



ESCUELA DE DOCTORADO  
INTERNACIONAL DE LA USC

Karla Evelyn  
Paz Córdón

Tesis doctoral

DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA  
DE LOS DINOFLAGELADOS  
(DINOFLAGELLATA)  
ASOCIADOS A  
FLORECIMIENTOS ALGALES  
NOCIVOS EN EL PACÍFICO  
CENTRAL DE GUATEMALA

Santiago de Compostela, 2024



ESCOLA DE DOUTORAMENTO  
INTERNACIONAL DA USC

TESIS DOCTORAL

DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE LOS  
DINOFLAGELADOS (*DINOFLAGELLATA*)  
ASOCIADOS A FLORECIMIENTOS  
ALGALES NOCIVOS EN EL PACÍFICO  
CENTRAL DE GUATEMALA

Karla Evelyn Paz Córdón

Directores: Prf. Dr. D. Fernando Cobo Gradín

Dr. D. Yuri Okolodkov

**PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO EN AGRICULTURA Y**

**MEDIOAMBIENTE PARA EL DESARROLLO**

**SANTIAGO DE COMPOSTELA / LUGO**



A mis hijos: Estuardo Josué y Gabriel Esteban

A Mark

... Por todos estos años llenos de aventuras inolvidables...los amo!

A mis padres y hermanas...Por siempre estar para mí

## *Agradecimientos*

Al escribir estas líneas en Guatemala está ocurriendo un florecimiento de microalgas tóxicas que ha cobrado la vida de cuatro personas y más de treinta y cuatro intoxicaciones por el consumo de moluscos bivalvos, los eventos ocurren en zonas alejadas con poco acceso a una respuesta médica inmediata y en poblaciones vulnerables donde parte del sustento diario es salir a capturar almejas y otros organismos acuáticos.

Quiero agradecer al Programa de Doctorado que dirige el Dr. Agustín Merino de la Universidad de Santiago de Compostela España, que por medio de la Xunta de Galicia me han favorecido para aportar con este trabajo de investigación conocimiento científico en la búsqueda de mejorar las condiciones de la población afectada por las "Mareas Rojas" en Guatemala y de esta forma generar investigación base que apoye en el desarrollo de ésta temática para avanzar en el estudio asertivo, constante y serio para la observación, prevención y monitoreo de fenómenos asociados al plancton marino.

Agradezco a la Universidad de San Carlos de Guatemala mi "*alma mater*" la que nos ha permitido a muchos guatemaltecos, alcanzar el sueño de ser profesionales y como profesora de esta casa de estudios me honro en transmitir el conocimiento que he alcanzado por medio de la práctica de investigación y los ejercicios académicos que conformaron este doctorado.

Creo que la razón más importante de mi aprendizaje, es debido a que mis directores de tesis son unos maravillosos profesores, el Dr. Fernando y el Dr. Yuri son científicos apasionados por lo que hacen, llenos de conocimientos y muy generosos de compartirlos. Nunca olvidaré cuando iniciaba los estudios de doctorado y tenía mucha pena de preguntarle mis dudas al Dr. Fernando, hasta que descubrí que a pesar de ser una persona tan ocupada siempre planificaba el tiempo para atenderme. O las muchas veces que le pedía ayuda en la identificación al Dr. Yuri y él me enviaba audios por WhatsApp y yo escuchaba varias veces para entenderlos.

Mil gracias por el tiempo que me dedicaron, por su paciencia, por la calidez de seres humanos, por la empatía que me mostraron a las limitantes que tenía en Guatemala para realizar la investigación, por estar al pendiente de cada avance, por motivarme a alcanzar mis metas, por apoyarme en todo y por brindarme su valiosa amistad, siempre los recordaré y guardaré en mi corazón.

También quiero agradecer al equipo de trabajo del laboratorio que dirige el Dr. Fernando, en especial a la Dra. Sandra Barca Bravo quien me ayudó en la interpretación de los resultados físicos y químicos, al Dr. David Nachón y MSc. Alejandro Pico Calvo por toda su ayuda en la interpretación estadística de los resultados de la investigación durante mi pasantía en la Universidad de Santiago de Compostela.

Quiero agradecer a mis amigos y compañeros de trabajo José Ortiz, Rebeca Martínez y Francisco Polanco. Gracias Jose por todo su apoyo durante más de un año



acompañándome en todos los zarpes en buenas y malas condiciones atmosféricas. Gracias Becky por todo tu aporte en los análisis químicos del agua. Gracias Polanco por todo su apoyo y paciencia en la estadística.

Agradezco al grupo de estudiantes voluntarios que zarpaban conmigo cada mes, como olvidar las mareadas, asoleadas y tantas anécdotas que puedo recordar con cariño. A todos mis compañeros de trabajo y amigas, gracias por estar al pendiente de mí y darme ánimos, un abrazo a todos.

Quiero hacer una mención especial a todas las instituciones que apoyaron de una u otra forma este proyecto:

- Al Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por todo el apoyo recibido por parte del Señor director MSc. Erick Villagrán y el Señor Coordinador Académico Ing. Gustavo Elías.
- Esta investigación se trabajó en CEMA como enlace a la REMARCO (Red de Investigación de Estresores Marinos – Costeros en Latinoamérica y el Caribe) en el marco del proyecto "RLA 7025 de la OIEA (2020-2024) con el objetivo de cooperación científica entre países de Latinoamérica y el Caribe para abordar Objetivo de Desarrollo Sostenible 14, vinculado con la acidificación oceánica, eutrofización y contaminación por microplásticos.
- A la Gerencia de Operaciones, a través de la División de Operaciones Marítimas y el respaldo del Departamento de Observación e Investigación Marina (OBIMAR) de Puerto Quetzal.
- Al Comando Naval del Pacífico de Guatemala del Ejército de Guatemala.
- A las Instituciones que conforman La Comisión Nacional para la Vigilancia y Control de la Marea Roja Tóxica de Guatemala: DIPESCA, INSIVUMEH, MSPAS, Comando Naval del Pacífico, por facilitar el abordaje inmediato para contener las intoxicaciones y trabajar en conjunto para el monitoreo y estudio de los florecimientos algales nocivos en Guatemala.

# ÍNDICE

Resumen.....	01
Resumo.....	02
Abstract.....	03
1. INTRODUCCIÓN.....	04
1.1. Introducción General.....	05
1.2. Florecimientos Algales Nocivos.....	06
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo General.....	12
2.2. Objetivos Específicos.....	12
3. NOCIONES GENERALES SOBRE LOS DINOFLAGELADOS.....	13
3.1. Generalidades.....	14
3.2. Morfología y terminología utilizada en la identificación.....	15
3.2.1. Orgánulos celulares.....	15
3.2.2. Orientación.....	17
3.2.3. Flagelos.....	17
3.2.4. Formación de cadenas.....	19
3.2.5. Nomenclatura de las placas.....	19
3.3. Ciclo vital.....	22
3.4. Diversidad de los dinoflagelados.....	23
3.4.1. <i>Dinophysiales</i> .....	24
3.4.2. <i>Gymnodiniales</i> .....	24
3.4.3. <i>Gonyaulacales</i> .....	25
3.4.4. <i>Noctilucales</i> .....	26
3.4.5. <i>Peridinales</i> .....	27
3.4.6. <i>Prorocentrales</i> .....	28
3.5. Toxinas de dinoflagelados.....	28
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
4.1. Material.....	32
4.2. Análisis de variables fisicoquímicas.....	32
4.3. Localización de la zona de estudio.....	33
4.3.1. Delimitación espacial.....	33
4.3.2. Descripción de las estaciones de muestreo.....	35
4.3.3. Otras áreas de estudio en los análisis de florecimientos algales nocivos.....	37
4.4. Delimitación temporal.....	39
4.5. Toma de muestras.....	39
4.6. Identificación y cuantificación de dinoflagelados.....	39
4.7. Análisis estadístico.....	40
5. RESULTADOS.....	41
5.1. Catálogo de dinoflagelados del Pacífico de Guatemala.....	42
5.1.1. Estructura del catálogo.....	42
5.1.2. Relación de especies.....	42

5.1.2.1.	Orden <i>Gonyaulacales</i> .....	42
5.1.2.1.1.	Género <i>Alexandrium</i> .....	42
5.1.2.1.2.	<i>Alexandrium catenella</i> Balech 1985.....	43
5.1.2.1.3.	Género <i>Gonyaulax</i> .....	44
5.1.2.1.4.	<i>Gonyaulax polygramma</i> F. Stein 1883.....	44
5.1.2.1.5.	<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing 1866.....	46
5.1.2.1.6.	<i>Gonyaulax verior</i> Sournia 1973.....	47
5.1.2.1.7.	Género <i>Pyrodinium</i> Plate 1906.....	48
5.1.2.1.8.	<i>Pyrodinium bahamense</i> Plate 1906.....	48
5.1.2.1.9.	Género <i>Pyrophacus</i> F. Stein 1883.....	50
5.1.2.1.10.	<i>Pyrophacus horologium</i> F. Stein 1883.....	50
5.1.2.1.11.	<i>Pyrophacus steinii</i> (J. Schiller) Wall et Dale 1971.....	52
5.1.2.1.12.	Género <i>Tripes</i> Bory 1823.....	53
5.1.2.1.13.	<i>Tripes azoricus</i> (Cleve) F. Gómez 2013....	53
5.1.2.1.14.	<i>Tripes brevis</i> (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F. Gómez 2021 .....	54
5.1.2.1.14.	<i>Tripes candelabrum</i> (Ehrenberg 1860) F. Gómez 2013.....	55
5.1.2.1.15.	<i>Tripes dens</i> (Ostenfeld & Johannes Schmidt) F. Gómez 2013.....	56
5.1.2.1.16.	<i>Tripes gracilis</i> (Pavillard) F. Gómez, 2013.	57
5.1.2.1.17.	<i>Tripes furca</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2013...	58
5.1.2.1.18.	<i>Tripes macroceros</i> (Ehrenberg) Hallegraeff et Huisman 2020.....	59
5.1.2.1.19.	<i>Tripes trichoceros</i> (Ehrenberg) F. Gómez...	60
5.1.2.1.20.	<i>Tripes vultur</i> (Cleve) F. Gómez 2013.....	62
5.1.2.1.21.	<i>Tripes fusus</i> (Ehrenberg) F. Gómez 2013...	63
5.1.2.1.22.	<i>Tripes longirostrum</i> (Gourret) Hallegraeff & Huisman 2020.....	64
5.1.2.1.23.	<i>Tripes muelleri</i> Bory 1826.....	65
5.1.2.1.24.	<i>Tripes massiliensis</i> (Gourret) F. Gómez.....	66
5.1.2.2.	Orden <i>Prorocentrales</i> .....	67
5.1.2.2.1.	Género <i>Prorocentrum</i> .....	68
5.1.2.2.2.	<i>Prorocentrum gracile</i> Schütt 1895.....	69
5.1.2.2.3.	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg 1933.....	69
5.1.2.2.4.	<i>Tryblionella compressa</i> (Bailey) Poulin....	70
5.1.2.2.5.	<i>Prorocentrum scutellum</i> B. Schröder 1900	72
5.1.2.2.6.	<i>Prorocentrum rostratum</i> F. Stein 1883.....	74
5.1.2.2.7.	<i>Prorocentrum mexicanum</i> Osorio-Tafall....	75
5.1.2.3.	Orden <i>Dinophysiales</i> Lindermann 1928.....	76
5.1.2.3.1.	Género <i>Dinophysis</i> Ehrenberg 1839.....	76
5.1.2.3.2.	<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann 1875.....	77
5.1.2.3.3.	<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent 1881.....	78
5.1.2.4.	Orden <i>Noctilucales</i> Haeckel 1894.....	80
5.1.2.4.1.	Género <i>Noctiluca</i> Suriray 1836.....	80

5.1.2.4.2.	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy 1921.....	80
5.1.2.5.	Orden <i>Peridiniales</i> Haeckel, 1894.....	82
5.1.2.5.1.	Género <i>Protoperidinium</i> Bergh, 1881.....	82
5.1.2.5.2.	<i>Protoperidinium abei</i> (Paulsen) Balech....	82
5.1.2.5.3.	<i>Protoperidinium oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech, 1974.....	83
5.1.2.5.4.	<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech, 1974.....	85
5.1.2.5.5.	<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech...	86
5.1.2.5.6.	<i>Protoperidinium obtusum</i> (G. Karsten) Parke et J.D. Dodge 1976.....	87
5.1.2.5.7.	<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech 1974.....	88
5.1.2.5.8.	<i>Protoperidinium grande</i> (Kofoid) Balech...	89
5.1.2.5.9.	Género <i>Podolampas</i> F. Stein 1873.....	90
5.1.2.5.10.	<i>Podolampas bipes</i> (F. Stein) Balech.....	91
5.1.2.5.11.	Género <i>Scrippsiella</i> Balech ex Loeblich III 1965.....	92
5.1.2.5.12.	<i>Scrippsiella spinifera</i> G. Honsell et M. Cabrini 1991.....	92
5.1.2.6.	Orden <i>Gymnodiniales</i> .....	93
5.1.2.6.1.	<i>Akashiwo sanguinea</i> (K. Hirasaka, 1922) Gert Hansen & Moestrup 2000.....	93
5.1.2.6.2.	<i>Gymnodinium catenatum</i> H.W. Graham.....	94
5.1.2.6.3.	<i>Margalefidinium polykrikoides</i> (Margalef) F. Gómez, Richlen & D.M. Anderson 2017	96
5.2.	Físico - química del agua.....	99
5.2.1.	Estadística descriptiva de los parámetros físico – químicos.....	99
5.2.2.	Similitud físico-química entre estaciones.....	100
5.2.3.	Estacionalidad física-química.....	102
5.2.4.	Datos hidrometeorológicos.....	103
5.2.4.1	Promedio de los datos hidrometeorológicos por Estación de muestreo.....	104
5.2.4.2	Precipitación promedio anual.....	105
5.2.4.3	Estacionalidad hidrometeorológica.....	107
5.3.	Descripción de las poblaciones de dinoflagelados.....	109
5.3.1.	Riqueza específica.....	109
5.3.2.	Distribución local de los taxones.....	112
5.3.2.1.	Variación espacial.....	112
5.3.2.2.	Similitud taxonómica espacial.....	118
5.3.2.3.	Variación temporal.....	119
5.3.3.	Estimadores de diversidad.....	120
5.4.	Floraciones nocivas 2019 – 2022.....	123

6.	DISCUSIÓN.....	127
6.1.	Catálogo de especies.....	128
6.2.	Dinámica de poblaciones.....	129
6.3.	Dinoflagelados y condiciones ambientales.....	129
6.4.	Estacionalidad y condiciones climáticas.....	132
6.5.	Florecimientos algales nocivos.....	134
7.	CONCLUSIONES.....	138
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	142
9.	ANEXOS.....	165
9.1.	Tabla de parámetros físico – químicos.....	166
9.2.	Tabla de los parámetros hidrometeorológicos.....	169
9.3.	Lista de figuras.....	172
9.4.	Lista de tablas.....	176



## RESUMEN

Este estudio se realizó en Puerto Quetzal, departamento de Escuintla, situado en la costa central del Pacífico de Guatemala, una región notable por sus importantes cambios oceanográficos y frecuentes florecimientos algales nocivos durante las últimas décadas.

Se llevaron a cabo muestreos cuantitativos en tres sitios: Boya Texaco, Boya Recalada y Boya Entre Morros, utilizando botellas tipo Van Dorn a profundidades de 1.5 y 5 metros. Además, se realizaron arrastres horizontales con una red de fitoplancton de 23  $\mu\text{m}$  en la capa superficial para obtener datos completos sobre la composición específica de especies. Las muestras fueron fijadas con Lugol ácido y formalina y los recuentos celulares se efectuaron mediante el método de Utermöhl usando un microscopio invertido.

Para caracterizar la comunidad de fitoplancton, se analizaron los cambios en la composición y abundancia de especies durante un ciclo anual, relacionándolos con variables hidrometeorológicas (precipitación, temperatura ambiental, mareas, humedad y zona fótica) y variables fisicoquímicas (temperatura del agua, salinidad, pH, oxígeno disuelto, nitrógeno total, amonio, conductividad, sólidos disueltos, fósforo y clorofila-*a*).

Se identificaron un total de 42 especies de dinoflagelados pertenecientes a 14 géneros y seis órdenes, incluyendo varios potencialmente tóxicos. Los resultados proporcionan información valiosa sobre la relación entre factores ambientales y los períodos de riesgo de florecimientos algales nocivos. Además, se observaron diferencias significativas en la riqueza de especies entre los sitios de muestreo, así como variaciones en la abundancia total del fitoplancton a lo largo de los diferentes trimestres estudiados. En total, se registraron 7790 células de dinoflagelados, sin diferencias significativas entre las profundidades de muestreo.

Este estudio se llevó a cabo en colaboración con varios institutos gubernamentales, entre ellos el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la Dirección de Pesca y Acuicultura, las Autoridades Portuarias de Puerto Quetzal, la Base Naval del Pacífico, la Autoridad Marítima de Guatemala del Ejército de Guatemala y el Laboratorio de Control de Alimentos y Medicamentos del Ministerio de Salud Pública.

Como resultado de la información recopilada, se elaboró un Catálogo de Especies del área del Pacífico Central de Guatemala. Los hallazgos ofrecen nuevos conocimientos sobre la comunidad de fitoplancton del Pacífico guatemalteco y llenan un vacío en la investigación de una región donde anualmente ocurren florecimientos algales, con impactos ecológicos significativos y riesgo de intoxicaciones humanas. Este análisis abarca los florecimientos algales registrados entre los años 2019 y 2022.

