónicas y en particular de la dinámica poblacional de ciertas microalgas, la comunidad científica pone su atención en estos fenómenos que no son de interés de las autoridades sanitarias dada la inocuidad en la salud humana.

Este trabajo muestra un panorama general sobre los acontecimientos de FAN y del conocimiento de las especies que se han presentado ya sea de manera ocasional o recurrente en la costa mexicana del Golfo de México, y que han sido registrados por las autoridades sanitarias y la comunidad científica del país.

► Eventos y principales especies formadoras de FAN

Tamaulipas

La COFEPRIS reportó cinco eventos en el período de 2005 a 2015 para los cuales en todos ellos se declaró veda sanitaria (Tabla 1). El organismo responsable fue *K. brevis*. Rodríguez-Prieto (2007) ha reportado a *Noctiluca scintillans* formando un FAN en 2005, y Crisóstomo-Vázquez *et al.* (2009) han reportado FAN de *Chattonella subsalsa*, *C. marina* y *Glenodinium spp.*, en sistemas estuarinos del estado.

Veracruz

Sólo se tiene un registro por la COFEPRIS en 2009-2010 de un FAN de *K. brevis* que no originó veda (Tabla 1). Aké-Castillo *et al.* (2014) realizaron la revisión de los FAN en el estado hasta el año 2012 y reportaron 29 especies que se han identificado como nocivas. De estas especies, se reconoce principalmente la recurrencia de *K. brevis* y *Peridinium quadridentatum* var. *quadridentatum*. Este último dinoflagelado, que es una especie no tóxica que causa florecimientos evidentes por cambio de color en el agua, constituye hoy en día el principal organismo formador de FAN en la zona costera del centro de Veracruz (Rodríguez-Gómez *et al.*, 2015). Recientemente, Aké-Castillo y Campos-Bautista (2014) reportaron un FAN de la cianobacteria *Dolichospermum flos-aquae* sucedido en la laguna de Alvarado en octubre de 2013. Las diatomeas son también un componente importante en el desarrollo de FAN y se han registrado especies de *Pseudo-nitzschia* formando FAN (Okolodkov *et al.*, 2015). Hacia la parte sur del estado específicamente en las costas de Coatzacoalcos, Montalvo-Arrieta y Peña-Manjarrez (2007) reportaron un florecimiento que no presentó coloración ni efectos negativos, generado por la diatomea *Chaetoceros curvisetus*. Montalvo-Arrieta (2014, 2015) reporta florecimientos de la diatomea *Asterionellopsis glacialis*.

Tabasco

La COFEPRIS reportó cuatro FAN en el período 2005-2011, siendo *K. brevis* el organismo responsable. Sólo se declararon dos vedas (Tabla 1). Terán-Suárez *et al.* (2006) reportan la presencia de *P. bahamense* var. *bahamense* en altas concentraciones en 2004 así como de *K. brevis* en bajas concentraciones en 2002. Borbolla-Salas *et al.* (2006) reportan en detalle el evento acaecido en 2005, que también reportó la COFEPRIS.

Campeche

La COFEPRIS reporta tres FAN en 2008, 2011 y 2013 provocados por diferentes organismos que no ocasionaron declaratoria de veda (Tabla 1). En 2011, Soto-Ramos (2013) registró la proliferación de *Karenia* spp. en la costas del norte y centro del estado. Recientemente Poot-Delgado *et al.* (2014) reportaron a *P. bahamense* var. *bahamense*, *Prorocentrum hoffmanianum*, *P. mexicanum* y *P. minimum*, y especies no identificadas de *Gambierdiscus*, *Gymnodinium* y *Pseudo-nitzschia* presentes en abundancias altas durante un estudio en 2011. Poot-Delgado *et al.* (2015a, b) encontraron especies que produjeron FAN en la laguna de Términos: *Cylindrospermopsis cuspidis* y *Prorocentrum minimum* en 2012, y *C. closterium* y *P. quadridentatum* var. *quadridentatum* en 2013.

