



Mortalidad masiva de *Chelonia mydas agassizii* asociada a florecimientos algales nocivos

Mass mortality of *Chelonia mydas agassizii* associated with harmful algal blooms

Carlos Delgado-Trejo^{1,2} , Cutzi Bedolla-Ochoa^{1*}

¹ Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

² Centro de Biotecnología Genómica, Instituto Politécnico Nacional, Reynosa, Tamaulipas, México.

Historial

Manuscrito recibido: 29 de enero de 2025

Manuscrito aceptado: 20 de marzo de 2025

Manuscrito publicado: diciembre 2025

*Autor para correspondencia

Cutzi Bedolla-Ochoa

e-mail: cutzi.bedolla@umich.mx

ORCID: 0009-0003-7534-9346

Resumen

En este trabajo se reporta un varamiento masivo de machos adultos y hembras juveniles de *Chelonia mydas agassizii* (tortuga negra) en la costa de Michoacán. Se recolectaron muestras de agua en el mar, en las cuales se identificaron tunicados en cadena de la familia Salpidae (Thaliacea, *Salpa maxima*) y se obtuvieron muestras de sangre y contenido estomacal de individuos enfermos. Se observaron síntomas de intoxicación por fito-neurotoxinas en dos individuos juveniles de tortuga negra producida por dinoflagelados tóxicos de la especie *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* durante la ocurrencia de un florecimiento algal nocivo (FAN). El análisis de las muestras de sangre obtenidas de los individuos intoxicados, mostró una concentración letal de una fitotoxina llamada saxitoxina (STX) (0.32 µg STX/100 g a 1.22 µg STX/100 g y de 0.08 µg STX/ml a 0.17 µg STX/ml), cuyos niveles exceden la dosis mínima letal para humanos (0.9 µg/100 g). La mortalidad en machos adultos y hembras juveniles de *Chelonia mydas agassizii* podría deberse a la alta ingesta de salpas las cuales acumulan fitotoxina producida por *Pyrodinium* durante eventos de FAN.

Palabras clave: *Salpa maxima*, saxitoxina, *Chelonia mydas agassizii*, florecimientos algales nocivos.

Abstract

In this work, a mass stranding of adult male and juvenile female *Chelonia mydas agassizii* (black turtles) was reported in the coast of Michoacan. Water samples were collected from the sea, in which chain tunicates of the family Salpidae (Thaliacea, *Salpa maxima*) were identified and blood and stomach samples were obtained from diseased individuals. Symptoms of phyto-neurotoxin intoxication were observed in two juvenile black turtles produced by toxic dinoflagellates from the species *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* during the occurrence of a harmful algal bloom (HAB). Analysis of blood samples obtained from intoxicated individuals showed a lethal concentration of a phytotoxin called saxitoxin (STX) (0.32 µg STX/100 g to 1.22 µg STX/100 g and from 0.08 µg STX/ml to 0.17 µg STX/ml), whose levels exceed the minimum lethal dose for humans (0.9 µg/100 g). Mortality in adult males and juvenile females of *Chelonia mydas agassizii* may be due to high intake of salps, which accumulate phytotoxin produced by *Pyrodinium* during HAB events.

Keywords: *Salpa maxima*, saxitoxin, *Chelonia mydas agassizii*, harmful algal blooms.

Introducción

El fitoplancton marino está compuesto por una amplia variedad de especies de microalgas, entre las que se encuentran aquellas que son responsables de la toxicidad de los florecimientos algales nocivos (FAN) (Fogg 2002). Estos florecimientos son un fenómeno común en las aguas del litoral Pacífico y el Golfo de México. Consisten en un incremento masivo de fitoplancton que puede reducir el oxígeno y los nutrientes del agua,

escenciales para los organismos marinos, y que pueden liberar fitotoxinas nocivas para la biota acuática (Smayda *et al.*, 2001) y están asociado a condiciones particulares de temperatura, nutrientes y luz de las aguas costeras (Raymont 1980; Abbott *et al.*, 2009).

Los florecimientos algales nocivos pueden afectar la salud de los animales, ya que el incremento de su biomasa causa obstrucción branquial, y muchas especies producen toxinas (Band-Schmidt *et al.*, 2011). La acumulación de

estas toxinas en organismos que son consumidos por los seres humanos ha causado importantes pérdidas económicas en los maricultivos y problemas de salud pública en las zonas costeras. Por ello, se han realizado diversos estudios sobre estas algas nocivas en relación a su taxonomía, toxicidad, ecofisiología, distribución y presencia sobre organismos de importancia comercial (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2003; Cortés-Altamirano 2008; Núñez-Vázquez *et al.*, 2011; Perrault *et al.*, 2020).

La vida silvestre también se ve afectada por la acumulación de toxinas, que aumenta a través de los diferentes niveles tróficos (Anderson *et al.*, 1993; Rodger *et al.*, 1994), y en diferentes grupos de animales como peces, aves y mamíferos (Carmichael 1994; Anderson *et al.*, 1993; Rodger *et al.*, 1994). En el caso de las tortugas marinas, desde principios de los ochentas, existen reportes de mortalidad masiva asociada a la acumulación de toxinas en estos organismos. Por otra parte, se han reportado intoxicaciones severas y muerte en humanos por ingesta de animales marinos (principalmente filtradores como mejillones, ostiones, camarones) contaminados con estas fitotoxinas (Silas *et al.* 1984; Alvarado *et al.* 1997).

