Artículo de investigación

Acta Botanica Mexicana

Especies potencialmente nocivas de fitoplancton en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Golfo de México: composición, riqueza y densidad celular

Potentially harmful phytoplankton species in the Lobos-Tuxpan Reef System, Gulf of Mexico: composition, richness, and cell density

Itzel Alondra García-Cruz[1], Adán Guillermo Jordán-Garza[2], José Antolín Aké-Castillo[3], Carlos Francisco Rodríguez-Gómez[2,4]

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Los arrecifes de coral como los que forman el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) tienen una gran importancia ecológica y social. Dentro de sus componentes principales, pero menos estudiados, está el fitoplancton. En este grupo existen especies, toxigénicas o no, que pueden causar Florecimientos Algales Nocivos (FAN), con consecuencias nocivas para el socio-ecosistema. Este estudio buscó identificar especies potencialmente nocivas, estimar su densidad celular y reconocer las condiciones ambientales en el SALT en dos periodos del año.

Métodos: Se realizaron muestreos durante la temporada de lluvias y nortes (2024-2025), en los seis arrecifes del SALT. Las variables ambientales fueron medidas, se colectaron muestras de agua del estrato superficial y de fondo y se realizaron arrastres con red de fitoplancton (64 µm). Se determinó la composición, riqueza y densidad celular de especies no toxigénicas y toxigénicas.

Resultados clave: Se detectaron 32 especies potencialmente nocivas, de las cuales 24 fueron no toxigénicas y ocho potencialmente toxigénicas. De las especies nocivas no toxigénicas, se observaron especies presentes en temporada de lluvias y nortes como *Tripos furca* var. *furca*, *Tripos fusus*, *Tripos muelleri* y *Tripos dens*. De las especies relacionadas con la producción de toxinas resaltaron *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum lima*, *Pyrodinium bahamense* y géneros como *Alexandrium* y *Pseudo-nitzschia*. Las densidades celulares variaron entre 59 cel/l y 422 cel/l y la especie con mayor densidad celular fue *Cylindrotheca closterium*.

Conclusiones: El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan presenta una alta riqueza de especies potencialmente nocivas que no habían sido reportadas. Sin embargo, por sus bajas densidades celulares no se encontraron en un FAN. La riqueza de estas especies nocivas se mantuvo estable a lo largo del año de observación, lo que sugiere que son especies generalistas. Algunos taxa como *Dynophysis caudata*, *Prorocentrum lima*, *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium* y *Pseudo-nitzschia* son relevantes y requieren seguimiento dado su potencial toxigénico.

Palabras clave: ecosistemas costeros, ensambles de fitoplancton, especies residentes, potencial tóxico, influencia costera.

Abstract:

Background and Aims: Coral reefs, such as those that make up the Lobos-Tuxpan Reef System (SALT), are of great ecological and social importance. Among their main components, yet one of the least studied, is phytoplankton. Within this group, there are species—toxic or otherwise—that can cause harmful algal blooms with detrimental consequences for the socio-ecosystem. The objective of this study was to identify potentially harmful species, estimate their cell density, and characterize environmental conditions in the SALT during two periods of the year.

Methods: Sampling was conducted during the rainy season and the season of trade winds (2024-2025) in the six reefs of the SALT. Environmental variables were measured, water samples were collected from the surface and bottom layers, and phytoplankton net tows (64 µm) were performed. The composition, species richness, and cell density of non-toxigenic and toxigenic species were determined.

Key results: Thirty-two potentially harmful species were detected, of which 24 were non-toxigenic and eight were potentially toxigenic. Among the non-toxigenic harmful species, some were observed during both seasons, such as *Tripos furca* var. *furca, Tripos fusus, Tripos muelleri,* and *Tripos dens*. Among the species associated with toxin production, *Dinophysis caudata, Prorocentrum lima, Pyrodinium bahamense,* and genera such as *Alexandrium* and *Pseudo-nitzschia* stand out. Cell densities ranged from 59 cells/l to 422 cells/l, and the species with the highest cell density was *Cylindrotheca closterium.*

Conclusions: The Lobos-Tuxpan Reef System harbors a wealth of potentially harmful species that had not been previously recorded. However, due to their low cell densities, they were not detected in an algal bloom. The abundance of these harmful species remained stable throughout the observation year, suggesting that they are generalist species. Some taxa, such as *Dinophysis caudata, Prorocentrum lima*, *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium*, and *Pseudo-nitzschia*, are of concern and require monitoring given their toxigenic potential.

Key words: coastal ecosystems, coastal influence, phytoplankton assemblages, resident species, toxic potential.

[1]Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Programa de Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros, Carretera Tuxpan - Tampico km 7.5, Col. Universitaria, 92870 Tuxpan, Veracruz, México.
[2]Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Carretera Tuxpan - Tampico km 7.5, Col. Universitaria, 92870 Tuxpan, Veracruz, México.
[3]Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Calle Hidalgo 617, Col. Río Jamapa, 94290 Boca del Río, Veracruz, México.
[4]Autor para la correspondencia: carlosrodriguez05@uv.mx

Recibido: 3 de junio de 2026.
Revisado: 24 de julio de 2026.
Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 30 de septiembre de 2026.
Publicado Primero en línea: 27 de octubre de 2026.
Publicado: Acta Botanica Mexicana 133 (2026).

Citar como: García-Cruz, I. A., A. G. Jordán-Garza, J. A. Aké-Castillo y C. F. Rodríguez-Gómez. 2026. Especies potencialmente nocivas de fitoplancton en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Golfo de México: composición, riqueza y densidad celular. Acta Botanica Mexicana 133: e2620. DOI: https://doi.org/10.21829/abm133.2026.2620

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Los arrecifes de coral son ecosistemas de suma importancia que albergan una parte significativa de biodiversidad marina (Limbu y Kyewalyanga, 2015; Racault et al., 2015) y proveen a la población numerosos bienes y servicios (Santavy et al., 2021). Estos ambientes poseen gran riqueza biológica y típicamente se desarrollan en aguas oligotróficas (Ezzat et al., 2016; Carreón-Palau et al., 2021; Lesser, 2021). En este contexto, el fitoplancton es uno de los componentes cruciales de los arrecifes coralinos, se localizan en la base de las redes tróficas y sustentan el funcionamiento del ecosistema, sirviendo de alimento a infinidad de organismos (Horta-Puga, 2010; Racault et al., 2015). En ocasiones, el incremento en la densidad celular o biomasa de algunas especies del fitoplancton puede dar paso a proliferaciones conocidas como florecimientos algales nocivos (FAN) (Anderson et al., 2012; McGowan, 2023).

Los FAN son eventos donde las poblaciones de ciertas especies de fitoplancton proliferan, aumentando su densidad celular y/o produciendo una biomasa excesiva, y en algunos casos se presenta también la producción de toxinas, lo cual resulta perjudicial para los ecosistemas, los organismos y la salud humana (McGowan, 2023; Lan et al., 2024). Generalmente, se clasifican como especies nocivas no tóxicas a aquellas que, si bien no producen toxinas, su proliferación en exceso podría alterar al ecosistema (Lundholm et al., 2009) En este sentido, la nocividad de las especies estaría ligada a múltiples factores. Uno de ellos, por ejemplo, es la existencia de grupos de diatomeas y dinoflagelados cuyas estructuras puntiagudas pueden dañar las branquias de peces, provocando daños mecánicos (Lassus et al., 2016; Roberts et al., 2019). Asimismo, también resultan nocivas aquellas especies que con su alta biomasa causan la muerte de organismos por hipoxia en los cuerpos de agua (Omura et al., 2012; Lassus et al., 2016). Por otro lado, las que se denominan potencialmente toxigénicas son capaces de producir toxinas que afectan a la biota y a los humanos a través de su contacto o ingestión (Lassus et al., 2016).

Las especies formadoras de FAN incluyen dinoflagelados, diatomeas y cianobacterias. Sin embargo, los dinoflagelados son en su mayoría los que producen toxinas en el ambiente marino. Están representados por géneros como *Alexandrium* Halim, *Prorocentrum* Ehrenberg, *Dinophysis* Ehrenberg, *Pyrodinium* L.Plate, *Karenia* Gert Hansen & Moestrup, *Gambierdiscus* R.Adachi & Y.Fukuyo, *Gonyaulax* Diesing, entre otros (Lundholm et al., 2009; Poot-Delgado et al., 2025). Las toxinas mayormente reconocidas en dinoflagelados son saxitoxinas, ácido okadaico, brevetoxinas, ciaguatoxinas, azaspirácidos, yesotoxinas o palitoxinas (Pulido, 2016; Johnson et al., 2026), cuyos efectos en humanos son principalmente neurológicos y gastrointestinales. En el caso de diatomeas productoras de toxinas, las responsables son algunas especies del género *Pseudo-nitzschia* H.Peragallo que tienen la capacidad de producir ácido domoico, una neurotoxina que causa la Intoxicación Amnésica por Mariscos (IAM) (Gajski et al., 2024). La producción de toxinas, reducción de irradiancia y condiciones de hipoxia como efecto colateral de los FAN pueden afectar a los ambientes arrecifales, causando pérdida de biodiversidad, como ocurrió en el florecimiento del dinoflagelado *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy en la India (Bauman et al., 2010; Raj et al., 2020). Incluso algunos FAN han coincidido con eventos de blanqueamiento de coral en el Pacífico oriental tropical (Palmer et al., 2022; Barraza et al., 2023).