## RESUMO

Este estudo realizouse en Puerto Quetzal, departamento de Escuintla, situado na costa central do Pacífico de Guatemala, unha rexión que destaca polos seus importantes cambios oceanográficos e as frecuentes floracións de algas nocivas durante as últimas décadas.

Realizáronse mostraxes cuantitativas en tres lugares: Boia Texaco, Boia Recalada e Boia Entre Morros, utilizando botellas tipo Van Dorn a profundidades de 1,5 e 5 metros. Ademais, realizáronse remolques horizontais cunha rede de fitoplancto de 23  $\mu\text{m}$  na capa superficial para obter datos completos sobre a composición específica da especie. As mostraxas fixéronse con ácido Lugol e formol, e os recontos celulares realizáronse polo método Utermöhl mediante un microscopio invertido.

Para caracterizar a comunidade de fitoplancto, analizáronse os cambios na composición e abundancia de especies durante un ciclo anual relacionándoos con variables hidrometeorolóxicas (precipitacións, temperatura ambiental, mareas, humidade e zona fótica) e fisicoquímicas (temperatura da auga, salinidade, pH, etc.). osíxeno disolto, nitróxeno total, amonio, condutividade, sólidos disoltos, fósforo e clorofila-a).

Identificáronse un total de 42 especies de dinoflaxelados pertencentes a 14 xéneros e seis ordes, incluíndo varias potencialmente tóxicas. Os resultados proporcionan información valiosa sobre a relación entre os factores ambientais e os períodos de risco para a floración de algas nocivas. Ademais, observáronse diferenzas significativas na riqueza de especies entre os lugares de mostraxe, así como variacións na abundancia total de fitoplancto ao longo dos distintos trimestres estudados. En total, rexistráronse 7790 células dinoflaxeladas, sen diferenzas significativas entre as profundidades de mostraxe.

Este estudo realizouse en colaboración con varios institutos gobernamentais, entre eles o Instituto Nacional de Sismoloxía, Vulcanoloxía, Meteoroloxía e Hidroloxía (INSIVUMEH), a Dirección de Pesca e Acuicultura, as Autoridades Portuarias de Quetzal, a Base Naval do Pacífico, a Autoridade Marítima do Exército de Guatemala, e o Laboratorio de Control de Alimentos e Drogas do Ministerio de Saúde Pública.

Como resultado da información recollida, elaborouse un Catálogo de Especies da zona do Pacífico Central de Guatemala. Os achados ofrecen novos coñecementos sobre a comunidade de fitoplancto do Pacífico guatemalteco e enchen un oco na investigación nunha rexión onde se producen floracións de algas anualmente, con importantes impactos ecolóxicos e risco de intoxicación humana. Esta análise abrangue as floracións de algas rexistradas entre 2019 e 2022.

## ABSTRACT

This study was conducted in Puerto Quetzal, department of Escuintla, located on the central Pacific coast of Guatemala, a region notable for its significant oceanographic changes and frequent harmful algal blooms over recent decades.

Quantitative sampling was carried out at three sites: Buoy Texaco, Buoy Recalada and Buoy Entre Morros, using Van Dorn-type bottles at depths of 1.5 and 5 meters. Additionally, horizontal tows with a 23  $\mu\text{m}$  phytoplankton net were performed in the surface layer to obtain comprehensive data on species-specific composition. The samples were fixed with Lugol acid and formalin, and cell counts were performed by the Utermöhl method using an inverted microscope.

To characterize the phytoplankton community, changes in the composition and abundance of species were analyzed during an annual cycle, relating them to hydrometeorological variables (precipitation, environmental temperature, tides, humidity and photic zone) and physicochemical variables (water temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, total nitrogen, ammonium, conductivity, dissolved solids, phosphorus and chlorophyll-a).

A total of 42 species of dinoflagellates belonging to 14 genera and six orders were identified, including several potentially toxic ones. The results provide valuable information on the relationship between environmental factors and risk periods for harmful algal blooms. In addition, significant differences in species richness were observed between the sampling sites, as well as variations in the total abundance of phytoplankton throughout the different quarters studied. In total, 7790 dinoflagellate cells were recorded, with no significant differences between sampling depths.

This study was carried out in collaboration with several government institutes, including the National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology and Hydrology (INSIVUMEH), the Directorate of Fisheries and Aquaculture, the Port Authorities of Quetzal, the Pacific Naval Base, the Guatemalan Maritime Authority of the Guatemalan Army, and the Food and Drug Control Laboratory of the Ministry of Public Health.

As a result of the information collected, a Species Catalog of the Central Pacific area of Guatemala was prepared. The findings offer new insights into the Guatemalan Pacific phytoplankton community and fill a gap in research in a region where algal blooms occur annually, with significant ecological impacts and risk of human poisoning. This analysis covers algal blooms recorded between 2019 and 2022.

## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

«Una de las creaciones más prodigiosas de la Naturaleza, de las que más sublimes encantos encierran para el contemplador del Universo y más elevan el espíritu a las serenas y etéreas esferas del Infinito, es, sin duda, la de esos misteriosos seres diminutos, largos siglos ignorados de la humanidad y aun hoy totalmente inadvertidos para la inmensa mayoría de las gentes..»

*Carús Falcón, R. (1903)*

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Introducción General

El avance de los estudios genéticos ha revelado que el filo *Dinoflagellata* (*Dinophyta* o *Pyrrhophyta*), está constituido por células eucariotas que forman parte del grupo monofilético de los Alveolados en Protistas.

En la clasificación actual de los dinoflagelados se ha utilizado caracteres morfológicos considerados diagnósticos para cada grupo. No obstante, en la taxonomía clásica, que se basa exclusivamente en la morfología, la similitud en la tabulación entre dos especies no necesariamente indica que hayan evolucionado a partir de un ancestro común; podría ser, en cambio, el resultado de una convergencia evolutiva (Gómez, 2012).

El conocimiento sobre los dinoflagelados como parte importante del plancton; ha evolucionado en paralelo con el desarrollo tecnológico. Inicialmente, investigadores como Müller y Ehrenberg utilizaron microscopios rudimentarios, mientras que, en la década de 1880, el adelanto en la construcción de microscopios permitió avances significativos en los trabajos de Stein, Pouchet y Gourret. En 1885, se propuso que los dinoflagelados tenían una corona ciliada alrededor del cíngulo, en lugar de un solo flagelo ondulante. Este descubrimiento llevó a que los *Cilioflagellata* fueran reclasificados como *Dinoflagellata*. Más tarde, Kofoid unificó la nomenclatura de las placas tecales y su disposición, conocida como tabulación kofoidiana, lo que facilitó estudios detallados como los realizados por Balech (Gómez, 2012).

El fitoplancton puede ser definido como el conglomerado de microorganismos acuáticos fotosintéticos, con una capacidad de locomoción limitada y que se desplazan principalmente a través de las corrientes marinas. Desde una perspectiva ecológica, el fitoplancton cumple un papel importante en las redes tróficas marinas, pues son los productores primarios que inician el paso de la energía a niveles tróficos superiores y sustentan a otros grupos faunísticos como el zooplancton, el bentos y el necton. De forma paralela son los principales fijadores de dióxido de carbono en los océanos y los principales productores de oxígeno disuelto (Geider et al., 1997; Okolodkov y Blanco, 2011; Pal y Choudhury, 2014; Yasakova et al., 2020; Lee, 2008).

Algunos de los factores que regulan y determinan la variabilidad espacial y temporal de la comunidad fitoplanctónica son la disponibilidad de nutrientes, la estratificación térmica de la columna de agua, los patrones de corrientes, la depredación por parte del zooplancton y otros organismos y la competencia interespecífica (Pal y Choudhury, 2014). Estos factores incluyen las condiciones atmosféricas (meteorológicas) controladas por el clima, las estaciones del año y las condiciones diarias de luz, corrientes y mareas que explican los patrones de distribución de los organismos planctónicos en la columna de agua (Fukuyo et al., 1989). La diversidad y abundancia de la comunidad fitoplanctónica puede ser expresada utilizando datos sobre el número de especies presentes, la biomasa de cada grupo y la composición de pigmentos u otros parámetros que miden las propiedades del plancton (Ordoñez-López, 2017).

Las algas plantónicas fotosintéticas son el alimento básico de los ecosistemas marinos, el desarrollo de los organismos en los diferentes niveles tróficos depende de la composición de especies y de su abundancia (Yasakova et al., 2020). La mayoría de dinoflagelados son de vida estuarina y marina, se encuentran entre 250 a 300 especies conocidas (Graham y Wilcox, 2000;

Carty, 2003). Muchas de las especies se consideran beneficiosas y dentro de los productores primarios, son un grupo dominante en los océanos tropicales (Granéli y Turner, 2006).

En los ecosistemas marinos, el plancton emerge como un indicador destacado por diversas razones. El plancton es el pilar fundamental de las redes tróficas, desempeñando un papel crucial al vincular a los productores primarios con los depredadores tope. Su alta abundancia y facilidad de recolección lo hacen un recurso accesible para investigaciones científicas. Además, la mayoría de las especies de plancton tienen ciclos de vida relativamente cortos, que varían desde algunos meses hasta un año, facilitando la observación de cambios a corto plazo en su abundancia y composición.

Por último, dado que el plancton es escasamente explotado comercialmente, cualquier variación significativa en su población puede atribuirse principalmente a factores ambientales, convirtiéndolo así en un indicador sensible de la salud y el estado de los ecosistemas marinos (Balech, 1958).

Los indicadores ambientales acuáticos reflejan de manera clara y práctica un mensaje complejo de una forma simple (Kurtz y Fisher, 2001). Por ello, las microalgas son importantes para caracterizar los ecosistemas marinos puesto que muestran variaciones y tendencias y predicen los cambios en estos ambientes (Lavaniegos, 2014).

Los monitoreos algales para identificar especies tóxicas tienen como objetivo principal implementar alertas tempranas de florecimientos, para evitar repercusiones en las poblaciones humanas locales ya que las toxinas son transferibles por medio de las redes tróficas e involucra directamente al ser humano en eventos tóxicos para la salud pública. Para minimizar el impacto negativo de estos eventos, se pueden aplicar dos estrategias de vigilancia: a) Identificación de las especies de microalgas con potencial tóxico y b) la determinación de toxinas de los moluscos bivalvos comercializados en el sector. Además, se utilizan especies indicadoras para detectar los movimientos del agua y los alcances geográficos de su influencia (Robledo y Freile-Peigrin, 2014).

El diseño de un programa de monitoreo y seguimiento de los florecimientos algales nocivos se fundamenta en estudios hidrográficos y ecológicos de las microalgas de la zona costera en estudio. Si no se cuenta con estudios previos, es necesario iniciar un monitoreo constante en la zona afectada para cubrir la mayor parte del área y ajustar las áreas de muestreo a medida que se genere nueva información.

## **1.2. Florecimientos algales Nocivos (FAN)**

Los florecimientos algales nocivos se caracterizan por la coexistencia de especies de fitoplancton con interacciones bióticas dinámicas y complejas (competencia, simbiosis, depredación, parasitismo, alelopatía), que ocurren a escalas temporales y espaciales finas y son relevantes para comprender el papel que diferentes especies de fitoplancton juegan en la regulación de FAN (Band-Schmidt et al., 2020).

La densidad del agua es determinada por sus características termo-halinas y el gradiente de densidad, estas propiedades están relacionadas a la estabilidad estática de la columna de agua (Okolodkov y Blanco, 2011). Las mayores concentraciones de las especies presentes en

florecimientos algales se reportan en asociación con densidades poblacionales altas en la columna de agua, estas microalgas se concentran en las capas donde se registran termoclinas, haloclinas o picnoclinas (Salcedo-Garduño et al., 2019).

Históricamente se ha pensado que las microalgas nocivas son estrictamente fototróficas y que el uso de la fototrofia y heterotrofia en combinación es un recurso que utilizan en hábitat pobres en nutrientes como un mecanismo para aumentar el suministro de nutrientes. Algunas investigaciones sobre diversos hábitats donde las microalgas nocivas crecen en hábitats eutróficos y son mixótrofas, responden a los aportes de nutrientes como también indirectamente a la abundancia de presas bacterianas y de la presencia de otras microalgas estimuladas por nutrientes. (Burkholder et al., 2008; Pitcher et al. 2010; Glibert et al., 2012 y 2018).

Las mareas rojas son fenómenos naturales que se producen como resultado de factores físicos, químicos y biológicos. Así como las interacciones de vientos, surgencias, frentes de diferentes densidades (frentes fríos, frentes cálidos, frente estacionario y frentes ocluidos), concentraciones de nutrientes o alteraciones antropogénicas (Alonso y Ochoa, 2004; Ryan et al., 2009, Kudella et al., 2005). La intensidad, frecuencia y distribución geográfica de los florecimientos algales causados por dinoflagelados, se han incrementado en los últimos años, los informes los asocian a cambios climáticos locales o globales (Wells et al., 2019, Klais et al., 2011; Hinder et al., 2012; Edwards et al., 2006; Reguera, 2003; Hallegraeff, 1993); Además, se ha observado un aumento en los reportes de casos de intoxicación humana y significativas pérdidas económicas en la industria pesquera (Brooks et al. 2016; Sanseverino et al., 2016; Berdalet et al., 2016; Ferrante et al., 2013; Anderson et al., 2003). A esto se suma, el estrés antropogénico que produce cambios que incrementan la densidad y diversidad de especies en las comunidades bacterianas marinas y su variabilidad temporal (Davidson et al., 2014; Anderson et al., 2008; Nogales et al., 2011).

Las variaciones de florecimientos algales resultan de las limitaciones físicas como temperatura y luz, en el crecimiento de dinoflagelados en la columna de agua como por ejemplo *Gymnodinium catenatum* que exhibe la capacidad de utilizar muchas formas de nitrógeno, (Hallegraeff et al., 2012; Pritcher et al., 1998).

Actualmente es difícil predecir los florecimientos algales, se necesita mucha más información de nuestras regiones que nos puedan aportar las condiciones ambientales, fisicoquímicas-biológicas e históricas de los eventos y de los aspectos que se evidencian previo, durante y después, para poder estimar probabilidades de florecimientos algales. También es necesario conocer los filtros abióticos (temperatura, salinidad e intensidad lumínica) que regulan en conjunto con las interacciones bióticas (mortalidad: depredación y parásitos) y la competencia, estos determinarán para cada especie la estructura de la comunidad y cómo estas van a ir cambiando a través del tiempo en la columna de agua. Las características fisiológicas, los ciclos de vida, la producción de toxinas y muchos más aspectos asociados a estas especies pueden estudiarse mucho más a fondo en cultivos (Choudhury y Pal, 2014; Cullen et al., 2002; Lalli y Parsons, 1997).

La mayoría de microalgas nocivas son mixotróficas por medio de fagocitar, estos organismos tienen actividad fototrófica y fagotrófica, las cuales varían de acuerdo con diferentes nutrientes presentes en el ambiente y factores como: temperatura, luz, pH y condiciones de CO<sub>2</sub>. Estos factores varían de forma acelerada en los entornos costeros y oceánicos debido a la

eutrofización acelerada y el cambio climático permitiendo la proliferación de algas nocivas (Flynn et al., 2018; Basu y Mackey, 2018).

Los ecosistemas marinos pueden verse afectados por la intensidad de los eventos extremos previstos como consecuencia del cambio climático global (Pech, 2010; Durán-Riveroll et al., 2019). El fenómeno del niño, estudiado desde los años 80, evidenció la frecuencia de los florecimientos algales nocivos. El aumento de las temperaturas marinas reportadas en 1987 en el Pacífico de Guatemala se consideró como una probable causa al aumento poblacional de *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* que produjo un florecimiento nocivo, provocando intoxicaciones y muertes (Paz-Cordón, 1997). En los documentos publicados por UNESCO en los años 90, se expone la problemática en salud pública relacionada con los florecimientos algales con presencia de organismos productores de toxinas, principalmente dinoflagelados (Ordoñez-López, 2017; Alonso-Rodríguez et al., 2015).

Entre el período del año 2000 al 2004 Hallegraeff de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO (COI), evidenció los diferentes fenómenos de florecimientos algales nocivos para las costas de México y Centroamérica, relacionándolos con el fenómeno del niño (Hallegraeff, 2003) el cual está incrementándose en repercusiones ecológicas por medio de los cambios de temperatura marina reportados durante los últimos meses (enero a junio 2019) por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e hidrología (INSIVUMEH), esto debido a la presencia del Fenómeno del Niño para el presente año.

Las proyecciones de calentamiento sugieren que el aumento de la temperatura del mar causará una disminución del 6% en la biomasa del fitoplancton y del 11% en las de zooplancton. Esto indica una amplificación de la señal del cambio climático que se propagará a través de los niveles tróficos del ecosistema, resultando en una mayor disminución de la biomasa de zooplancton en comparación con el fitoplancton. Este fenómeno ocurrirá principalmente en los océanos tropicales, que representan el 47% de la superficie global de los océanos (Chust et al., 2014).

Esta disminución del zooplancton facilitará el incremento de microalgas al no ser consumidas por predadores directos, por lo que es de gran interés evaluar el comportamiento del microplancton y mesoplancton en relación con la diversidad de dinoflagelados presente en la dársena de Puerto Quetzal para conocer estas relaciones interespecíficas y relacionarlas a las condiciones ambientales y meteorológicas ahí existentes (Navarro-Vargas et al., 2014).