En noviembre de 2010, se registró un varamiento inusual de individuos de *Chelonia mydas agassizii* en el área de la reserva natural Colola-Maruata, uno de los principales sitios de anidación de esta población en la costa del Pacífico de México. La mayoría de los individuos estaban muertos y en avanzado estado de descomposición, lo que sugiere que la muerte se había producido en el mar, lejos de las playas de anidación. La causa de este evento se atribuye tentativamente a un florecimiento de algas nocivas que también causó intoxicación de cinco personas que consumieron mejillones por consumo de moluscos en la localidad de El Faro de Bucerías en la costa de Michoacán y que parecía estar presente a lo largo de las costas de Michoacán y Guerrero. El objetivo de este trabajo es documentar la relación de dicho evento con la mortalidad de tortuga marina, un acontecimiento inusual en la costa del Pacífico de México.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio se extiende a lo largo de la planicie costera de Michoacán, con 228 km de extensión lineal (Correa 1974). La cual comprende los municipios Lázaro Cárdenas, Aquila y Coahuayana, en el Pacífico centro occidente en la costa de Michoacán; con una topografía accidentada causada por su surgimiento reciente

(Eoceno), la costa presenta formaciones erosionadas, deltas fluviales y playas de acumulación. Colola y Maruata ($18^{\circ}30'0''$ - $18^{\circ}0'0''$ N, $103^{\circ}40'0''$ - $102^{\circ}50'0''$ O) son las principales playas de anidación de *Chelonia mydas agassizii*, se encuentran entre el Faro de Bucerías y el Delta del Río Nexpa (**Figura 1**).

Colecta de muestras y registro de datos

El estudio se realizó durante el mes de noviembre de 2010. Se realizó un censo de individuos muertos en 10 playas de anidación de tortugas marinas (Faro de Bucerías, La Llorona, Motín del Oro, Ximapa, Colola, Chiquusa, Maruata Viejo, Maruata, Paso de Noria y Cachan de Echeverría), a lo largo de la costa de Michoacán entre el 2 y el 8 de noviembre de 2010. Se realizaron dos muestreos en el mar, cerca de la costa, desde la playa Faro de Bucerías hasta la playa Colola, con el objetivo de localizar individuos muertos y/o enfermos que nos dieran más información sobre las posibles causas de mortalidad. Durante los recorridos en el mar, desde la embarcación se colectaron muestras de agua y tunicados en cadena (ascidias) que proliferaban en el agua cerca de la costa. Además, se capturaron dos ejemplares juveniles vivos pero con síntomas de intoxicación, de los cuales se obtuvieron muestras de contenidos estomacales y de sangre, las cuales se preservaron en refrigeración para su análisis en laboratorio. Por otro lado, se obtuvo información adicional sobre este evento de mortalidad masiva de tortugas que el personal de los campamentos tortugeros y habitantes de la zona presenciaron durante sus actividades en las playas de anidación de tortugas marinas.

Análisis de laboratorio

Los contenidos estomacales obtenidos de los individuos enfermos encontrados en el mar, se analizaron en el laboratorio para identificar a los organismos ingeridos por los individuos de *Chelonia mydas agassizii*. El contenido se lavó con agua destilada y se observó con un microscopio estereoscópico. Posteriormente, se analizaron 2.5 ml de sangre en el Laboratorio de Biotoxinas del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología ICML-UNAM para confirmar la presencia de saxitoxina con los procedimientos de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Laurence *et al.*, 2005) y ELISA Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay ABRAXIS; en ambos casos utilizando blancos procedentes de individuos sanos.

Resultados

Durante los muestreos realizados, se registraron 376 varamientos de *Chelonia mydas agassizii* muertas. De

