

Poot-Delgado, C.A, Rendon-von Ostén, J., y Okolodkov, Y.B., Núñez-Vázquez, E.J., y Pérez-Morales, A. 2025. Avances y perspectivas en el estudio del fitoplancton nocivo en el litoral de Campeche, sureste del golfo de México. JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático 7(1): 5-18. doi 10.26359/52462.0701



Avances y perspectivas en el estudio del fitoplancton nocivo en el litoral de Campeche, sureste del golfo de México

Advances and perspectives in the study of harmful phytoplankton on the coast of Campeche, southeastern Gulf of Mexico

Carlos Antonio Poot-Delgado^{1,2}, Jaime Rendon-von Ostén¹, Yuri B. Okolodkov³, Erick J. Núñez-Vázquez⁴ y Alfredo Pérez-Morales⁵*

¹ Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX), Universidad Autónoma de Campeche

² Tecnológico Nacional de México / ITS de Champotón

³ Laboratorio de Botánica Marina y Planctología, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

⁴ Laboratorio de Toxinas Marinas y Aminoácidos, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

⁵ Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Universidad de Colima

* autor de correspondencia: cpoot35@gmail.com

doi 10.26359/52462.0701

Recibido 04/octubre/2024. Aceptado 20/abril/2025

JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático

Coordinación editorial de este número: Yassir E. Torres Rojas

Este es un artículo bajo licencia Creative Commons CC BY-NC-ND.



Resumen

El crecimiento de la población humana acelerado en los estados costeros de México, que alcanzará 64 millones en 2030, ejerce una marcada presión ambiental sobre las zonas costeras, donde actividades productivas y recreativas antropogénicas afectan el equilibrio ecológico. El fitoplancton es altamente susceptible a estas alteraciones, principalmente, a la respuesta del incremento de nutrientes que obedece a este crecimiento acelerado de las poblaciones humanas, afectando la red trófica. En México, los florecimientos algales nocivos (FAN) representan un serio problema ambiental y de salud pública, regulado por una normativa desactualizada. En las aguas costeras del estado de Campeche, con un litoral de 425 km, se han realizado diversos esfuerzos para identificar especies fitoplanctónicas conocidas por formar FAN. Diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*, y el dinoflagelado teicado *Pyrodinium bahamense* han sido identificadas de forma recurrente y en menor medida, el dinoflagelado “desnudo” *Karenia brevis* y la cianobacteria *Anabaena* sp. también han sido reportadas. El monitoreo de especies nocivas es esencial para prevenir intoxicaciones humanas y descubrir los riesgos que enfrentan los ecosistemas costeros del estado. Algunos autores han indicado que la frecuencia de FAN podría incrementarse en ciertas regiones del planeta, derivado de las variaciones de las temperaturas y los patrones climáticos afectados por el cambio climático. Ante este escenario, se hace evidente la necesidad de fortalecer los grupos de investigación dedicados al estudio de las especies formadoras de FAN. Esto no solo permitirá una mejor comprensión de los factores que desencadenan y regulan estos FAN, sino que también contribuirá al desarrollo de estrategias de monitoreo, prevención y mitigación.

Palabras clave: Campeche, eutrofización, fitoplancton nocivo, golfo de México, toxinas marinas.

Abstract

The accelerated growth of the human population in the coastal states of Mexico, which will reach 64 million in 2030, exerts a marked environmental pressure on coastal areas, where anthropogenic productive and recreational activities affect the ecological balance. Phytoplankton is highly susceptible to these alterations, mainly to the response of the increase in nutrients that is due to this accelerated growth of human populations, affecting the food web. In Mexico, harmful algal blooms (HAB) represent a serious environmental and public health problem, regulated by outdated regulations. In the coastal waters of the state of Campeche, with a coastline of 425 km, various efforts have been made to identify phytoplanktonic species known to form HAB. Diatoms of the genus *Pseudo-nitzschia*, and the thecate dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* have been identified recurrently and, to a lesser extent, the naked dinoflagellate *Karenia brevis* and the cyanobacterium *Anabaena* sp. have also been reported. Monitoring harmful species is essential to prevent human poisoning and to discover the risks faced by the state's coastal ecosystems. Some authors have indicated that the frequency of HABs could increase in certain regions of the planet, due to variations in temperatures and weather patterns affected by climate change. Given this scenario, the need to strengthen research groups dedicated to the study of causing becomes evident. This will not only allow a better understanding of the factors that trigger and regulate these HABs, but will also contribute to the development of monitoring, prevention and mitigation strategies.

Keywords: harmful algae, Campeche, Gulf of Mexico, eutrophication, marine toxins.



Introducción

Una de las principales dificultades que enfrentan los 17 estados costeros de México es el acelerado crecimiento de la población humana. Según estimaciones del Consejo Nacional de Población para el año 2030 se espera que la población en estas zonas alcance los 64 millones de personas (Méndez *et al.*, 2022). Esto adquiere una relevancia particular en los 264 municipios costeros de México, de los cuales 150 tienen acceso directo a la playa (SEMAR, 2020). De acuerdo con las características demográficas y sociales, las zonas costeras son espacios donde se realizan actividades productivas y recreativas. Aunque la legislación mexicana incluye una amplia gama de normas y reglamentos para regular los vertidos de posibles contaminantes en estas áreas, su aplicación y cumplimiento pueden variar dependiendo de la zona y la actividad económica involucrada. Existen disposiciones específicas que establecen límites máximos permisibles de contaminantes, condiciones para el tratamiento de aguas residuales y procedimientos para la obtención de permisos de descarga. Un ejemplo de ello es la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, la cual regula las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua nacionales con el objetivo de proteger su calidad y minimizar el impacto ambiental (DOF, 2016). Además, leyes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establecen sanciones para quienes infrinjan las normativas ambientales y definen los principios de la política ambiental en el país (DOF, 2016). Por otro lado, la Ley de Vertimientos en las Zonas Marinas Mexicanas tiene el propósito de regular y controlar la contaminación en ecosistemas costeros y marinos, asegurando la protección de los recursos marítimos del país (DOF, 2020). Sin embargo, las autoridades a menudo se ven rebasadas por el incremento de actividades productivas que no pueden supervisar.