Los dinoflagelados *Gymnodinium catenatum*, *Pyrodinium bahamense* y varias especies de *Alexandrium* son productores de saxitoxina y han sido responsables de la intoxicación parálitica de mariscos en diferentes regiones de Centroamérica, causando intoxicaciones y pérdidas importantes en la pesca. La mayoría de las floraciones de algas nocivas de *G. catenatum* son de la región norte, sin embargo, esta especie también ha sido citada en las regiones central y sur de América (Band-Schmidt et al., 2019; Meave et al., 2020; Pizarro et al., 2011).

En Mesoamérica y Sudamérica, se han registrado más de 1410 personas intoxicadas (94 muertes) por Intoxicación Parálitica por Consumo de Mariscos (PSP) desde 1970 hasta 2016. *Pyrodinium bahamense* ha causado el mayor número de intoxicaciones (819 casos), seguido de *Alexandrium* spp. (350 casos) y *G. catenatum* (241 casos) (Band-Schmidt et al., 2019).

En Guatemala, los estudios sobre el fitoplancton marino han sido limitados, siendo los dinoflagelados el grupo más investigado. Según Paz-Cordón (1997), se ha observado la presencia de especies como *Dinophysis caudata* Kent 1881, *Gonyaulax verior* Sournia 1973 y *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, las cuales son las más abundantes y pueden provocar el fenómeno conocido como “marea roja”. Por otro lado, Leiva (2008) realizó una revisión de los florecimientos algales nocivos (FAN) causados por dinoflagelados en el Pacífico de Guatemala, reportando eventos de marea roja causados por *P. bahamense* var. *compressum* en años específicos, como 1985, 1987, 1989, 1990, 1995, 2001 y 2005, con muestreos realizados en la dársena de Puerto Quetzal.

En diciembre de 2018, García-Pérez y colaboradores informaron densidades de *P. bahamense* var. *compressum* de 3000 células por litro y detectaron la presencia de saxitoxina en bioensayos con ratones en el Caribe de Guatemala. En esta región, se ha investigado la presencia de dinoflagelados bentónicos potencialmente tóxicos en ecosistemas como arrecifes de coral y praderas marinas, encontrándose los géneros *Gambierdiscus*, *Prorocentrum*, *Coolia* y *Ostreopsis* (García-Pérez et al., 2018).

En agosto de 1987 se registraron 193 casos de intoxicaciones por consumo de mariscos en la costa del Pacífico, de los cuales 22 fueron mortales (Rosales et al., 1986). Se identificó a *P. bahamense* var. *compressum* como el organismo causante de estas intoxicaciones, al ser una microalga productora de una toxina paralizante. Esta microalga fue nuevamente reportada en un florecimiento algal en noviembre de 2019 en las costas del Pacífico de Guatemala (García-Pérez et al., 2020; Paz-Cordón, 1997). La frecuencia de estos fenómenos naturales marinos está aumentando debido al impacto antropogénico y a los cambios climáticos en la zona tropical (Wells et al., 2019).

En abril del 2022 en la región del Pacífico-Oeste, en el municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla se reportaron 11 casos de individuos presentando síntomas de intoxicación parálitica por consumo de moluscos bivalvos, se registró el deceso de un menor de 12 años, atribuido al consumo de almejas del género *Tagelus* sp., las personas afectadas fueron ingresadas al hospital de Tiquisate, presentando síntomas gastrointestinales por la ingesta de estos bivalvos (Paz-Cordón, 2022).

Obtenidos estos resultados, las instituciones que integran la Comisión Nacional de Marea Roja en Guatemala entre ellas la Dirección de Normatividad de la Pesca y Acuicultura (DIPESCA) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), Comando Naval del Pacífico (CONAPAC) y CEMA, dispusieron incrementar las acciones de vigilancia epidemiológica con el objetivo de identificar los posibles casos de intoxicación y se emitió una alerta roja por parte de la Comisión para alertar y resguardar a la población de este sector y zonas aledañas (Paz-Cordón, 2022).

El Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha realizado monitoreo desde el año 1996 en la Dársena de Puerto Quetzal como una zona estratégica hasta la presente fecha (Acuerdo Gubernativo, 1991). Sin embargo, los cambios climáticos en las zonas oceánicas tropicales durante los últimos 10 años relacionadas a las tasas anuales de acumulación de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero ocasionan cambios perceptibles en los patrones climáticos globales, el aumento de la temperatura media tienen consecuencias en la frecuencia de aparición de enfermedades en

organismos acuáticos y la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos como las tormentas, tifones y huracanes (Pech, 2010; Dybas, 2018; Emanuel, 2005; Mallin y Corbett, 2006). Esto justificaría el comportamiento cambiante de los elevados valores de clorofila en las zonas del área Pacífico central-este de Guatemala (García-Pérez et al., 2020).

La escasa información en eventos FAN en Guatemala y las investigaciones de la taxonomía y las densidades poblacionales de dinoflagelados suponen una desventaja para comprender los vínculos entre los FAN, el clima, las condiciones meteorológicas y oceanográficas. Es necesario evaluar las relaciones entre los efectos físico – químicos (temperatura, salinidad, estratificación, luz, intensidad cambiante de la tormenta, nutrientes, acidificación y otros) y la composición biológica (densidades de microalgas y riqueza de especies) (Wells et al., 2019).

Independientemente de cómo respondan los FAN al cambio climático, los científicos que las estudian y el público en general, están preocupados por el daño que causan a los ecosistemas acuáticos y sus habitantes, incluidos los humanos. Durante más de una década, los científicos también han expresado su creciente preocupación con respecto a los efectos negativos de los procesos de cambio climático en la vida acuática (Gobler, 2020).

## Capítulo 2

### OBJETIVOS

«Se ve de gráfica manera lo que es axiomático: que la Naturaleza se muestra variadísima y antojadiza en las misteriosas manifestaciones del mundo invisible... y que es preciso investigar mucho é in situ para comprender esta parte en extremo interesante de las ciencias naturales»

*Carús Falcón, R. (1903)*

## 2. OBJETIVOS

### Objetivos

- **General**

Por la importancia del tema a nivel científico se requiere un estudio continuo y riguroso para la observación, prevención y monitoreo de fenómenos asociados al plancton. Por tal motivo y como parte de la Comisión Nacional de Marea Roja y de la Red Latinoamericana para la investigación marino costera, esta tesis doctoral pretende aportar datos que repercutan en la toma de decisiones a nivel de instancias gubernamentales y académicas.

Los datos obtenidos en esta investigación facilitarán la toma de decisiones dentro de la Comisión Nacional de Marea Roja en la cual CEMA es integrante y permitirá el análisis del comportamiento planctónico con énfasis en la identificación de la diversidad de dinoflagelados asociados a florecimientos algales nocivos y su relación con variables meteorológicas y físico químicas presentes en el Pacífico de Guatemala.

Por todo ello se pretende describir la diversidad y evaluar la abundancia de los dinoflagelados relacionados con los florecimientos algales nocivos para la salud humana producidos en Puerto Quetzal, en la costa central del Pacífico de Guatemala, basándose en el estudio del ciclo anual (2021) en relación con los parámetros meteorológicos y fisicoquímicos del agua.

- **Objetivos específicos**

1. Identificar morfológicamente las especies de dinoflagelados y la existencia de especies nocivas y las potencialmente tóxicas, en el Puerto Quetzal.
2. Realizar el catálogo de los dinoflagelados del Pacífico de Guatemala.
3. Estudiar la dinámica estacional en el ciclo anual y los cambios en la composición de especies y sus abundancias.
4. Establecer las correlaciones entre la presencia y la abundancia de las especies de fitoplancton formadoras de florecimientos algales nocivos y las condiciones físicoquímicas del agua y la meteorología.
1. Describir los florecimientos algales nocivos (2019-2022) en el Pacífico de Guatemala.

## Capítulo 3

### NOCIONES GENERALES SOBRE LOS DINOFLAGELADOS

«Se distinguen de las diatomeas por sus formas extravagantes, poco estéticas... tienen de común con ellas su pequeñez y constitución histológica [...] adaptanse mejor a las aguas frías, donde se encuentran con predominio cuantitativo [...] agrupados en densas caravanas y discurriendo activos por el piélago [...] en tanto que en las aguas cálidas [...] disminuye el número de individuos, que propenden al aislamiento y pasividad [...] cual si se sintiesen enervados por el excesivo calor tropical y quisieran economizar por el reposo el consumo de materia constitutiva...»

*Carús Falcón, R. (1903)*

### 3. NOCIONES GENERALES SOBRE LOS DINOFLAGELADOS

#### 3.1 Generalidades

Desde una perspectiva genética, los dinoflagelados representan un grupo sumamente interesante. Dodge (1955) fue uno de los primeros en notar su potencial filogenético al estudiar detenidamente sus características cromosómicas y nucleares. Sugirió que estos organismos podrían ser los intermediarios en la transición de procariotas a eucariotas, al presentar propiedades genéticas de ambos grupos celulares. Sin embargo, estudios posteriores realizados por Costas y Goyanes (1988) indican que los dinoflagelados podrían haberse originado de forma independiente al tronco común de los eucariotas, lo que explica las diferencias significativas en su biología celular respecto al resto de los eucariotas.

Los fósiles de dinoflagelados se remontan, como mínimo, al período Cámbrico y hay indicios de que podrían haber existido aún antes, hacia finales del período Proterozoico. (Ojeda, 1998).

Debido a sus variaciones genéticas, han sido clasificados en el filo *Phyrophyta*, dividido en las clases *Dinophyceae* y *Syndinophyceae*. Su adaptabilidad a diversos ambientes se manifiesta en su amplia diversidad morfológica, tipos de alimentación y un rico registro fósil (Balech y Ferrando, 1964). Por lo general, en algún estadio de su ciclo de vida, los dinoflagelados presentan una célula móvil con dos flagelos desiguales que les permiten desplazarse en su hábitat (Taylor, 1987). Mayormente, son un grupo planctónico marino, que se encuentra en mayores cantidades en aguas cálidas, pero también pueden habitar en zonas frías (Taylor, 1976; Thomas et al., 1997; Trench y Winsor, 1987; Okolodkov, 1997).

Los dinoflagelados exhiben una gran diversidad morfológica, adaptándose de diversas formas al medio marino. Algunos viven solitarios, otros forman colonias y algunos mantienen relaciones simbióticas con otros organismos como corales, diatomeas o microzooplancton (Gómez, 2012). La mayoría de las especies son mixótrofas y algunos son heterótrofos obligados, lo que tiene un impacto significativo en la producción primaria y en la transferencia de biomasa en los ecosistemas planctónicos marinos (Stoecker et al., 2017; Shawn et al., 2003).

Además, numerosos dinoflagelados presentan cromatóforos diminutos y son capaces de llevar a cabo la fotosíntesis. Las especies fotosintéticas contienen clorofilas *a* y *c2*, así como los pigmentos peridinina, diadinoxantina y dinoxantina, entre otros. (Jeffrey et al., 1995). El grupo es ciertamente importante como productores primarios. Algunos de ellos están muy pigmentados y a veces son tan numerosos que el agua aparece claramente coloreada, diferentes especies que producen una coloración verde, roja o amarilla, tiñen las aguas cuando las poblaciones aumentan considerablemente (Jeffrey et al., 1995; Tait y Dipper, 1998). En condiciones favorables algunos géneros de dinoflagelados de vida libre se reproducen fácilmente dando origen a las conocidas "mareas rojas" por las toxinas que liberan al medio (Balech y Ferrando, 1964). También son buenos indicadores biológicos gracias a su gran sensibilidad ante determinados parámetros físicos y químicos del medio en el cual habitan.

Los números de especies anteriores son "morfoespecies", definidas en el sentido clásico. Taylor (1987) y más recientemente, Lundholm y colaboradores (2006) han discutido extensamente los conceptos de especie que se aplican a los dinoflagelados u otras especies. Las morfoespecies de dinoflagelados pueden contener una diversidad genética considerable, cuantificable con

técnicas moleculares, quizás incluyendo criptoespecies. Por otro lado, hay casos en los que las especies nombradas parecen ser variantes de un acervo genético único más grande, por ejemplo, el complejo de especies *Alexandrium tamarense* (Taylor, 1987; Trench y Winsor, 1987).

Durante muchos años, los dinoflagelados conocidos que vivían como "zooxantelas" (endosimbiontes autótrofos de animales y otros protistas) se limitaban a *Zooxanthella nutricula* de los radiolarios coloniales, a los que se hace referencia con un nombre más reciente, *Symbiodinium microadriaticum*, que se cree que es el único habitante intracelular de todos los arrecifes de corales y unas pocas especies de *Amphidinium sp.* en turbelarios (Trench y Winsor, 1987). En otros casos, los dinoflagelados han demostrado ser parásitos de numerosos huéspedes protistas, invertebrados y algunos peces. Es probable que el número de especies parasitarias se encuentre muy subestimado, Cachon (1987) enumeró 66 especies de parásitos, en su mayoría blastodinos y sindinianos, además de algunos taxones sin nombre.

### 3.2. Morfología y terminología utilizada en la identificación

#### 3.2.1. Orgánulos celulares

Los dinoflagelados poseen orgánulos que, al ser estimulados por el contacto, el calor o productos químicos descargan una estructura como un hilo o un tubo desde la superficie de la célula. Estos organelos son utilizados para defensa o como un apoyo a la alimentación. Los más comunes son: Mucocistos, orgánulos que descargan una masa mucosa. Tricocistos o eyectosomas, orgánulos que disparan filamentos, que son utilizados como medio de defensa y alimentación. El tipo más común es el extrusoma (figura 1), de ocurrencia casi universal en la fase móvil de estas las algas, son tricoquistes, es decir, cuerpos en forma de bastoncillos que, cuando maduran, suelen residir en el anfiestma perpendicular a la membrana celular (Barsanti y Gualtieri, 2006; Thomas et al., 1997).



Figura 1. Extrusoma en dinoflagelados. Kofoid, C. A., & Swezy, O. (1921). Fuente: Archivo en línea de la Universidad de Toronto. Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

Como ya se ha dicho, los dinoflagelados tienen una morfología muy variada. La forma más común de las células de nado libre, son ovoides, redondeada o piriforme con el extremo anterior normalmente más agudo que el posterior, este último en ocasiones pueden presentar protuberancias irregulares (Ojeda, 1998).

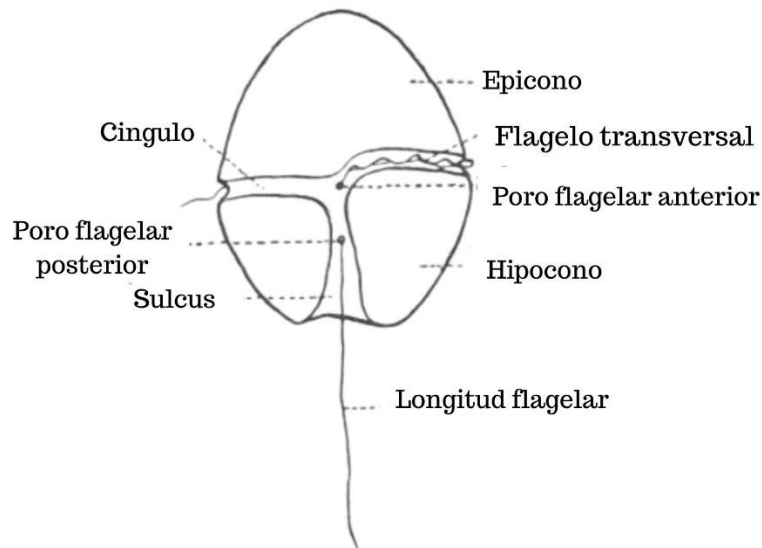
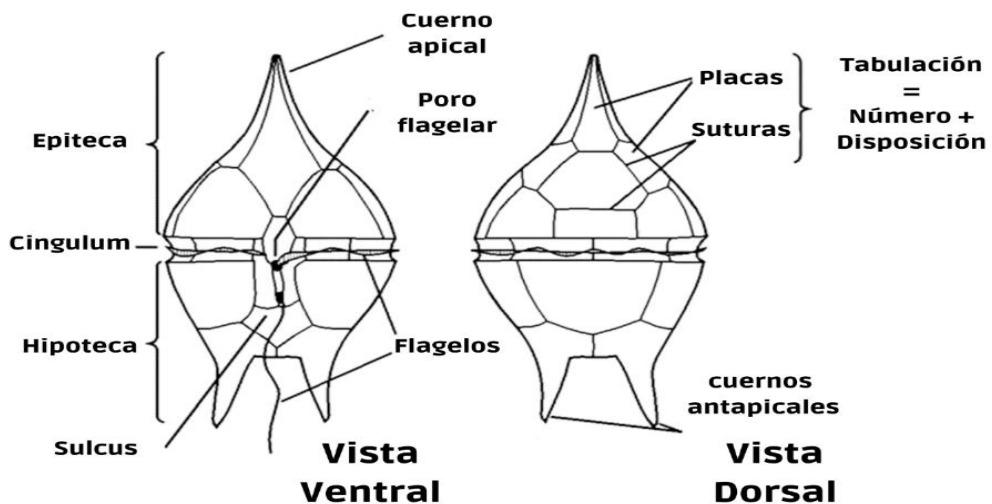


Figura 2. Tipo de morfología en dinoflagelados. Lebour, M. V. (1925). Acceso abierto en JSTOR. Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

El cíngulo divide a la célula en dos partes, una anterior denominada episoma o epicono y otra posterior el hiposoma o hipocono (Thomas et al., 1997). Si la célula está tecada ambos términos equivalen a epiteca e hipoteca respectivamente (Figura 2).

