

Ficotoxinas: Intoxicación del mar a nuestra mesa

Phycotoxins: sea poisoning on our table

Alicia Guadalupe Osuna-Juárez^{1*} , Miguel Ángel Hurtado-Oliva¹ 
& Rosalba Alonso-Rodríguez² 

Resumen

Los alimentos marinos que consumimos, además de nutrirnos, pueden contener diversos contaminantes provenientes del ambiente, entre estos, están las toxinas algales o ficotoxinas que pueden provocar distintos efectos tóxicos en los seres humanos. Las ficotoxinas son sustancias producidas por algas microscópicas, que se acumulan y transfieren a través de la cadena alimenticia en diversos animales marinos, muchos de ellos de importancia comercial, causando intoxicaciones en animales y humanos. Estas intoxicaciones ocurren principalmente por el consumo de ostiones, almejas y mejillones contaminados, llamados vectores tradicionales. Sin embargo, diversos estudios han demostrado que otros grupos de organismos marinos, pueden también almacenar ficotoxinas y provocar efectos negativos en nuestra salud al alimentarnos de ellos, a estas otras especies se les conoce como vectores no tradicionales. En este artículo se presenta una visión general de los florecimientos algales nocivos y las ficotoxinas que producen, además de su transferencia a través de vectores tradicionales y no tradicionales, la normatividad y métodos de monitoreo aplicados para la protección de la salud humana.

Palabras clave: bivalvos, bioacumulación, florecimientos algales, intoxicación, toxinas paralizantes.

Abstract

The marine foods we eat may contain various pollutants obtained from the environment, including algal toxins or phycotoxins, which may cause diverse toxic effects in humans. Phycotoxins are substances produced by microscopic algae that are stored and transferred through the food chain to different marine animals, many of them of commercial interest, causing poisoning and even death when are consumed by animals and humans. Intoxications are by consumption of contaminated oysters, clams and mussels, which are known as traditional vectors. However, studies have shown that other organisms' groups which also we fed contain phycotoxins and cause negative effects on our health. These other species are known as non-traditional vectors. This article presents an overview of algal blooms and the phycotoxins produced, by traditional and non-traditional vectors, the regulations and monitoring programs implemented to protect human health.

Key words: bivalves, bioaccumulation, intoxication, paralytic toxins.

Recibido: 27 de enero de 2026.

Aceptado: 08 de abril de 2026.

¿Los alimentos del mar son tóxicos?

En el mar encontramos una gran variedad de organismos nutritivos para el ser humano. Sin embargo, los alimentos marinos que consumimos también pueden contener diversos contaminantes que pueden resultar peligrosos para la salud, como las toxinas producidas durante los florecimientos algales nocivos (FAN en

adelante), que pueden llegar del mar a nuestra mesa a través de los alimentos.

Los FAN, también conocidos como “mareas rojas”, son eventos naturales que consisten en el incremento masivo del número de algas microscópicas conocidas como microalgas. Durante estos eventos, las microalgas pueden producir toxinas, llamadas ficotoxinas, que pueden ser

¹ Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa Paseo Claussen s/n, Col. Centro, Mazatlán, Sinaloa, 82000, México.

² Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Unidad Académica Mazatlán, Universidad Nacional Autónoma de México Cap. Joel Montes Camarena s/n, Cerro del Vigía, Mazatlán, Sinaloa, 82047, México.

* **Correspondencia:** alyosuna17@gmail.com (AGOJ)

ingeridas por organismos marinos, acumularse en sus tejidos y transferirse mediante la cadena alimenticia hasta llegar al ser humano. Por lo tanto, los FAN y las ficotoxinas representan un riesgo a la salud pública (Cortés-Altamirano *et al.* 2019).

En la actualidad, es fundamental fortalecer y ampliar la investigación sobre los FAN y sus potenciales riesgos a la salud humana. Asimismo, es importante identificar cuáles organismos de consumo humano pueden acumular estas toxinas, además de los conocidos y monitoreados.

¿Qué son las ficotoxinas marinas?

Las microalgas son organismos microscópicos que habitan en lagos, ríos, mares y océanos. Están formadas de una sola célula, aunque algunas especies pueden formar colonias, la mayoría de ellas obtienen su energía mediante la fotosíntesis. Cuando estos organismos

se encuentran suspendidos en el agua forman parte del fitoplancton, un conjunto de organismos que flotan en el agua y son la base de la cadena alimenticia en los ecosistemas (Thoré *et al.* 2023).