Yucatán

La COFEPRIS reporta cuatro FAN en el período 2003-2011, declarando veda sanitaria en uno solo de ellos ocurrido con un complejo de especies (Tabla 1). Merino-Virgilio *et al.* (2014) hicieron la revisión de los FAN en el estado a partir de datos generados de monitoreos de fitoplancton de 2001 a 2013. Se reconoce la recurrencia de *S. trochoidea*, *P. minimum*, *P. cf. rathymum*,

P. quadridentatum var. *quadridentatum*, *Kryptoperidinium* cf. *foliaceum*, *P. bahamense* var. *bahamense*, *C. closterium*, *Nitzschia longissima* y *N. reversa*. También se tiene un registro de un florecimiento de *Cyclotella marina* en 2009 en Dzilam de Bravo (Aké-Castillo *et al.*, 2012).

Tabla 1. Registro de eventos FAN por COFEPRIS desde 2003 (COFEPRIS 2003-2014).

Estado	Fecha	Especie	Sitio	Veda
Tamaulipas	Julio 2005, septiembre a diciembre 2005	<i>Karenia brevis</i>	San Fernando	Sí
	Noviembre 2009, octubre 2009 a febrero 2010	<i>Karenia brevis</i>	Playa Bagdad de Matamoros	Sí
	Marzo a junio 2010,	<i>Karenia brevis</i>	Mpios. Soto la Marina y Aldama	Sí
	Octubre 2011 a febrero 2012	<i>Karenia brevis</i>	Matamoros	Sí
	Septiembre a octubre 2015	<i>Karenia brevis</i>	Soto la Marina y San Fernando	Sí
Veracruz	Noviembre 2009 a enero 2010	<i>Karenia brevis</i>	Pánuco y Tuxpan	No
Tabasco	Julio a septiembre 2005	<i>Karenia brevis</i>	Complejo Lagunar Carmen-Machona, Pajonal y laguna Mecoacán	Sí
	Abril 2007	<i>Karenia brevis</i>	Complejo Lagunar Carmen-Machona	Sí
	Mayo 2008	<i>Karenia brevis</i>	Miramar y Pico de Oro, Centla	No
	Agosto a septiembre 2011	<i>Karenia brevis</i>	Centla	No
Campeche	Junio 2008	<i>Peridinium quadridentatum</i> var. <i>quadridentatum</i>	Bahía de San Francisco	No
	Septiembre 2011	<i>Karenia brevis</i>	Isla Arena a Villamadero	No
	Noviembre a diciembre 2013	<i>Rhizosolenia</i> spp.	Champotón	No
Yucatán	Julio a agosto de 2003	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> , <i>Scirpsiella trochoidea</i> , <i>Prorocentrum lima</i> , <i>Karenia brevis</i>	Dzilam de Bravo	Sí
	Junio 2008,	<i>Guinardia striata</i>	Río Lagartos	No

	Junio a julio 2008	<i>Nitzschia longissima</i>	Cuyo, Sisal, Chelem, Chixchulub, Chuburna y Progreso	No
	Julio a diciembre 2011	<i>Scrippsiella trochoidea</i> , <i>Pleurosigma</i> y <i>Cylindrotheca closterium</i>	Río Lagartos y San Felipe	No

► Riesgos regionales y locales

A partir de los registros tanto de la COFEPRIS como de la literatura científica mencionada anteriormente, es posible identificar las especies que tienen una amplia distribución y que han formado FAN en más de dos estados (Figura 1). Cuatro de ellas son dinoflagelados, de los cuales sólo una especie no es productora de toxinas. Dentro de las diatomeas se tiene una especie no tóxica y un complejo de especies pertenecientes al género *Pseudo-nitzschia*, el cual contiene representantes tóxicos (Okolodkov *et al.*, 2015).