La superficie celular puede ser lisa o presentar diversos relieves, como membranas, reticulaciones u otros detalles estructurales. Morrill y Loeblich (1981) observaron la presencia de delicadas escamas orgánicas en la superficie de especies de los géneros *Oxyrrhis* y *Heterocapsa*, las cuales, sin embargo, no se encontraron en otros once géneros estudiados.



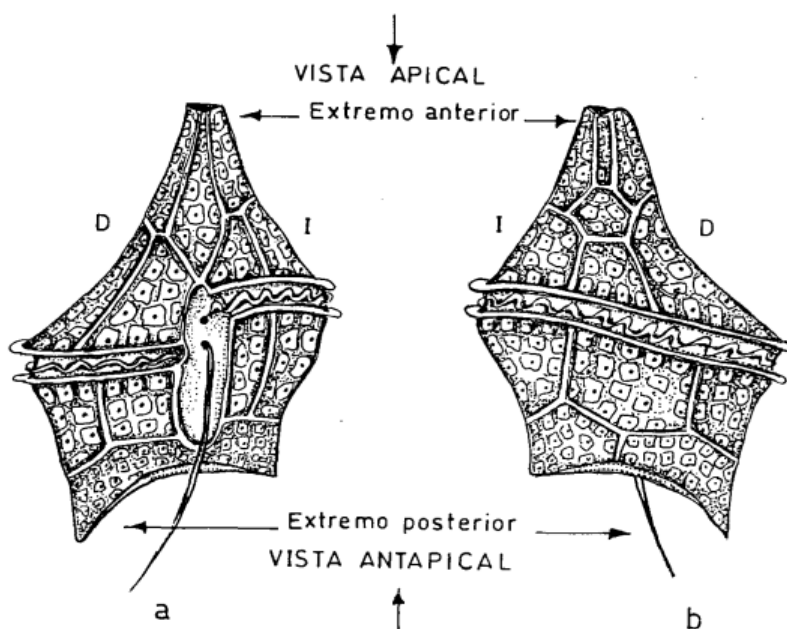


Figura 3. Orientación en los dinoflagelados (Ojeda, 1998); Fuente: Archivo en línea de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

### 3.2.2. Orientación

En relación con la orientación del organismo, el extremo anterior o apical, se indica por la dirección del desplazamiento de la célula. El área donde generalmente se encuentran los dos flagelos determina la cara ventral de la célula y el lado opuesto corresponde a la cara dorsal (figura 3), ambas con un lado izquierdo y otro derecho (Ojeda, 1998).

### 3.2.3. Flagelos

Los dos flagelos generalmente emergen de forma lateral en la célula. Uno rodea completamente el cuerpo celular, mientras que el otro se proyecta hacia el extremo posterior, esta condición es conocida como dicoconta. En algunos dinoflagelados, los dos flagelos emergen del extremo anterior, denominándose desmocontas (Gómez-Pérez, 2015; Ojeda, 1998; Thomas et al., 1997). En otros casos, como en los géneros *Oxyrrhis* y *Torodinium*, los flagelos emergen del extremo posterior, siendo opistocontas. En las dicocontas, los flagelos se alojan en surcos excavados en la superficie celular. El flagelo transversal se encuentra en el cingulo, un surco transversal o ecuatorial situado en el ecuador de la célula o ligeramente anterior. Por su parte, el flagelo longitudinal se aloja en el sulcus, un surco longitudinal perpendicular al primero (figura 2) (Ojeda, 1998; Thomas et al., 1997).

Los flagelos presentan un patrón independiente de batido giratorio y están insertados de forma apical o emergen en una región cercana al punto medio del lado ventral de la célula (Barsanti y Gualtieri, 2006).

Los dos flagelos de los dinoflagelados difieren en estructura y orientación. El flagelo transversal, que se enrolla alrededor de la célula, tiene forma de cinta, con el borde interior contraído por una fibra contráctil y el axonema siguiendo una trayectoria en espiral a lo largo del borde exterior, una disposición exclusiva de los dinoflagelados (Barsanti y Gualtieri, 2006; Thomas et al., 1997).

Este flagelo rodea la célula en sentido latitudinal, generalmente enrollado en espiral dentro del cíngulo, formando ondas cortas (figura 4). El axonema se extiende a lo largo del flagelo en su margen externo (Ojeda, 1998; Salgado, 2011).

El flagelo longitudinal no está tan enrollado como el anterior. Es más simple, redondeado o acintado y no tan ancho, pudiendo realizar movimientos muy rápidos y complejos, apreciables en ciertas especies de *Triplos* observadas in vivo (Ojeda, 1998; Salgado, 2011). El flagelo transversal puede presentar finos pelos emergentes del borde del axonema. En algunas especies, donde ambos flagelos son del tipo longitudinal y muy pequeños, pueden encontrarse escamas ovoides sobre uno de los flagelos (Clarke y Pennick, 1972; Ojeda, 1998).

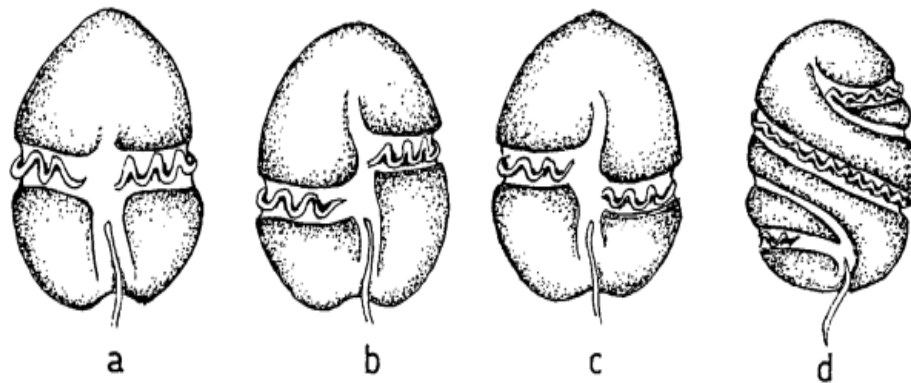


Figura 4. Desplazamiento del flagelo en dinoflagelados (Ojeda, 1998). Fuente: Archivo en línea de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

En la mayoría de dinoflagelados la estructura celular se extiende en el interior de cuernos o la teca puede presentar diversas expansiones como aletas o membranas y también espinas. Las espinas son raras en los dinoflagelados tecados, siendo más frecuentes en los quistes. Sin embargo, existen géneros en donde están bastante desarrolladas como en *Ceratocorys*, *Podolampas*, *Micracanthodinium* o *Cladopyxis*. El ejemplo clásico de la formación de cuernos en dinoflagelados es el género *Ceratium*, en donde existen un cuerno apical y dos antapicales (en las especies marinas) derecho e izquierdo (Figura 5). Los cuernos están formados generalmente por una sola placa tecal (Happach-Kasan, 1982).

La función de los cuernos y las espinas no está completamente comprendida. Es evidente que estas extensiones aumentan la relación área/volumen de la superficie celular. Sin embargo, también incrementan la resistencia al movimiento, especialmente en una dirección específica. Se han observado estructuras similares en quistes. Esto sugiere que el alargamiento de los

cuernos puede ser una adaptación para evitar el hundimiento en aguas poco viscosas, como es el caso del género *Ceratium* (Happach-Kasan, 1982; Ojeda, 1998).

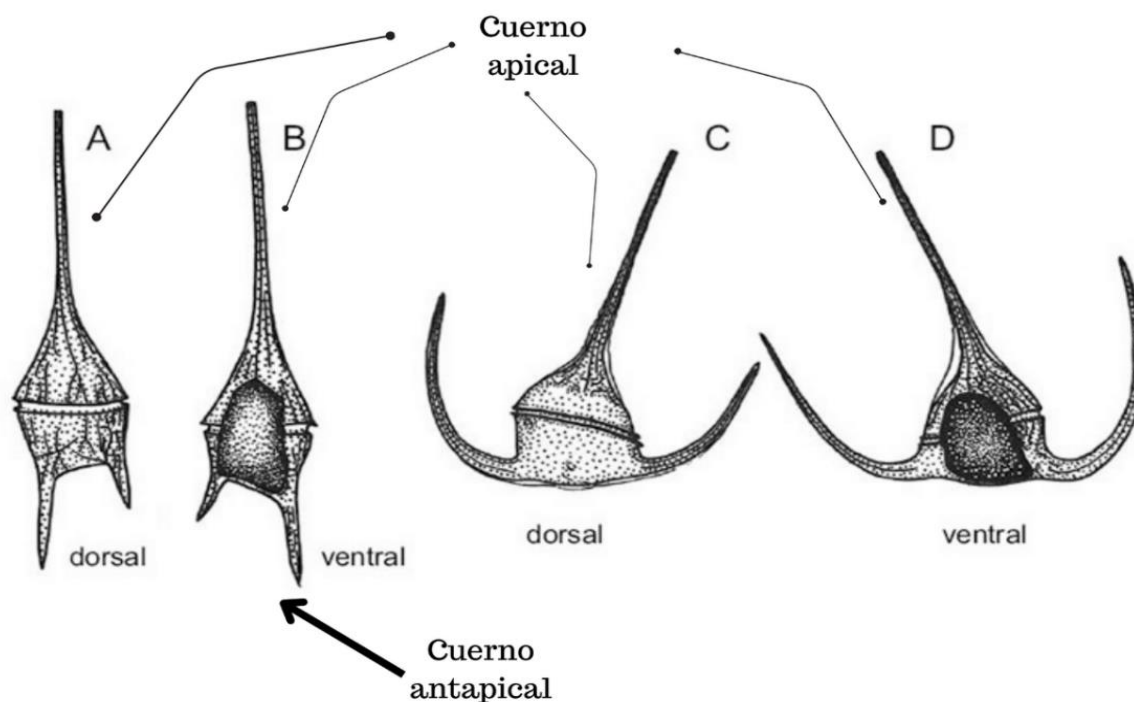


Figura 5. Morfología general del género *Ceratium* (Okolodkov, 2010). Utilizada con permiso del autor.

#### 3.2.4. Formación de cadenas

Algunas especies de dinoflagelados suelen formar cadenas, como ocurre en el orden *Peridinales* con determinadas especies de *Ceratium*, *Pyrodinium bahamense*, *Peridiniella catenata*, *Protogonyaulax catenella*. Las cadenas pueden estar formadas hasta por veinte células. En *Alexandrium catenella* pueden ser de hasta 64 células, aunque lo más común es encontrar dos, cuatro u ocho individuos formando cadenas (Steidinger y Williams, 1970).

En las Dinophysales, las células hijas se adhieren a la célula madre por ello las encontramos unidas de forma lateral, esto ha sido observado en *Dinophysis caudata*. En *Ceratium*, la formación de cadenas implica un alineamiento muy preciso del cuerno apical en los individuos más posteriores de la cadena. En la mayoría de las especies de *Ceratium* formadores de cadenas, los cuernos antapicales son similares en todos los miembros que la forman (Ojeda, 1998; Okolodkov et al., 2007).

#### 3.2.5. Nomenclatura de las placas

El término "teca" se ha utilizado tradicionalmente para referirse a la cubierta de celulosa de las células móviles (Taylor, 1987). Algunos dinoflagelados carecen de la membrana en su anfiema y son conocidos como atecados. En estos organismos, las células están prácticamente

contenidas por el periplasto, lo que provoca que se deformen fácilmente al fijar las muestras, haciéndolas menos reconocibles o difíciles de comparar con los especímenes vivos (Figura 6).

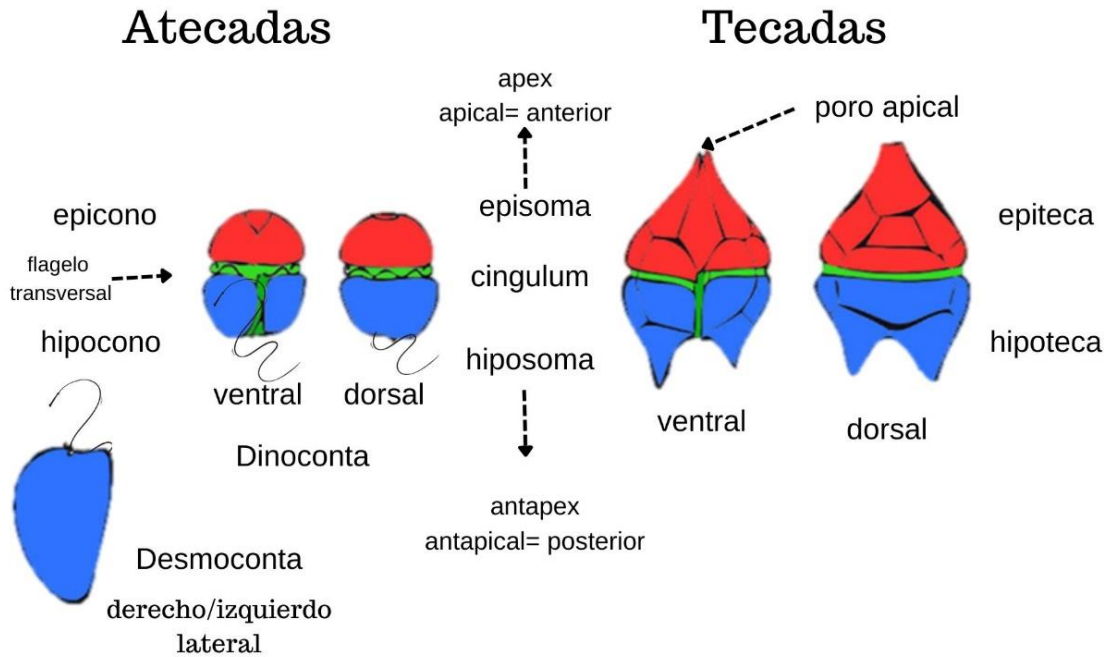


Figura 6. Diferencias morfológicas en células tecadas y atecadas. (Hoppenrath, 2017). Utilizada con permiso de la autora.

Los patrones formados por los alvéolos (sin o con placas tecales), llamada tabulación (figura 7) se han utilizado para describir y distinguir taxones de dinoflagelados durante mucho tiempo. Los dinoflagelados pueden ser atecados (sin placas: con material amorfo con vesículas anfiesmáticas) o tecados (con placas de celulosa, conocidas como células blindadas) o peliculadas (esto se refiere a una dino -película como principal capa de refuerzo del anfiesma) (Hoppenrath, 2017 y 2022).

En la mayoría de los dinoflagelados tecados, la teca está compuesta por un conjunto de placas que varían en número, forma, dimensiones y ornamentación, incluyendo poros, espinas, crestas, reticulaciones, aletas y membranas. Estas placas están estrechamente unidas, formando un delgado esqueleto periférico ubicado justo debajo del periplasto o plasmalema. La unión entre cada placa se denomina sutura (Happach-Kasan, 1982; Ojeda, 1998).

Muchas tecas presentan reticulaciones, que son áreas poligonales entrelazadas. Las tecas jóvenes a menudo no poseen más ornamentación que los poros o perforaciones pequeñas, llamadas poroides, como se observa en *Ornithocercus magnificus*. A medida que la teca se engrosa, comienzan a formarse las depresiones areolares (Ojeda, 1998; Taylor, 1987).

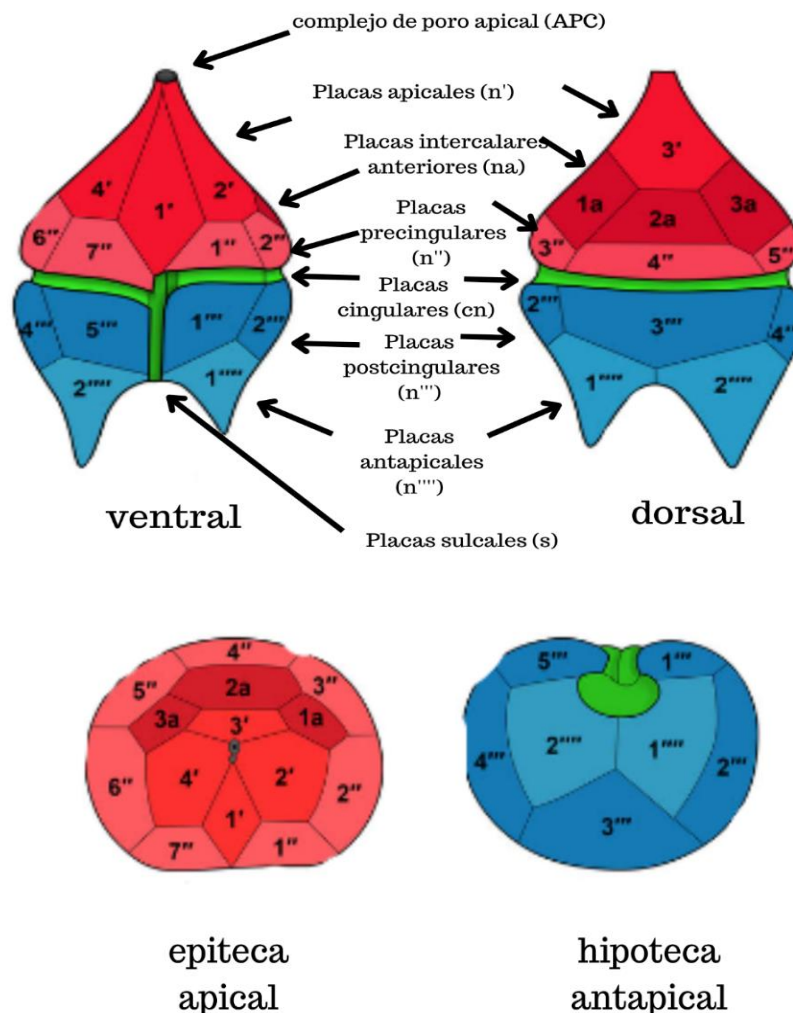


Figura 7. Sistema Kofoidiano de designación de placas tecaes (Nomenclatura de tabulación) (Hoppenrath et al., 2009). Utilizada con permiso de la autora.