Entre las 5000 especies de fitoplancton identificadas actualmente, alrededor de 200 son capaces de producir ficotoxinas, (Lundholm *et al.* 2009). La palabra ficotoxina deriva del griego *phykos* (alga) y del latín *toxicum* (veneno), también son conocidas como toxinas algales y son compuestos producidos por algunos grupos de microalgas, principalmente dinoflagelados y diatomeas, que pueden causar un FAN.

Los FAN pueden formarse por una o varias especies de microalgas y cambiar o no el color del agua (Fig. 1, Reyes-Salinas *et al.* 2023). La aparición de estos eventos está relacionada con temperaturas favorables y la alta disponibilidad de nutrientes en el agua derivados principalmente de



Figura 1. Florecimiento algal en Mazatlán, Sinaloa (2022).



actividades humanas (Yan *et al.* 2024).

Las intoxicaciones humanas por ficotoxinas son causadas por el consumo de mariscos contaminados, por el contacto directo con agua contaminada o por la inhalación de las toxinas y sus derivados en forma de aerosoles. Los síntomas de la intoxicación están relacionados con el tipo de toxina (Visciano *et al.* 2016), los síndromes de intoxicación por mariscos contaminados más comunes son el paralizante, la ciguatera, neurotóxico, amnésico y diarreico.

Las toxinas paralizantes, representadas por la saxitoxina, pueden causar el síndrome de intoxicación paralizante por consumo de mariscos (*Paralytic Shellfish Poisoning*, PSP, nombre y acrónimo en idioma inglés). Esta toxina bloquea las señales nerviosas de las células causando síntomas como entumecimiento de los dedos y labios. En el mar, estas son mayormente producidas por los dinoflagelados *Pyrodinium bahamense*, *Gymnodinium catenatum* y algunas especies del género *Alexandrium* (Deeds *et al.* 2008).

Una de las intoxicaciones más comunes y menos atendida es la ciguatera (*Ciguatera Fish Poisoning*, CFP, nombre y acrónimo en idioma inglés), la cual ocurre principalmente en regiones tropicales, puede causar síntomas como diarrea y calambres. Las ciguatoxinas son producidas principalmente por dinoflagelados del género *Gambierdiscus* y *Fukuyoa* y son la mayor causa de intoxicación por mariscos en la zona tropical con al menos 50,000 casos reportados al año (Nuñez-Vazquez *et al.* 2019).

Las brevetoxinas causan la intoxicación neurotóxica en humanos (*Neurotoxic Shellfish Poisoning*, NSP, nombre y acrónimo en idioma inglés), son

producidas por el dinoflagelado *Karenia brevis* y sus florecimientos están asociados con la alta mortalidad de organismos marinos en el golfo de México (Chi *et al.* 2025). La exposición puede ocurrir por la inhalación de aerosoles marinos que contienen la ficotoxina, transportados por el viento durante los FAN. Su efecto neurotóxico causa síntomas como mareos, desorientación y molestias estomacales (Yuan *et al.* 2024).

La intoxicación amnésica es causada por un compuesto llamado ácido domoico (*Amnesic Shellfish Poisoning*, ASP, nombre y acrónimo en idioma inglés), producido por diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*. La sintomatología de esta intoxicación incluye vómitos y malestar general, así como alucinaciones y pérdida de memoria (Grant *et al.* 2010). Se presenta principalmente en regiones templadas y frías del Pacífico.

Por último, el causante de la intoxicación diarreica es el ácido ocadaico (*Diarreic Shellfish Poisoning*, DSP, nombre y acrónimo en idioma Inglés), que provoca vómitos y diarrea, aunque no es considerada letal (Manita *et al.* 2017). Se ha demostrado que puede causar daño neurológico y hepático tras exposiciones prolongadas. Esta toxina se presenta durante florecimientos de dinoflagelados como *Dinophysis* spp. y *Prorocentrum lima* (Fu *et al.* 2019). Las ficotoxinas se consideran un riesgo para la salud humana cuando se acumulan en organismos que forman parte de nuestra alimentación ya sea que se consuman crudos o cocidos, puesto que estas toxinas algales son resistentes al calor (Mafra *et al.* 2023) y no se eliminan al cocinarse. Además, no existen antídotos generales o específicos para las intoxicaciones mencionadas, por lo que en casos graves se requiere la atención médica inmediata.

Los florecimientos algales nocivos han aumentado, ¿o no?