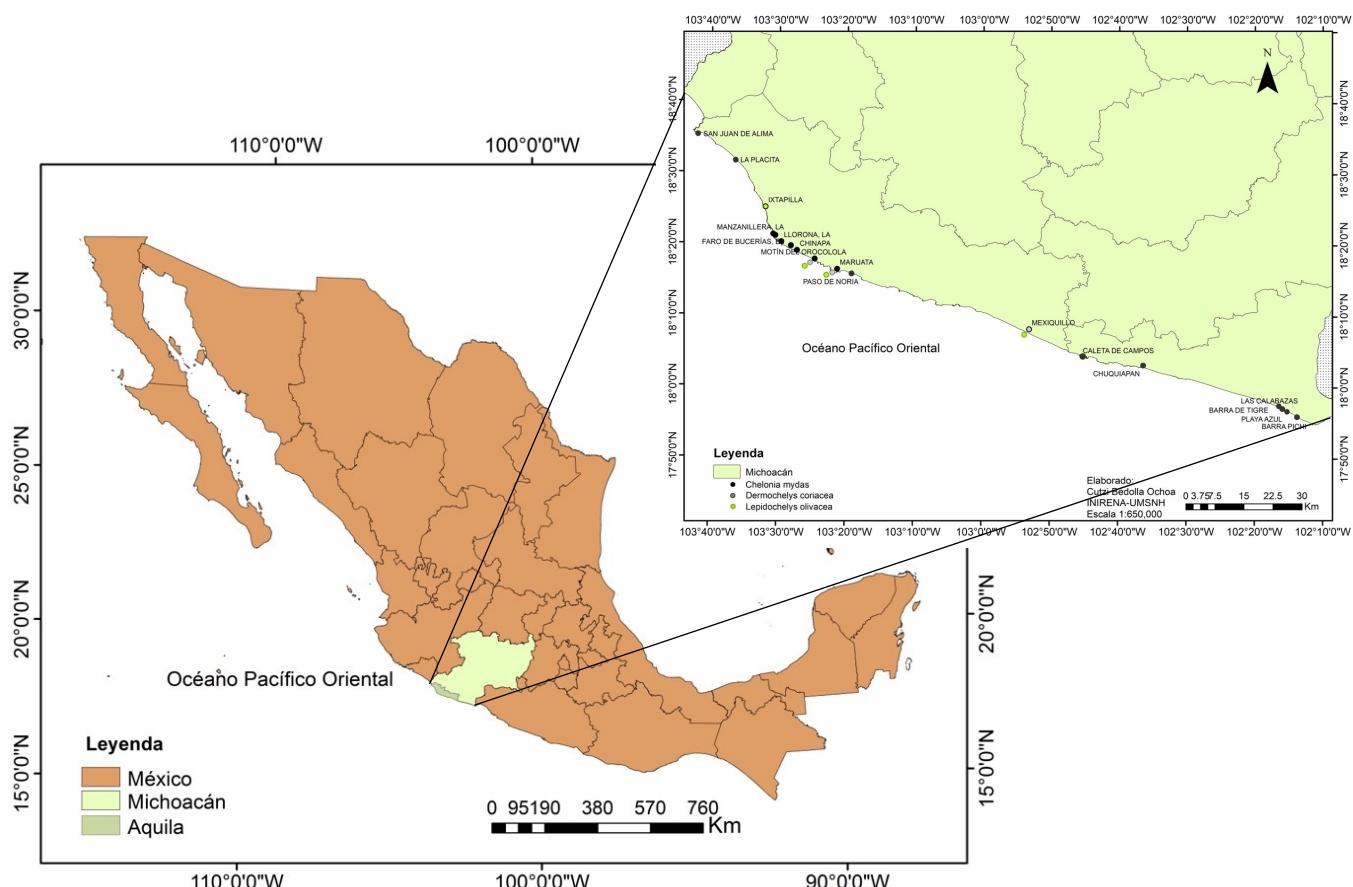


Figura 1. Playas de nidación en la costa de Michoacán donde se encontraron individuos muertos de *Chelonia mydas agassizii*.

los individuos registrados, 364 tenían tallas entre 58 y 62 cm (**Fig. 2**), que corresponden a ejemplares juveniles y preadultos que normalmente no se encuentran en el litoral costero de Michoacán. Los otros 12 especímenes fueron machos adultos de 67 a 78 cm de longitud curvo de carapacho (LCC). El síntoma de hipotensión sanguínea también fue notable y dificultó la toma de muestras de sangre de los ejemplares, que fueron extraídas de los senos cervicales situados en la parte dorsal del cuello de las tortugas marinas. Pocas horas después de ser capturados, ambos ejemplares murieron.

Los análisis de las muestras de contenido estomacal y de las muestras de agua fueron positivos para una especie de dinoflagelado tóxico *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (**Fig. 3**).

En las muestras de sangre se identificó la presencia de saxitoxina y del derivado neosaxitoxina, fitotoxinas paralizantes (**Fig. 4**). La cromatografía líquida de alta resolución o HPLC, reveló el derivado neosaxitoxina, límite de detección $0.15 \mu\text{g g}^{-1}$ STX eq., muestra control: $0.32 \mu\text{g STX /100 g}$; muestra problema: $1.22 \mu\text{g STX /100 g}$. El método ELISA detectó saxitoxina al 100% y sólo



Figura 2. Machos adultos de *Chelonia mydas agassizii* varados muertos en diferentes playas de anidación en la costa de Michoacán.

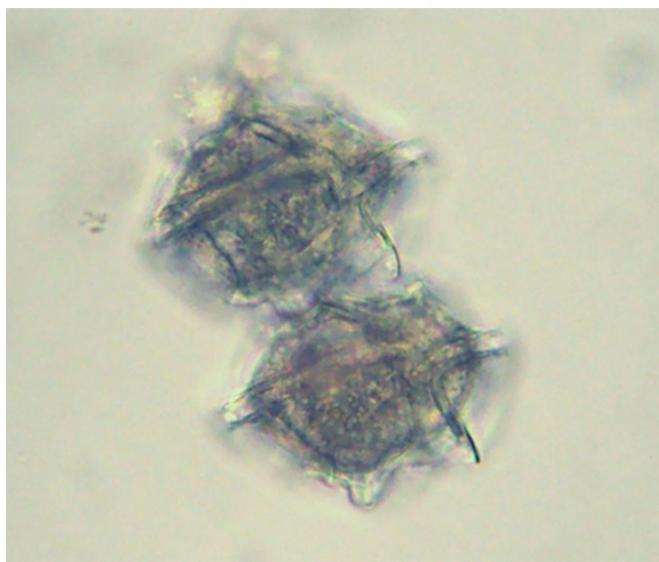


Figura 3. Dinoflagelado tóxico *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, se observan en dos individuos de *Chelonia mydas agassizii* (Imagen tomada de Zamudio et al. 2022).

1.3% de neosaxitoxina; muestra control: 0.08 ng STX/ml; muestra problema: 0.17 ng STX/ml. La saxitoxina es un alcaloide aislado de los dinoflagelados marinos y las cianobacterias que causa la intoxicación paralizante por mariscos, actúa como neurotoxina, bloqueante de los canales de sodio.