La zona de transición, o ecotono, en este caso, se refiere a la región ubicada entre la zona litoral, que corresponde a la parte cercana a la costa o al

borde del cuerpo acuático, y la zona continental, que abarca el área más alejada de la costa (Araujo-Leyva *et al.*, 2024). Se trata de un “límite difuso” donde ambos ecosistemas se encuentran y se entremezclan.

Los postulados ecológicos establecen que los ecotonos son de alta diversidad y están en constante cambio. Lo seguro es que estas zonas son de cierta forma un “campo de batalla” entre los organismos nativos y la invasión inexorable humana. No obstante, los ecotonos, generalmente, proveen un sinnúmero de servicios ecosistémicos de gran relevancia para todos los organismos (nativos o no) (Chen *et al.*, 2020). Un ejemplo de lo anterior, son los cuerpos de agua costeros, también conocidos como aguas de primer contacto (playas) desde una perspectiva antropocéntrica. En estos cuerpos de agua, los organismos fotoautótrofos (fitoplancton) son los responsables de transformar la energía lumínica y el dióxido de carbono en glucosa, una molécula orgánica esencial para su crecimiento y funcionamiento (Falkowski y Raven, 2007).

En ocasiones el fitoplancton es definido como “organismos errantes”; no obstante, su papel va más allá de simplemente vagar por el agua. Entre sus particularidades, se destaca su naturaleza microscópica, lo que incrementa su complejidad a la hora de estudiarlos y, en muchos casos, su subestimación. Además, el recurso humano dedicado a su estudio es escaso, y cada vez se reclutan menos jóvenes para investigar a este grupo de organismos tan veleidoso, debido a que para algunos no es tan carismático ni popular.

No obstante, el fitoplancton es el principal responsable de aproximadamente el 70 % de la fotosíntesis total del planeta, desempeñando un papel clave en la producción de oxígeno y en la regulación del carbono a nivel global (Pal y Choudhury, 2014). Además, al encontrarse en la base de la red trófica, constituye la principal fuente de energía para numerosos organismos acuáticos (D’Costa *et al.*, 2019). Su importancia ecológica también radica



en su uso como bioindicador, ya que su presencia y abundancia brindan información sobre el estado de conservación de los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua (Vuorio *et al.*, 2007; Poot-Delgado y Okolodkov, 2014). En este sentido, el fitoplancton ha sido ampliamente utilizado para evaluar el estado ecológico de los cuerpos de agua, especialmente en el monitoreo de fenómenos como los FAN.¹

Los síndromes tóxicos más conocidos asociados con los FAN son PSP (intoxicación paralizante por consumo de mariscos), DSP (intoxicación diarrea por consumo de mariscos), ASP (intoxicación amnésica por consumo de mariscos), AZP (intoxicación por azaspiracidos por consumo de mariscos), NSP (intoxicación neurológica por consumo de mariscos) y CFP (intoxicación ciguatera por consumo de peces) (FAO, 2005).

Por lo tanto, los FAN constituyen un problema ambiental estrechamente vinculado a los procesos de eutrofización que, junto con el cambio climático, se consideran unos de los estresores ambientales más significativos para las especies de microalgas formadoras de FAN (Anderson *et al.*, 2011; Glibert, 2020). Desde hace 4 décadas se ha venido

reportando un el incremento de la concentración de nutrientes inorgánicos (en particular, de N y P) como uno de los factores principales del aumento de eventos de FAN en términos de su frecuencia, intensidad, duración y extensión geográfica (Anderson *et al.*, 1989; Smayda, 1990; Hallegraeff, 1993); sin embargo, se ha demostrado que este aumento no tiene una tendencia global (en gran medida, por la percepción humana), sino que existen tendencias regionales (Hallegraeff *et al.*, 2021). De cualquier forma, las principales causas de la eutrofización antropogénica de las aguas costeras y, como consecuencia, el aumento de eventos de FAN durante las últimas décadas se debe en parte al crecimiento de la población humana que conlleva a una mayor producción de alimento (agricultura, ganadería, acuicultura y pesquería), así como a la producción y consumo de energía (Glibert *et al.*, 2005; Anderson *et al.*, 2011). Además, entre las fuentes de nutrientes que estimulan el desarrollo de FAN están las aguas residuales, la deposición atmosférica y el flujo de aguas subterráneas (Anderson *et al.*, 2002).

Estudios de los FAN en México

En México, la atención de los FAN está regulada por diversas normas y políticas que buscan proteger la salud pública, los ecosistemas marinos y garantizar la seguridad alimentaria. Es la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), dentro de la Secretaría de Salud del gobierno de México, quien supervisa el monitoreo realizado por las autoridades sanitarias de los diversos estados de México en relación con

las emergencias de salud causadas por eventos de FAN (COFEPRIS, 2016a). Este monitoreo incluye la detección de toxinas, la implementación de vedas sanitarias y la ejecución de cierres precautorios (COFEPRIS, 2016b, 2017); no obstante, se basan en lineamientos de trabajo que se consideran desfasados o no acordes con las necesidades y dinámicas actuales (tabla 1).

¹Los Florecimientos Algaes Nocivos (FAN) son fenómenos naturales que se caracterizan por una acumulación de biomasa algal que puede tener un impacto negativo sobre la salud pública sobre organismos o actividades económicas (García-Mendoza *et al.*, 2016). Con base a la Comisión Internacional Oceanográfica de la UNESCO, el término FAN es un descriptor socioeconómico, pero no estrictamente científico porque se refiere a la percepción humana de la nocividad y la variedad de impactos negativos causados por microalgas -diatomeas, dinoflagelados, rafidofíceas, cianobacterias e incluso macroalgas (Kudela *et al.*, 2015).