En los últimos años se ha buscado la opinión de los expertos sobre la percepción del aumento en frecuencia, intensidad y extensión de los FAN debido al alto número de reportes de estos eventos en todo el mundo. Sin embargo, el estudio del científico australiano Hallegraeff *et al.* (2021) demuestra que actualmente no existe evidencia suficiente para afirmar un aumento de los FAN en las últimas décadas.

En realidad, esta percepción se explica por el aumento de los esfuerzos generalizados en la investigación científica y aumento de los programas de monitoreo en zonas de explotación de recursos marinos como las áreas de producción acuícola o áreas turísticas. En estas zonas, los florecimientos algales representan un riesgo a la salud pública, además de resultar una amenaza al ecosistema y la industria dependiente de la pesca y acuicultura (Yan *et al.* 2024).

Los primeros sospechosos de provocar intoxicaciones: moluscos bivalvos

Las diversas especies de moluscos bivalvos han sido parte esencial de la dieta humana por su alto contenido en proteína y grasas. Estos reciben el nombre de bivalvos porque su cuerpo blando está cubierto por dos conchas, llamadas valvas, las cuales pueden abrir y cerrar. Además, son de gran importancia económica a nivel mundial tanto para la pesca como la acuicultura, representando una relevante fuente de ingresos para las comunidades costeras (Yee-Duarte 2025). Sin embargo, también son reconocidos por ser los principales vectores de intoxicación por consumo de ficotoxinas.

En biología, un vector se define como un organismo vivo que transmite un agente patógeno de un organismo infectado a otro (EFSA 2025). En este contexto, los moluscos bivalvos son considerados vectores tradicionales de las ficotoxinas, debido a su tipo de alimentación por filtración, mecanismo que les permite retener las microalgas a través de sus branquias, las cuales son posteriormente ingeridas para obtener y almacenar sus nutrientes y toxinas en sus tejidos, estos regularmente pueden ser transferidos cuando son consumidos por otros organismos, incluido el humano (Fig. 2).



Figura 2. Los moluscos bivalvos se alimentan de microalgas suspendidas en el agua, incluyendo aquellas especies productoras de ficotoxinas.

La acumulación de las ficotoxinas puede variar dependiendo de la duración del florecimiento algal, el tipo de toxina y la especie de molusco. Entre los bivalvos más consumidos, los mejillones poseen el mayor riesgo de provocar intoxicaciones, ya que acumulan toxinas a una mayor velocidad debido a su alta tasa de filtración de alimento con respecto a otros moluscos (Gosling 2003).

Una vez que el florecimiento algal termina, la concentración de toxinas en los moluscos disminuye gradualmente mediante procesos naturales de



depuración. Esta desintoxicación puede durar desde días hasta meses, según la toxina y la especie de bivalvo, por lo que es importante monitoreos constantes antes de comercializar y consumir estos mariscos.

En México, se han registrado diversos casos de intoxicación humana asociados a la presencia de ficotoxinas en vectores tradicionales durante florecimientos algales nocivos. En 2010, se reportaron casos de intoxicación en Acapulco, Guerrero relacionados con el consumo de almejas crudas y cocinadas contaminadas con ficotoxinas (Wyatt 2012). Asimismo, en 2022 se estableció una veda de moluscos por presencia de marea roja en Puerto Madero, Chiapas. Sin embargo, se documentaron múltiples intoxicaciones con consecuencias fatales en una familia tras el consumo de almeja local. Ambos eventos se asociaron con la presencia de toxinas paralizantes (Navarro-Cardenas 2022).

Debido a sus características, los moluscos bivalvos son utilizados como organismos indicadores para monitorear zonas de riesgo ante la formación de florecimientos algales como lo son las zonas de cultivo de organismos acuáticos, de pesca o recreación. No obstante, las toxinas algales no se limitan a estos organismos filtradores, si no que pueden ser acumuladas y transferidas por otros organismos de la cadena trófica marina.

Estudios realizados en Mazatlán, Sinaloa demostraron que diversos moluscos bivalvos como la ostra perlera, el ostión de piedra e incluso el callo de hacha, acumulan toxinas paralizantes, superando hasta cuatro veces el límite máximo permitido. Además, la presencia de toxinas en este estudio no se detectó solo en moluscos bivalvos, sino que también en otros organismos como crustáceos y peces

también acumularon toxinas, incluyendo la jaiba azul, el pargo y cochito, lo que demuestra la importancia de identificación de vectores no tradicionales de ficotoxinas (Enciso-Lizárraga 2016, Navarrete-Carlos 2023).