Discusión

Los niveles de saxitoxina encontrados en las muestras de sangre de los individuos enfermos fueron inferiores a los reportados en otros tejidos en tortugas marinas que murieron debido a eventos de toxinas paralizantes producidas por *Pyrodinium bahamense* en El Salvador (7.9-627.8 µg STX/µg/100g) (Licea 2008; Amaya 2014). Sin embargo, los niveles de saxitoxina en la sangre de *Chelonia mydas agassizii* encontrados en este estudio, son superiores a la dosis letal mínima para humanos que es de 0,9 µg/100g (Hernández-Orozco et al., 2006). El hecho de que los ejemplares estuvieran en avanzado estado de descomposición sugiere que la muerte de los individuos se produjo en una zona alejada de la costa y posteriormente ocurrió su varamiento en las diferentes playas de anidación, posiblemente en las zonas pelágicas de alimentación frecuentadas por tortugas juveniles y preadultas.

Los dos ejemplares adultos de *Chelonia mydas agassizii* capturados durante las prospecciones desde la embarcación mostraban claros síntomas de intoxicación por saxitoxina producida por algunas especies de dinoflagelados, como una notable debilidad muscular

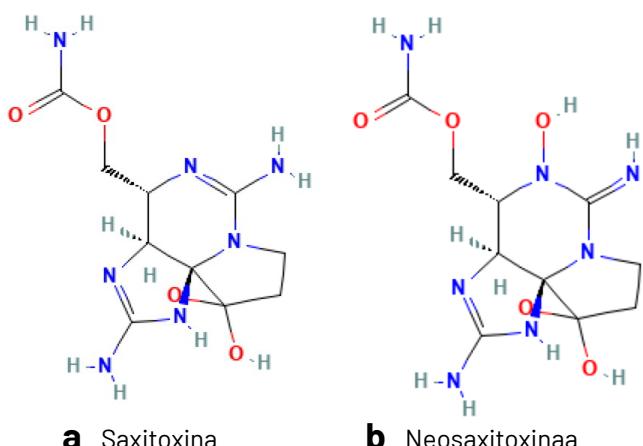


Figura 4. Estructuras químicas de la saxitoxina y neosaxitoxina. **a)** La saxitoxina $C_{10}H_{17}N_7O_4$ tiene un peso molecular de 299,29 g/mol. **b)** La neosaxitoxina $C_{10}H_{17}N_7O_5$ es una pirrolopurina que lleva un sustituyente hidroxi en el átomo de nitrógeno en la posición 5. (Imagen tomada de National Center for Biotechnology Information, 2025).

visible en la flacidez de las aletas y el cuello; respiración rápida y expulsión de líquido viscoso transparente por la boca (Ahmed 1992; Kao 1993). Los análisis de las muestras de contenido estomacal y de las muestras de agua permitieron identificar *Salpa maxima* (Thaliacea) una especie de tunicados en cadena que filtran agua para alimentarse y que pueden acumular grandes cantidades de dinoflagelados en sus sistemas digestivo y excretor.

En los pelets de excremento de las Salpas se identificó a *Pyrodinium bahamense* var. *Compressum* especie de dinoflagelado tóxico que produce saxitoxina, que causa la enfermedad llamada “parálisis facial por ingesta de moluscos” en humanos. *P. bahamense* es la especie que más intoxicaciones por FAN ha causado en las Costas Mexicanas, asociándose a mortalidades masivas de peces y tortugas marinas (Orellana-Cepeda et al., 1998), también se ha asociado con intoxicaciones en humanos por consumo de moluscos como almejas, mejillones y ostiones y mortalidad en peces y mamíferos marinos en las aguas frente a la costa de Jalisco y Nayarit de la costa del Pacífico Mexicano (Sierra-Beltrán et al., 1998; Morquecho, 2008; Meave et al., 2010; Ronsón, 1999).

La acumulación de toxinas paralizantes como saxitoxina en organismos que son consumidos por humanos durante la ocurrencia de FAN, han causado importantes pérdidas económicas en la maricultura y problemas de salud pública en las zonas costeras (Alonso-Rodríguez et al., 2003; Krock et al., 2007; Cortés-Altamirano et al., 2008; Ignatiades et al., 2010; Núñez-Vázquez et al., 2011; López-Cortés et al., 2015). En los organismos de vida silvestre, la intoxicación

debida a la ingestión de dinoflagelados tóxicos, puede tener efectos a diferentes niveles tróficos, a través de la acumulación de toxinas en peces, mamíferos y aves que pueden causar su muerte por efectos físicos o químicos (Taylor *et al.*, 1985; Carmichael 1992; Clement y Lembeye 1993; Anderson *et al.*, 1993; Rodger *et al.*, 1994). En la costa del Pacífico Mexicano se han documentado casos de mortalidad masiva de tortugas marinas relacionado con la presencia de microalgas productoras de biotoxinas (Orellana-Cepeda *et al.*, 1998; Cordero-Tapia *et al.*, 2014; Ley-Quiñonez *et al.*, 2020). En las costas de Guerrero y Michoacán durante 1995, ocurrió un evento de FAN causando la muerte de varios individuos (Alvarado *et al.*, 1997) similar a lo ocurrido en noviembre de 2010.