Tabla 1. Normas y documentos de trabajos aplicables a los FAN de acuerdo con la normatividad mexicana.

Documento	Campo de aplicación	Referencia
NOM-EM-005-SSA1-2001	Establece las especificaciones sanitarias para reducir la exposición excesiva o innecesaria de la población a toxinas marinas y protegerla de intoxicaciones causadas por la presencia del fenómeno de marea roja en ostión, almeja, mejillón, escalopas, caracol y otros moluscos en sus diferentes variedades.	DOF (2001)
NOM-242-SSA1-2009	Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.	DOF (2009)
Plan de contingencia para el control de biotoxinas marinas	Establece un sistema de alerta temprana de FAN, con el fin de aplicar medidas preventivas de manera oportuna, tendientes a evitar el consumo de moluscos bivalvos expuestos a mareas rojas tóxicas	COFEPRIS (2015)
Manual de buenas prácticas de producción acuícola de moluscos bivalvos para la inocuidad alimentaria	Presenta y describe las buenas prácticas de producción acuícola de moluscos bivalvos relacionadas con el manejo del agua, alimento, sustancias químicas y fármacos, juntamente con aspectos de inocuidad durante la cosecha.	Calvario-Martínez y Montoya-Rodríguez (2003)
Instrucción de trabajo para el control sanitario de los moluscos expuestos a FAN	Establece las acciones que habrán de aplicarse en el ámbito del control sanitario para evitar la exposición de la población a las biotoxinas marinas por el consumo de moluscos bivalvos (ostión, almeja, mejillón), así como de la clase Gastropoda (caracol) y algunas especies de pescados incluyendo límites, criterios, procedimientos uniformes y mecanismos de coordinación con los sectores públicos, social y privado ante la presencia de FAN.	COFEPRIS (2016a)
Guía técnica del programa mexicano de sanidad de moluscos bivalvos	Guía técnica para el adecuado cumplimiento de los requisitos del Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PMSMB) utilizados para la clasificación de áreas de cosecha, registro o certificación de cosechadores y control y vigilancia sanitaria de las plantas de proceso, así como los requisitos para su distribución en los mercados de exportación.	COFEPRIS (2008)
Manual de laboratorio para el Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos (PMSMB)	Documento que tiene por objetivo orientar a los laboratorios nacionales el cumplimiento de los requisitos técnicos analíticos del PMSMB, incluyendo los requisitos del National Shellfish Sanitation Program (NSSP).	COFEPRIS (2024)

Un ejemplo de esto es el lineamiento para el muestreo de fitoplancton y detección de biotoxinas marinas (COFEPRIS, 2016a), que solo abarca un número limitado de especies, incluyendo 14 dinoflagelados y un género de diatomeas (*Pseudo-nitzschia*), y no contempla las cianobacterias (tabla 2). Además, asume la similitud de las aguas costeras del Pacífico, el golfo de México y el mar Caribe, cuando las condiciones y características son distintas.

Otra consideración relevante es la vigilancia de la inocuidad alimentaria que se enfoca en la cadena productiva de alimentos bajo la responsabilidad del

Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (SADER, 2020). Sin embargo, la inocuidad puede verse comprometida cuando se trata de productos de extracción, que a menudo carecen de una supervisión sanitaria directa, lo que aumenta el riesgo de intoxicaciones humanas debido a toxinas marinas producidas por las especies causantes de FAN (FAO, 2005).

Aunque la clasificación internacional de enfermedades incluye a la “ciguatera” (una intoxicación por consumo de pescado contaminado con ciguatoxinas, síndrome que también es conocido como CFP por sus siglas en inglés (ciguatera fish poison



Tabla 2. Límites máximos permisibles de fitoplancton potencialmente tóxico en agua de mar (modificado de COFEPRIS, 2016a).

Especies fitoplanctónicas	Síndrome	Límites (células L ⁻¹)
<i>Alexandrium</i> spp.		1,000
<i>Pyrodinium bahamense</i>	PSP	5,000
<i>Gymnodinium catenatum</i>		5,000
<i>Dinophysis</i> spp.		200
<i>Prorocentrum lima</i>	DSP	
<i>Prorocentrum concavum</i>		200
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	ASP	50,000
<i>Karenia brevis</i>	NSP	5,000

Siglas en inglés: PSP (paralytic shellfish poisoning), DSP (diarrheic shellfish poisoning), ASP (amnesic shellfish poisoning), NSP (neurotoxic shellfish poisoning)

ning) y el “escombrotismo” también conocido como “escombroidosis” o intoxicación por histaminas, compuestos producidos por bacterias, debido a una mala conservación de los productos marinos) (OPS, 2003), esta no está contemplada en la norma mexicana NOM-017-SSA2-2012 (DOF, 2013), ni en los manuales de vigilancia epidemiológica de México. Sin embargo, sí está considerado en la instrucción de trabajo para el muestreo de fitoplancton y detección de biotoxinas marinas (COFEPRIS, 2005; DOF, 2009; tabla 3). La intoxicación por ciguatera tiene su origen en la producción de ciguatoxinas (potentes neurotoxinas de tipo polieter, que al igual que las brevetoxinas son solubles en lípidos) por dinoflagelados bentónicos de los géneros *Gambierdiscus* R. Adachi et Y. Fuku-

yo y *Fukuyoa* D.X. Qui, R.M. Lopes et Senjie Lin.

Adicional a la normatividad disponible, relacionada con la problemática de los FAN, con la que se cuenta en el país, es recomendable que esta sea revisada con más regularidad, para su actualización con base a los avances en el conocimiento científico-técnico para su estudio. En situaciones de emergencia, de acuerdo con la Ley General de Salud, la gestión de las contingencias sanitarias está respaldada por el Título Décimo, relativo a la acción extraordinaria en materia de salubridad general. En su capítulo único, los artículos 181 al 184 facultan a la Secretaría de Salud para dictar las medidas inmediatas y necesarias con el fin de prevenir y controlar los riesgos para la salud (DOF, 2024).