El "Sistema Kofoid" es una nomenclatura de tabulación (nomenclatura de placas) es actualmente de uso universal (ver figura 7). Las placas en cada serie latitudinal están numeradas de izquierda a derecha de la celda, comenzando con la placa más cercana a la posición ventral media. También utiliza una notación para designar la serie, usando números primos para indicar las placas apicales ('), precingulares (")', poscingulares (""') y antapicales (""'). Los cingulares (C), los sulcales (S), los intercalares anteriores (a) y los intercalares posteriores (p) se designan con letras. La placa (t) es una pequeña placa de transición entre los cingulares y los sulcales en el extremo proximal de la faja en peridinoides y en el extremo distal en gonyaulacales (Hoppenrath et al., 2009).

Gómez (2012) en su artículo sobre el avance del estudio de los Dinoflagelados realiza una descripción detallada sobre los dinoflagelados de la siguiente manera:

“Los dinoflagelados poseen características morfológicas y ultraestructurales únicas como su núcleo. El dinocarión tiene un enorme genoma desprovisto de las típicas histonas eucariotas, no pierde la membrana nuclear durante la división mitótica y los filamentos de cromatina están permanentemente condensados. Las células móviles presentan dos flagelos bien diferenciados, un flagelo transversal y ondulado que se aloja en el cíngulo y el otro flagelo más convencional,

que se dirige posteriormente alojado en el sulco. Estos dos flagelos desiguales proporcionan a los dinoflagelados un característico movimiento rotacional que da nombre al grupo. Muchos dinoflagelados presentan vesículas que contienen placas de celulosa que les dan un aspecto rígido. En estos dinoflagelados tecados, el número, forma y ornamentación de las placas se utiliza para la determinación de las especies. En otros casos la cubierta celular es más fina y no permite distinguir fácilmente las placas, son los llamados dinoflagelados atecados o desnudos”.

Las características intracelulares en los dinoflagelados son principalmente la presencia de vacuolas en forma de saco en la periferia y las vesículas anfiesmáticas o alvéolos (Granéli y Turner, 2006).

### ***3.3 Ciclo vital***

En los dinoflagelados no existen las fases típicas de la mitosis. La cromatina está siempre condensada, formando cromosomas cuyo número puede variar considerablemente (entre 20 y 114 en las especies marinas). A lo largo de todo su ciclo vital, estos cromosomas son muy evidentes y se tiñen de manera brillante, contribuyendo a la bioluminiscencia (Ojeda, 1998). Durante el ciclo de vida de los dinoflagelados el principal modo reproductivo es la división asexual, no obstante, la reproducción sexual también ha sido observada en muchas especies (Joyce, 2004).

En general, el ciclo de vida de los dinoflagelados ha sido registrado y descrito de acuerdo a experimentos de laboratorio en fases haploides y diploides (Walker, 1984; Blackburn et al., 1989; Tillmann y Hoppenrath, 2013; Hoppenrath et al., 2014). Por lo general, la fase haploide incluye la división de células y la formación de gametos y la fase diploide incluye la formación de planocigotos e hipnocigotos, así como la germinación a partir de etapas de reposo (figura 8). Bajo ciertas condiciones, entre las cuales se ha identificado una limitación por nutrientes, el estrés por turbulencia excesiva y por el aumento de la abundancia celular, producen gametos de ambos sexos que al fusionarse dan lugar a un cigoto diploide ( $2n$ ) o planocigoto. El planocigoto es móvil y puede transformarse en un hipnocigoto o quiste de resistencia, que posee sustancias de reserva y con frecuencia presenta una mancha rojiza (Graham y Wilcox, 2000; Peña, 2008).

Dada estas características se ha determinado que la sexualidad de los dinoflagelados generalmente ocurre en condiciones desfavorables en la columna de agua y puede ser un fenómeno de corta duración (Kremp y Parrow 2006; Kremp y Heiskanen, 1999; Figueroa et al., 2015). La fase asexual del ciclo de vida termina cuando las condiciones ambientales cambian desfavorablemente (Anderson et al., 1984; Turpin y Harrison, 1978), donde se induce la sexualidad y la formación de gametos (Person et al., 2008).

Sin embargo, estudios recientes revelaron que los dinoflagelados tienen ciclos de vida más complejos que involucran la división directa de planocigotos y la formación de quistes en reposo sin reproducción sexual (Kremp y Parrow 2006; Figueroa et al., 2015; Evit, 1985).

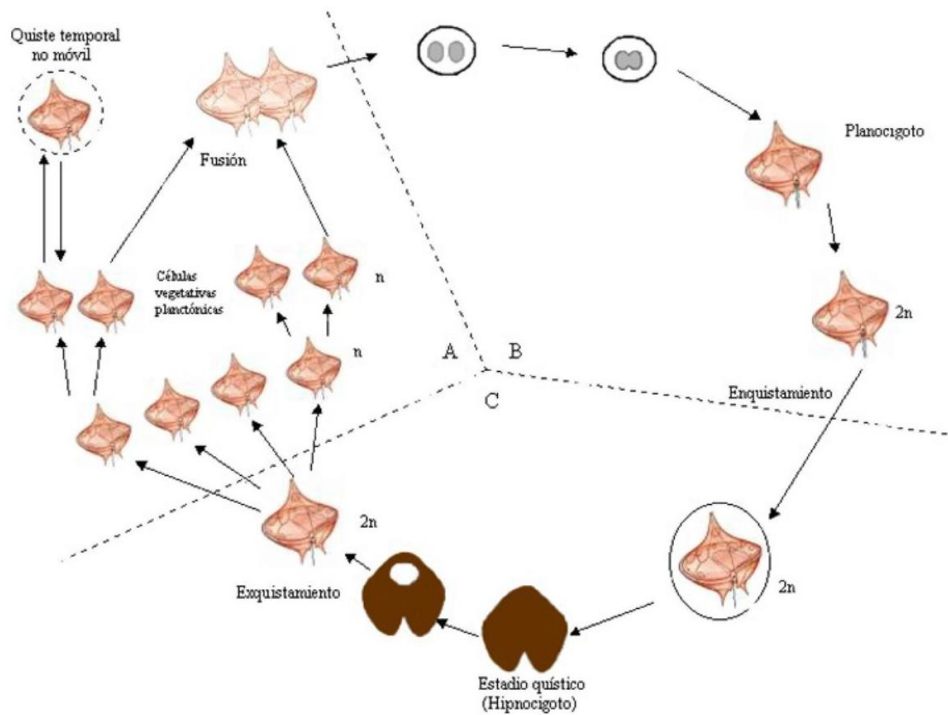


Figura 8. Ciclo de vida de un dinoflagelado meropláctico con alternancia de reproducción sexual y asexual. A. células móviles, haploides. B. Células móviles, diploides. C. Células diploides, no móviles. Góngora González, D. T. (2003). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

### 3.4 Diversidad de los dinoflagelados

En la actualidad el número de especies vivas se estima aproximadamente en unas 2000 y alrededor de 2500 especies fósiles. Una revisión reciente de Gómez (2015) reconoció 1555 especies marinas de vida libre. Se estima que existen aproximadamente 160 especies bentónicas marinas. Se han registrado varios dinoflagelados en la nieve y en el hielo marino. Desde 2004 hasta finales de 2006, se han descrito una nueva familia, 12 nuevos géneros y 27 nuevas especies de dinoflagelados. Y estos claro, son números que siguen en constante aumento y modificación.

La morfología celular permite clasificar a los dinoflagelados mediante la observación de su forma y las características de sus apéndices, como membranas, aletas y espinas, así como la posición del cíngulo y el número y disposición de las placas que conforman la teca. Las características biológicas, como el modo de vida y la movilidad de la célula, intervienen de manera secundaria en esta clasificación. (Guiry y Guiry, 2018; Ojeda, 1998; Thomas, 1997).

#### **Dinophysiales**

Las especies de este orden poseen un par de flagelos heterocontos en el sulcus y el cíngulo, tienen una teca bivalva, que presenta dos crestas delgadas que salen de los surcos, reforzadas con nervios. Este orden comprende 17 géneros divididos en tres familias: *Amphisoleniaceae*, *Dinophysiaceae* y *Oxyphysiaceae* (figura 9) (Guiry y Guiry, 2018; Okolodkov, 2014; Okolodkov et al., 2011; Okolodkov, 2010).

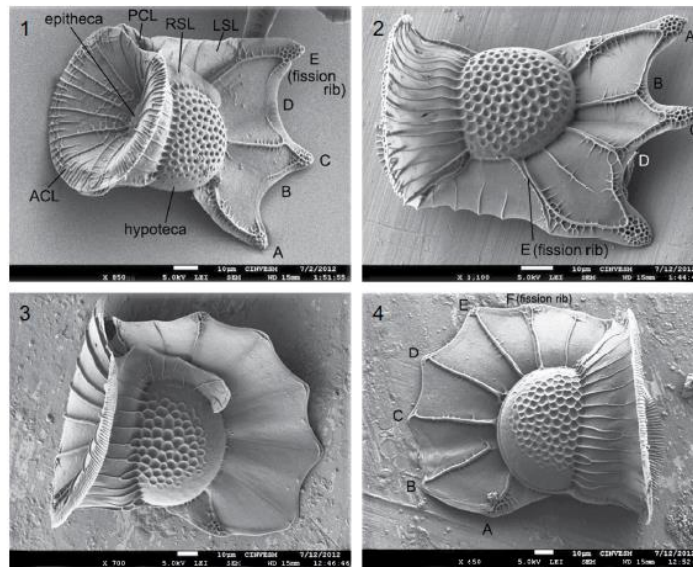


Figura 9. Micrografías electrónicas de barrido de algunas especies de *Dinophysiales*. Figuras 1 y 2. *Ornithocercus magnificus* (1 - vista apical del lado derecho; 2 - vista del lado izquierdo). Figuras 3 y 4. *Ornithocercus steinii* (3- vista del lado derecho; 4 - vista del lado izquierdo). (Okolodkov, 2014). Utilizada con permiso del autor.

### *Gymnodiniales*

Las especies de este orden poseen dos flagelos heterocontos en el sulcus y el cíngulo, comúnmente con formas atecadas, aunque algunas especies poseen placas tecales (figura 10). Cuenta 48 géneros divididos entre 8 familias (Guiry, 2013).

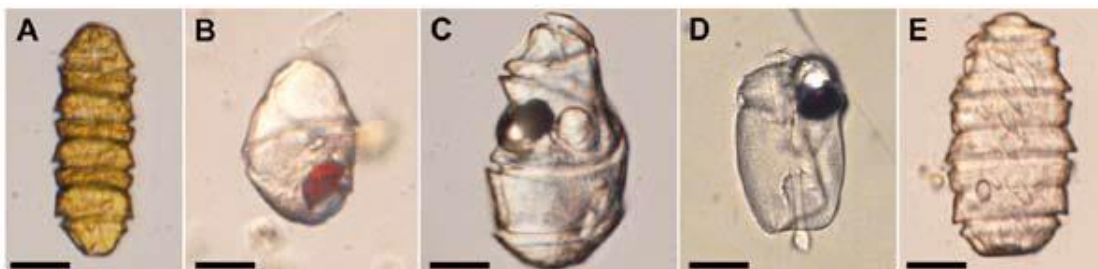


Figura 10. Ejemplos de dinoflagelados desnudos o atecados. Orden *Gymnodiniales* (A) *Gymnodinium impudicum* (Fraga et Bravo) G. Hansen et Moestrup. (B-C) *Warnowia* spp. La región pigmentada corresponde al ocelo. (D) *Erythrotriodinium*, véase el pistón (flecha). (E) *Polykrikos*. (Gómez et al., 2011). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

### *Gonyaulacales*

Son peridinioides, blindados, principalmente marinos, algunas de las especies producen toxinas. Se pueden clasificar principalmente por la posición y el número de placas (figura 11). Este orden cuenta con 25 géneros divididos en 8 familias (Guiry, 2013).

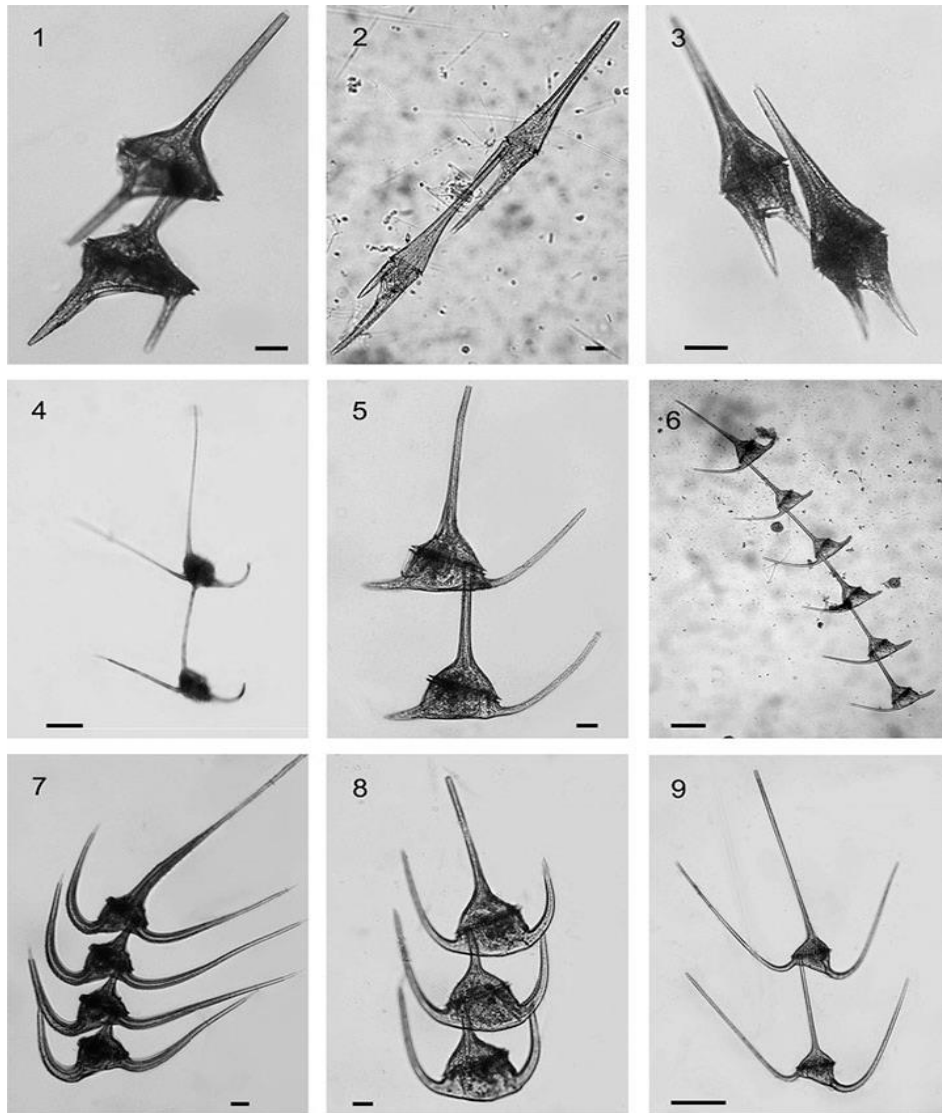


Figura 11. Colonias de especies de *Triplos* (Gonyaulacales). (1) *T. candelabro* (2) *T. furca* var. *furca* (3) *T. furca* var. *hircus* (4) *T. hexacanthum* (5 y 6) *T. guaridas*. (7) *T. vultur* f. *buitre* (8) *T. triplos* (9) *T. massiliense* var. *armatum*. (Okolodkov, 2010). Utilizada con permiso del autor.

*Noctilucales*

Este orden se asemeja más a los dinoflagelados típicos sin teca y tienen un núcleo dinocarión, la especie más común es *Noctiluca scintillans* (figura 12). Consta de 11 géneros divididos en 4 familias (Guiry y Guiry, 2018; Cachon y Cachon, 1967).