Los principales taxa formadores de FAN reportados en el Golfo de México son *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, *Karenia brevis* (C.C.Davis) Gert Hansen & Moestrup, *Peridinium quadridentatum* (F.Stein) Gert Hansen, *Prorocentrum minimum* (Pavillard) J.Schiller, *Pseudo-nitzschia* spp., y *Pyrodinium bahamense* L.Plate (Aké-Castillo y Poot-Delgado, 2016). En algunos arrecifes de la zona central del Golfo de México como el Sistema Arrecifal Veracruzano, se han reportado diversos florecimientos de especies tóxicas y no tóxicas (Aké-Castillo et al., 2014; Rodríguez-Gómez et al., 2020). Por otro lado, existen zonas casi inexploradas como el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), ubicado al norte del estado de Veracruz, donde los estudios que se han realizado se ubican en solo uno de los seis arrecifes del sistema, el arrecife Tuxpan (Aké-Castillo y Rodríguez-Gómez, 2025), o están dirigidos a grupos específicos como las diatomeas (Abad-Aguilar, 2015).

Bajo este contexto, aunque ha sido estudiada la composición y riqueza fitoplanctónica de uno de los arrecifes del SALT, aún existe poca información sobre especies

nocivas y los riesgos asociados a su proliferación. Por lo tanto, los objetivos de este estudio fueron identificar las especies potencialmente nocivas y su densidad celular en dos periodos del año con condiciones ambientales contrastantes.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan se ubica en la zona norte del suroeste del Golfo de México, frente a los municipios Tamiahua y Tuxpan, Veracruz, México (Fig. 1). Tiene una extensión de 30571.15 hectáreas y está conformado por seis arrecifes emergentes divididos en dos polígonos: al norte los arrecifes Blanquilla, Medio y Lobos y al sur los arrecifes Tanhuijo, Enmedio y Tuxpan (DOF, 2009, 2014). El clima de la zona es del grupo cálido subgrupo cálido tipo subhúmedo, Aw2, con régimen de lluvias de verano y temperatura media anual mayor a 22 °C (Ávila-García et al., 2025). Se presentan tres temporadas climáticas, las cuales tienen variabilidad interanual: secas (marzo a mayo), lluvias (junio a agosto) y nortes (septiembre a febrero) (De la Lanza-Espino et al.,1998; Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; SMN, 2023).

Muestreo

Se realizaron muestreos en dos periodos del año, de acuerdo con las características climáticas del área de estudio: 1) de junio a agosto del 2024 en la temporada de lluvias, y 2) de septiembre de 2024 a febrero del 2025 en la temporada de nortes (Cuadro 1). Se estableció una estación de muestreo por cada arrecife en la zona de sotavento, y en cada estación se tomaron duplicados, con excepción de Tanhuijo y Tuxpan en el primer periodo.

Se colectaron muestras superficiales de agua de manera directa y de agua del fondo con una botella Van Dorn de acuerdo con las características de cada arrecife (5-8 m). Se tomaron dos submuestras por cada estrato (superficie y fondo): 1) en recipientes de 1 l, los cuales fueron mantenidas en una hielera sin exposición a la luz para análisis de clorofila-*a*, y 2) en frascos de 125 ml que fueron preservadas con 0.6 ml de Lugol ácido, de acuerdo con lo sugerido por Throndsen (1978) para análisis cuantitativos del fitoplancton.

Además, se realizaron arrastres horizontales en línea recta durante 5 minutos con una red de fitoplancton (luz de malla de 64 µm). Dichas muestras fueron fijadas con 4% de formaldehído volumen final, de acuerdo con las indicaciones de Tangen (1978), para explorar la diversidad de fitoplancton. En cada estación, se midió la temperatura, salinidad y pH en superficie y fondo con un multiparamétrico Novaka ZEAS-77327 (Shenzhen, China).

Una vez en el laboratorio se realizó el filtrado de las muestras de 1 l, utilizando membranas de nitrocelulosa de apertura de poro de 0.45 µm, ya que este tamaño es el umbral de la fracción particulada (Wotton, 1994). Se utilizó el método tricromático de Aminot y Rey (2000), usando acetona al 90% y un espectrofotómetro VELAB VE-5000V (Ciudad de México, México), para estimar la concentración de clorofila-*a*.

Para analizar la composición de especies se observaron las muestras de red con un microscopio compuesto VELAB VE-B (Ciudad de México, México), con objetivos de 10×, 40× y 100×. Para el grupo de las diatomeas, se realizó una limpieza con H_2O_2 (peróxido de hidrógeno) y posteriormente se realizaron montajes permanentes de acuerdo con el método de Reid (1978), con el fin de observar el detalle de sus estructuras morfológicas. Se empleó el método Utermöhl para realizar conteos de fitoplancton (Hasle, 1978), se utilizaron cámaras de sedimentación de 20 ml, y un microscopio invertido WESCO modelo Verta-Vu 7000 Series (Idaho, USA). El conteo fue realizado recorriendo toda la cámara sedimentada con aumento de 25×.

La identificación de las especies se realizó con base en su morfología, para lo cual se tomaron medidas morfométricas, se utilizaron guías y literatura especializada (Okolodkov, 2010, 2014; Omura et al., 2012; Parsons et al., 2012; Almazán-Becerril et al., 2016a; Aké-Castillo et al., 2018). Se procuró la identificación a nivel especie en la mayoría de los casos, por lo que se excluyeron aquellos taxa en los que solo se obtuvo el género, a excepción de *Alexandrium* y *Pseudo-nitzschia*. En el caso de este último se consideró el complejo al que pertenecen de acuerdo con lo sugerido en la literatura por Parsons et al. (2012) y Spaulding et al. (2021).

Las especies potencialmente nocivas fueron clasificadas como nocivas no toxigénicas y toxigénicas con base

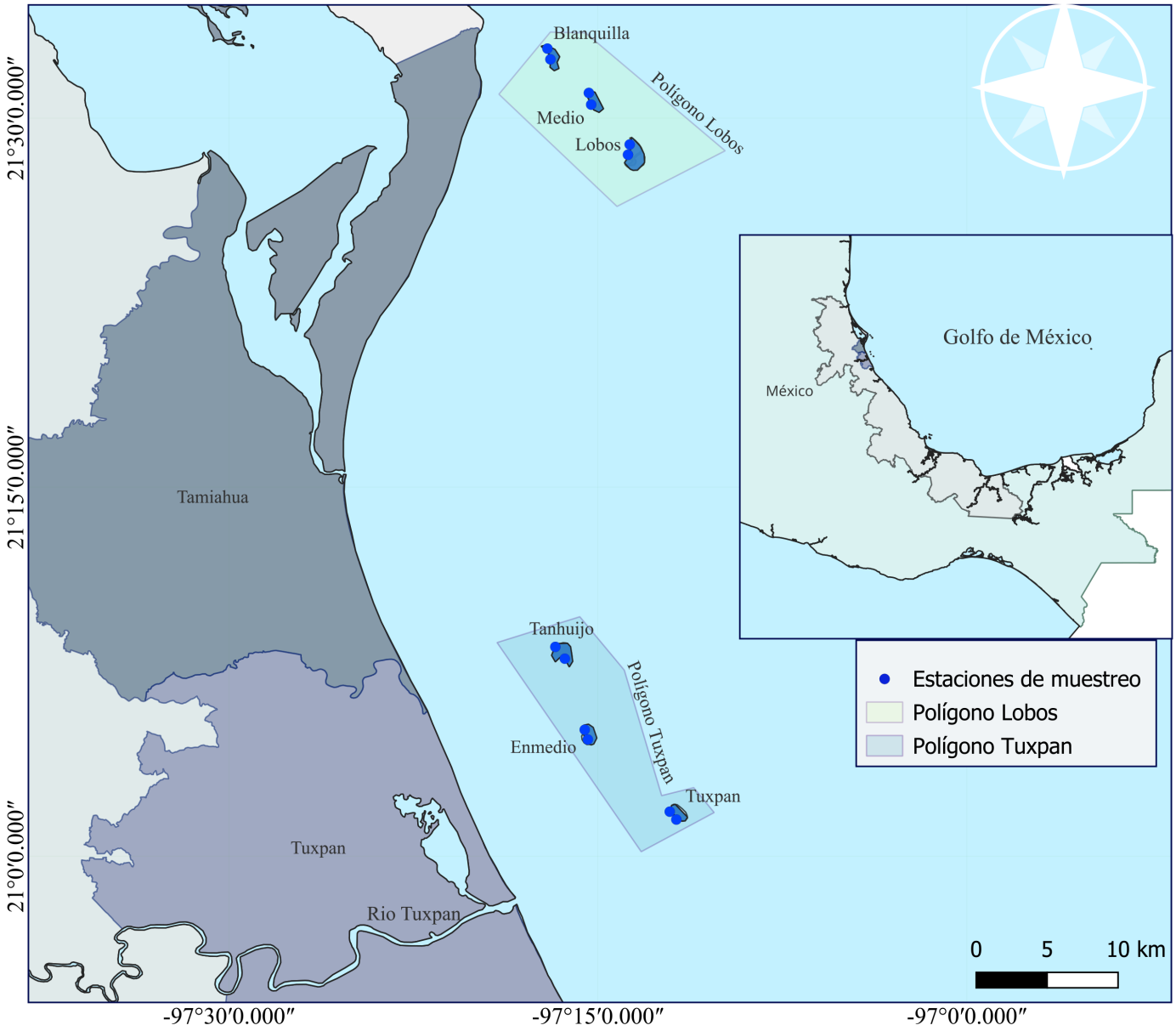


Figura 1: Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México, resaltando los seis arrecifes emergentes, de norte a sur: Blanquilla, Medio, Lobos, Tanhuijo, Enmedio y Tuxpan.

en la "Taxonomic Reference List of Harmful Microalgae" (Lundholm et al., 2009) y consultando la literatura (Omura et al., 2012; Aké-Castillo et al., 2014). Para verificar los niveles de organización taxonómica y las autoridades de especies se consultó la página Algaebase (Guiry y Guiry, 2026).