Tabla 3. Límites máximos permitidos de toxinas marinas en productos marinos provenientes de áreas de cultivos y de zonas de extracción (modificado de COFEPRIS, 2005; DOF, 2009).

Toxinas marinas	Síndrome	Límites (células L ⁻¹)
Saxitoxina (toxinas paralizantes)	PSP	800 µg equivalentes de saxitoxina por kg
Ácido okadaico y análogos (toxinas diarreas)	DSP	160 µg equivalentes de ácido okadaico por kg
Ácido domóico (toxinas amnésicas)	ASP	20 mg de ácido domóico por kg
Brevetoxina (toxina neurotóxica)	NSP	20 UR/100 g
Yesotoxinas	YTX	1 mg de yesotoxinas por kg
Azaspirácidos	AZP	160 µg de azaspirácidos por kg
Ciguatoxina	CFP	2.5 UR por 100 g

UR (unidades ratón: concentración suficiente de toxina vía intraperitoneal (IP) para causar la muerte de un ratón de 20 g en 24 horas).

Estudio del fitoplancton nocivo en las costas de Campeche

El estado de Campeche se encuentra en el sureste del golfo de México y forma parte de los cinco estados costeros mexicanos del golfo de México. Cuenta con un litoral de 425 km de extensión, lo que representa el 3.8 % del total de litoral mexicano. A nivel nacional, ocupa el cuarto lugar en producción y el quinto en valor de la producción pesquera y acuícola (CONAPESCA, 2022). Sin embargo, sus costas han sido diagnosticadas como eutróficas (Alpuche-Gual, 2014; Poot-Delgado *et al.*, 2022).

El litoral de la costa norte del estado está conformado por una extensa franja de manglares. Hacia el sur, en el litoral de los municipios de Campeche y el norte de Champotón, la costa es árida (colinas boscosas con salientes y ensenadas), en tanto que en los municipios de Champotón y Carmen se forma una extensa franja arenosa, que cuenta con playas de gran importancia, donde anidan varias especies de tortugas marinas. La isla del Carmen está separada por la laguna de Términos que forma parte del Área de Protección de Flora y Fauna de la Laguna de Términos (APFFLT) con una superficie de 705,016 Ha (INE-SEMARNAP, 1997).

El área se caracteriza por presentar tres temporadas climáticas: temporada de secas de febrero a mayo (el periodo con baja precipitación atmosférica), temporada de lluvias de junio a septiembre y temporada de nortes (vientos predominantes del

norte) de octubre a enero (Ramos-Miranda *et al.*, 2006).

Uno de los primeros trabajos que rescata históricamente la presencia de especies de fitoplancton potencialmente nocivas en el Banco de Campeche, golfo de México, es la revisión realizada por Okolodkov (2003) sobre los reportes de investigaciones ruso-cubanas llevadas a cabo entre 1962 y 1980. En esta revisión se reportaron FAN de dinoflagelados planctónicos, en las cuales se observó y registró una coloración del agua de mar causada por el dinoflagelado *Scrippsiella acuminata* (Ehrenberg) Kretschmann, Elbrächter, Zinssmeister, S. Soehner, Kirsch, Kusber et Gottschling (= *Scrippsiella trochoidea* (F. Stein) A.R. Loeblich), posiblemente, anteriormente reportado como *Gonyaulax minima* Matzenauer (Zernova, 1970, 1982). Otro evento fue causado por el dinoflagelado tóxico *Karenia brevis* (C.C.Davis) Gert Hansen et Moestrup, reportado previamente como *Gymnodinium breve* C.C. Davis (Roujiyaynen *et al.*, 1968; Okolodkov, 2003). Santoyo y Signoret (1976) reportaron una alta abundancia de la diatomea planctónica *Thalassiothrix frauenfeldii* (Grunow) Grunow. Licea-Duran y Santoyo-Reyes (1990) registraron la presencia de otra diatomea, *Hemiaulus sinensis* Greville, en ambos casos en la zona central de la bahía de Campeche.



La Comisión para la Protección contra Riesgos Sanitarios del Estado de Campeche (COPRIS-CAM) desde 2003 se integró al Proyecto Nacional de Marea Roja bajo la coordinación de la COFEPRIS, realizando monitoreos a lo largo del litoral campechano, con 21 puntos de muestreo (Del Ángel-Tafoya, 2013). Sin embargo, los informes generados se limitan a documentos internos que contienen información sobre las especies dominantes de fitoplancton. Estos informes, a pesar de su limitada distribución son de gran utilidad, ya que han sido una de las principales fuentes de información sobre los registros de especies formadoras de FAN regional. Debido a los recurrentes FAN de *Karenia brevis* productor de brevetoxinas (neurotoxinas politer, solubles en lípidos) en el gofo de México, que han provocado impactos severos socioambientales, esta especie se convirtió en el principal objetivo de detección y monitoreo de las autoridades sanitarias en los estados costeros del golfo de México, tanto de la parte mexicana a través de COFEPRIS, como de la parte estadounidense a través de la Agencia de la Protección de Medio Ambiente de los EE.UU. (US EPA – U. S. Environmental Protection Agency) además de algunas universidades (Soto-Ramos *et al.*, 2012; Núñez-Vázquez *et al.*, 2016).

Aunado a estos esfuerzos, a partir de 2009 se inició el monitoreo del fitoplancton en las aguas de la bahía de Campeche, incrementando gradualmente los puntos de muestreo en toda la zona central costera del estado hasta llegar a la prospección de toxinas marinas presentes en peces de importancia socioeconómica. En un primer ejercicio, se recolectó información sobre el fitoplancton marino en las aguas costeras de Campeche, lo que permitió identificar no solo a *K. brevis*, sino también a otras especies asociadas al fitoplancton nocivo (Aké-Castillo y Poot-Delgado, 2014).