Para tortugas marinas, existen reportes de los años ochentas en el Océano Índico (Silas *et al.*, 1984), que mencionan la acumulación de neurofitotoxinas en *Chelonia mydas* (tortuga verde) y *Eretmochelys imbricata* (tortuga carey), cuyo consumo provocó graves intoxicaciones y la muerte de personas y animales domésticos; estos casos fueron tan notorios que el fenómeno de muerte por consumo de estas especies se denominó inicialmente como quelonotoxicación (Yasumoto 1998; Fussy *et al.*, 2007; Semmoura *et al.*, 2024); más frecuentemente, cuando la bioacumulación se produce en filtradores como los moluscos bivalvos, su consumo puede extender los efectos de la intoxicación a los humanos.

En este caso, el FAN ocurrió durante la segunda semana de noviembre de 2010, cuando cuatro pescadores que habían consumido mejillones (*Mytilus* sp.) en la localidad de El Faro de Bucerías, en la costa de Michoacán a 15 km de la playa de Colola, experimentaron síntomas similares a los causados por la intoxicación por saxitoxina, como taquicardia, vómitos intensos, parálisis facial, debilidad muscular y dificultad para respirar; afortunadamente, después de tres semanas en el hospital, se informó de que estaban fuera de peligro. Las ascidias (tunicados en cadena) también estuvieron presentes en grandes cantidades en las muestras de agua y de contenido estomacal, estas, forman grandes cadenas que abundan y proliferan cerca de la costa durante la ocurrencia de florecimientos algales nocivos, como el que se produjo durante este episodio de mortalidad masiva de tortugas marinas. La elevada abundancia de estas ascidias probablemente promovió el consumo por los juveniles de *Chelonia mydas agassizii* (tortuga negra), que durante esta etapa de su ciclo de vida son omnívoros como los machos adultos de esta especie, a diferencia de las hembras, que son generalmente herbívoras cuando

son adultas. A diferencia de las hembras adultas, los machos adultos tienen hábitos alimentarios generalistas y pueden incluir salpas y medusas en su dieta. Lo que explicaría por qué la mayoría de los casos registrados en el evento de mortalidad de 2010, incluyeron alrededor de 600 ejemplares en las costas de Michoacán y Guerrero, la mayoría juveniles o preadultos de tortuga negra.

Los FAN ocurren de manera natural, pero las actividades humanas que perturban los ecosistemas parecen jugar un papel determinante en el incremento de la ocurrencia de algunos florecimientos. Entre ellos se incluyen los productos químicos procedentes de la agricultura, las aguas residuales y la escorrentía urbana (Carmichael *et al.*, 2016; Lapointe *et al.*, 2015). La tasa de crecimiento de los FAN depende de múltiples factores (Roelke *et al.*, 2001), como la temperatura del agua (Smayda *et al.*, 1997; Paerl *et al.*, 2008), el fenómeno de surgencia (Tester *et al.*, 1997), la mezcla inducida por el viento (Kahru *et al.*, 1981; Kononen *et al.*, 1996), el aumento de la concentración de nutrientes y la contaminación, las alteraciones de la red trófica, las especies introducidas, las modificaciones del flujo de agua y el cambio climático han sido todos factores implicados (Landsberg 2002; Van Dolah *et al.*, 2003; Kirkpatrick *et al.*, 2004; Flewelling *et al.*, 2005; Walsh *et al.*, 2006; Pierce y Henry 2008; Landsberg *et al.*, 2009; Fleming *et al.*, 2011; Fire y Van Dolah 2012). La duración habitual de una floración de algas puede oscilar entre días y varios meses, aunque la vida individual del fitoplancton es de sólo unos días (Azanza *et al.*, 2018).

Conclusiones

La causa de la mortalidad masiva de juveniles, preadultos y adultos de *Chelonia mydas agassizii* en noviembre de 2010 en la costa de Michoacán y Guerrero, pudo ser ocasionada por la ingesta de saxitoxina, una neurofitotoxina que se acumula en tunicados en cadena (*Salpa maxima*) durante FAN. Los florecimientos algales nocivos y los episodios de mortalidad masiva de tortugas marinas son dos fenómenos que ocurren en las zonas costeras pero que no suelen estar relacionados. Estos fenómenos de FAN pueden considerarse una nueva amenaza para la recuperación de algunas poblaciones de tortugas marinas como la tortuga negra en Michoacán; la mortalidad masiva de individuos, sobre todo adultos reproductores, puede tener efectos importantes e inmediatos sobre el número de adultos reproductores en la población. Por otra parte, dependiendo del impacto y la frecuencia, este tipo de eventos podría tener repercusiones en la recuperación de la población

de esta especie amenazada, en la medida en que la mortalidad masiva de preadultos puede tener un efecto significativo en la tasa de reclutamiento del segmento reproductor de la población. Este estudio sugiere que la intoxicación y mortalidad de tortugas marinas causada por la proliferación de algas nocivas debe considerarse una amenaza para la recuperación de las poblaciones de tortugas marinas.