Los portadores de ficotoxinas ocultos: vectores no tradicionales

La cadena alimenticia marina incluye miles de especies de microalgas, incluidas las especies que producen toxinas. Las microalgas son consumidas por pequeños animales suspendidos en el agua y organismos filtradores, los cuales son posteriormente ingeridos por otros organismos marinos. De esta manera, las toxinas pueden ser transportadas a través de la cadena alimenticia por vectores tradicionales, como los moluscos bivalvos, y no tradicionales como crustáceos y peces (Fig. 3; Rey *et al.* 2025).

Se utiliza el término de “vectores no tradicionales” para hacer referencia a aquellos organismos no filtradores que son capaces de acumular las toxinas mediante su alimentación y transferirlas a otros organismos (Deeds *et al.* 2008), aumentando las vías de exposición para el ser humano.

Estudios recientes han demostrado que animales como crustáceos (jaibas y langostas), gasterópodos (caracoles), equinodermos (erizos y estrellas de mar), peces e incluso mamíferos marinos pueden actuar como vectores (Rey *et al.* 2025). Estos organismos pueden acumular las toxinas al alimentarse, en muchas ocasiones sin un daño o efecto aparente, por lo que puede resultar complicado identificarlos.

Por ejemplo, en España y Sudáfrica se han detectado altas concentraciones

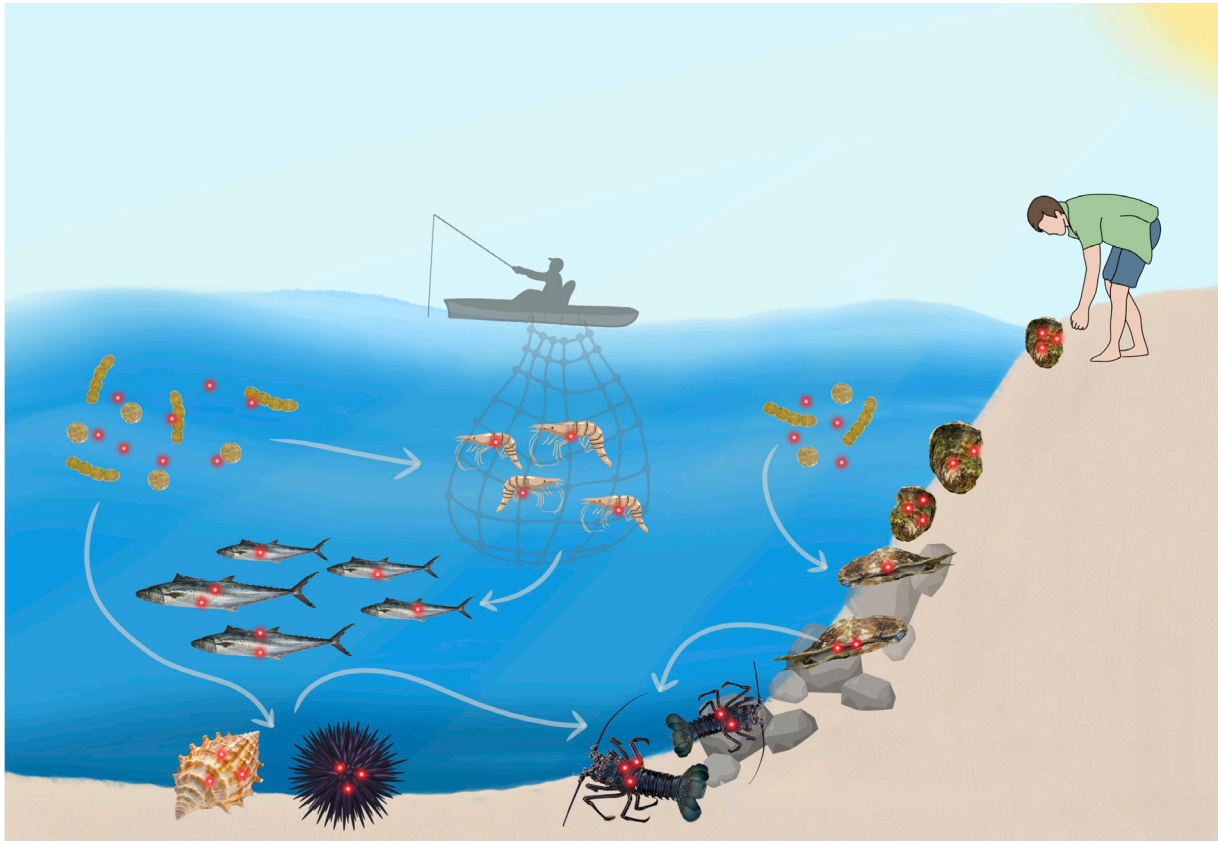


Figura 3. Representación de la acumulación y transferencia de ficotoxinas a lo largo de la cadena alimenticia durante un florecimiento algal nocivo.