Durante el periodo de 2005 a 2022, se han registrado 46 eventos, destacando las diatomeas planctónicas del género *Pseudo-nitzschia* como la más frecuente durante la temporada de lluvias (junio-septiembre), con una amplia distribución a

lo largo del litoral de Campeche. Le sigue el dinoflagelado planctónico *Pyrodinium bahamense* L. Plate, que ha mostrado una distribución extendida y presencia tanto en la temporada de secas, como en la de lluvias. También se encontraron otros dinoflagelados planctónicos potencialmente nocivos como *Gymnodinium catenatum* H.W. Graham, *Karenia* cf. *mikimotoi* (Miyake et Kominami ex Oda) Gert Hansen et Moestrup, *Prorocentrum mexicanum* Osorio-Tafall y *P. cordatum* (Ostenfeld) J.D. Dodge (= *P. minimum* (Pavillard) J. Schiller). La cianobacteria *Anabaena* sp. ha estado presente en todo el litoral de Campeche, desde la bahía de Campeche hasta los bancos ostrícolas localizados en la Laguna de Términos (tabla 4).

La presencia de estas especies que son capaces de producir las diversas toxinas marinas se encontró en bajas concentraciones, fluctuando entre 10^2 y 10^5 células L^{-1} . Sin embargo, Núñez-Vázquez *et al.* (2022) demostraron la presencia de dos toxinas paralizantes más potentes (saxitoxina y neosaxitoxina) en células obtenidas durante proliferaciones de *P. bahamense* en el litoral de Campeche, similares a las observadas en aislados silvestres de esta especie o en cepas cultivadas de otras regiones del mundo, aunado a la detección previa de toxinas paralizantes en peces globo de la misma región, también se han detectado ciguatoxinas, tetrodotoxinas y ácido domóico en peces recolectados en la costa de Campeche.

Como resultado de lo anterior, se han publicado estudios que subrayan la necesidad urgente de actualizar la norma nacional que establece los criterios de clasificación de la calidad de las playas, NMX-AA-120-SCFI-2016 (DOF, 2016), así como la NOM-017-SSA2-2012 (DOF, 2013). Esta última no contempla el registro de síndromes de intoxicación humana como, por ejemplo, la ciguatera y el escombrotismo, asociados al consumo de pescado, ni el efecto tóxico de otros alimentos marinos u otras vías de exposición, como en el caso de las cianotoxinas y aquellos no especificados (OPS, 2003; Poot-Delgado *et al.*, 2024).



Tabla 4. Abundancias máximas (células L⁻¹) de algunas especies fitoplanctónicas reportadas como potencialmente nocivas a lo largo de la costa del estado de Campeche, sureste del golfo de México (2005-2022).

Especie	Toxinas asociadas	Localidad	Fecha	Abundancia máxima (cél. L ⁻¹)	Referencias
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.(a)	Amnésicas	Isla Arena, Calkiní	dic-2005	30,000	
		Costa Villamar, Champotón	mar-2005	30,000	
<i>Pyrodinium bahamense</i> (b)	Paralizantes	Malecón de Campeche	ago-2005	330,000	*COPRISCAM, LESP**
		Malecón de Campeche	ago-2005	315,000	
<i>Anabaena</i> sp.(c).	Cianotoxinas (MCs, ATXs, PST, LPP y CYN) †	Bahía de Campeche	dic-2007	323,000	Poot-Delgado (2016)
<i>Pyrodinium bahamense</i> (b)	Paralizantes	Bahía de Campeche	abr-2008	80,000	
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.(a)	Amnésicas	Región norte litoral (costa de Calkiní-Hecelchakán)	jun-2008	450,000	*COPRISCAM, LESP**
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.(a)	Amnésicas	Bahía de Campeche	dic-2008	64,000	Poot-Delgado (2016)
<i>Pyrodinium bahamense</i> (b)	Paralizantes	Región centro litoral (costa de Campeche-Champotón)	sep-2009	20,000	*COPRISCAM, LESP**
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (a)	Amnésicas	Región centro litoral (costa de Campeche-Champotón)	sep-2009	76,000	*COPRISCAM, LESP**
<i>Anabaena</i> sp.(c)	Cianotoxinas (MCs, ATXs, PST, LPP y CYN) †	Litoral de Champotón	feb-2010	100,000	Poot-Delgado (2016)
<i>Pyrodinium bahamense</i> (b)	Paralizantes	Litoral de Champotón	jul-2010	311,000	
<i>Karenia brevis</i> (b)	Brevetoxinas	Región norte litoral (Calkiní, Hecelchakán, Tenabo, Campeche y Champotón)	sep-2011	3,992,000	*COPRISCAM, LESP**
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp(a)	Amnésicas	Región norte litoral (Calkiní, Hecelchakán, Tenabo, Campeche y Champotón)	sep-2011	50,000	*COPRISCAM, LESP**
<i>Karenia brevis</i> (b)	Brevetoxinas	Banco de Campeche	sep-2012	3,000,000	Soto-Ramos (2013)
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.(a)	Amnésicas	Banco ostrícola (Laguna de Términos)	ene-2013	640,000	Poot-Delgado (2018)
<i>Anabaena</i> sp.(c)	Cianotoxinas (MCs, ATXs, PST, LPP y CYN) †	Banco ostrícola (Laguna de Términos)	may-2013	660,000	Poot-Delgado et al (2018)
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp(a)	Amnésicas	Costa central de Campeche	jun-2017	37,000	Poot-Delgado (2018)
		Banco ostrícola (Laguna de Términos)	sep-2018	6,000	*COPRISCAM, LESP**
<i>Anabaena</i> sp.(c)	Cianotoxinas (MCs, ATXs, PST, LPP y CYN) †	Payucan	abr-2019	35,000	Poot-Delgado y Pérez-Morales (2023)
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp (a)	Amnésicas	Payucan, Seybaplaya	may-2019	55,000	Poot-Delgado y Pérez-Morales (2023)
		Boca del Rio, Champotón	may-2019	200,000	
<i>Pyrodinium bahamense</i> (b)	Paralizantes	Tecnológico, Champotón	may-2022	1,200,000	Poot-Delgado et al. (2023)

(a)Diatomeas; (b)Dinoflagelados; (c)Cianobacterias; †MCS: Microcistinas, ATXs: Anatoxinas, PST: Paralizantes, LPP: Lipopolisacáridos y CYN: Cylindrospermopsinas

*Comisión para la Protección y Riesgo Sanitario del estado de Campeche (COPRISCAM).