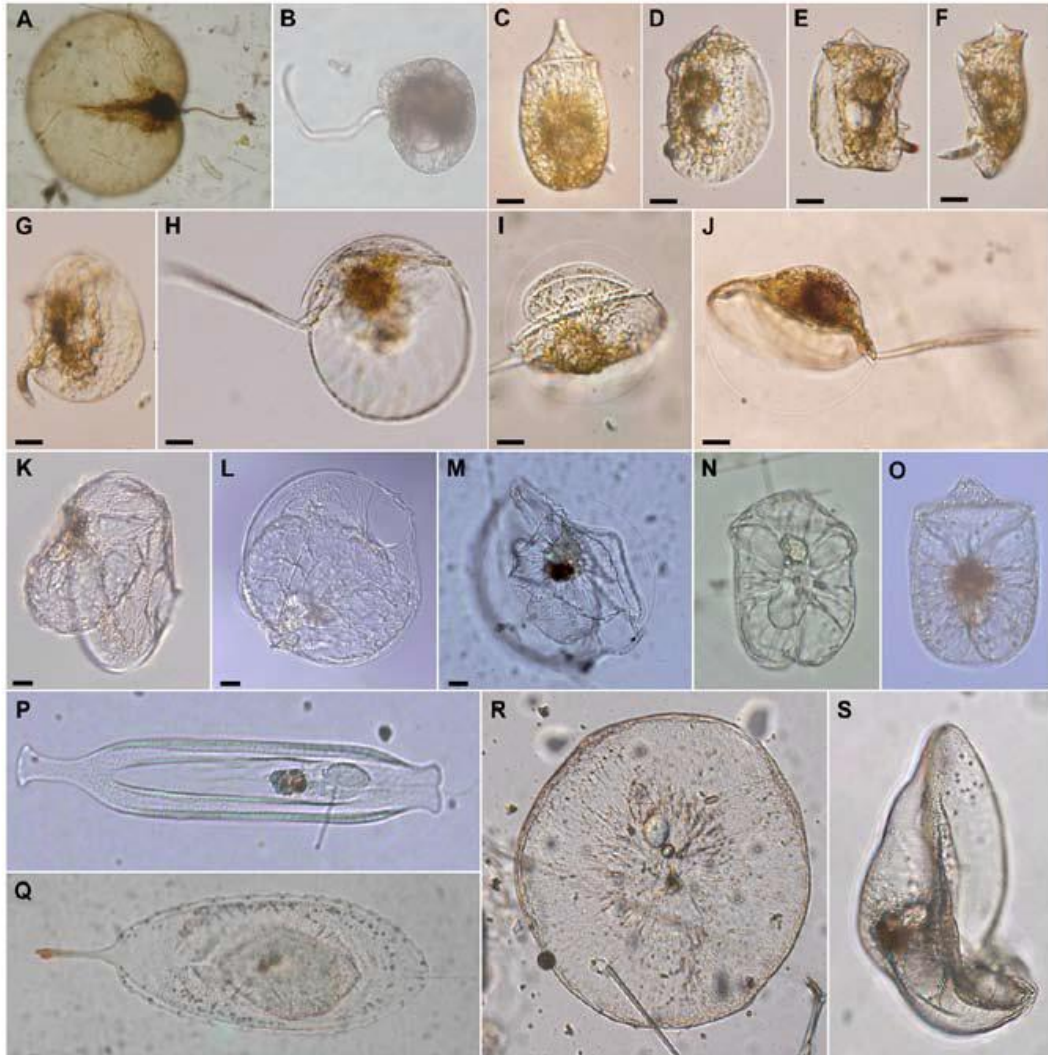


Figura 12. Ejemplos de *Noctilucales*. (A-B) *Noctiluca scintillans*. (C-J) *Spatulodinium pseudonoclituca* (C) Estadio inmaduro *Gymnodinium lebouriae*. (D-G) Especimen con tentáculo. (H-J) Estadios maduros. (K-M) *Kofoidinium pavillardii* J. Cachon et M. Cachon. (N-O) Estadios inmaduros de *Kofoidinium*. (P) *Scaphodinium*. (Q) *Abedinium*. (R-S) *Leptodiscus*. Barra de escala = 20  $\mu$ m. (Gómez et al, 2011). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

***Peridinales***

Poseen un par de flagelos heterocontos ubicados en el surco y el cingulo. Durante la reproducción asexual, se caracterizan por una división celular oblicua, en la cual cada célula hija recibe la mitad de la teca de la célula madre (Figura 13). Este orden comprende 33 géneros distribuidos en 13 familias. (Guiry y Guiry, 2018).

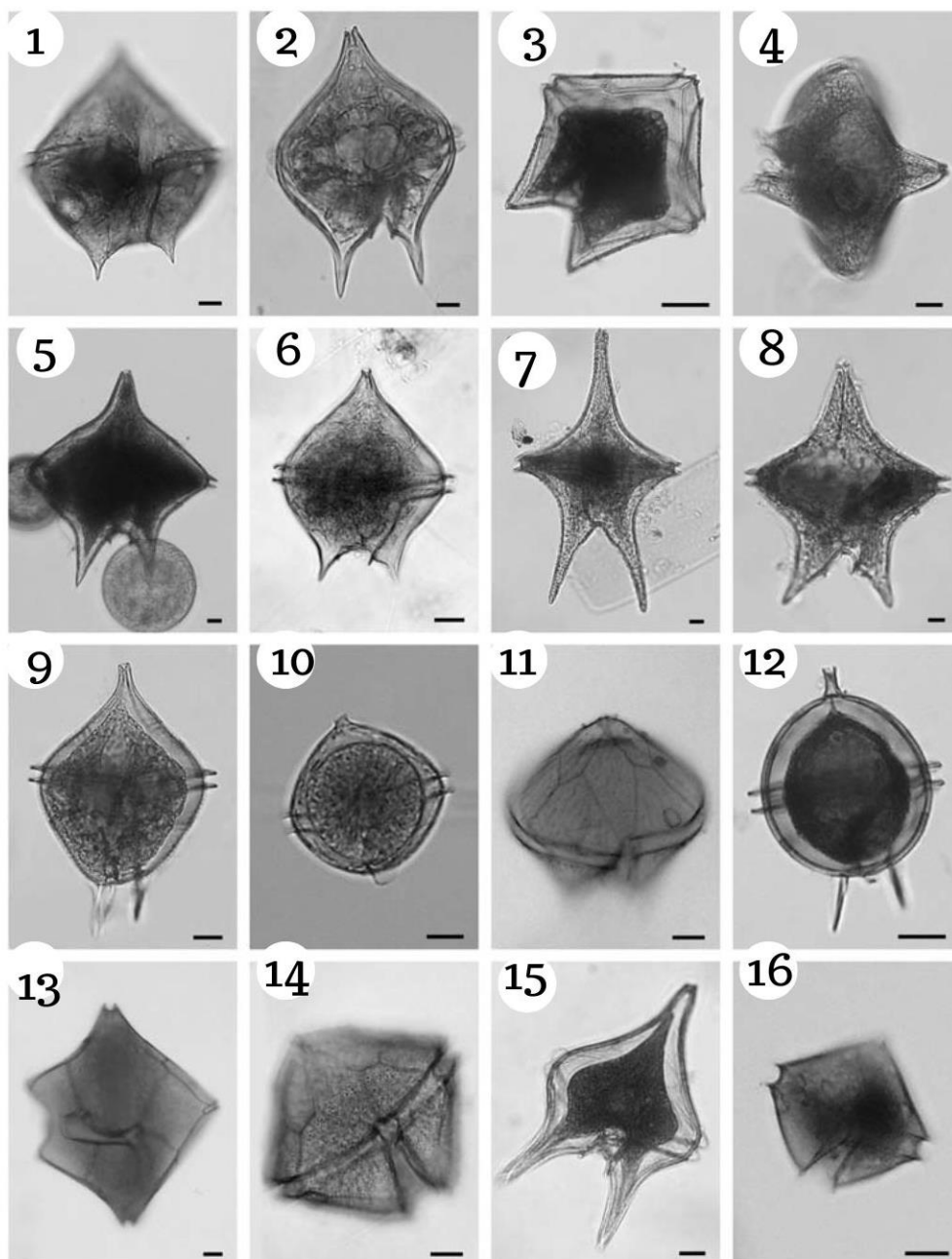


Figura 13. Micrografías de luz de algunas especies de *Protoperidinium*. (1) *Protoperidinium brochii*, (2) *P. claudicans*, (3) *P. conicum*, (4) *P. crassipes*, (5) *P. depressum*, (6) *P. divergens*, (7) *P. elegans*, (8) *P. grande*, (9) *P. latispinum*, (10) *P. minutum*, (11) *P. obtusum*, (12) *P. oviforme*, (13) *P. pentagonum*, (14) *P. punctulatum*, (15) *P. venustum*, (16) *P. vulgare*. Escala 10 mm. (Okolodkov, 2005). Utilizada con permiso del autor.

### *Prorocentrales*

Poseen la característica de tener un par de flagelos insertados apicalmente, a diferencia de otros grupos donde los flagelos son insertados ventralmente. Uno de los flagelos se extiende hacia adelante mientras que el otro rodea su base y no presentan surcos flagelares. Poseen una teca compuesta por dos placas grandes unidas por una sutura sagital (Figura 14). Este grupo incluye cuatro géneros pertenecientes a una sola familia (Guiry y Guiry, 2018).

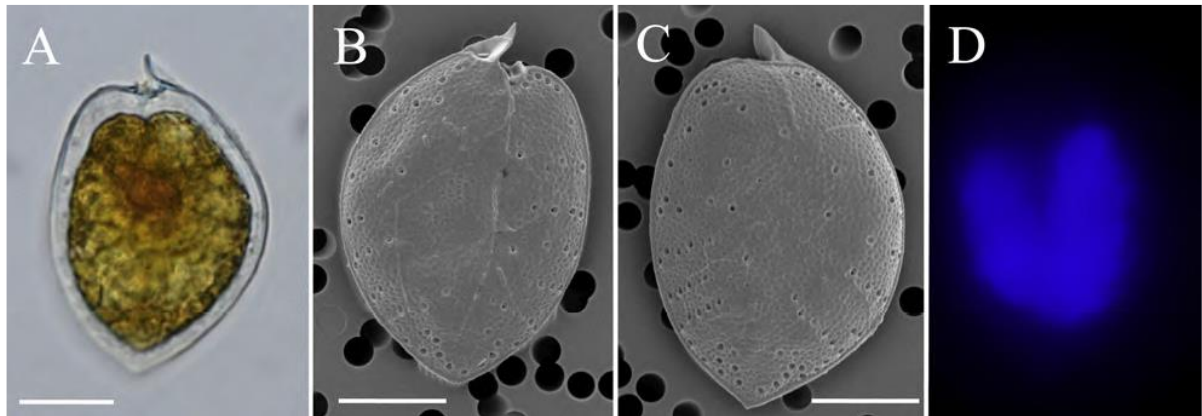


Figura 14. *Prorocentrum micans* especie del orden Prorocentrales. (A) Vista general. (B) Valva derecha. (C) valva izquierda. (D) Núcleo posterior en forma de corazón teñido con DAPI (azul). A: microscopía óptica; B-C: escaneo microscopio de electrones; D: microscopía de fluorescencia. (Myung-Soo et al., 2016). Figura reproducida con permiso de Elsevier, bajo la licencia número 5927071312831.

### 3.5 Toxinas de dinoflagelados

Las toxinas producidas por los dinoflagelados marinos se encuentran entre los materiales letales no proteicos más potentes que se conocen. Las más notorias de las toxinas de dinoflagelados son las neurotoxinas (Tait y Dipper, 1998) y constituyen un asunto de preocupación en salud pública ya que afectan a muchos productos de origen hidrobiológico a través de la cadena alimentaria, especialmente durante la formación de mareas rojas (Tabla 1).

Las principales toxinas que se liberan al ambiente producidas por dinoflagelados son: el ácido okadaico (producido por los géneros *Gambierdiscus* y *Prorocentrum*), ácido domoico (producido por los géneros *Pseudo-nitzschia* y *Nitzschia*) (Todd, 1993; Bates et al., 1988), brevetoxinas (producido por el género *Karenia*), saxitoxinas (producidas por miembros del género *Gonyaulax*) (Contreras et al., 2017); ciguatoxinas (producido por el género *Gambierdiscus*), dinofisistoxinas (producidas por el género *Dinophysis*) y otras neurotoxinas y biotoxinas (Band-Schmidt et al., 2019; Choudhury y Pal, 2014; García-Pérez et al., 2020; Reguera et al., 2011 y 2012; Steidinger, 2009).

**TABLA 1  
PRINCIPALES FICOTOXINAS MARINAS**

<i>Nombre del síndrome</i>	<i>Nombre De la toxina y abreviatura</i>	<i>Tipo de compuesto</i>	<i>Dinoflagelados identificados en Guatemala</i>	<i>Riesgo en seres vivos/ epidemiología</i>	<i>Acción en seres humanos</i>
Intoxicación paralítica por mariscos (PSP)	Saxitoxina STX	Tetrahidropurina (alcaloide)	<i>Gymnodinium catenatum</i> , <i>Pyrodinium bahamense</i> , <i>Gonyaulax Alexandrium</i> spp.	Los STX se acumulan en muchas especies marinas a través de la red trófica, (bivalvos) al alimentarse en suspensión de dinoflagelados tóxicos, pero también en crustáceos y gasterópodos. Las toxinas pueden transferirse a mamíferos marinos y aves que se alimentan mediante diversos mecanismos de zooplancton, moluscos, ictioplancton y peces (Durán-Riveroll y Cembella, 2017; Van Egmond et al., 2005).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hormigueo o entumecimiento</li> <li>• Pérdida temporal de visión</li> <li>• Debilidad muscular</li> <li>• Falta de coordinación motora</li> <li>• Dificultad para medir distancias (dismetría)</li> <li>• Mareos, náuseas y vómitos</li> <li>• Diarrea</li> <li>• Sensación de pinchazos en las extremidades (parestesia)</li> <li>• Habla incoherente</li> <li>• Problemas respiratorios</li> </ul>
Intoxicación neurotóxica por mariscos (NSP)	Brevetoxina BTX	Poliéteres	<i>Gymnodinium</i>	No existen datos toxicológicos y existen dificultades analíticas relacionadas con la determinación de la exposición a la brevetoxina. La gestión de riesgo se basa al analizar valores de 5000 G. breve células/litro y determinación de la Tx en los mariscos es menor a 80 µg/100 g.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción del ritmo respiratorio</li> <li>• Disminución de la temperatura corporal</li> <li>• Escalofríos y sudoración</li> <li>• Hormigueo y cosquilleo en labios, cara y extremidades</li> <li>• Broncoconstricción</li> <li>• Arritmia</li> </ul>
Intoxicación diarreica por mariscos (DSP)	ácido ocadaico AO	Policétidos	<i>Dinophysis</i> spp. <i>Prorocentrum</i> spp.	En las experiencias con animales, los efectos genotóxicos y cancerígenos de las OA y de las DTXs se aprecian a dosis altas y con diarreas en seres humanos.	Diarrea, náuseas, vómitos y dolores abdominales. Los síntomas aparecen a los 30 min

	Pectenotoxinas PTX	Policétidos	<i>Dinophysis</i> spp.	Se encontraron -seco-pectenotoxina-2 (PTX2SA) y su epímero: ácido 7-epi-seco-pectenotoxina-2 (7-epi-PTX2SA)- en mejillones relacionados a <i>Dinophysis</i> (Suzuki y Mitsuya, 2001).	No se dispone de datos para seres humanos de PTXs. El nivel de seguridad para los seres humanos se base en datos toxicológicos de animales.
	Yesotoxinas YTX	Policétidos	<i>Dinophysis</i> spp. <i>Prorocentrum</i> spp. <i>Gonyaulax</i>	El origen YTX en microalgas se ha demostrado recientemente. <i>Gonyaulax grindleyi</i> , (Satake et al., 1997); <i>Gonyaulax polyedra</i> en Italia.	No hay información disponible en seres humanos para las YTXs. El nivel de seguridad está, por tanto, basado en datos de animales. Esta estimación está basada en ratones en efectos cardíacos, se ha calculado el nivel de seguridad para humanos de 10ug/kg.
intoxicación azaspiracida por mariscos (AZP)	Azaspirácido AZP	Policétidos	<i>Protoperidinium</i> spp.	Se ha sugerido un nivel de 16 µg/100 g para permitir la detección por el bioensayo en ratón. Sin embargo, con consumos de mariscos de 300 g por comida, un individuo ya ingeriría una cantidad de AZAs equivalente al nivel más bajo con efecto adverso observado para seres humanos (Alonso-Rodríguez, 2020).	·Nauseas ·Diarrea grave ·Vómitos ·Calambres de estómago

## Capítulo 4

### MATERIAL Y MÉTODOS

«Los dinoflagelados son una parte increíblemente importante del ecosistema marino, la fuente de la primitiva cadena alimenticia del océano, son un alto número de individuos en biomasa total producida. En abundancia son el segundo lugar tras las diatomeas en plancton marino, pero en tiempos de verano y localmente pueden sobrepasarlas»

*Charles Atwood Kofoid (1921)*

## 4.MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1. Material

Se identificaron un total de 42 especies de dinoflagelados, pertenecientes a 6 órdenes y 14 géneros en muestras de tres boyas de navegación en la zona del Puerto Quetzal en el Pacífico de Guatemala en columna de agua en 2 profundidades (1.5 y 5 metros) utilizando botella muestreadora durante un ciclo anual. Para el Catálogo de especies se analizaron muestras de 10 zonas del Pacífico de Guatemala.

### 4.2. Análisis de variables fisicoquímicas

Se tomaron muestras en tres estaciones de trabajo a 1.5 y 5 m de profundidad, obteniendo un total de 6 muestras mensuales por un período de 12 meses, que suman 72 muestras para analizar la clorofila-*a* mediante los métodos propuesto por APHA AWWA y WPCF (2017) (Baird et al., 2017).

La concentración de clorofila-*a* se emplea para estimar la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas, debido a que es el principal pigmento fotosintético presente en las algas. Además, sirve como indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos y como un importante índice del estado fisiológico del fitoplancton (Rivera et al., 2005).