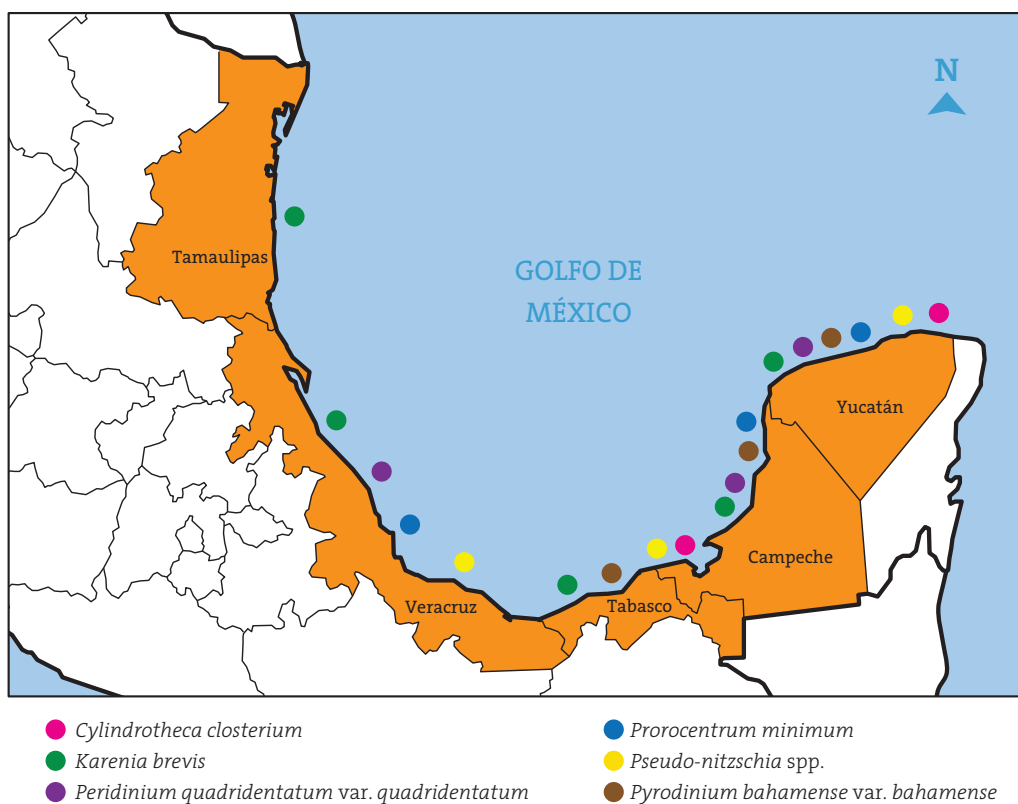


Figura 1. Especies registradas formando FAN con amplia distribución.

El registro de estas cinco especies y los complejos de *Pseudo-nitzschia* ponen de manifiesto la problemática a nivel regional y la atención que deben recibir dichas especies en cuanto a la generación del conocimiento de su biología y su ecología para el entendimiento del desarrollo de los FAN en el Golfo de México. Los reportes locales de las otras especies formando FAN (Tabla 1) reflejan la problemática ambiental y el riesgo potencial de daño a la salud o deterioro ambiental que exigen el implemento de monitoreos a largo plazo.

K. brevis es la especie que más atención debe recibir regionalmente. Asimismo, los florecimientos locales de otras especies del género como *K. papilonacea* (Merino- Virgilio *et al.*, 2014) en Yucatán y *Karenia* “mexican hat” en Veracruz (Aké-Castillo *et al.*, 2010), hacen evidente la diversidad del género, por lo que las identificaciones de futuros florecimientos de *Karenia* deben ser hechas a detalle. A pesar de que se tiene el conocimiento de la toxicidad de las especies del género (Brand *et al.*, 2012; Chang & Gall, 2012), en México se han desarrollado pocos esfuerzos para conocer la toxinología de esta especie. Sin embargo, algunos trabajos fueron realizados para conocer el efecto de la brevetoxina de *K. brevis* en modelos de ratón y artemia, así como en camarón blanco (Núñez-Vázquez *et al.*, 2008; Pérez-Linares *et al.*, 2008).