**Laboratorio Estatal de Salud Pública del Estado de Campeche (LESP).



Perspectivas

A pesar de los avances logrados, aún existen numerosos desafíos y áreas de investigación que deben ser abordados. Entre ellos, el cambio climático que está alterando las condiciones oceánicas y costeras, lo que podría afectar la distribución y proliferación del fitoplancton nocivo. Es crucial investigar cómo estos cambios influirán en la frecuencia e intensidad de los eventos de FAN en Campeche. La proliferación de este tipo de fitoplancton puede tener fuertes impactos en las industrias pesqueras, acuícolas y turística, por lo que es necesario desarrollar estrategias para mitigar estos efectos y proteger los medios de vida de las comunidades costeras que dependen de estos recursos. Además, incrementar la conciencia sobre los riesgos asociados con

el fitoplancton nocivo y fomentar la educación en las comunidades locales resulta esencial para una gestión efectiva de los eventos de FAN. Los programas educativos y de divulgación pueden ayudar a las comunidades a responder de manera más eficiente y a adoptar prácticas que reduzcan el riesgo de exposición. Por último, dado que el fitoplancton nocivo “no respeta fronteras”, es fundamental fortalecer la cooperación regional e internacional en materia de monitoreo e investigación de FAN. Compartir datos, estrategias de estudio y buenas prácticas de manejo de FAN con otros países y regiones afectadas puede mejorar la capacidad global para enfrentar los desafíos que plantea el fitoplancton nocivo.

Conclusión

El estudio del fitoplancton nocivo en la costa central del estado de Campeche ha avanzado significativamente en las últimas décadas, proporcionando conocimientos cruciales para gestionar y mitigar sus impactos. Sin embargo, la investigación continúa siendo una prioridad para enfrentar los desafíos emergentes, especialmente, en un contexto

de cambio climático y creciente presión sobre los recursos naturales marinos. A medida que se desarrollan nuevas estrategias y tecnologías, la colaboración entre científicos, gestores y comunidades locales será fundamental para proteger la salud de los ecosistemas costeros.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero brindado por COSDAC-SEP y TECNM. CAPD agradece la beca posdoctoral otorgada por SECIHTI (Estancias

posdoctorales por México 2022). Los evaluadores anónimos amablemente mejoraron el manuscrito.



Referencias

- Aké-Castillo, J.A., y C.A. Poot-Delgado. 2016. FAN en el golfo de México: panorama general sobre eventos y especies. 298-307. En: García-Mendoza, E., S.J. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz y E.J. Núñez-Vázquez (Eds.). *Florecimientos Algaes Nocivos en México*. Editorial CICESE, Ensenada, Baja California, México.
- Alpuche-Gual, L. (Coord.). 2014. *Clasificación de playas campechanas para su manejo integral y desarrollo sostenible*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Campeche, México.
- Anderson, D.M. 1989. Toxic algal blooms and red tides: A global perspective. 11-16. En: Okaichi, T., D.M. Anderson y T. Nemoto (Eds.). *Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology*. Elsevier, New York, U.S.A.
- Anderson, D.M., P.M. Glibert y J.M. Burkholder. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries and Coasts*, 25: 704-726. DOI:10.1007/BF02804901
- Anderson, D.M., A.D. Cembella y G.M. Hallegraeff. 2011. Progress in understanding harmful algal blooms: Paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. *Annual Review of Marine Science*, 4: 143-176. DOI:10.1146/annurev-marine-120308-081121
- Araujo-Leyva, O., J. Lorda-Solórzano, M.A. Moriel Sáenz, S. Ruiz Mejía, A. González-Rojas y L.T. Durazo Sandoval. 2024. La vida en la zona intermareal: adaptaciones en un ecosistema cambiante. *Biología y Sociedad*, 7(13): 48-62. DOI:10.29105/bys7.13-105
- Calvario-Martínez, O. y L. Montoya-Rodríguez. 2003. *Manual de buenas prácticas de producción acuícola de moluscos bivalvos para la industria alimentaria*. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Mazatlán, Sinaloa, México.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2020. *Ley de Vertimientos en las Zonas Marinas Mexicanas*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LVZ-MM_130420.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2021. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- COFEPRIS. 2005. *Instrucción de trabajo para el muestreo de fitoplancton y detección de biotoxinas marinas*. Secretaría de Salud, México, D.F., México. <https://www.gob.mx/cofepris/documentos/lineamiento-de-trabajo-para-el-muestreo-de-fitoplancton-y-deteccion-de-biotoxinas-marinas>
- COFEPRIS. 2008. *Guía técnica para el control sanitario de moluscos bivalvos*. Programa mexicano de sanidad de moluscos bivalvos. Secretaría de Salud, México, D.F., México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/708097/COS-DEPE-P-01-GI-01__1_.pdf
- COFEPRIS. 2015. *Plan de contingencia para el control de biotoxinas marinas*. Secretaría de Salud, México, D.F., México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/178793/Plan_de_contingencia_MB_ES_20151208_ESP.pdf
- COFEPRIS. 2016a. *Lineamientos del Proyecto del Marea Roja*. Secretaría de Salud, México, D.F., México. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/lineamientos-del-proyecto-del-marea-roja>
- COFEPRIS. 2016b. *Antecedentes de Presencia de Marea Roja en Costas Nacionales*. México, D.F., México. <https://www.gob.mx/cofepris/documentos/presencia-de-marea-roja-en-costas-nacionales-durante-2003>
- COFEPRIS. 2017. *Emergencias Sanitarias por Presencia de Marea Roja (Florecimientos Algaes Nocivos y Toxinas)*. Vedas Sanitarias y Cierres Precautorios. Secretaría de Salud, México, D.F., México. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/emergencias-sanitarias-estatales-por-marea-roja>
- COFEPRIS. 2024. *Manual de Laboratorio para el Programa Mexicano de Sanidad de Moluscos Bivalvos*. Secretaría de Salud, México, D.F., México. <https://www.gob.mx/cofepris/documentos/manual-de-laboratorios-del-pmsmsb>
- CONAPESCA. 2022. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca, Mazatlán, Sinaloa, México. https://nube.conapesca.gob.mx/sites/cona/dgppe/2022/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2022.pdf
- Chen, X.C., Y.Y. Huang, H.L. Yang, L.P. Pan, C.P. Danielle, P. Xu, J. Tang, W. You, X. He, Q. Wen. 2020. Restoring wetlands outside of the seawalls and to provide clean water habitat. *Science of The Total Environment*, 721:137788. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137788
- D'Costa, P.M. y R.K. Naik. 2019. Advances in sampling strategies and analysis of phytoplankton. 501-521. In: Meena S.N. y M.M. Naik (Eds.). *Advances in Biological Science Research: A practical Approach*. Academic Press. DOI:10.1016/b978-0-12-817497-5.00031-8
- Del Ángel-Tafoya, F. 2013. 10 años de monitoreo en la atención de florecimiento algal en el estado de Campeche. Reunión de responsables nacionales y estatales de los temas de moluscos bivalvos y marea roja. Comisión de Operación Sanitaria, Dirección Ejecutiva de Programas Especiales, Ensenada, Baja California, México, del 8 al 12 de julio de 2013.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2001. NOM-EM-005-SSA1-2001. Salud ambiental. Especificaciones sanitarias para el control de los moluscos bivalvos y otros moluscos expuestos a la marea roja. Criterios para proteger la salud de la población. 24 de diciembre de 2001. <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ssa1/ssa1005em-01.pdf>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2009. NOM-242-SSA1-2009. Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especifica-