Referencias

- Abbott GM, Landsberg JH, Reich AR, Steidinger KA, Ketchen S, Blackmore C (2009). Resource guide for public health response to harmful algal blooms in Florida: Based on recommendations of the Florida Harmful Algal Bloom Task Force Public Health Technical Panel. <http://hdl.handle.net/1834/40356>.
- Ahmed FE (1992). Assessing and managing risk due to consumption of seafood contaminated with micro-organisms, parasites, and natural toxins in the US. *International Journal of Food Science & Technology* 27(3):243-260. doi:10.1111/j.1365-2621.1992.tb02026.x.
- Alonso-Rodríguez R, Páez-Osuna F (2003). Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219(1-4):317-336. doi:10.1016/S0044-8486(02)00509-4.
- Altamirano R C, Sierra-Beltrán AP (2008). Biotoxins from freshwater and marine harmful algal blooms occurring in Mexico. *Toxin Reviews* 27(1):27-77.
- Alvarado DJ, Ceballos CG (1997). Mortalidad de tortuga negra en el Pacífico Mexicano: posible implicación de la marea roja. *Ciencia Nicolaita* 15:77-82.
- Amaya O, Ruiz G, Espinoza J, Rivera W. (2014). Saxitoxin analyses with a receptor binding assay (RBA) suggest PSP intoxication of sea turtles in El Salvador. *Harmful Algae News* 48:6-7.
- Andersen RJ, Luu HA, Chen DZ, Holmes CF, Kent ML, Le Blanc M, Williams DE (1993). Chemical and biological evidence links microcystins to salmon ‘netpen liver disease’. *Toxicon* 31(10):1315-1323. doi:10.1016/0041-0101(93)90404-7
- Azanza RV, Brosnahan ML, Anderson DM, Hense I, Montresor M (2018). The Role of Life Cycle Characteristics in Harmful Algal Bloom Dynamics. In: Glibert PM, Berdalet E, Burford MA, Pitcher GC, Zhou M (eds), Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. Springer International Publishing, Cham. Vol 232, pp 133-161. doi:10.1007/978-3-319-70069-4_8
- Band-Schmidt CJ, Bustillos-Guzman JJ, Lopez-Cortes DJ, Nuñez-Vázquez E, Hernandez-Sandoval FE (2011). The actual state of the study of harmful algal blooms in Mexico. *Hidrobiológica* 21(3):381-413. <http://www.scielo.org.mx>
- Carmichael WW (1994). Status report on planktonic cyanobacteria (blue-green algae) and their toxins. *Sci. Am.* 270:78-83.
- Carmichael WW, Boyer GL (2016). Health impacts from cyanobacteria harmful algae blooms: Implications for the North American Great Lakes. *Harmful Algae* 54:194–212. doi:10.1016/j.hal.2016.02.002
- Cordero-Tapia A, Reséndiz E (2014). Reporte Médico y Forense de la Tortuga Amarilla (*Caretta caretta*) en Bahía de Ulloa B.C.S. México. en: *Informe Final de Investigación del Estudio Sobre las Causas de muerte de la Tortuga Amarilla (*Caretta caretta*) en la Costa Occidental de Baja California Sur (Golfo de Ulloa)*. UABCs, CIBNOR, CICIMAR, y CONANP. Pp. 115,122 a 195.
- Correa PG (1974). Geografía del Estado de Michoacán. Tomo I. *Geografía Física*. Gobierno del Estado de Michoacán. México.
- Cortés-Gómez AA, Bermudez D, Harfush M, Villanueva R, Karam-Martínez SG, Neri S, Santiago I, Herrera JE, Reséndiz E (2020). Protocolo de atención a tortugas marinas afectadas por florecimientos algales nocivos. Available from: https://www.researchgate.net/publication/350531378_Proocolo_de_atencion_a_tortugas_marinas_afectadas_por_florecimientos_algales_nocivos [accessed Oct 11 2024].
- Clement A, Lembeye G (1993). Phytoplankton monitoring program in the fish farming of South Chile In: Smayda & Shimizu (eds) *Toxic Phytoplankton Blooms in the sea*. Elsevier, Amsterdam. pp 223-228
- FAO (2005) Biotoxinas marinas. www.fao.org/docrep/008/y5486s/y5486s00.htm
- Fire SE, Van Dolah FM (2012). Marine biotoxins: emergence of harmful algal blooms as health threats to marine wildlife. In: Aguirre AA, Ostfeld R, Daszak P. (Eds.), New Directions in Conservation Medicine: Applied Cases of Ecological Health. Oxford University Press, New York, pp. 374–389.
- Fogg GE (2002). Harmful algae—a perspective. *Harmful algae* 1(1):1-4.
- Fussy A, Pommier P, Lumbroso C, De Haro L (2007). Chelonitoxism: new case reports in French Polynesia and review of the literature. *Toxicon* 49(6):827-832. doi:10.1016/j.toxicon.2006.12.002
- Flewellings LJ, Naar JP, Abbott JP, Baden DG, Barros NB, Bossart GD, Bottein MYD, Hammond DG, Haubold EM, Heil CA, Henry MS, Jacocks HM, Leighfield TA, Pierce RH, Pitchford TD, Rommel SA, Scott PS, Steidinger KA, Truby EW, Van Dolah FM, Landsberg JH (2005). Red tides and marine mammal mortalities. *Nature* 435(7043):755–756. doi:10.1038/nature435755a.
- Fleming LE, Kirkpatrick B, Backer LC, Walsh CJ, Nierenberg K, Clark J, Reich A, Hollenbeck J, Benson J, Cheng YS, Naar J, Pierce R, Bourdelais AJ, Abraham WM, Kirkpatrick G, Zaias J, Wanner A, Mendes E, Shalat S, Hoagland P, Stephan W, Bean J, Watkins S, Clarke T, Byrne M, Baden DG (2011). Review of Florida red tide and human health effects. *Harmful Algae* 10(2):224–233. doi:10.1016/j.hal.2010.08.006
- Hernández-Orozco M, Hernández-Orozco L, Gárate-Lizárraga I (2006). Síndrome de envenenamiento paralizante por consumo de moluscos. *Revista Biomedica* 17(1):45-60.