En el caso de *P. quadridentatum* var. *quadridentatum*, dada su inocuidad en salud humana, no ha sido objeto de atención por las autoridades sanitarias. La especie tiene una amplia distribución en el Golfo de México e incluso también ha causado florecimientos en las costas de Estados Unidos (FFWCC, 2010). Los florecimientos de *P. quadridentatum* var. *quadridentatum* parecen ser un problema local; han aumentado en su frecuencia de aparición en FAN no sólo en el Golfo de México (Rodríguez-Gómez *et al.*, 2015) sino en el Pacífico Mexicano, lo que pone de manifiesto la importancia regional de esta especie.

Los registros de FAN de *P. minimum* y *P. bahamense* var. *bahamense* se limitan prácticamente a la región sureste del Golfo de México. Ambas especies producen toxinas y Band-Schmidt *et al.* (2011) ya habían señalado el conjunto de problemas emergentes de *P. minimum* en la región y con los registros recientes, *P. bahamense* var. *bahamense* se adhiere a esta lista.

En el caso de las diatomeas, las especies de *Pseudo-nitzschia* constituyen el reto para tener los listados completos de las especies tóxicas y no tóxicas presentes en el Golfo de México. Las especies se encuentran ampliamente distribuidas en todos los mares por lo cual su taxonomía es un tópico de investigación que se desarrolla actualmente en el mundo (Lelong *et al.*, 2012). Los registros de FAN en sólo tres estados son un reflejo de la atención que se ha puesto en el género por la comunidad académica, por lo que la carencia de registros en Tamaulipas y Tabasco probablemente se deba a la falta de una comunidad científica local que desarrolle una línea de investigación en fitoplancton.

La diatomea *C. closterium*, al igual que *P. quadridentatum* var. *quadridentatum*, no produce toxinas y sólo se han documentado FAN en Campeche y Yucatán. Sin embargo, es bien conocida su amplia distribución y se sabe que puede ser un componente dominante en la comunidad fitoplanctónica, por lo que el aumento en los registros de FAN en los demás estados del Golfo de México constituye un riesgo regional.

► Conclusiones

De los estados mexicanos que conforman el Golfo de México, se tiene información vasta para dos de ellos: Veracruz y Yucatán. Recientemente, para Campeche se ha empezado a generar información que ha permitido visualizar los problemas de los FAN en esa región. La información de los FAN en Tamaulipas se limita prácticamente a los eventos registrados por COFEPRIS, dada la magnitud de los eventos, y es el estado más gravemente afectado por una especie tóxica. En el caso de Tabasco, los registros han sido pocos y sin consecuencias graves en la salud o en el ambiente.

Las especies problemáticas regionalmente son *K. brevis* y los complejos de especies de *Pseudo-nitzschia* y *P. quadridentatum* var. *Quadridentatum*, que pueden convertirse en un problema regional dada la rápida expansión en los registros de FAN. En el sur y sureste del Golfo de México (sur de Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán), los problemas locales pueden convertirse en regionales para FAN de *P. minimum*, *P. bahamense* var. *bahamense* y *C. closterium*.

► Agradecimientos

A la red temática sobre Florecimientos Algales Nocivos (RedFAN) del CONACYT, por los apoyos recibidos para las reuniones de trabajo que permitieron afinar el enfoque para esta revisión.