- ciones sanitarias y métodos de prueba. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4295/salud2a/salud2a.htm>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2013. NOM-017-SSA2-2012. Para la vigilancia epidemiológica. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5288225&fecha=19/02/2013#gsc.tab=0
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2016a. NMX-AA-120-SCFI-2016. Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-aa-120-scfi-2016.pdf>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2016b. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2020. Ley de vertimientos en las zonas marinas mexicanas. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LVZMM_130420.pdf
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2022. NOM-001-SEMARNAT-2021. Que establece los límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en cuerpos receptores de propiedad nacional. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11%2F03%2F2022
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2024. Ley general de salud. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGS.pdf>
- Falkowski, P. G. y J.A. Raven. 2007. Aquatic Photosynthesis. Second Edition. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- FAO. 2005. Biotoxinas marinas. Estudio FAO: Alimentación y Nutrición. FAO. Roma, Italia.
- García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz, y E.J. Núñez-Vázquez. 2016. Florecimientos Algas Nocivos en México. Ensenada, México. CICESE.
- Glibert, P.M. 2020. Harmful algae at the complex nexus of eutrophication and climate change, *Harmful Algae*, 91: 101583. DOI:10.1016/j.hal.2019.03.001
- Glibert, P.M., S. Seitzinger, C.A. Heil, J.M. Burkholder, M.W. Parrow, L.A. Codispoti y V. Kelly. 2005. The role of eutrophication in the global proliferation of harmful algal blooms: New perspectives and approaches. *Oceanography*, 18(2): 198-209. DOI:10.5670/oceanog.2005.54
- Hallegraeff, G.M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, 32(2): 79-99.
- Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson, C. Belin, M.Y. Dechraoui Bottein, E. Bresnan, M. Chinain, H. Enevoldsen, M. Iwataki, B. Karlton, C.H. McKenzie, I. Sunesen, G.C. Pitcher, P. Provoost, A. Richardson, L. Schweibold, P.A. Tester, V.L. Trainer, A.T. Yñiguez y A. Zingone. 2021. Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. *Communications Earth & Environment*, 2:117. DOI:10.1038/s43247-021-00178-8
- INE-SEMARNAT. 1997. Programa de manejo del área de protección de flora y fauna Laguna de Términos. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera edición. México D.F. <https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/anp/AN19.pdf>
- IOC-UNESCO. 2002. IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of Harmful Micro Algae. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris. <http://www.marinespecies.org/hab/>
- Kudela, R.M., E. Berdalet, S. Bernard, M. Burford, L. Fernandez, S. Lu, S. Roy, P. Tester, G. Usup, R. Magnien, D.M. Anderson, A. Cembella, M. Chinain, G. Hallegraeff, B. Reguera, A. Zingone, A. Enevoldsen, and E. Urban (eds.) 2015. Harmful Algal Blooms: A scientific summary for policy makers. IOC/UNESCO. Paris (IOC/INF-1320).
- Landsberg, J.H. 2002. The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms. *Reviews in Fisheries Science*, 10(2): 113-390. DOI:10-1080/20026491051695
- Licea-Durán, S. y H. Santoyo-Reyes. 1991. Algunas características ecológicas del fitoplancton de la región central de la bahía de Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 18(2): 157-167.
- Méndez, M.L., E.N. Sánchez y D.H. Segura. 2022. Gestión costera. Notas, Publicación bimestral de divulgación externa 199: artículo 2. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=566&IdBoletin=200>
- Núñez-Vázquez, E.J., C. Ramírez-Camarena, C.A. Poot-Delgado, A. Almazán-Becerril, J.A. Aké-Castillo, A. Pérez-Morales, F.E. Hernández-Sandoval, L.J. Fernández-Herrera, A. Heredia-Tapia, C.J. Band-Schmidt, J.J. Bustillos-Guzmán, D.J. López-Cortés, G. Domínguez-Solís, T.C. Ley-Martínez, Y.R. Cauich-Sánchez, y L.A. Barra-González, 2016. Toxinas marinas en el golfo de México: orígenes e impactos. 308-321. En: García-Mendoza, E., S.I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz y E.J. Núñez-Vázquez (Eds.). Florecimientos Algas Nocivos en México. CICESE, Ensenada, México.
- Núñez-Vázquez, E.J., C.A. Poot-Delgado, A.D. Turner, F.E. Hernández-Sandoval, Y.B. Okolodkov, L.J. Fernández-Herrera, J.J. Bustillos-Guzmán. 2022. Paralytic shellfish toxins of *Pyrodinium bahamense* (Dinophyceae) in the southeastern Gulf of Mexico. *Toxins*, 14(11):760. DOI: 10.3390/toxins14110760
- Okolodkov, Y.B. 2003. A review of Russian plankton research in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea in the 1960-1980s. *Hidrobiológica*, 13(1): 207-221.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud). 2003. Clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud. 10a revisión. Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C. <https://ais.paho.org/classifications/chapters/pdf/volume1.pdf>
- Pal, R. y A.K. Choudhury. 2014. An Introduction to Phytoplanktons: Diversity and Ecology. New Delhi: Springer India. 175 pp.
- Poot-Delgado, C.A. 2016. Florecimientos algales nocivos en las costas de Campeche, golfo de México. *Investigación y Ciencia*, 68:91-96. DOI:10.33064/iycuaa2016682264
- Poot-Delgado, C.A. y A. Pérez-Morales. 2023. Spatiotemporal variation of harmful phytoplankton in recreational bea-