El agua colectada se guardó en una botella plástica opaca. Cada muestra se almacenó en el campo en una hielera para su transporte al laboratorio, donde fue refrigerada. Luego, las muestras fueron filtradas mediante el uso de una bomba de vacío y filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (0.47  $\mu\text{m}$  de poro). Posteriormente, los filtros fueron macerados con un mortero de mano y se realizó la extracción utilizando acetona al 90%. El extracto resultante se almacenó en oscuridad a refrigeración durante 24 horas. (APHA, AWWA & WPCF, 2017). La medición espectrofotométrica de los extractos acetónicos se realizó con un equipo HATCH 6000, espectrofotómetro de UV visible con múltiples longitudes de onda (445, 750, 630 y 665 nm).

En cada estación de muestreo se registró la temperatura del aire con información satelital, se midió el grosor de la zona fótica por medio de un disco Secchi con un diámetro de 25 cm para estimar la profundidad de compensación (aproximadamente 2.7 veces la profundidad de visión del disco Secchi). Profundidad a la que el oxígeno producido por fotosíntesis es igual al consumido por respiración, la cual es importante para establecer los niveles de colecta en la columna de agua, considerando la penetración lumínica como factor determinante.

Asimismo, en cada sitio de monitoreo se registró la temperatura del agua (0.1 °C de precisión) y el oxígeno disuelto (0.01 mg L<sup>-1</sup> de precisión) y porcentaje de saturación de oxígeno con un oxímetro; el pH (0.1 unidades), la conductividad (1  $\mu\text{S cm}^{-1}$  de precisión) y la salinidad se registraron con una sonda multiparamétrica HANNA 98194 con cable de 4 m.

Otros parámetros que se registraron en cada punto de muestreo son: clorofila-*a* satelital en la capa superficial (5m), hora, marea, ciclo lunar y corrientes. Estos datos fueron solicitados al Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrografía (INSIVUMEH) de Guatemala.

Se realizaron colectas de agua con una botella Van Dorn de 6.4 L a profundidades de 1.5 y 5 m. En laboratorio se analizó por el método de absorbancia: amonio, nitrógeno total, fósforo total y sulfatos, utilizando soluciones preparadas y curvas de calibración, basadas en los métodos estándares (APHA, AWWA & WPCF, 2017).

### **4.3. Localización de la zona de estudio**

El área marino-costera de estudio se encuentra ubicada en el municipio de San José, departamento de Escuintla; presenta condiciones climáticas con temperaturas cálidas-tropicales que varían entre los 22-34° C, las temperaturas más bajas las presenta en los meses de octubre a diciembre; tiene una estación seca bastante corta durante el verano, en los meses de marzo y abril. La humedad tiene un rango promedio entre del 56% en los meses de verano y 85% en los meses de invierno, con vientos de entre 8 a 20 km/hora, éstos de la temporada y un promedio de precipitación media anual de 3319 mm (Arévalo-Martínez, 1945; Comisión Portuaria, 1997).

Las Costas del Océano Pacífico no cuentan con elevaciones importantes como montañas o cerros ya que se encuentra en una planicie que termina al borde de este océano. Posee extensas playas de área volcánica; así mismo es irrigado por la vertiente de varios ríos, entre los más importantes podemos mencionar: Michatoya, Achiguate, María Linda, Botón Blanco, Las Milpas, río Seco y el río Cristalino, que desembocan en ese mismo océano. Además, se encuentran en la jurisdicción de San José otros accidentes hidrográficos importantes, entre los cuales se mencionan 10 zanjones, 3 lagunas, 2 lagunetas y el canal de Chiquimulilla, que es navegado por varias embarcaciones, sirviendo de vía de comunicación entre varias comunidades, además de ser parte importante de esta vertiente (Arévalo-Martínez, 1945; Morales, 2014; Rodríguez, 2016).

El área de estudio se define como un bosque húmedo subtropical (cálido), de acuerdo con la clasificación de las zonas de vida para Guatemala, estimadas con la clasificación de Holdridge, dada su ubicación entre el trópico de Cáncer y Capricornio y a la alta pluviosidad que presenta (Holdridge, 1967; Morales, 2014).

#### **4.3.1. Delimitación espacial**

En el Pacífico central de Guatemala se seleccionó Puerto Quetzal como la zona principal de estudio. Puerto Quetzal se encuentra ubicado en la costa del Pacífico guatemalteco, en el departamento de Escuintla, Guatemala, a una latitud de 13° 55' N y una longitud 90° 47' W a 98 km de la Ciudad Capital. El acceso por medio de las vías marítimas es a través de un canal de 210 metros de ancho llamado "Entre Morros", una edificación artificial diseñada por la Empresa Portuaria Nacional, cuenta con dos rompeolas oeste y este que forman una bahía y protegen el atraque de los barcos del oleaje de la zona. Además, este canal tiene una curvatura de 1000 metros para facilitar un acceso directo. (Comisión Portuaria Nacional, 2017; Solares, 2021). La Empresa Portuaria Quetzal cuenta con siete boyas oceanográficas (figura 15) que han sido establecidas para diversos fines de navegación marítima y las cuales sostienen monitoreos hidrográficos constantes.

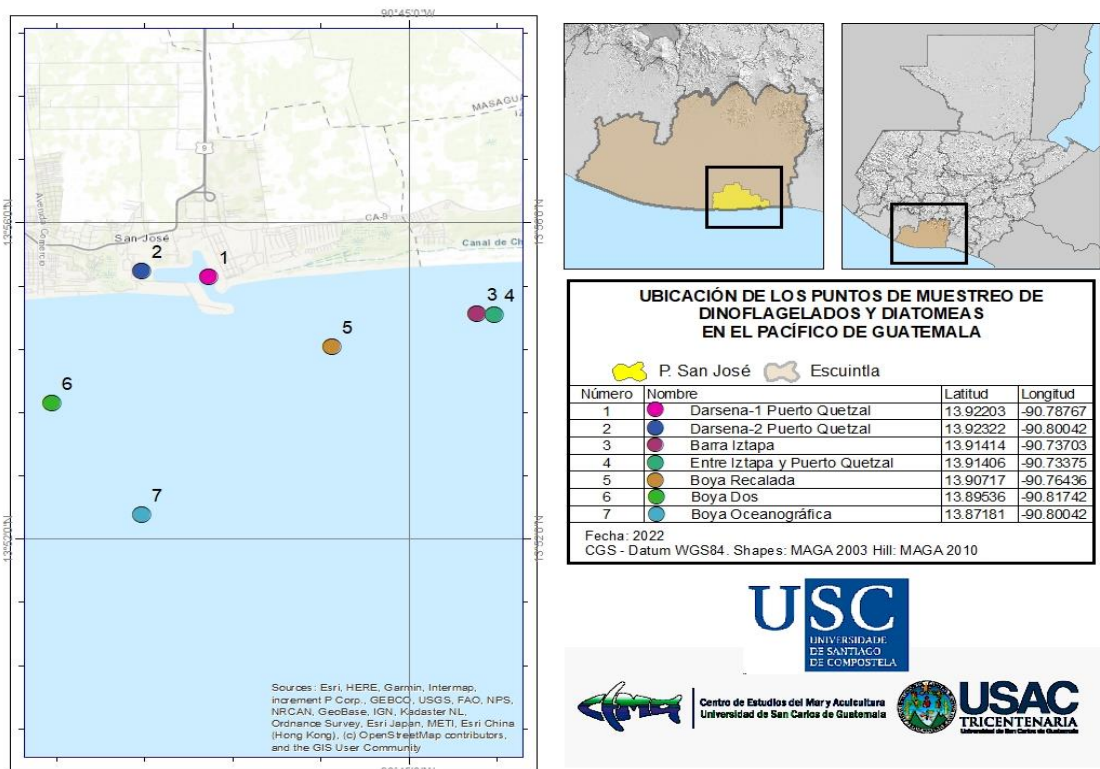


Figura 15. Boyas oceanográficas establecidas por la Empresa Portuaria Quetzal

En el área seleccionada para la investigación, se establecieron tres puntos estratégicos de muestreo, que fueron seleccionados basados en el monitoreo de marea roja que se ha llevado a cabo por el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA- en colaboración con otras entidades en años anteriores, cada uno de estos sitios presenta características diferentes entre sí en cuanto a los parámetros físico-químicos, corrientes y oleaje, sin embargo en cuanto a los tipos de sedimento, presenta características similares.

Las estaciones oceanográficas se establecieron en tres boyas oceanográficas que se encuentran ubicadas en sentido «contra-corriente» en dirección de la entrada a Puerto Quetzal (figura 16), que es la zona de acceso que comunica con mar abierto (Reguera et al., 2011). En cada uno de los tres sitios las muestras de fitoplancton y del agua se recolectaron de dos profundidades establecidas (1.5m y 5 m), para la caracterización de las comunidades fitoplanctónicas del área.

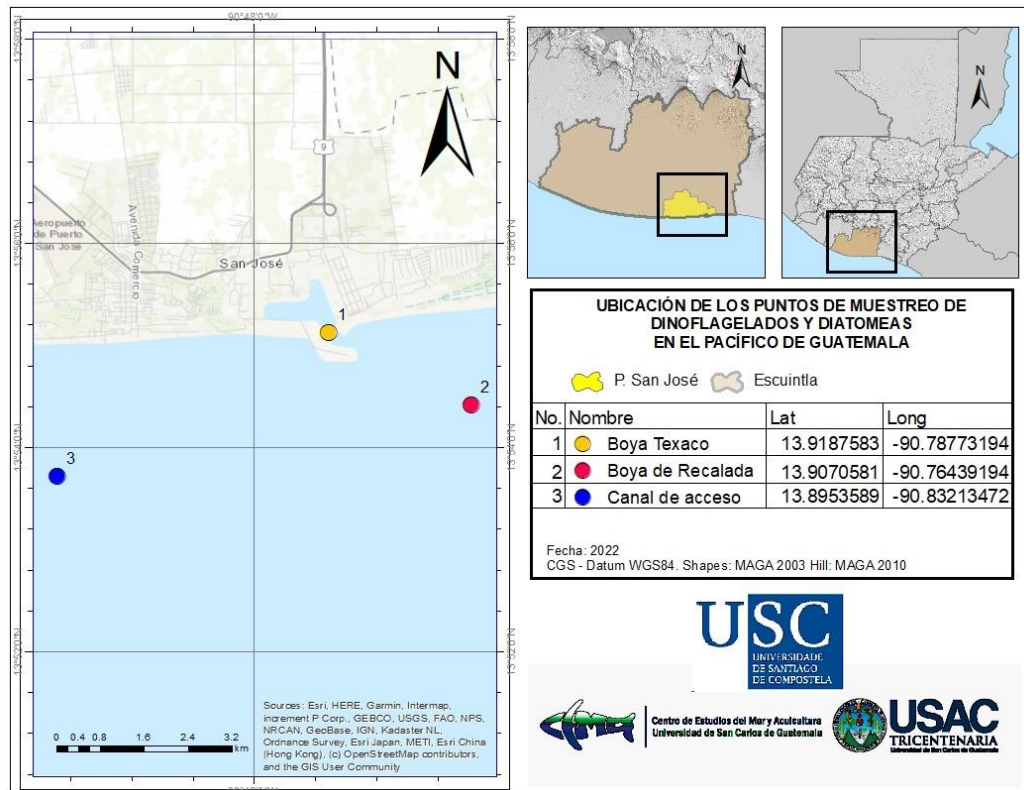


Figura 16. Ubicación de los puntos de muestreos en el Pacífico central de Guatemala en 2021.

### 4.3.2. Descripción de las estaciones de muestreo

#### Estación 1: Boya Canal de acceso “Entre Morros”

Localizada en las coordenadas geográficas  $13^{\circ} 55' 7.53''$  N y  $90^{\circ} 47' 15.835''$  W. La orientación de este punto se encuentra hacia el sureste, para poder afrontar el oleaje de fuerza apreciable de azimut  $150^{\circ}$ , las olas de largo período y las intrusiones de arena susceptibles de cobrar importancia (figura 17) (Comisión Portuaria Nacional, 1997). Este sitio es el punto más crítico para la permanencia de organismos hidrobiológicos, puesto que es el punto de entrada de las embarcaciones mercantes y el punto que puede presentar más cambios en cuanto a sus parámetros físico-químicos, arrastre de sedimentos por la alta actividad de transición y movimiento de aguas en esta zona.

En general, los autores describen este sitio como poseedor de numerosos microhábitats a escala de paisaje. Estos incluyen pequeñas áreas de un ecosistema con características específicas y detalladas en términos de vegetación y fauna, que las distinguen de su entorno y condicionan la presencia de ciertas especies en el lugar (Block y Brennan, 1993), en este punto el sedimento se clasifica con una composición de limo y arena fina de origen volcánico.



Figura 17. Primer punto de muestreo canal de acceso denominado “Entre Morros”

### Estación 2: Boya de Recalada

Localizada en las coordenadas geográficas  $13^{\circ} 54' 25.409''$  N y  $90^{\circ} 45' 51.811''$  W. Este sitio es el punto que se encuentra en el límite perimetral de la dársena, es decir más cercano al mar abierto, es un punto de referencia a los buques que acceden a Puerto Quetzal señalando las aguas navegables y el mejor lugar de paso para las embarcaciones (figura 18), en este punto el sedimento se clasifica con una composición de limo y arena fina de origen volcánico.



Figura 18. Segundo punto de muestreo límite perimetral de la dársena de maniobras denominada “Boya de Recalada”

### Estación 3: Boya Texaco

Localizada en las coordenadas geográficas  $13^{\circ} 53' 43.292''$  N y  $90^{\circ} 49' 55.685''$  W. Este sitio de muestreo se encuentra frente a la playa pública de Puerto de San José, delimita las ubicaciones de los conductos y tuberías de carga y descarga de combustibles fósiles pertenecientes a la Texas Petroleum Company, más conocida como Texaco Petroleum Co. De aquí el nombre de reconocimiento para este sitio de muestreo (figura 19). Este punto se encuentra en mar abierto pero su ubicación frecuenta la actividad marítima industrial de la zona; en este punto el sedimento también se clasifica con una composición de limo y arena fina de origen volcánico, característico de esta zona del Pacífico guatemalteco.



Figura 19. Tercer punto de muestreo en mar abierto denominado “Boya Texaco”

#### 4.3.3. Otras áreas de estudio en los análisis de florecimientos algales nocivos

El área de muestreo del Pacífico de Guatemala, donde se identificaron los florecimientos algales tóxicos, se encuentra influenciada por la zona tropical del hemisferio norte, experimenta una amplia diversidad altitudinal que va desde el nivel del mar hasta los 4220 metros. Esta variabilidad altitudinal genera una diversidad de entornos, conocidos como microclimas. Además, la influencia oceánica a lo largo de tres vertientes contribuye significativamente a la variabilidad climática, dando lugar a períodos con distintas duraciones e intensidades de lluvia y variaciones en la temperatura del aire, aspecto fundamental según indican estudios recientes (Bardales-Espinoza et al., 2019). A diferencia de las cuatro estaciones del año presentes en las latitudes medias, Guatemala se caracteriza por tener dos estaciones muy marcadas: la estación lluviosa (de mayo a octubre) y la estación seca (de noviembre a abril).

Durante la temporada de lluvias, que inicia en mayo, se observa una mayor presencia de días nublados y lluviosos, especialmente en junio, cuando los vientos alisios del Noreste generan la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la cual se aproxima a las latitudes de Guatemala.

Este fenómeno ocasiona la formación de sistemas nubosos que, transportados por los vientos alisios, provocan lluvias intensas. El inicio de la temporada de lluvias en gran parte del territorio guatemalteco se debe a la influencia del oleaje del Este, el ingreso de humedad a ambas costas y la aproximación del eje de la ZCIT. Ocasionalmente, estas ondas orientales pueden evolucionar en ciclones tropicales, generando precipitaciones torrenciales durante su paso (ICC, 2022; INSIVUMEH, 2022). En julio y principios de agosto, se presenta un período seco conocido como canícula, debido a la reversión de los vientos alisios y al fortalecimiento del anticiclón en el Golfo de México. Posteriormente, con la disminución y desaparición de este fenómeno, retornan las lluvias intensas, completando así la temporada de lluvias en septiembre y octubre (INSIVUMEH, 2022).

Durante la estación seca, la presión atmosférica aumenta y masas de aire frío migran desde la zona polar, lo que ocasiona una disminución de la temperatura y un aumento en la velocidad del viento. Predomina el viento del norte y la estación fría se extiende de noviembre a febrero. Posteriormente, la temperatura se incrementa y se presentan olas de calor en marzo y abril. Durante este período, pueden ocurrir algunas lluvias convectivas o prefrontales locales debido a la influencia de frentes fríos (INSIVUMEH, 2022).

El muestreo se realizó en 10 zonas del Pacífico de Guatemala durante los meses de mayo a agosto del año 2022, como se muestra en la figura 20.