Se aplicaron pruebas de t para probar las diferencias significativas de cada variable ambiental entre estratos y temporadas utilizando el programa RStudio v. 4.4.2 (R Core Team, 2024). Asimismo, se obtuvo el porcentaje de aparición de las especies potencialmente nocivas en las muestras de red (%R) y de botella (%B), considerando el total de muestras de cada técnica.

Resultados

Las condiciones ambientales durante los periodos de muestreo se caracterizaron por temperaturas significativamente más altas en lluvias que en nortes con promedios de 28.9 y 24.8 °C, respectivamente (Cuadro 1). En cuanto a la salinidad y el pH, no se encontraron diferencias significativas: la salinidad se mantuvo en un promedio de 32.5 en lluvias y 32.1

Cuadro 1: Promedio y desviación estándar (entre paréntesis) de variables ambientales presentadas durante los periodos de muestreo en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México. TA=Tanhuijo, EN=Enmedio, TU=Tuxpan, BL=Blanquilla, ME=Medio, LO=Lobos. Se resaltan en negritas los promedios por temporadas, las letras representan grupos homogéneos después de una prueba de t ($p<0.05$).

Periodo	Arrecife	Fecha	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	pH	Cl-*a* (mg/m^3)
			28.9(0.8) a	**32.5(0.9) a**	**7.8(0.1) a**	**1.02(0.7) a**
	TA	18.06.2024	29.8(0.1)	33.8(0.1)	8.1(0.2)	0.41(0)
	TU	06.07.2024	28.5 (0)	32.2(0.6)	7.7(0)	1.05(1.2)
Lluvias	EN	06.07.2024	29.5(1.2)	31.8(0.7)	7.7(0.1)	2.04(0.8)
	BL	07.08.2024	29(0.6)	32.3(0.2)	7.7(0.1)	0.97(0.5)
	ME	13.08.2024	28.3(0.1)	32.3(0.1)	7.8(0.1)	0.49(0.2)
	LO	13.08.2024	28.7(0.9)	32.9(0)	7.8(0.1)	0.86(0.2)
			24.8(2.9) b	**32.1(0.6) a**	**7.8(0.2) a**	**0.68(0.4) a**
	TA	29.09.2024	27.3(0.2)	31.4	7.8(0.1)	0.94(0.3)
	TU	12.11.2024	28.5(0.6)	32.3	7.8(0)	0.39(0.3)
Nortes	EN	03.12.2024	28.5	32.9	7.9(0.1)	0.89(0.6)
	BL	05.02.2025	21.7(0.5)	31.7	7.8(0.1)	0.6(0.2)
	ME	05.02.2025	22.4(0.4)	31.9	7.6(0.4)	0.75(0.5)
	LO	05.02.2025	22.4(0.9)	32.6	7.8(0)	0.51(0.5)

en nortes, mientras que el pH tuvo un promedio de 7.8 en ambas temporadas (Cuadro 1). De igual manera, aunque la concentración de clorofila-*a* fue mayor en lluvias (promedio de 1.02 mg/m^3) que en nortes (promedio de 0.68 mg/m^3), no existieron diferencias significativas. Asimismo, a nivel estrato no existieron diferencias significativas en ninguna de las variables ($p>0.05$)

Con respecto a la riqueza y composición de fitoplancton se detectaron 271 taxa. El Apéndice muestra 32 especies categorizadas con potencial nocivo, de las cuales 24 correspondieron a no toxigénicas y ocho a potencialmente toxigénicas (Fig. 2). De las especies no toxigénicas, 10 fueron dinoflagelados (Fig. 2D, M-G, I-N), 13 diatomeas (Fig. 2O-X, AA-CC) y un silicoflagelado (Fig. 2DD), de las cuales 18 fueron registradas en las lluvias y 22 en nortes. Las especies potencialmente toxigénicas se constituyeron de cinco dinoflagelados (Fig. 2A-C, E, H), una diatomea (Fig. 2Y-Z) y dos cianobacterias (Fig. 2EE-FF); en ambos periodos se registraron seis en el primer periodo y siete en el segundo. Los arrecifes con mayor registro de especies nocivas en el primer periodo de muestreo fueron Blanquilla y Lobos con 12 y 11 especies, respectivamente, mientras que en el segundo periodo fue Medio con 21 especies, seguido de Blanquilla con 17 (Apéndice).

Las especies *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont, *Tripos furca* var. *furca* (Ehrenberg) F.Gómez, *Tripos fusus* (Ehrenberg) F.Gómez, *Tripos muelleri* Bory y *Tripos dens* (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F.Gómez se presentaron en todos los sitios en los dos periodos estudiados; su porcentaje de aparición fue de entre 63.3 y 86.4% (Apéndice). Asimismo, destacó la presencia de *Pseudo-nitzschia* complejo *delicatissima* y *Palmerina hardmaniana* (Greville) G.R.Hasle, con una frecuencia de aparición de 54.5 y 63.6%, respectivamente, y se observó su presencia en cinco arrecifes en ambos periodos. De igual manera se observó a *Prorocentrum lima* (Ehrenberg) F.Stein en todos los arrecifes en muestras de conteo, excepto en Medio, con una frecuencia de 11.40%. Asimismo, *Pyrodinium bahamense* se presentó en cuatro de los seis arrecifes en el segundo periodo. Por otro lado, los taxa *Tripos furca* var. *hircus* (Schröder) F.Gómez y *Alexandrium* sp. solo se presentaron una vez en los arrecifes Tanhuijo y Enmedio, respectivamente (Apéndice).

En cuanto a la densidad celular de las especies no toxigénicas osciló entre 59 cel/l y 422 cel/l (Fig. 3). La mayor concentración se registró en el segundo periodo y correspondió a la diatomea *Cylindrotheca closterium* con 422