- ches in Campeche, southeastern Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas*, 49:e3389. DOI:10.7773/cm.y2023.3389.
- Poot-Delgado, C.A. y Y.B. Okolodkov. 2014. Microalgae as water quality indicators: An overview. 41-65. In: Snyder, M. (Ed.). *Aquatic Ecosystems Influences, Interactions and Impact on the Environment*. Nova Science Publishers, Inc.: Hauppauge, NY, USA.
- Poot-Delgado, C.A., E.J. Núñez-Vázquez, J. Rendon-von Ostén, J.I., López-Ruiz y W. Sosa-González. 2024. Intoxicaciones humanas por consumo de productos marinos en la población costera de Campeche, sureste del golfo de México. *Ciencias Pesqueras*, 32(1): 17-23.
- Poot-Delgado, C.A., J. Rendon-von Ostén, J.I. López-Ruiz y Y.B. Okolodkov. 2023. A bloom of *Pyrodinium bahamense* in the port operations of a seafood processing plant, SE Gulf of Mexico. *Harmful Algae News*, 72: 5. DOI:10.5281/zenodo.7937597
- Poot-Delgado, C.A., Y.B. Okolodkov, J.A. Aké-Castillo y J. Rendon-von Ostén. 2018. Potentially harmful cyanobacteria in oyster banks of Términos lagoon, southeastern Gulf of Mexico. *Acta Biológica Colombiana*, 23(1): 51-58. DOI: 10.15446/abc.v23n1.65809
- Poot-Delgado, C.A., Y.B. Okolodkov y J. Rendon-von Ostén. 2022. Spatio-temporal variation of harmful planktonic microalgae and cyanobacteria along the central coast of Campeche, southeastern Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 108: 15-23. DOI:10.1007/s00128-021-03203-w
- Ramos-Miranda, J., D. Flores-Hernández, L.A. Ayala-Pérez, J. Rendon-von Ostén, G. Villalobos-Zapata y A. Sosa-López. 2006. Atlas Hidrológico e Ictiológico de la Laguna de Términos. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, Campeche, México. <http://etzna.uacam.mx/epomex/pdf/bAtlas%20Hidrologico%20e%20Ictiologico.pdf>
- Roujiyaynen, M.I., L.V. Georgieva y L.G. Senichkina. 1968. Composition, quantitative development and distribution of phytoplankton in the Central-American seas. 14-39. En: *Studies on the Central-American seas*, 2. Kiev, USSR.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2020. Inocuidad alimentaria en México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/inocuidad-alimentaria-en-mexico>
- Santoyo, H. y M. Signoret. 1976. Variación nictemeral del fitoplancton en la Bahía de Campeche, México. *Revista Latinoamericana de Microbiología* (3): 161-167.
- Sar, E.A., M.E. Ferrario y B. Reguera. (Eds.). 2002. *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano*. Instituto Español de Oceanografía, España.
- SEMAR (Secretaría de Marina-Armada de México). 2020. México y el mar: relevancia del poder marítimo nacional. Instituto de Investigaciones Estratégicas de la Armada de México. Primera edición. Ciudad de México.
- Smayda, T.J. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: Evidence for a global epidemic. 29-40. En: Granéli, E., B. Sundström, L. Edler y D.M. Anderson (Eds.). *Toxic marine phytoplankton*. Elsevier, New York, U.S.A.
- Soto, I., Ch. Hu, K. Steidinger, F. Muller-Karger, J. Cannizzaro, J. Wolny, S. Cerdeira-Estrada, E. Santamaria-del Ángel, F. Tafoya-del Ángel, P. Álvarez-Torres, J. Herrera-Silveira y J. Allen. 2012. Binational collaboration to study Gulf of Mexico's harmful algae. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 93(5): 49-50.
- Vuorio, K., L. Lepistö y A.L. Holopainen. 2007. Intercalibrations of freshwater phytoplankton analyses. *Boreal Environment Research*, 12: 561-569.
- Zernova, V.V. 1970. On changes in colour of water in the Gulf of Mexico produced by planktonic algae. *Oceanological Studies* (USSR), 20: 105-109.
- Zernova, V.V. 1982. On the dependence of the quantitative development of phytoplankton on the abiotic factors in the Gulf of Mexico. *Proceedings of the Institute of Oceanology*, USSR Academy of Sciences, 114: 60-72.