- Ignatiades L, Gotsis-Skretas O (2010). A Review on Toxic and Harmful Algae in Greek Coastal Waters, E. Mediterranean Sea. *Toxins* (Basel) 2(5):1019-1037. [doi:10.3390/toxins2051019](https://doi.org/10.3390/toxins2051019) PMCID: PMC3153226.
- Kahru M, Aitsam A, Elken J (1981). Coarse-Scale Spatial Structure of Phytoplankton Standing Crop in Relation to Hydrography in the Open Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5:311–318.
- Kao CY (1993). Paralytic shellfish poisoning. In: *Algal Toxins in Seafood and Drinking Water* (Falconer IR, ed). London: Academic Press, pp. 75–86.
- Kirkpatrick B, Fleming LE, Squicciarini D, Backer LC, Clark R, Abraham W, Benson J, Cheng YS, Johnson D, Pierce R, Zaias J, Bossart GD, Baden DG (2004). Literature review of Florida red tide: implications for human health effects. *Harmful Algae* 3(2):99–115 [doi:10.1016/j.hal.2003.08.005](https://doi.org/10.1016/j.hal.2003.08.005)
- Kononen K, Kuparinne J, Mäkelä K, Laanemets J, Pavelson J, Nömmann S (1996). Initiation of cyanobacterial blooms in a frontal region at the entrance to the Gulf of Finland, Baltic Sea. *Limnol. Oceanogr.* 41:98–112. [doi:10.4319/lo.1996.41.1.0098](https://doi.org/10.4319/lo.1996.41.1.0098)
- Krock B, Seguel CG, Cembella AD (2007). Toxin profile of *Alexandrium catenella* from the Chilean coast as determined by liquid chromatography with fluorescence detection and liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Harmful Algae* 6(5):734–744. [doi:10.1016/j.hal.2007.02.005](https://doi.org/10.1016/j.hal.2007.02.005)
- Landsberg JH (2002). The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms. *Reviews in Fisheries Science* 10(2):113–390. [doi:10.1080/20026491051695](https://doi.org/10.1080/20026491051695)
- Landsberg JH, Flewelling LJ, Naar J (2009). *Karenia brevis* red tides, brevetoxins in the food web, and impacts on natural resources: decadal advancements. *Harmful Algae* 8(4):598–607 [doi:10.1016/j.hal.2008.11.010](https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.11.010)
- Lapointe BE, Herren LW, Debortoli DD, Vogel MA (2015). Evidence of sewage-driven eutrophication and harmful algal blooms in Florida's Indian River Lagoon. *Harmful Algae* 43:82–102. [doi:10.1016/j.hal.2015.01.004](https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.01.004)
- Lawrence JF, Niedzwiedek B, Menard C (2005). Quantitative determination of paralytic shellfish poisoning toxins in shellfish using prechromatographic oxidation and liquid chromatography with fluorescence detection: collaborative study. *Journal of AOAC International* 88(6):1714–1732. [doi:10.1093/jaoac/88.6.1714](https://doi.org/10.1093/jaoac/88.6.1714)
- Ley-Quiñónez CP, Hart CE, Alonso-Rodríguez R, Leal-Moreno R, Martínez-López A, Sahagún I, Zavala-Norzagárate AA (2020). Paralytic Shellfish Poisoning (PSP) as a Cause of Sea Turtle Mortality in Puerto Vallarta, Mexico. *Herpetological Review* 51(3):489–494
- Licea S, Navarrete A, Bustillos J, Martínez B (2008). Monitoring a Bloom of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* in the El Salvador and the southern coast of Mexico (November 2005–March 2006). In Proceedings of the 12th International Conference on Harmful Algae. International Society for the Study of Harmful Algae. Intergovernmental Oceanographic Commission–United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). París, France (pp. 86–89).
- López-Cortés D, Bustillos-Guzmán JJ, Hernández-Sandoval FE, Chávez-López S, Band Schmidt CJ, Núñez-Vázquez EJ (2015). Florecimientos algales nocivos: prevención, control y mitigación. Recursos Naturales y Sociedad, Vol. 1 (pp. 35–49): [doi:10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0004](https://doi.org/10.18846/RENAYSOC.2015.01.01.01.0004)
- Meave del Castillo ME, Zamudio-Resendiz ME, Herrera-Galindo E (2010). Bloom of *Alexandrium cf. tamarensis* (Dinophyta) in Oaxaca's Coast, Mexico, during May 2009. KALLIOPI A. PAGOU, 114.
- Morquecho L (2008). Morphology of *Pyrodinium bahamense* Plate (Dinoflagellata) near Isla San José, Gulf of California, Mexico. *Harmful Algae* 7(5):664–670 [doi:10.1016/j.hal.2008.02.003](https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.02.003)
- National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 56947150, Saxitoxin. Retrieved March 15, 2025 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Saxitoxin>.
- National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 21117946, Neosaxitoxin. Retrieved March 15, 2025 from <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Neosaxitoxin>.
- Núñez-Vázquez EJ, Gárate-Lizarraga I, Band-Schmidt CJ, Cordero-Tapia A, López-Cortés DJ, Sandoval FEH, Heredia-Tapia A, Bustillos-Guzmán JJ (2011). Impact of harmful algal blooms on wild and cultured animals in the Gulf of California. *Journal of Environmental Biology* 32(4):413.
- Orellana-Cepeda E, Martínez-Romero E, Muñoz-Cabrera L, López-Ramírez P, Cabrera-Mancilla E, Ramírez-Camarena C (1998). Toxicity associated with blooms of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* in southwestern Mexico. In *Harmful algae*. Proc. VIII Int. Conf. On Harmful Algae. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. Vigo, Spain pp. 60.
- Paerl HW, Huisman J (2008). Climate: Blooms Like It Hot. *Science*. 320:57–58. DOI: [10.1126/science.1155398](https://doi.org/10.1126/science.1155398)
- Pierce RH, Henry MS (2008). Harmful algal toxins of the Florida red tide (*Karenia brevis*): natural chemical stressors in South Florida coastal ecosystems. *Ecotoxicology* 17(7):623–631. [doi:10.1007/s10646-008-0241-x](https://doi.org/10.1007/s10646-008-0241-x)
- Perrault JR, Perkins CR, Ajemian MJ, Bresette MJ, Mott CR, Page-Karjian A (2020). Harmful algal and cyanobacterial toxins in foraging green turtles (*Chelonia mydas*) in Florida's Big Bend. *Toxicon*: X 5:100020. [doi:10.1016/j.toxcx.2019.100020](https://doi.org/10.1016/j.toxcx.2019.100020)
- Ronsón PJA (1999). Análisis retrospectivo y posibles causas de mareas rojas tóxicas en el litoral del sureste mexicano (Guerrero, Oaxaca, Chiapas). *Ciencia y Mar, Rev. Univ. del Mar.* septiembre/diciembre. III(9):49–55.