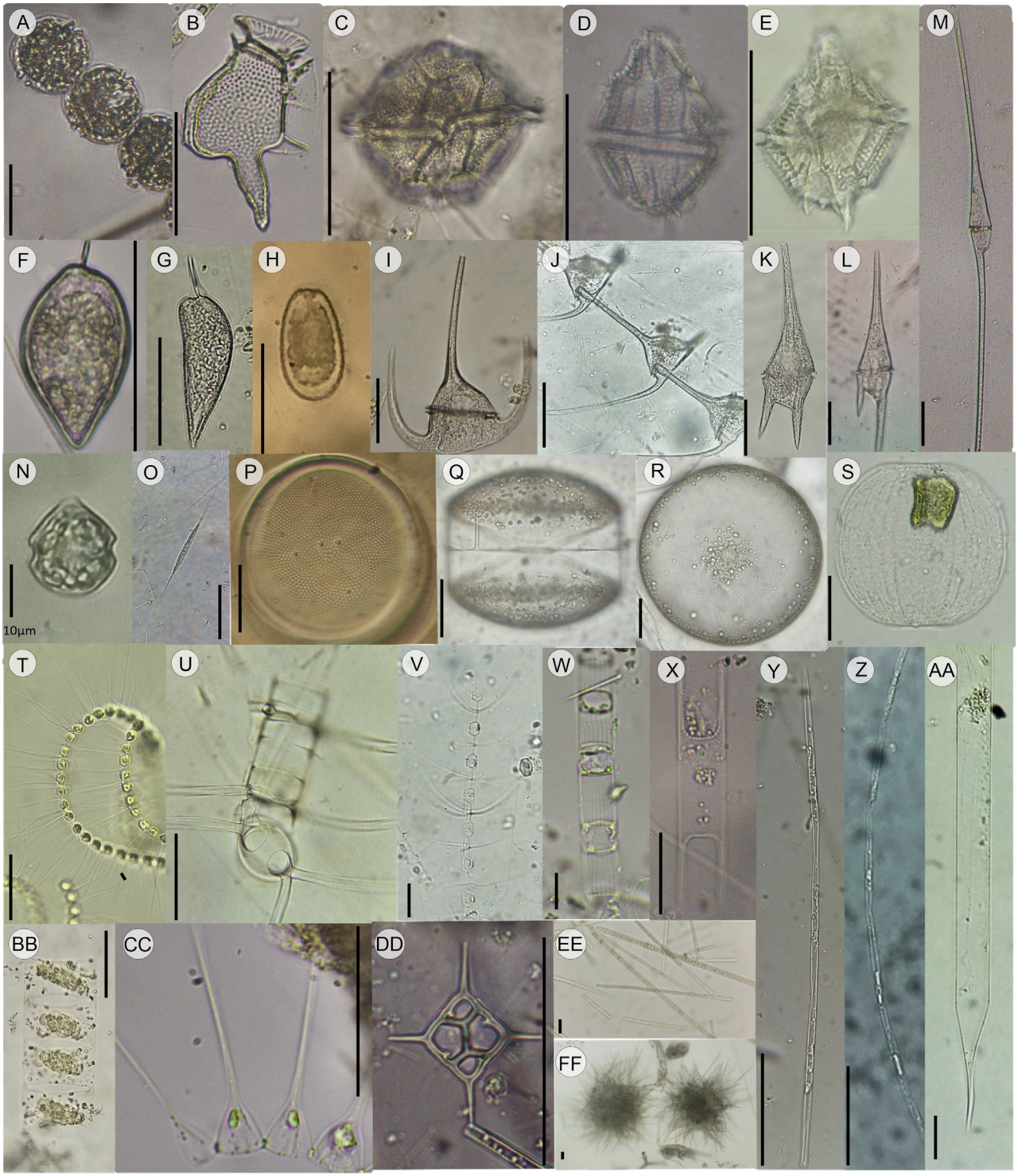


Figura 2: Especies de fitoplancton potencialmente nocivo en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México. A. *Alexandrium* sp.; B. *Dinophysis caudata* Kent; C. *Pyrodinium bahamense* L.Plate; D. *Gonyaulax polygramma* F.Stein; E. *Gonyaulax spinifera* (Claparède & Lachmann) Diesing; F. *Prorocentrum micans* Ehrenberg; G. *Prorocentrum gracile* F.Schütt; H. *Prorocentrum lima* (Ehrenberg) F.Stein; I. *Tripos muelleri* Bory; J. *Tripos dens* (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F.Gómez; K. *Tripos furca* var. *hircus* (Schröder) F.Gómez; L. *Tripos furca* var. *furca* (Ehrenberg) F.Gómez; M. *Tripos fusus* (Ehrenberg) F.Gómez; N. *Scrippsiella acuminata* (Ehrenberg); O. *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin; P. *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg; Q. *Coscinodiscus concinnus* W.Smith; R. *Coscinodiscus wailesii* Gran & Angs; S. *Palmerina hardmaniana* (Greville) G.R.Hasle; T. *Chaetoceros curvisetus* Cleve; U. *Chaetoceros coarctactus* Lauder; V. *Chaetoceros laciniosus* F.Schütt; W. *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve s.l.; X. *Hemiaulus hauckii*; Y-Z. *Pseudo-nitzschia* complejo *delicatissima* (Cleve) Heiden; AA. *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B.G.Sundström; BB. *Eucampia zodiacus* Ehrenberg; CC. *Asterionellopsis glacialis* (Castracane) Round; DD. *Dictyocha fibula* Ehrenberg; EE. *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont; FF. *T. thiebautii* Gomont. Dinoflagelados A-N, Diatomeas O-CC, Silicoflagelado DD, Cianobacterias EE-FF. Escala de barra 50 µm, a excepción de N que es 10 µm.

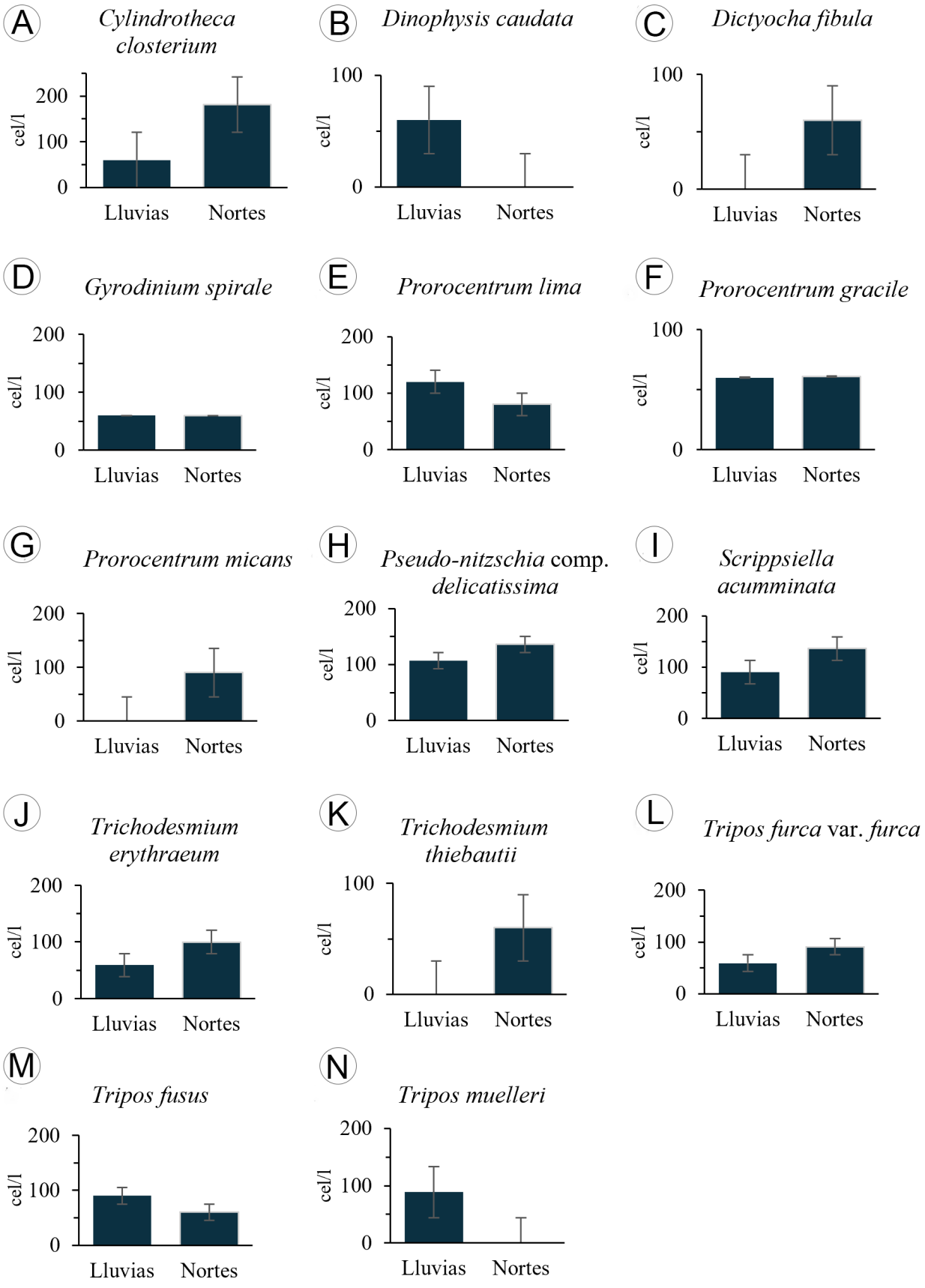


Figura 3: Promedio de densidades celulares de especies potencialmente nocivas en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México, en lluvias y nortes. Las barras indican el error estándar.

cel/l. Por su parte las especies potencialmente toxigénicas presentaron densidades entre 59 cel/l a 295 cel/l. Destacó la diatomea *Pseudo-nitzschia* complejo *delicatissima* con un máximo de 295 cel/l. Los dinoflagelados *Dinophysis caudata* Kent y *Tripos muelleri* presentaron densidades celulares promedio de 60 cel/l y 89 cel/l en el primer periodo, en contraste con el silicoflagelado *Dictyocha fibula* Ehrenberg, el cual presentó 60 cel/l en el segundo periodo, así como *Prorocentrum micans* Ehrenberg y *Trichodesmium thiebautii* Gomon que presentaron 90 cel/l y 59 cel/l, respectivamente.

Discusión

Se detectaron 32 taxa potencialmente nocivos en el SALT con densidades celulares bajas. La presencia de especies toxigénicas sugiere un potencial de producción de toxinas, más que un riesgo asociado a FAN de alta biomasa. Por ello, es necesario enfocar la atención al monitoreo de estas especies y a la detección de toxinas como ácido okadaico, ácido domoico y saxitoxinas.

Los 32 taxa reconocidos como potencialmente nocivos representan 11.8% de las especies registradas de fitoplancton en la zona de estudio, lo que evidencia una riqueza de especies relativamente alta, rebasando a las 29 especies nocivas reportadas para todo el estado de Veracruz por Aké-Castillo et al. (2014). Esta alta riqueza de especies en la región del norte de Veracruz coincide con lo reportado para toda la comunidad del fitoplancton por Navarrete-Bautista y Rodríguez-Gómez (2025).

Los resultados obtenidos en el SALT indican que alrededor de 68.7% de las especies potencialmente nocivas estuvieron presentes en ambos periodos de muestreo, lo que indica una alta recurrencia temporal de estas especies. Este patrón sugiere que una proporción importante de la comunidad nociva del fitoplancton persiste entre temporadas climáticas contrastantes. De acuerdo con Bernardi Aubry et al. (2022), las especies que se mantienen a lo largo del tiempo, sin importar que las condiciones cambien, se catalogan como generalistas, tal como registraron en un estudio en Italia, donde encontraron que 10% de las especies de la comunidad se mantuvieron a lo largo del año. Esta diferencia observada respecto a lo reportado en el SALT se debe a que este estudio se centró en las especies con potencial nocivo sin considerar a toda la comunidad fitoplanctónica. Ya que la mayor parte de especies nocivas fueron persistentes, es posible un riesgo potencial por FAN en ambas temporadas, lo que sugiere una mayor tolerancia ambiental, especialmente a los cambios de temperatura, al poder reaccionar ante cualquier cambio que favorezca su proliferación (Anderson et al., 2012; Wells et al., 2015).

En cuanto a los grupos detectados, las 14 especies de dinoflagelados aportan casi 50% de la riqueza, lo que coincide con lo reportado para la zona costera de Tuxpan (laguna de Tampamachoco, estuario del río Tuxpan y playa costera) por Pérez-Olmedo (2017), quien registró 17 especies de dinoflagelados potencialmente nocivos. De igual manera coinciden los géneros *Tripos*, *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Prorocentrum*, *Alexandrium* sp. y especies principales, *Pyrodinium bahamense* y *Scrippsiella acuminata*. La presencia compartida de estas especies en la zona costera de Tuxpan y los arrecifes del SALT sugiere una conectividad, la cual ha sido reconocida entre ambientes lagunares y arrecifes en el estado de Veracruz con otros grupos biológicos como peces, aves y mamíferos marinos por Aké-Castillo y Rodríguez-Gómez (2019). Por otro lado, la presencia de dinoflagelados es relevante ya que algunos pueden producir diversos tipos de intoxicaciones, como se ha reportado en distintos ambientales arrecifales (Pérez-Morales, et al., 2015; Rodríguez-Gómez et al., 2015; Almazán-Becerril et al., 2016b; Irola-Sansores et al., 2020).