de toxinas paralizantes en el abulón, un caracol marino de gran importancia comercial. Se encontró que este puede retener las toxinas durante meses (Pitcher *et al.* 2001), incluso más tiempo que un molusco bivalvo. De manera similar, en Estados Unidos se han establecido restricciones para la pesca del caracol lunar, un caracol carnívoro que puede acumular ficotoxinas al alimentarse de moluscos bivalvos (Deeds *et al.* 2008), lo que demuestra la transferencia de estas entre distintos organismos.

Otro ejemplo relevante son las langostas, diversos estudios realizados en Australia demuestran que estos crustáceos pueden acumular rápidamente toxinas durante un FAN, principalmente en uno de sus órganos que se encuentra en la cabeza, el cuál es llamado hepatopáncreas. Aunque el consumo de la langosta es

principalmente del músculo o la cola, durante la preparación o cocción del animal entero se puede entrar en contacto con las toxinas y contaminar la porción comestible del alimento. Además, en algunos países como Australia, Canadá, Francia y Japón, las vísceras de la langosta se consumen tanto crudas como cocidas (McLeod *et al.* 2018), por lo que el monitoreo de este organismo es necesario.

No todas las ficotoxinas siguen el mismo camino en la cadena alimenticia. A diferencia del resto, la intoxicación por ciguatoxinas está más relacionada con el consumo de peces. Esto se debe a que las microalgas que la producen se encuentran en el fondo marino, por lo que son consumidas por peces pequeños y que luego se transfieren a otras especies más grandes. Se han identificado más de 400 especies de peces como vectores de



ciguatoxina (Nuñez-Vazquez *et al.* 2019), por lo que es una intoxicación frecuente.

A pesar de que las intoxicaciones por vectores no tradicionales son menos frecuentes en comparación con los bivalvos, su importancia radica en que la mayoría de los organismos que acumulan ficotoxinas son de alta preferencia de consumo humano. Es por esta razón, que resulta necesario fortalecer los programas de monitoreo, prevención y la normatividad.

Vigilancia y detección

Para asegurar la inocuidad de los alimentos, es decir, que estos no causen ningún daño al consumidor, muchos países han establecido diversos programas de monitoreo de ficotoxinas en moluscos bivalvos, imponiendo restricciones o prohibiendo la captura y comercialización de estos productos cuando la concentración de toxinas excede el límite máximo permitido para evitar que las personas consuman estos mariscos contaminados. Este límite puede variar en cada región o país, y se basa en el potencial toxicológico que tiene cada toxina y la cantidad consumida de marisco en dicha región (Mafrá *et al.* 2023).

Las normas y los límites máximos

permisibles de ficotoxinas en productos marinos se establecen basándose en pruebas científicas que incluyen experimentos en animales (bioensayo ratón o rata) e información de casos de intoxicaciones previas. En los experimentos se les administran cantidades conocidas de la ficotoxina a estos roedores para evaluar sus efectos y estimar las dosis letales (FAO/WHO 2016).

En otras partes del mundo, como la Unión Europea, la legislación alimentaria se enfoca en moluscos bivalvos en cuanto al contenido de ficotoxinas. Por ejemplo, el reglamento 853 y 854/2004 presentan los límites máximos permisibles de ficotoxinas en moluscos (Tabla I) y el protocolo de muestreos y monitoreos en áreas de producción de moluscos bivalvos para la prevención de intoxicaciones.

¿Quién es responsable en México de la prevención de intoxicaciones?

Desde el 2005 en México, se integró el proyecto nacional de Florecimientos Algales Nocivos (marea roja), bajo la coordinación de la Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). En conjunto, se integran programas como el Sistema de Alerta Temprana (SiAT), que reconoce las señales de aparición de un posible FAN para

Tabla I. Límites máximos permisibles de biotoxinas en productos de la pesca. LMP: límite máximo permisible.