► Literatura citada

- Aké-Castillo, J. A., Okolodkov, Y. B., Steidinger, K. A., González-González, J. A. G. & Pérez-España, H. (2010). *Karenia* sp. "Mexican hat" first bloom in Mexico. *Harmful Algae News*, 41, 16-17.
- Aké-Castillo, J. A., Okolodkov, Y. B., Rodríguez-Gómez, C. F., y Campos-Bautista, G. (2014). Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012). En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J.A. Benítez y Gold-Bouchot, G. (eds.). *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*. p p. 133-146. México: UAC, UNAM-ICMyL, CINVESTAV-Unidad Mérida.
- Aké-Castillo, J. A., Okolodkov, Y. B., Espinosa-Matías, S., Merino-Virgilio, F. C., Herrera-Silveira, J. A. & Ector, L. (2012). *Cyclotella marina* (Tanimua, Nagumo & Kato) Aké-Castillo, Okolodkov & Ector comb. et stat. nov. (Thalassiosiraceae): a bloom-forming diatom in the southeastern Gulf of Mexico. In: A. Witkowski, J. P. Kociolek, & Compère, P. (eds). *Diatom taxonomy and ecology from local discoveries to global impacts. Festschrift in honor of Prof. Dr. Horst Lange-Bertalot's 75th birthday*. p. 263-274. Germany: Nova Hedwigia Beihefte.
- Aké-Castillo, J. A. & Campos-Bautista, G. (2014). Bloom of *Dolichospermum flos-aquae* in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico. *Harmful Algae News*, 49, 12.
- Band-Schmidt, C. J., Bustillos-Guzmán, J. J., López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, E. y Hernández-Sandoval, F. E. (2011). El estado actual de los florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica*, 21(3), 381-413.

- Borbolla-Sala, M. E., Colín-Orsorio, F. A., Vidal-Pérez, M. R., y May-Jiménez, M. (2006). Marea roja de Tabasco 2005, *Karenia brevis*. *Salud en Tabasco*, 12 (2), 425-433.
- Brand, L. E., Campbell, L. & Bresnan, E. (2012). *Karenia*: The biology and ecology of a toxic genus. *Harmful Algae*, 14, 156-178.
- Chang, F. H. & Gall, M. (2012). Pigment compositions and toxic effects of three harmful *Karenia* species, *Karenia concordia*, *Karenia brevisulcata* and *Karenia mikimotoi* (Gymnodiniales, Dinophyceae), on rotifers and brine shrimps. *Harmful Algae*, 27, 113-120.
- COFEPRIS. (2003-2014). Presencia de mareas rojas nacionales. Años 2003 a 2014. Secretaría de Salud. Recuperado de <http://www.cofepris.gob.mx/>
- Crisóstomo-Vázquez, L., Mesa-Conde, E., Fierro-Cabo, A., Lozano-Ramírez, C., Álvarez-Hernández, S. y Rodríguez-Palacio, M. C. (2009). Florecimientos algales nocivos (FAN) en esteros de Tamaulipas, Golfo de México. p. 22. Resúmenes III Taller sobre Florecimientos Algales Nocivos, Acapulco, Guerrero. 2009.
- Diario Oficial de la Federación (2014). Ley General de Salud. Diario Oficial de la Federación el 7 de febrero de 1984. México: Última reforma publicada DOF 15-01-2014
- FFWCC. (2010). *Peridinium quinquecorne* bloom in southwest Florida (2010). Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. Recuperado de <http://myfwc.com/research/redtide/monitoring/historical-events/peridinium-quinquecorne-bloom/>
- Lelong, A., Hégaret H., Soudant, P., & Bates, S. S. (2012). *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) species, domoic acid and amnesic shellfish poisoning: revisiting previous paradigms. *Phycologia*, 51, 168-216.
- Merino-Virgilio, F. del C., Okolodkov, Y. B., Aguilar-Trujillo, A. C., Osorio-Moreno, I. y Herrera-Silveira, J. A. (2014). Florecimientos algales nocivos en las aguas costeras del norte de Yucatán (2001-2013) p. 161-180. En: A. V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y Gold-Bouchot, G. (eds.). *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. México: UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida.
- Montalvo-Arrieta, A. (2014). Florecimiento causado por la diatomea *Asterionellopsis glacialis* cerca del puerto de Coatzacoalcos, Veracruz, en enero-mayo de 2014. Resúmenes del XXI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Cozumel, Quintana Roo. 8 al 11 de octubre del 2014. 7 p.
- Montalvo-Arrieta, A. (2015). Florecimiento de la diatomea *Asterionellopsis glacialis* cerca del puerto de Coatzacoalcos, y Laguna del Ostión Veracruz. Diciembre 2014-marzo 2015. Resúmenes del XXII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. Del 22 al 25 de septiembre del 2015. Ensenada, Baja California.
- Montalvo-Arrieta, A. y Peña-Manjarrez, J. L. (2007). Florecimiento de *Chaetoceros curvisetus* en la costa cercana al puerto de Coatzacoalcos, Veracruz (octubre de 2006). Resúmenes del II Taller sobre Florecimientos Algales Nocivos. Ensenada, Baja California.
- Núñez-Vázquez, E. J., Codero-Tapia, A., Ochoa, J. I. y Bustillos-Guzmán, J. J. (2008). Histopatología por exposición aguda a las biotoxinas marinas de importancia en Salud Pública en México. En: Candanosa-Aranda, E. (ed.) XVII Congreso Nacional de Patología Veterinaria. Sociedad Mexicana de Patólogos Veterinarios, A. C. p. 518-524. México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Nacional Autónoma de México.
- Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A., Campos-Bautista, G., Lara-Martínez, R. y Jiménez-García, L. F. (2015). Dinámica anual del género *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) en el Sistema Arrecifal Veracruzano. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y González-Gándara, C. (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor*

- Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. pp. 249-266. México: Universidad Veracruzana.
- Pérez-Linares, J., Ochoa, J. L. & Gago-Martínez, A. (2008). Effects of PSP toxins in white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* Boone, 1931. *Journal of Food Science*, 73 (4): 671-673.
- Poot-Delgado, C. A., Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A. & Rendón-von Osten, J. (2015a). Annual cycle of phytoplankton with emphasis on potentially harmful species in oyster beds of Términos Lagoon, southeastern Gulf of Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 50(3), 465-477.
- Poot-Delgado, C. A., Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A. & Rendón-von Osten, J. (2015b). Fitoplancton potencialmente nocivo en el muelle de la Puntilla, Laguna de Términos, Suroeste del Golfo de México. *BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología*, 8(32), 570-582.
- Poot-Delgado, C. A., Rosado-García, P. I. y Guzmán-Noz, Y. A. (2014). Fitoplancton marino potencialmente nocivo en las aguas costeras de Campeche. En: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y Gold-Bouchot, G. (eds.). *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. p. 117-132. México: UAC, UNAM-ICMYL, CINVESTAV-Unidad Mérida.
- Rodríguez-Gómez, C. F., Aké-Castillo, J. A., Campos-Bautista, G. y Okolodkov, Y. B. (2015). Revisión del estudio del fitoplancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *E-Bios*, 2 (8), 178-191.
- Rodríguez-Prieto, H. (2007). Dos eventos de florecimientos algales nocivos en la costa de Tamaulipas durante el año 2005. p. 16. Resúmenes II Taller Sobre Florecimientos Algales Nocivos en México. Ensenada, BC. 2007.
- Soto-Ramos, I. M. (2013). Harmful algal blooms of the west Florida shelf and Campeche bank: visualization and quantification using remote sensing methods. Tesis de Doctorado. University of South Florida. Florida, EUA 135 p.
- Terán-Suárez, J. M., Castro, G. V., Mayor-Nucamendi, H. F. y Brito-López, J. A. (2006). Florecimientos Algales en Tabasco. *Salud en Tabasco*, 12 (1), 414-422.