Raymont JEG (1980). The algae of the phytoplankton. *Plankton and Productivity in the Oceans* 1:133-191.

Rodger HD, Turnbull T, Edwards C, Codd GA (1994). Cyanobacterial (blue-green algal) bloom associated pathology in brown trout, *Salmo trutta* L., in Loch Leven, Scotland. *Journal of Fish Diseases* 17(2):177-181. [doi:10.1111/j.1365-2761.1994.tb00211.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1994.tb00211.x)

Roelke D, Buyukates Y (2001). The Diversity of Harmful Algal Bloom-Triggering Mechanisms and the Complexity of Bloom Initiation. *Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J.* 7:1347-1362. [doi:10.1080/20018091095041](https://doi.org/10.1080/20018091095041)

Sierra-Beltran AP, Cruz A, Núñez E, Del Villar LM, Cereceros J, Ochoa JL. (1998). An overview of the marine food poisoning in Mexico. *Toxicon* 36(11):1493-1502 [doi:10.1016/S0041-0101\(98\)00139-1](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(98)00139-1)

Silas EG, Bastian FA (1984). Turtle Poisoning. Central Marine Fisheries Research Institute, P.B. no. 1912, Cochin 682018, India. February, pp. 62-75.

Semmouri I, Janssen CR, Asselman J (2024). Health risks associated with the consumption of sea turtles: A review of chelonitoxism incidents and the presumed responsible phycotoxins. *Science of The Total Environment* 176330. [doi:10.1016/j.scitotenv.2024.176330](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176330)

Smayda TJ (1997). Harmful algal blooms: Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol. Oceanogr.* 42:1137-1153. [doi:10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1137](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1137)

Smayda TJ, Reynolds CS (2001). Community assembly in marine phytoplankton: application of recent models to harmful dinoflagellate blooms. *Journal of Plankton Research* 23(5):447-461. [doi:10.1093/plankt/23.5.447](https://doi.org/10.1093/plankt/23.5.447)

[plankt/23.5.447](https://doi.org/10.1093/plankt/23.5.447)

Taylor FJ, Taylor NJ, Walsby JR (1985). A bloom of the planktonic diatom, *Cerataulina pelagica*, off the coast of northeastern New Zealand in 1983, and its contribution to an associated mortality of fish and benthic fauna. *International Review of Hydrobiolgy* 70(6):773-795. [doi:10.1002/iroh.19850700602](https://doi.org/10.1002/iroh.19850700602)

Tester PA, Steidinger KA (1997). *Gymnodinium breve* red tide blooms: Initiation, transport, and consequences of surface circulation. *Limnol. Oceanogr.* 42:1039-1051. [doi:10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1039](https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.5.part_2.1039)

Van Dolah FM, Doucette GJ, Gulland FMD, Rowles TL, Bossart GD (2003). Impacts of algal toxins on marine mammals. In: Vos JG, Bossart GD, Fournier M, O'Shea TJ (Eds.), *Toxicology of Marine Mammals*. Taylor and Francis, pp 247-269.

Walsh CJ, Luer CA, Noyes DR, 2005. Effects of environmental stressors on lymphocyte proliferation in Florida manatees, *Trichechus inanatus latirostris*. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 103(3-4):247-256. [doi:10.1016/j.vetimm.2004.09.026](https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2004.09.026)

Yasumoto T (1998). Fish poisoning due to toxins of microalgal origins in the pacific. *Toxicon* 36(11):1515-1518. doi:[https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(98\)00142-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0041-0101(98)00142-1)

Zamudio Resendiz ME, Escarcega Bata AdJ, Núñez Resendiz ML, Meave del Castillo ME (2022). Reconocimiento de dos variedades taxonómicas de *Pyrodinium bahamense* (Gonyaulacales, Dinophyceae): var. bahamense y var. compressum. *Acta Botanica Mexicana* (129):e1967. doi:10.21829/abm129.2022.1967