Toxina	LMP México	LMP Unión Europea
Paralizante (saxitoxina)	800 µg/kg	800 µg/kg
Neurotóxica (brevetoxina)	20 UR/100 g	160 µg/kg
Diarreica (ácido ocadaico)	160 µg/kg	160 µg/kg
Amnésica (ácido domoico)	20 mg/kg	20 mg/kg
Ciguatera	2.5 UR/100 g	-

UR: unidades ratón, significa en la norma mexicana que el método de análisis es el bioensayo-ratón (Fuente: Diario Oficial de la Federación NOM-242-SSA1-2009, Reglamento (CE) n° 854/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo)

tomar decisiones y reducir el impacto; y la Red de Investigación sobre florecimientos algales nocivos (RedFAN), que integra a investigadores de diferentes instituciones para contribuir al conocimiento de estos eventos, entender sus causas, efectos negativos, mitigación y propuestas de manejo (SiAT-CICESE 2025, COFEPRIS 2025).

En México, la NOM-242-SSA1-2009 establece los límites máximos permisibles de contenido de ficotoxinas en productos de la pesca, estas cantidades también se enfocan en moluscos bivalvos, con excepción de la ciguatoxina, la cual es más común en peces (Tabla I). Como medida de seguridad, se establecen vedas sanitarias, que consisten en la prohibición temporal de captura y consumo de moluscos bivalvos. Estas se establecen cuando en los monitoreos se determina que el fitoplancton tóxico presente en el agua o las toxinas en los bivalvos representan un riesgo para la salud pública (COFEPRIS 2025). Sin embargo, es importante mencionar que no se incluyen otras especies que actúan como vectores no tradicionales que pueden acumular ficotoxinas.

La aplicación de sistemas de alerta temprana y monitoreo de ficotoxinas permite tomar medidas de control sanitario de manera oportuna con el fin de prevenir casos de intoxicación por consumo de moluscos bivalvos u otras especies marinas. Es importante destacar la necesidad de explorar la acumulación y efectos de las ficotoxinas marinas con la metodología adecuada en organismos que pueden actuar como vectores no tradicionales para tomar las medidas de inocuidad necesarias y establecer una regulación o normatividad para esos casos.

¿Cómo podemos prevenir una intoxicación por ficotoxinas?

Como consumidores de alimentos marinos es muy importante mantenernos informados de los comunicados de las autoridades locales, estatales (Comisión Estatal para la Protección contra Riesgos Sanitarios-COEPRIS) y nacionales (COFEPRIS) acerca de las vedas antes de consumir alimentos del mar.

Podemos estar atentos a la coloración del mar para detectar y reportar un posible florecimiento algal nocivo. Sin embargo, no todos los florecimientos algales son nocivos, el 75% son benéficos porque son la base de la cadena alimenticia marina de la cual nos alimentamos, por lo que es necesario el análisis de personal capacitado para determinar el riesgo.

La colaboración entre comunidades costeras y autoridades contribuye a la detección temprana de estos eventos y difusión de los riesgos asociados. Es necesario estar alerta ante cualquier síntoma de malestar después de consumir pescados o mariscos, y buscar atención médica inmediata. Finalmente, se recomienda preguntar a la autoridad local o instituciones involucradas en el monitoreo de ficotoxinas, si es seguro el consumo de productos del mar durante un florecimiento algal.

Conclusiones

Las ficotoxinas representan un riesgo a la salud cuando se acumulan en pescados y mariscos destinados para consumo humano, provocando intoxicaciones con síntomas de acuerdo con el tipo de toxina. Comúnmente, las intoxicaciones por consumo de mariscos están relacionadas con los moluscos bivalvos como los ostiones, almejas, y mejillones.



Sin embargo, la evidencia científica demuestra que organismos marinos de otros grupos también pueden participar en la transferencia de ficotoxinas.

A pesar de la evidencia, la normatividad mexicana y la de muchos otros países se centra casi exclusivamente en la intoxicación por consumo de moluscos bivalvos, sin considerar en la regulación y monitoreo a los vectores no tradicionales como jaibas, camarones, y peces en general. Esto implica posibles intoxicaciones por el consumo de alimentos no regulados durante la formación de florecimientos algales nocivos.

Por ello, es importante mantener el constante monitoreo de ficotoxinas en vectores tradicionales como moluscos bivalvos, pero además resulta urgente incorporar en los monitoreos y regulaciones oficiales a los vectores no tradicionales que forman parte de los recursos marinos para la alimentación humana, con la finalidad de prevenir intoxicaciones por consumo de productos contaminados con ficotoxinas, lo que además podría disminuir la carga sobre el sistema de salud.