En este sentido, la presencia de *Alexandrium* en el arrecife Enmedio (el polígono Tuxpan) es relevante debido a su asociación con especies productoras de saxitoxinas, causantes de la intoxicación paralizante por moluscos (IPM) (Tillmann y John, 2002; Lassus et al., 2016). Paredes-Flores et al. (2026) reportan que no se han logrado detectar concentraciones altas de estas toxinas en moluscos en las lagunas cercanas de Tampamachoco y Tamiahua. Por otro lado, el registro de este género en el SALT y los registros previos realizados por Orduña-Medrano (2012) y Pérez-Olmedo (2017) en la laguna de Tampamachoco y el estuario del río Tuxpan, respectivamente, refuerzan la idea de conectividad biológica regional entre ambientes costeros del norte de Veracruz, especialmente en la temporada de lluvias. Con respecto a la identidad de la especie, en el Golfo de México se ha registrado la presencia de *Alexandrium balechii*

(Steidinger) Balech, *Alexandrium cohorticula* (Balech) Balech, *Alexandrium concavum* (Gaarder) Balech, *Alexandrium tropicale* Balech, *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech, y *Alexandrium monilatum* (J.F.Howell) Balech (Steidinger et al., 2009; Orduña-Medrano, 2012).

De igual manera, *Pyrodinium bahamense*, que se presentó en la temporada de nortes, también es una especie que puede producir saxitoxinas. De acuerdo con Morquecho (2019) y Poot-Delgado et al. (2025), esta especie ha proliferado el sur del Golfo de México en diferentes temporadas a lo largo del año, por lo cual es una especie altamente resistente ante variaciones ambientales. En este sentido, es posible que en el norte de Veracruz la especie se encuentre adaptada también en amplios intervalos, aunque mayormente favorecida por las condiciones ambientales de la temporada de nortes.

Los dinoflagelados *Dinophysis caudata* y *Prorocentrum lima,* registrados en este estudio, son reconocidos por la producción de ácido okadaico, el cual causa intoxicación diarreica por moluscos (IDM) (Ajani et al., 2016; Muciño-Márquez et al., 2018). En el caso de *Dinophysis caudata* que presentó una frecuencia de aparición de casi 50% en muestras de red, puede considerarse como una especie común en Veracruz, ya que su presencia en el SALT es consistente con lo reportado para el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), donde se reporta como especie tóxica en bajas densidades (Aké-Castillo et al., 2014; Rodríguez-Gómez et al., 2020). Por su parte, las bajas densidades celulares de *Prorocentrum lima* contrastan con el SAV, ya que Okolodkov et al. (2007) reportaron alta dominancia durante el año como especie epífita. Asimismo, Aké-Castillo et al. (2014) la clasificaron como especie tóxica en altas densidades, mientras que, en otra zona del Golfo de México como Yucatán, Martínez-Cruz et al. (2015) también destacaron su alta dominancia como especie bentónica. La presencia de *Prorocentrum lima* en este estudio sugiere la existencia de procesos de resuspensión, razón por la cual pudo encontrarse en la columna de agua, ya que su tipo de hábitat es bentónico.

Asimismo, destaca la presencia del género de diatomeas *Pseudo-nitzschia*, que previamente ha sido reportado por Zamudio-Reséndiz (1998), Lundholm et al. (2003) y Méndez-Torres et al. (2020) para la zona costera de Tuxpan, y por Abad-Aguilar (2015) para el arrecife Tuxpan. Este género posee especies productoras de ácido domoico. De acuerdo con Paredes-Flores et al. (2026), se han detectado valores bajos de ácido domoico en la laguna de Tampamachoco. En este trabajo las densidades celulares fueron bajas, lo que es consistente con lo reportado por Méndez-Torres et al. (2020) para la temporada de nortes. Sin embargo, está presente en más de 50% de las muestras de red en ambos periodos, por lo que su presencia recurrente en el SALT, junto con la detección de ácido domoico en sistemas cercanos, sugiere la necesidad de evaluar el potencial toxigénico en la región.

Las especies de diatomeas no toxigénicas presentaron bajas densidades celulares y baja frecuencia de aparición. *Cylindrotheca closterium* destaca al presentar las densidades celulares más altas de todo el estudio. Esta especie ha sido ampliamente registrada en el Golfo de México (Aké-Castillo et al., 2014; Poot-Delgado et al., 2014; Gárate-Lizárraga y Esqueda-Escárcega, 2016; Poot-Delgado y Pérez-Morales, 2023) y ha formado proliferaciones, como en el FAN de 2022 en Yucatán donde se reportó la muerte de toneladas de peces de al menos 54 especies, de las cuales muchas fueron de interés comercial (Merino-Virgilio et al., 2014, 2019; Aguilar-Medrano et al., 2023). Por otro lado, la diatomea *Palmerina hardmaniana* constituye un nuevo registro en la zona norte de Veracruz, además de presentar una alta frecuencia. Esta especie ha sido asociada a mortandad de peces e invertebrados en el Océano Índico (Subramanian y Purushothaman, 1985; Sathishkumar et al., 2021), por lo que resulta importante incluir estas dos especies en futuros monitoreos, ya que el norte de Veracruz es un sitio de extracción de recursos pesqueros.

En el caso de las cianobacterias, la especie *Trichodesmium erythraeum* presentó una alta frecuencia a lo largo de todo el estudio, aunque con bajas densidades celulares. Esta especie, junto con *Trichodesmium thiebautii,* han sido reconocidas por la formación de FAN en Bahía de la Paz (Gárate-Lizárraga y Muciño-Márquez, 2012) y el SAV (Aké-Castillo, 2011), pero sin efectos dañinos. A pesar de que estas especies están catalogadas como toxigénicas (Lundholm et al., 2009), su presencia resulta relevante debido a su capacidad de modificar la disponibilidad de nutrientes, especialmente en los ambientes oligotróficos como lo son los ecosistemas arrecifales (Aké-Castillo, 2011; Bergman et al., 2013).

En conjunto, los resultados indican que el SALT alberga una comunidad diversa de fitoplancton potencialmente nocivo, cuya baja densidad celular es consistente con valores bajos de clorofila-*a,* lo que coincide con los primeros reportes de la zona norte por Zamudio-Reséndiz (1998), quien clasificó las aguas del norte de Veracruz como oligotróficas. Este patrón sugiere un sistema con riesgo bajo por FAN de elevada biomasa, pero con presencia constante de especies con potencial toxigénico, aunque los límites de células permisibles establecidos por la COFEPRIS (2016) no fueron rebasados en ningún caso. Sin embargo, se requiere un monitoreo continuo, pues el riesgo puede aumentar, dadas las tendencias de eutrofización y aumento en la temperatura del agua (Ulloa et al., 2017; Gobler, 2020). Futuros estudios podrían enfocarse en la realización de monitoreos intra e interanuales, así como la cuantificación de toxinas en el agua y el uso de técnicas de microscopía electrónica, fluorescencia y molecular para la identificación específica de especies con potencial tóxico.

Conclusiones

El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan posee una riqueza de especies nocivas alta, la cual no había sido reportada con anterioridad, lo que constituye un aporte al conocimiento de los arrecifes del suroeste del Golfo de México. A pesar de ello, las bajas densidades celulares sugieren que el riesgo por formación de FAN de alta biomasa es bajo. La riqueza de especies nocivas se mantiene a lo largo del año, y su variación está dada principalmente por la composición de especies toxigénicas. En general se presentaron densidades bajas de especies potencialmente toxigénicas. No obstante, algunos taxa como *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum lima* y *Alexandrium* sp. constituyen un posible riesgo por Intoxicación Diarreica por Moluscos (IDM) o Intoxicación Paralizante por Moluscos (IPM), especialmente durante la temporada de lluvias, donde se presentaron temperaturas más elevadas, así como *Pseudo-nitzschia* complejo *delicatissima* por riesgo de Intoxicación Amnésica por Moluscos (IAM) en ambas temporadas. Los trabajos futuros deberán enfocarse en la realización de monitoreos con diferentes escalas temporales y espaciales, la cuantificación de toxinas en el agua y el uso de técnicas de microscopía avanzada para la identificación de algunas especies con potencial tóxico.

Contribución de autores

Administración del proyecto: CRG; Análisis formal: IAGC, CRG; Conceptualización: CRG, GJG; Curación de datos: IAGC, CRG; Investigación: IAGC, CRG; Metodología: IAGC; Obtención de financiamiento: GJG; Recursos: CRG, JAC; Redacción borrador - original: IAGC; Redacción - revisión y edición: CRG, GJG, JAC; Validación: CRG, JAC; Supervisión: CRG, GJG, JAC.

Financiamiento

Este estudio fue apoyado por Fondo Golfo de México A.C, a través del proyecto “Evaluar signos de enfermedad y condición de los ecosistemas arrecifales en el APFF Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan mediante estudios de calidad de agua y análisis de información recabada en cada campaña de monitoreo”, así como por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación a través de la beca de maestría otorgada a la primera autora (CVU: 2055648). Este trabajo es parte del proyecto SIREI-UV 4315220268.

Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan por los permisos otorgados. Se agradece a las personas que apoyaron a lo largo del muestreo, especialmente a Rosseth Cruz Ramírez y Guadalupe Fuentes. Agradecemos también a los miembros del Laboratorio de Biología Marina de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, campus Tuxpan, por la ayuda logística con el análisis de muestras.

Declaración de disponibilidad de datos

El conjunto de datos que respalda los resultados de este estudio fue depositado en SciELO Data y está disponible en: https://doi.org/10.48331/SCIELODATA.P2JAV2

Declaración de uso de Inteligencia Artificial

Declaramos que no se hizo uso de Inteligencia Artificial tanto en el desarrollo de la investigación como en el manuscrito.

Literatura citada

Abad-Aguilar, I. 2015. Riqueza y Sistemática de diatomeas planctónicas y bentónicas durante las estaciones otoño-invierno del arrecife Tuxpan, Veracruz, 2014-2015. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 118 pp.

Aguilar-Medrano, R., M. E. Vega-Cendejas y A. A. Chí-Espínola. 2023. A checklist of dead fishes (Actinopterygii and Elasmobranchii) associated with the algal bloom event of the summer of 2022 on the Yucatan coasts, southern Gulf of Mexico. Acta Ichthyologica et Piscatoria 53: 263-270. DOI: https://doi.org/10.3897/aiep.53.112253

Ajani, P., M. E. Larsson, A. Rubio, S. Bush, S. Brett y H. Farrell. 2016. Modelling bloom formation of the toxic dinoflagellates *Dinophysis acuminata* and *Dinophysis caudata* in a highly modified estuary, southeastern Australia. Estuarine, Coastal and Shelf Science 183(Part A): 95-106. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.020

Aké-Castillo, J. A. 2011. Temporal dynamics of *Trichodesmium erythraeum* (Cyanophyta) in the National Park "Sistema Arrecifal Veracruzano" in the Gulf of Mexico. Journal of Environmental Biology 32(4): 396-399.

Aké-Castillo, J. A. y C. A Poot-Delgado. 2016. FAN en el Golfo de México: panorama general sobre eventos y especies. In: García-Mendoza, E., S. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortíz y E. J. Núñez-Vázquez (eds.). Florecimientos Algales Nocivos en México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Ensenada, México. Pp. 298-307.

Aké-Castillo, J. A. y C. F Rodríguez-Gómez. 2019. El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México y los sistemas de manglar de Veracruz. In: Granados-Barba, A., L. Ortíz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios científicos en el Corredor Arrecifal del suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. Pp. 301-316.

Aké-Castillo, J. A. y C. F. Rodríguez-Gómez. 2025. Diversidad fitoplanctónica en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. In: Granados-Barba, A., L. D. Ortiz-Lozano y A. L. Gutiérrez-Velázquez (eds.). Nuevo conocimiento sobre el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México: integrando los ambientes costeros. Universidad Autónoma de Campeche. San Francisco de Campeche, México. Pp. 71-86.

Aké-Castillo, J. A., A. Almazán-Becerril, C. F. Rodríguez-Gómez y E. García-Mendoza. 2018. Catálogo de microalgas marinas de Veracruz. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Ensenada, México. 162 pp.

Aké-Castillo, J. A., Y. B. Okolodkov, C. F. Rodríguez-Gómez y G. Campos-Bautista. 2014. Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012). In: Botello, A. V., J. Rendón-von Ostén, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche (UAC), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMYL), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV)-Unidad Mérida. Campeche, México. Pp. 133-146.

Almazán-Becerril, A., J. A Aké-Castillo, E. García-Mendoza, Y. A. Sánchez-Bravo, S. Escobar-Morales y F. Valadez-Cruz. 2016a. Catálogo de microalgas de Bahía de Todos Santos, Baja California. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Ensenada, México. 132 pp.

Almazán-Becerril, A., S. Escobar-Morales, E. D. Irola-Sansores y B. Delgado-Pech. 2016b. Morfología y taxonomía de los géneros *Ostreopsis* y *Coolia* en el Caribe Mexicano. In: García Mendoza, E., S. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortíz y E. J. Núñez-Vázquez (eds.). Florecimientos Algales Nocivos en México. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). Ensenada, México. Pp. 378-393.

Aminot, A. y F. Rey. 2000. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences. Copenhagen, Denmark. Pp. 1-17.

Anderson, D. M., A. D. Cembella y G. M. Hallegraeff. 2012. 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: https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081121

Ávila-García, D., L. E. Hernández-Salinas, J. Alvarado-Velázquez, A. Rosas-Cruz, F. Cicchini, A. I. Fernández-Montes de Oca

y S. López-Ramírez. 2025. Plan de acción para el manejo integral de cuencas hídricas: cuenca río Tuxpan. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) - Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), Banco Mundial. Cd. Mx., México. 160 pp.

Barraza, J. E. 2023. Eventos de blanqueamiento del coral *Porites lobata* (2006-2022) y actividades de restauración en el sitio Ramsar "Complejo Los Cóbanos", El Salvador. Revista de Biología Tropical 71(S1): e54739. DOI: https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v71iS1.54739

Bauman, A. G., J. A. Burt, D. A. Feary, E. Marquis y P. Usseglio. 2010. Tropical harmful algal blooms: An emerging threat to coral reef communities? Marine Pollution Bulletin 60(11): 2117-2122. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.015

Bergman, B., G. Sandh, S. Lin, J. Larsson y E. J. Carpenter. 2013. *Trichodesmium*–a widespread marine cyanobacterium with unusual nitrogen fixation properties. FEMS Microbiology Reviews 37(3): 286-302. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2012.00352.x

Bernardi Aubry, F., F. Acri, M. Bastianini, S. Finotto y A. Pugnetti. 2022. Differences and similarities in the phytoplankton communities of two coupled transitional and marine ecosystems (the Lagoon of Venice and the Gulf of Venice - Northern Adriatic Sea). Frontiers in Marine Science 9: 974967. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2022.974967

Carreón-Palau, L., C. C. Parrish, J. A. Del Angel-Rodríguez y H. Pérez-España. 2021. Seasonal shifts in fatty acids and sterols in sponges, corals, and bivalves, in a southern Gulf of Mexico coral reef under river influence. Coral Reefs 40: 571-593. DOI: https://doi.org/10.1007/s00338-020-02042-1

COFEPRIS. 2016. Lineamiento de trabajo para el muestreo de fitoplancton y detección de biotoxinas marinas. Secretaría de Salud, Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Cd. Mx., México. 24 pp.

De la Lanza Espino, G., N. Sánchez-Santillán y A. Esquivel-Herrera. 1998. Análisis temporal y espacial fisicoquímico de una laguna tropical a través del análisis multivariado. Hidrobiológica 8(2): 89-96.

DOF. 2009. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna, la región conocida como Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, localizada frente a las costas de los municipios de Tamiahua y Tuxpan, en el Estado de Veracruz. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México. 6 pp.

DOF. 2014. Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Diario Oficial de la Federación. Cd. Mx., México. 44 pp.

Ezzat, L., J. F. Maguer, R. Grover y C. Ferrier-Pagès. 2016. Limited phosphorus availability is the Achilles heel of tropical reef corals in a warming ocean. Scientific Reports 6: 31768. DOI: https://doi.org/10.1038/srep31768

Gajski, G., M. Gerić, A. Baričević y M. Smodlaka Tanković. 2024. Domoic acid: A review of its cytogenotoxicity within the One Health approach. Antioxidants 13(11): 1366. DOI: https://doi.org/10.3390/antiox13111366

Gárate-Lizárraga, I. y G. M. Esqueda-Escárcega. 2016. Proliferation of *Falcula hialina* and *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) on copepods in Bahía de La Paz, Gulf of California, Mexico. Revista de Biología Marina y Oceanografía 51(1): 197-201. DOI: https://doi.org/10.4067/S0718-19572016000100021

Gárate-Lizárraga, I. y R. E. Muciño-Márquez. 2012. Blooms of *Trichodesmium erythraeum* and *T. thiebautii* (Cyanobacteria, Oscillatoriales) in the Bahía de la Paz, Gulf of California. CICIMAR Oceánides 27(1): 61-64. DOI: https://doi.org/10.37543/oceanides.v27i1.110

Gobler, C. J. 2020. Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. Harmful Algae 91: 101731. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101731

Guiry, M. D. y G. M. Guiry. 2026. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway. https://www.algaebase.org (consultado mayo de 2026).

Hasle, G. 1978. The inverted microscope method. In: Sournia, A. (ed.). Phytoplankton Manual. Paris, France. Pp. 88-96.

Horta-Puga, G. 2010. Impactos Ambientales. In: Tunnell Jr, J. W., E. A Chávez, K. Withers (eds.). Arrecifes Coralinos del Sur del Golfo de México. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN). La Paz, México. Pp. 183-236.

Irola-Sansores, E. D., B. Delgado-Pech y A. Almazán-Becerril. 2020. Abundancia del género *Gambierdiscus* en diferentes especies de macroalgas en el Caribe mexicano. In: Pérez-Morales, A., J. A. Aké-Castillo y C. A. Poot-Delgado (eds.). Investigaciones Marinas en el Golfo de México y Mar Caribe

mexicano. Universidad de Colima. Colima, México. Pp. 133-152.