Debido a la importancia de este tema, los coautores de este artículo nos encontramos realizando investigaciones sobre ficotoxinas paralizantes en moluscos bivalvos regionales como lo es el ostión de placer *Crassostrea corteziensis*, para determinar la capacidad de acumulación de toxinas y sus efectos tanto en sus tejidos como en la respuesta inmunológica, así como evaluar los mecanismos y el tiempo de depuración de las ficotoxinas. Esta información podrá contribuir a un mejor monitoreo y manejo de esta especie de ostión, que es altamente consumida en el noroeste de México, en el caso de ser expuesto a un florecimiento algal nocivo.

Agradecimientos

La investigación de los efectos y acumulación de las biotoxinas en organismos marinos y su impacto en la salud pública forma parte de un proyecto interinstitucional del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (ICMyL-UNAM, proyecto #326) y la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Agradecemos al Centro de Investigaciones Oceánicas, A.C. y Gran Acuario Mazatlán Mar de Cortés, quienes facilitaron sus instalaciones para la realización de diversos experimentos relacionados con este tema.

Referencias

- Chi, L., X. Zhang, Y. Yuan, H. Shen, Z. Yu & X. Song. 2025. Deciphering the photodegradation fate of brevetoxins: kinetics, degradation pathways, and toxicity evaluation. *Harmful Algae* 149: 102944. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2025.102944>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). 2025. Emergencias sanitarias por presencia de marea roja (Florecimientos Algales Nocivos y toxinas). Vedas sanitarias y cierres precautorios. Consultado el 3 de octubre de 2025. Disponible en: <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/emergencias-sanitarias-estatales-por-marea-roja>
- Cortés-Altamirano, R., R. Alonso-Rodríguez & D.A. Salas-de-León. 2019. Historical observations of algal blooms in Mazatlan Bay, Sinaloa, Mexico (1979-2014). *PLOS ONE* 14(1): e0210631. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210631>
- Deeds, J.R., J.H. Landsberg, S.M. Etheridge, G.C. Pitcher & S.W. Longan. 2008. Non-traditional vectors for paralytic shellfish poisoning. *Marine Drugs* 6(2): 308-348. <https://doi.org/10.3390/md6020308>
- Enciso-Lizárraga, M. 2016. Efectos de la toxinas paralizantes (TPs) de *Gymnodinium catenatum* en peces *Lutjanus guttatus*. Tesis de licenciatura, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Mazatlán, Mazatlán, México