Johnson, B., M. Richlen, J. Lai y M. J. Twiner. 2026. "Algal-dromes": a novel conceptual approach to illness in humans exposed to harmful algal bloom toxins. Frontiers in Toxicology 8: 1749427. DOI: https://doi.org/10.3389/ftox.2026.1749427

Lan, J., P. Liu, X. Hu, y S. Zhu. 2024. Harmful Algal Blooms in Eutrophic Marine Environments: Causes, Monitoring, and Treatment. Water 16(17): 2525. DOI: https://doi.org/10.3390/w16172525

Lassus, P., N. Chomérat, P. Hess y E. Nézan. 2016. Toxic and harmful microalgae of the World Ocean. International Society for the Study of Harmful Algae (ISSHA), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC)-UNESCO. Copenhagen, Denmark. 523 pp.

Lesser, M. P. 2021. Eutrophication on coral reefs: what is the evidence for phase shifts, nutrient limitation and coral bleaching. BioScience 71(12): 1216-1233. DOI: https://doi.org/10.1093/biosci/biab101

Limbu, S. M. y M. S. Kyewalyanga. 2015. Spatial and temporal variations in environmental variables in relation to phytoplankton composition and biomass in coral reef areas around Unguja, Zanzibar, Tanzania. SpringerPlus 4: 646 DOI: https://doi.org/10.1186/s40064-015-1439-z

Lundholm, N., C. Bernard, C. Churro, L. Escalera, M. Hoppenrath, M. Iwataki, J. Larsen, K. Mertens, S. Murray, I. Probert, R. Salas, U. Tillmann y A. Zingone. 2009. IOC-UNESCO Taxonomic Reference List of Harmful Microalgae. DOI: https://doi.org/10.14284/362

Lundholm, N., Ø. Moestrup, G. R. Hasle y K. Hoef-Emden. 2003. A study of the *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima/cuspidata* complex (Bacillariophyceae): What is *P. pseudodelicatissima*? Journal of Phycology 39(4): 797-813. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2003.02031.x

Martínez-Cruz, M. E., Y. B. Okolodkov, A. C. Aguilar-Trujillo y J. A. Herrera-Silveira. 2015. Epiphytic dinoflagellates on the seagrass *Thalassia testudinum* at Dzilam, southeastern Gulf of Mexico. Cymbella 1(3): 2-9.

McGowan, S. 2023. Harmful algal blooms. In: Sivanpillai R. (ed.). Biological and environmental hazards, risks, and disasters. Elsevier. Laramie, USA. Pp 9-53. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820509-9.00002-2

Méndez-Torres, J., R. I. Hernández-Herrera, A. Almazán-Becerril, P. San Martin-Del Angel y B. Delgado-Pech. 2020. Abundancia del género *Pseudo-nitzschia* en la zona costera de Tuxpan, Veracruz. In: Pérez-Morales, A., J. A. Aké-Castillo, C. A. Poot-Delgado (eds.). Investigaciones marinas en el Golfo de México y Mar Caribe mexicano. Universidad de Colima. Colima, México. Pp. 110-132.

Merino-Virgilio, F. C., Y. B. Okolodkov, A. C. Aguilar-Trujillo, I. Osorio-Moreno, L. Ector y J.A. Herrera-Silveira. 2014. Florecimientos de *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) en el norte de Yucatán (2001-2014). In: Resúmenes Del XXI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Del Mar. Isla Cozumel, México.

Merino-Virgilio, F. C., Y. B. Okolodkov, A. C. Aguilar-Trujillo, I. Osorio-Moreno, L. Ector y J. A. Herrera-Silveira. 2019. Blooms caused by the diatom *Cylindrotheca closterium* along the northern coast of Yucatan, southeastern Gulf of Mexico (2001-2014). In: Kovács, A. y P. Nagy (eds.). Advances in Marine Biology. Nova Science Publishers. Hauppauge, Nueva York, USA. Pp. 57-72.

Morquecho, L. 2019. *Pyrodinium bahamense* one the most significant harmful dinoflagellate in Mexico. Frontiers in Marine Science 6(1): 1-8. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00001

Muciño-Márquez, R. E., I. Gárate-Lizárraga y D. J. López-Cortés. 2018. Variación estacional del género *Prorocentrum* (Dinophyceae) en dos granjas atuneras en la Bahía de la Paz, México. Acta Biológica Colombiana 20(1): 195-206. DOI: https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.42442

Navarrete-Bautista, M. A., y C. F. Rodríguez-Gómez. 2025. Listado de especies del fitoplancton marino y costero de la zona norte del estado de Veracruz. Cymbella 11(1): 04-46.

Okolodkov, Y. B. 2010. *Ceratium* Schrank (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification. Acta Botanica Mexicana 93: 41-101. DOI: https://doi.org/10.21829/abm93.2010.275

Okolodkov, Y. B. 2014. Dinophysiales (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification. Acta Botanica Mexicana 106: 9-71. DOI: https://doi.org/10.21829/abm106.2014.217

Okolodkov, Y. B., G. Campos-Bautista, I. Gárate-Lizárraga, J. A. G. González-González, M. Hoppenrath y V. Arenas. 2007.

Seasonal changes of benthic and epiphytic dinoflagellates in the Veracruz reef zone, Gulf of Mexico. Aquatic Microbial Ecology 47: 223-237. DOI: https://doi.org/10.3354/ame047223

Omura, T., M. Iwataki, T. M. Borja, H. Takayama y Y. Fukuyo. 2012. Marine Phytoplankton of the Western Pacific. Kouseisha Kouseikaku. Tokyo, Japan. 160 pp.

Orduña-Medrano, R. E. 2012. Patrones de distribución y abundancia del fitoplancton nocivo en la zona costera de Tuxpan Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México. 200 pp.

Palmer, C., C. Jimenez, G. Bassey, E. Ruiz, T. Villalobos-Cubero, M. M. Chavarria-Diaz, X. A. Harrison y R. Puschendorf. 2022. Cold water and harmful algal blooms linked to coral reef collapse in the Eastern Tropical Pacific. PeerJ 10: e14081. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj.14081

Paredes-Flores, J., R. Hernández-Herrera, E. García-Mendoza y E. Zarza-Meza. 2026. Evaluation of marine biotoxins in *Crassostrea virginica* in Tampamachoco Lagoon and Tamiahua Lagoon, Veracruz. Abanico Boletín Técnico 5: 1-15. DOI: https://doi.org/10.21929/abanicoboletin/2026.8

Parsons, M. L., Y. B. Okolodkov y J. A. Aké-Castillo. 2012. Diversidad y morfología de las especies de *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, suroeste del Golfo de México. Acta Botanica Mexicana 98: 51-72. DOI: https://doi.org/10.21829/abm98.2012.1140

Pérez-Morales, A., J. A. Aké-Castillo, Y. B. Okolodkov y G. Campos-Bautista. 2015. Florecimientos algales nocivos y eutrofización frente a la costa del Puerto de Veracruz, suroeste del Golfo de México. Revista digital E-Bios 2(8): 21-33.

Pérez-Olmedo, L. 2017. Composición y abundancia de especies tóxicas y nocivas de dinoflagelados causantes de mareas rojas en la zona costera de Tuxpan, Veracruz Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México. 89 pp.

Poot-Delgado, C. A. y A. Pérez-Morales. 2023. Variación espaciotemporal del fitoplancton nocivo en playas recreativas de Campeche, sureste del Golfo de México. Ciencias Marinas 49: e3389. DOI: https://doi.org/10.7773/cm.y2023.3389

Poot-Delgado, C. A., J. Rendon-von Ostén y Y. B. Okolodkov. 2025. Annual cycle of potentially harmful phytoplankton in the coastal waters of Campeche, southern Gulf of Mexico. Regional Studies in Marine Science 89: 104392. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104392

Poot-Delgado, C. A., P. I. Rosado-García y Y. A. Guzmán-Noz. 2014. Fitoplancton marino potencialmente nocivo en las aguas costeras de Campeche. In: Botello, A. V., J. Rendon-von Ostén, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche (UAC), Universidad Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM-ICMYL), Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV)-Unidad Mérida. Campeche, México. Pp. 117-132.

Pulido, O. M. 2016. Phycotoxins by Harmful Algal Blooms (HABS) and human poisoning: an overview. International Clinical Pathology Journal 2: 145-152. DOI: https://doi.org/10.15406/icpjl.2016.02.00062

Racault, M. F., D. E. Raitsos, M. L. Berumen, R. J. W. Brewin, T. Platt, S. Sathyendranath y I. Hoteit. 2015. Phytoplankton phenology indices in coral reef ecosystems: Application to ocean-color observations in the Red Sea. Remote Sensing of Environment 160: 222-234. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.019

R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org (consultado marzo de 2026).

Raj, K. D., G. Mathews, D.O. Obura, R. L. Laju, M. S. Bharath, P. D. Kumar, A. Arasamuthu, T. K. A. Kumar y J. K. P. Edward. 2020. Low oxygen levels caused by *Noctiluca scintillans* bloom kills corals in Gulf of Mannar, India. Scientific Reports 10: 22133. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-020-79152-x

Reid, F. M. H. 1978. Permanent records. In: Sournia, A. (ed.). Phytoplankton Manual. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris, France. Pp. 113-124.

Roberts, S. D., P. D. Van Ruth, C. Wilkinson, S. S. Bastianello y M. S. Bansemer. 2019. Marine Heatwave, Harmful Algae Blooms and an Extensive Fish Kill Event During 2013 in South Australia. Frontiers in Marine Science 6: 610. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00610

Rodríguez-Gómez, C. F., J. A. Aké-Castillo, G. Campos-Bautista y Y. B. Okolodkov. 2015. Revisión del estudio del fitoplancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Revista digital E-Bios 2(8): 178-191.

Rodríguez-Gómez, C. F., G. Vásquez y J. A. Aké-Castillo. 2020. Condiciones fisicoquímicas en la columna de agua durante los florecimientos algales del suroeste del Golfo de México (2016-2017). In: Pérez-Morales, A., J. A. Aké-Castillo y C. A. Poot-Delgado (eds.). Investigaciones Marinas en el Golfo de México y Mar Caribe mexicano. Universidad de Colima. Colima, México. Pp. 84-109.

Sathishkumar, R. S., A. Sundaramanickam, G. Sahu, A. K. Mohanty, T. Ramesh y S. A. Khan. 2021. Intense bloom of the diatom *Hemidiscus hardmanianus* (Greville) in relation to water quality and plankton communities in Tuticorin coast, Gulf of Mannar, India. Marine Pollution Bulletin 163: 111757. DOI: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111757

Salas-Pérez, J. J. y A. Granados-Barba. 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. Atmósfera 21: 281-301.

Santavy, D. L., C. L. Horstmann, L. M. Sharpe, S. H. Yee y P. Ringold. 2021. What is it about coral reefs? Translation of ecosystem goods and services relevant to people and their well-being. Ecosphere 12(8): e03639. DOI: https://doi.org/10.1002/ecs2.3639

SMN. 2023. Calendario de temporadas y Fenómenos Meteorológicos para el Estado de Veracruz. Servicio Meteorológico Nacional. https://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/wpcontent/uploads/sites/5/2023/02/Calendario-Temporadas.pdf (consultado junio de 2024).

Spaulding, S. A., M. G. Potapova, I. W. Bishop, S. S. Lee, T. S. Gasperak, E. Jovanoska, P. C. Furey y M. B. Edlund. 2021. Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities. Diatom Research 36(4): 291-304. DOI: https://doi.org/10.1080/0269249X.2021.2006790

Steidinger, K. A., M. A. Faust y D.U. Hernández-Becerril. 2009. Dinoflagellates (Dinoflagellata) of the Gulf of Mexico. In: Felder, D. L. y D. K. Camp (eds.). Gulf of Mexico-Origins, Waters, and Biota. Biodiversity. Texas A&M University Press. College Station, USA. Pp. 131-154.

Subramanian, A. y A. Purushothaman. 1985. Mass mortality of fish and invertebrates associated with a bloom of *Hemidiscus hardmannianus* (Bacillariophyceae) in Parangipettai (southern India). Limnology & Oceanography 30: 910-911. DOI: https://doi.org/10.4319/lo.1985.30.4.0910

Tangen, K. 1978. Nets. In: Sournia, A. (ed.). Phytoplankton Manual. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris, France. Pp. 50-58.

Throndsen, J. 1978. Preservation and storage. In: Sournia, A. (ed.). Phytoplankton Manual. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Paris, France. Pp. 69-74.

Tillmann, U. y U. John. 2002. Toxic effects of *Alexandrium* spp. on heterotrophic dinoflagellates: an allochemical defence mechanism independent of PSP-toxin content. Marine Ecology Progress Series 230: 47-58. DOI: https://doi.org/10.3354/meps230047

Ulloa, M. J., P. Álvarez-Torres, K. P. Horak-Romo y R. Ortega-Izaguirre. 2017. Harmful algal blooms and eutrophication along the Mexican coast of the Gulf of Mexico large marine ecosystem. Environmental Development 22: 120-128. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.10.007

Wells, M. L., V. L. Trainer, T. J. Smayda, B. S. O. Karlson, C. G. Trick, R. M. Kudela, A. Ishikawa, S. Bernard, A. Wulff, D. M. Anderson y W. P. Cochlan. 2015. Harmful algal blooms and climate change: Learning from the past and present to forecast the future. Harmful Algae 49: 68-93. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.07.009

Wotton, R. S. 1994. The classification of particulate and dissolved matter. In: Wotton, R.S. (ed.). The biology of particles in aquatic systems. Taylor & Francis. Boca Raton, USA. Pp. 1-6.

Zamudio-Reséndiz, M. E. 1998. Hidrología y fitoplancton en una región costera al oeste del Golfo de México. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Cd. Mx., México. 72 pp.

Apéndice: Listado de especies potencialmente nocivas en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México. Periodos: 1=Lluvias; 2=Nortes; Arrecifes: BL=Blanquilla, ME=Medio, LO=Lobos, TA=Tanhuijo, EN=Enmedio, TU=Tuxpan; %R=Porcentaje de aparición en muestras de red, %B= Porcentaje de aparición en muestras de conteo. A=Ancho, L/D=largo/diámetro; °potencialmente toxigénicas, *Se cuenta con su densidad celular.

Taxones	Periodo	Arrecife	% R	%B	A (µm)	L/D (µm)
Clase Bacillariophyceae						
Orden Bacillariales						
Familia Bacillariaceae						
**Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin	1, 2	TA, LO, TU, BL, ME	40.9	18.2	2.5	100
Familia Pseudo-nitzschiaceae						
°**Pseudo-nitzschia* complejo *delicatissima* (Cleve) Heiden	1, 2	BL, ME, LO, EN, TU	54.5	13.6	2.5	62.5
Orden Eucampiales						
Familia Eucampiaceae						
Eucampia zodiacus Ehrenberg	1, 2	BL, LO, ME	9.1	-	52	
Clase Coscinodiscophyceae						
Orden Coscinodiscales						
Familia Coscinodiscaceae						
Coscinodiscus centralis Ehrenberg	1,	LO, EN	4.5	-		135
Coscinodiscus concinnus W.Smith	1, 2	BL, TA	4.5	-		150
Coscinodiscus wailesii Gran & Angs	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	45.5	-		250
Palmerina hardmaniana (Greville) G.R.Hasle	1, 2	BL, ME, LO, TA, TU	63.6	-	135	125
Orden Rhizosoleniales						
Familia Rhizosoleniaceae						
Pseudosolenia calcar-avis (Schultze) B.G.Sundström	1, 2	LO, ME, TU	13.6	-		
Clase Thalassiosirophyceae						
Orden Chaetocerotales						
Familia Chaetocerotaceae						
Chaetoceros coarctatus Lauder	1, 2	BL, ME, LO	36.4	-	29	
Chaetoceros curvisetus Cleve	1, 2	BL, ME, LO	9.1	-	29	
Chaetoceros laciniosus F.Schütt	2	BL, ME	13.6	-		
Orden Hemiaulales						
Familia Hemiaulaceae						
Hemiaulus hauckii Grunow ex Van Heurck	1, 2	BL, LO, ME	18.2	-	25	75
Orden Thalassiosirales						
Familia Skeletonemataceae						
Skeletonema costatum (Greville) Cleve s.l.	1, 2	ME, EN	9.1	-		
Clase Plagiogrammaphyceae						
Familia Asterionellopsidaceae						
Asterionellopsis glacialis (Castracane) Round	1, 2	ME, EN, TU	13.6	-		
Clase Cyanophyceae						
Orden Oscillatoriales						
Familia Trichodesmiaceae						
°**Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	81.8	13.6		
°**Trichodesmium thiebautii* Gomont	2	ME, LO, TA, EN, TU	31.8	4.5		
Clase Dictyochophyceae						
Orden Dictyochales						
Familia Dictyochaceae						
**Dictyocha fibula* Ehrenberg	1, 2	BL, ME, TA	18.2	6.8		42.5

Apéndice: Continuación.

Taxones	Periodo	Arrecife	% R	%B	A (µm)	L/D (µm)
Clase Dinophyceae						
Orden Dinophysiales						
Familia Dinophysiaceae						
°**Dinophysis caudata* Kent	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	45.5	2.3		87.5
Orden Gonyaulacales						
Familia Ceratiaceae						
Tripos dens (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F. Gómez	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	63.6	-	72.5	140
**Tripos furca* var. *furca* (Ehrenberg) F.Gómez	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	86.4	11.4	30.8	200
Tripos furca var. *hircus* (Schröder) F.Gómez	2	TA	4.5	-		187.5
**Tripos fusus* (Ehrenberg) F.Gómez	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	68.2	6.8	22.5	500
**Tripos muelleri* Bory	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	72.7	4.5	70	155
Familia Gonyaulacaceae						
Gonyaulax polygramma F.Stein	2	ME, TU	9.1	-	47.5	70
°*Gonyaulax spinifera* (Claparède & Lachmann) Diesing	2	BL, ME	13.6	-	37.5	47.5
Orden Gymnodiniales						
Familia Gyrodiniaceae						
°**Gyrodinium spirale* (Bergh) Kofoid & Swezy	1, 2	BL, ME, TU	-	11.4		
Orden Prorocentrales						
Familia Prorocentraceae						
**Prorocentrum gracile* F.Schütt	2	BL, ME	9.1	6.8	25	90
°**Prorocentrum lima* (Ehrenberg) F.Stein	1, 2	BL, LO, EN, TA, TU	-	11.4		
**Prorocentrum micans* Ehrenberg	2	BL, ME, LO	27.3	9.1	22.5	47.5
Familia Pyrophacaceae						
°*Alexandrium* sp.	1	EN	4.5	-	40	47.5
°*Pyrodinium bahamense* L.Plate	2	BL, ME, LO, TA	18.2	-	85	67.5
Orden Thoracosphaerales						
Familia Scripsiellaceae						
**Scrippsiella acuminata* (Ehrenberg) Kretschmann, Elbrächter, Zinssmeister, S.Soehner, Kirsch, Kusber & Gottschling	1, 2	BL, ME, LO, TA, EN, TU	18.2	27.3	15	20