- European Food Safety Authority.** 2025. Enfermedades transmitidas por vectores. Consultado el 7 de noviembre de 2025. Disponible en:
<https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/vector-borne-diseases>
- FAO/WHO.** 2016. Toxicity equivalency factors for marine biotoxins associated with bivalve molluscs. Food and Agriculture Organization of the United Nations & World Health Organization. Disponible en:
<https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5970e>
- Fu, L., X. Zhao, L. Ji & J. Xu.** 2019. Okadaic acid (OA): toxicity, detection and detoxification. *Toxicon* 160: 1-7.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2018.12.007>
- Gosling, E.** 2003. Bivalve molluscs: biology, ecology and culture. Wiley-Blackwell, Oxford, 443 pp.
- Grant, K.S., T.M. Burbacher, E.M. Faustman & L.M. Grattan.** 2010. Domoic acid: neurobehavioral consequences of exposure to a prevalent marine biotoxin. *Neurotoxicology and Teratology* 32(2): 132-141.
<https://doi.org/10.1016/j.ntt.2009.09.005>
- Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson, C. Belin, M.Y. Dechraoui Bottein, E. Bresnan, M. Chinain, H. Enevoldsen, M. Iwataki, B. Karlson, C.H. McKenzie, I. Sunesen, G.C. Pitcher, P. Provoost, A. Richardson, L. Schweibold, P.A. Tester, V.L. Trainer, A.T. Yñiguez & A. Zingone.** 2021. Perceived global increase in algal blooms is attributable to intensified monitoring and emerging bloom impacts. *Communications Earth & Environment* 2: 117.
<https://doi.org/10.1038/s43247-021-00178-8>
- Lundholm, N., C. Bernard, C. Churro, L. Escalera, M. Hoppenrath, M. Iwataki, J. Larsen, K. Mertens, Ø. Moestrup, S. Murray, U. Tillmann & A. Zingone.** 2009. IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of Harmful Microalgae. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO / World Register of Marine Species.
<https://doi.org/10.14284/362>
- McLeod, C., A. Kiermeier, I. Stewart, J. Tan, A. Turnbull & T. Madigan.** 2018. Paralytic shellfish toxins in Australian Southern Rock Lobster (*Jasus edwardsii*): Acute human exposure from consumption of hepatopancreas. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 24(7): 1872–1886.
<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1428083>
- Mafrá, L.L., D.A. de Souza, M. Menezes, M.A. Schramm & R. Hoff.** 2023. Marine biotoxins: latest advances and challenges toward seafood safety, using Brazil as a case study. *Current Opinion in Food Science* 53: 101078.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101078>
- Manita, D., R.N. Alves, A.C. Braga, F.H. Fogaça, A. Marques & P.R. Costa.** 2017. *In vitro* bioaccessibility of the marine biotoxins okadaic acid, dinophysistoxin-2 and their 7-O-acyl fatty acid ester derivatives in raw and steamed shellfish. *Food and Chemical Toxicology* 101: 121-127.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.01.008>
- Navarrete-Carlos, T.C.** 2023. Monitoreo de florecimientos algales, pigmentos fotosintéticos y toxinas paralizantes en el antepuerto de Mazatlán, Sinaloa de 2019 a 2020. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México.
- Navarro-Cardenas J.** 2022. Dos menores mueren tras intoxicarse por consumir almejas contaminadas en Chiapas. Milenio. Chiapas, México. Consultado en 18 de enero de 2026. Disponible en:
<https://www.milenio.com/estados/almejas-contaminadas-mueren-dos-menores-por-consumirlas>
- Núñez-Vázquez, E.J., A. Almazán-Becerril, D.J. López-Cortés et al.** 2019. Ciguatera in Mexico (1984–2013). *Marine Drugs* 17(1): 13.
<https://doi.org/10.3390/md17010013>
- Pitcher, G.C., J.M. Franco, G.J. Doucette, C.L. Powell & A. Mouton.** 2001. Paralytic shellfish poisoning in the abalone *Haliotis midae* on the west coast of South Africa. *Journal of Shellfish Research* 20(3): 895–904.
- Rey, V., A.E. Rossignoli, F. Rodríguez, J. Blanco, S. Garrido & B. Ben-Gigirey.** 2025. Evaluation of the prevalence of paralytic shellfish toxins in non-traditional vectors and potential health risks associated to their consumption. *Food Control* 176: 111351.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111351>
- Reyes-Salinas, A., C.J. Band-Schmidt, F.E. Hernández-Sandoval, I. Leyva-Valencia & E.J. Núñez-Vázquez.** 2023. El interés de las mareas rojas. *Recursos Naturales y Sociedad* 9: 59-77.
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.03.0006>



SiAT-CICESE. 2025. Sistema de Alerta Temprana de Florecimientos Algales Nocivos. Consultado en 2025. Disponible en:

<https://siat-cicese.mx>

Thoré, E.S., K. Muylaert, M.G. Bertram & T. Brodin. 2023. Microalgae. *Current Biology* 33(3): R91–R95.

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.12.032>

Visciano, P. M. Schirone, M. Berti, A. Milandri, R. Tofalo & G. Suzzi. 2016. Marine biotoxins: occurrence, toxicity, regulatory limits and reference methods. *Frontiers in Microbiology* 7: 1051.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01051>

Wyatt, T. 2012. UNESCO Harmful Algae News No. 45. Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.5159201>

Yan, Z., S. Kamanmalek, N. Alamdari & M.R. Nikoo. 2024. Comprehensive insights into harmful algal blooms: a review of chemical, physical, biological, and climatological influencers with predictive modeling approaches. *Journal of Environmental Engineering* 150(4).

<https://doi.org/10.1061/joeduc.eeeng-7549>

Yee Duarte, J.A. 2025. ¿Qué nos dicen los moluscos bivalvos sobre la contaminación marina? *Ciencia y Mar* 29(87): 65-70.

<https://doi.org/10.59673/cym.v29i87.70>

Yuan, K.K., H.Y. Li & W.-D. Yang. 2024. Marine algal toxins and public health: insights from shellfish and fish, the main biological vectors. *Marine Drugs* 22(11): 510.

<https://doi.org/10.3390/md22110510>