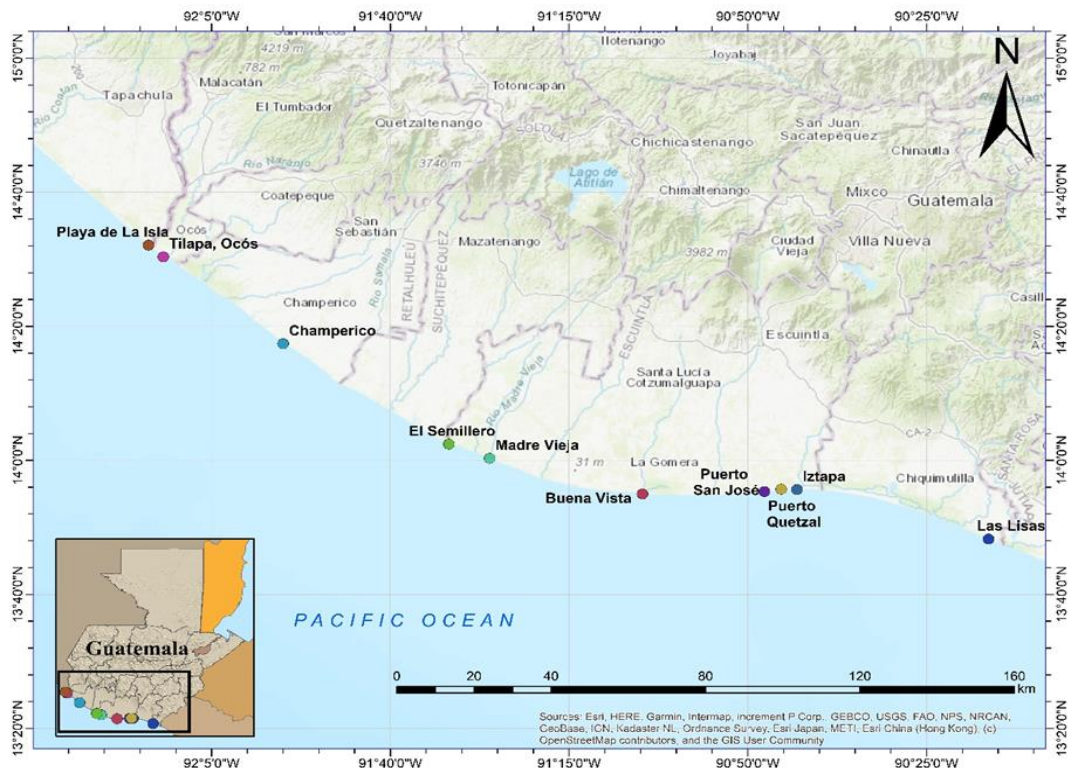


Figura 20. Áreas de muestreo durante los florecimientos algales en el Pacífico de Guatemala.

#### 4.4. Delimitación temporal

Esta investigación se llevó a cabo durante el periodo de enero a diciembre 2021 y para registrar los florecimientos algales se tomaron datos de los mismos durante el evento presente de mayo a agosto 2022. Se realizaron muestreos mensuales (12); se colectaron muestras de fitoplancton y agua, así como la toma de parámetros físico y químicos *in situ*. Los muestreos se realizaron con un rango de periodicidad de cuatro semanas entre cada uno aproximadamente.

#### 4.5. Toma de muestras

Se utilizó una red de fitoplancton con una luz de malla de 25  $\mu\text{m}$  y un diámetro de aro de 20 cm. Las muestras se fijaron con Lugol ácido en la lancha inmediatamente después del muestreo y se almacenaron en botellas Kimax-Kimble de 500 ml y se guardaron en una hielera en el campo.

En los últimos años, numerosos estudios importantes han empleado la solución de Lugol ácido para la preservación de organismos fitoplanctónicos. Esta solución no solo preserva los flagelos, sino que también facilita su observación. La concentración del fijador varía, oscilando entre unas pocas décimas de mililitro hasta 1 ml de Lugol por cada 100 ml de agua, lo cual asegura una adecuada fijación y evita la sobre coloración de las células. (Katano et al., 2009). También se realizó un arrastre vertical de plancton durante 5 min con red de 25  $\mu\text{m}$  de apertura de malla en cada punto de muestreo. Se procesó la muestra directamente sin necesidad de concentración previa, guardando el arrastre en un recipiente de vidrio que se refrigeró y se agregó alcohol al 80% (Reguera et al., 2011).

Adicionalmente, se coordinó con las instituciones que conforman la Comisión Nacional de Marea Roja en Guatemala para realizar la colecta de moluscos bivalvos para garantizar la seguridad para el consumo humano (durante el año 2022). El objetivo de este muestreo fue cuantificar la presencia de STX, utilizando el Método Oficial de Análisis 959.08.16 de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (AOAC, 2000) que utiliza bioensayos en ratón, siguiendo los criterios de la Comisión del Codex Alimentarius (2017). Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio Nacional de Salud del Ministerio de Salud de Guatemala (LNS-MSPAS), en colaboración con la Dirección de Normatividad de Pesca y Acuicultura del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Es importante señalar que debido a la pandemia de COVID-19, el muestreo no se realizó de manera continua durante el año 2020.

#### 4.6. Identificación y cuantificación de dinoflagelados

Para la identificación morfológica de fitoplancton se utilizó un microscopio invertido y literatura especializada con claves taxonómicas. Para la identificación a nivel de especie, cuando fue necesario, se utilizó colorante azul de tripano o Trypan blue (0.2%) y se realizó un montaje en laminilla permanente, utilizando resina sintética como medio de montaje (Morales-Pulido y Aké-Castillo, 2019; Reguera et al., 2011).

La cuantificación de abundancia de fitoplancton se realizó por medio del mismo microscopio invertido y los conteos se hicieron en cámaras de sedimentación, de acuerdo con la técnica de Utermöhl. Se realizaron dos repeticiones de conteo para obtener un promedio. Se estimó finalmente el número de células por litro de cada especie. El método Utermöhl (Edler y Elbrächter, 2010; Hasle, 1978; Utermöhl, 1958) es el estándar para la identificación y cuantificación de microalgas en muestras de botella. Este método se basa en la sedimentación

de una alícuota de volumen conocido (5, 10, 25, 50, 100 ml) en una cámara de sedimentación. Las células, fijadas con agentes conservantes como Lugol ácido, caen por gravedad y se depositan en el fondo circular de la cámara. Se asume que las partículas sedimentan siguiendo una distribución de Poisson. La concentración estimada se expresa en células por ml o por litro (Edler y Elbrächter, 2010; Karlson et al., 2010; Reguera et al., 2011).

#### 4.7. Análisis estadístico

Se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar si la distribución de los datos de abundancia de fitoplancton era normal. El esfuerzo de muestreo se realizó mediante la construcción de una curva de acumulación de especies utilizando el programa EstimateS, versión 9.1.0 (Colwell, 2013). Se utilizaron dos estimadores de diversidad no paramétricos ACE (Abundance-based Coverage Estimator) y Chao1. Para el análisis de diversidad de las especies de fitoplancton recolectadas se utilizó la biblioteca BiodiversityR de R studio y se utilizó el paquete de biodiversidad para calcular los siguientes índices: biodiversidad de Shannon, Fisher Alpha, dominancia de Simpson y equidad de Pielou. Se evaluaron las diferencias en la abundancia de fitoplancton entre los cuatro trimestres del tiempo de estudio en cada uno de los tres puntos de muestreo, a profundidades de 1.5 m y 5.0 m y se analizó la abundancia total. Para encontrar diferencias se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Para identificar en qué trimestre existieron estas diferencias se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney.

Se estudió la abundancia de los órdenes *Gymnodiniales* y *Gonyaulacales* entre cada uno de los puntos de muestreo, esto debido a la importancia de estos ordenes en la salud pública. Se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney para identificar qué orden era más abundante en cada uno de los puntos. También se evaluaron las abundancias de estos mismos ordenes entre profundidades.

Se elaboró un análisis de dendrograma para visualizar como se agruparon los datos de abundancias de fitoplancton según los puntos de muestreo, los meses de muestreo y los trimestres de muestreo.

Para cada mes de muestreo se aplicaron los índices de diversidad de Shannon, Fisher Alpha, Simpson y equidad para cada uno de los puntos de muestreo a la profundidad de 1.5 y de 5 m y se aplicaron los índices por las abundancias del mes en total.

Para los análisis de calidad de agua se realizó un análisis de correlación para identificar que variables se correlacionaron de mejor forma.

Se elaboró un análisis de dendrograma para visualizar como se agruparon los datos de calidad de agua según el punto de muestreo y el mes de muestreo. Finalmente, se calculó la distancia euclidiana entre los puntos de muestreo y los meses de muestreo según los datos fisicoquímicos.

## Capítulo 5

### RESULTADOS

*«En los casos de especies algo dudosas prefiero ser un «splitter» [...] Si se comprueba que organismos tratados como especies distintas son, en verdad, una sola, no hay daño: reunimos los datos y terminado el problema. En el caso inverso, si la equivocación se mantiene cierto tiempo e interin se publicaron varios trabajos ya no sabemos qué datos (por ej. de distribución, requerimientos ecológicos, toxicidad, etc) corresponden a cada taxón. Para el no taxónomo es mucho mejor meter lo más posible en la misma bolsa, simplificando al máximo la tarea identificadora; nada de andar perdiendo el tiempo buscando plaquitas escondidas ni poros evanescentes ...»*

*Enrique Baléch, (2002)*

## 5.1 Catálogo de dinoflagelados del Pacífico de Guatemala

### 5.1.1 Estructura del catálogo

El catálogo de especies de dinoflagelados del Pacífico de Guatemala es una recopilación de los datos de identificación de las muestras colectadas durante los años 2019 a 2022, que aborda diversos aspectos taxonómicos, diagnósticos y fenológicos inherentes a estas especies en nuestra región. Este compendio proporciona una descripción de cada especie incluyendo su morfología general y características distintivas para su identificación. Además, se presenta información detallada sobre la localización geográfica de la colecta del material identificado, permitiendo así una mejor comprensión de su distribución espacial en aguas guatemaltecas. La inclusión de una exhaustiva revisión bibliográfica de cada especie contextualiza su presencia en nuestro ecosistema marino, facilitando la investigación futura. Asimismo, se analizan los aspectos ecológicos y toxicológicos de cada especie. Cada descripción está acompañada por un esquema o fotografía, contribuyendo así a la visualización y comprensión de los hallazgos presentados en esta investigación.

### 5.1.2 Relación de especies

**Dinoflagellata** (Bütschli) Fensome, Taylor, Norris, Sarjeant, Wharton & Williams 1993

**Dinokaryota** Fensome, Taylor, Norris, Sarjeant, Wharton & Williams 1993

**Dinophyceae** Pascher 1914

**Orden Gonyaulacales** Taylor 1980

**Género *Alexandrium*** Halim 1960

#### Diagnosis

Células esféricas o semiesféricas, ovadas. la teca delgada y rugosa, sin cuernos o espinas. El cíngulo mediano, no tiene contorsión. Cloroplastos presentes.

En este género las especies se diferencian por los siguientes caracteres: forma y posición de la placa del poro apical (Po), forma y posición de los poros (agujeros) en las placas Po y sp (sulcal posterior), la forma de sa (sulcal anterior), la presencia y el tamaño del poro ventral, desplazamiento de placa de l', forma y tamaño de la ssa (accesoria sulcal izquierda), formación de colonia en forma de cadena, forma y tamaño de 6" (Steidinger y Jangen, 1997; Sournia, 1986).

El género *Alexandrium* es uno de los más estudiados a nivel mundial, con más de 30 especies identificadas según AlgaeBase (Guiry & Guiry, 2024), que enumera 33 nombres de especies aceptados y 3 de posición taxonómica incierta de las cuales más de la mitad son tóxicas o tienen efectos nocivos (Anderson et al., 2012).

***Alexandrium catenella*** (Whedon et Kofoid) Balech 1985

Bas.: *Gonyaulax catenella* Whedon & Kofoid 1936

Diagnos

La célula es de tamaño pequeño a mediano, aplanada en sentido anteroposterior. Forma cadenas largas y curvadas. La epiteca tiene hombros más o menos notorios y una región apical bastante elevada. El cingulo es muy excavado. Generalmente tiene una membrana superpuesta o aleta que se extiende desde el reborde saliente de la epiteca hasta el reborde correspondiente de la hipoteca. El sulco es bastante profundo y se ensancha abruptamente en la parte posterior. Las membranas sulcales son moderadas, pero a veces se proyectan ligeramente hacia la región posterior y parecen una o dos pequeñas espinas. En algunas ocasiones el lóbulo izquierdo antapical es un poco más largo y redondo que el derecho.

Las características que permiten la identificación de esta especie es su (Balech, 1995): morfología de placas tecales y la forma celular. La estructura de las cadenas. Las células están comprimidas anteroposteriormente. Existe una conexión directa entre las placas Po y la primera apical (1'). Ausencia del poro ventral en la placa 1'. El poro de conexión entre células en la Po se encuentra en el lado derecho de la célula.

Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), El Semillero (14° 2' 40.139" N, 91° 32' 4.934"O)

Fenología

Enero y febrero

Distribución

Los movimientos de grandes masas de agua y la biología del organismo, especialmente su ciclo de vida, juegan roles fundamentales en el desarrollo de floraciones de marea roja a gran escala (Anderson et al., 2008). Es importante destacar que el área de origen de estas floraciones puede estar ubicada a cierta distancia de las áreas afectadas (Tester et al., 1991). A medida que progresa la floración, las condiciones cambiantes pueden tanto estimular como inhibir su desarrollo. La floración puede verse restringida cuando la tasa de crecimiento está por debajo de un umbral crítico o cuando la población se ve compelida a entrar en otras etapas, como la producción de gametos o quistes. Además, la salinidad emerge como el parámetro ambiental primordial que incide en la fisiología de los organismos y regula su distribución en los estuarios (Uribe et al., 2010).

En el Pacífico mexicano se han identificado 16 especies de *Alexandrium* (Okolodkov y Gárate-Lizárraga, 2006). En Costa Rica, Vargas- Montero et al. (2008) lo reporta en el Golfo de Nicoya.

Ecología y toxicología

Los florecimientos algales nocivos (FAN) causados por *Alexandrium* spp. son principalmente reportados en América del Sur, con las principales especies identificadas como *A. catenella* en Chile y *A. tamarense* (Lebour) Balech en Uruguay y Argentina.

Desde 1990 se observó un incremento en la intensidad y frecuencia de estos FAN, lo que ha generado graves consecuencias económicas. En El Salvador en septiembre de 2014, se registró un FAN intenso de *Margalefidinium* cf. *polykrikoides*, coincidiendo con la presencia de *Alexandrium* cf. *globosum* Nguyen-Ngoc & J. Larsen, lo que resultó en muertes de peces atribuidas a *M. polykrikoides* (Amaya et al., 2018).

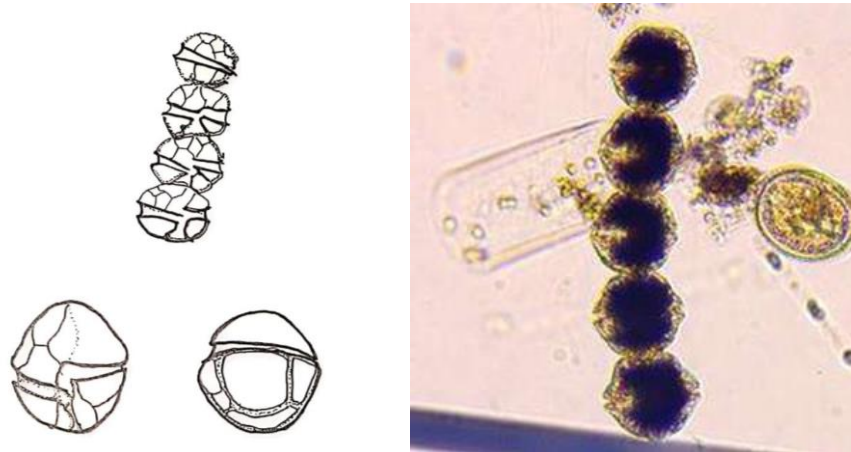


Figura 21. *Alexandrium catenella*

**Género *Gonyaulax*** Diesing 1866

*Gonyaulax polygramma* F. Stein 1883

### Diagnosis

La epiteca es cónica, alargada, con un cuerno apical moderado. La hipoteca es con forma truncada a redondeada, un tanto estrecha. El poro apical es elíptico. La teca reticulosa con estrías. Las estrías son una característica distintiva en la morfología de la especie, los poros tecales (=poros de tricocistos), que son pequeñas aberturas en la superficie de la célula, forman estrías lineales y espinas antapicales, que son proyecciones alargadas y estructuras punzantes respectivamente. Los poros y las espinas se organizan en retículos, una red compleja de estructuras que conforman la pared celular completa y que facilitan diversas funciones biológicas (Guiry & Guiry, 2024).

### Material

Boya Entre Morros ubicada en el rompeolas de Puerto Quetzal (13° 55' 7.53" N y 90° 47' 15.835" W).

### Fenología

Identificada de enero a diciembre en la dársena de Puerto Quetzal.

### Distribución

Los florecimientos de esta especie han sido registrados en varios países, incluyendo Australia, Belice, Corea, Estados Unidos, Hong Kong e India, así como en las costas del Pacífico y el Golfo de México (Gárate-Lizárraga et al., 2006). Además, Cuéllar-Martínez (2007) así como Orantes Ramos y Vieitez Basagoitia (2007) en sus respectivas tesis de grado, proporcionan datos sobre la frecuencia de *Gonyaulax polygramma* en el Pacífico de El Salvador. En Guatemala, el primer registro fue realizado por Paz Cordón (1997) en Puerto Quetzal.

### Ecología y toxicología

Se han registrado florecimientos algales en aguas costeras de muchos países como Corea, Japón, China, Hong Kong, Estados Unidos, México, Belice, Sudáfrica y Argelia (Jeong et al., 2005; Gárate-Lizarraga et al., 2006). Los FAN por *G. polygramma* ha causado la mortalidad masiva de peces y moluscos por anoxia (Grindley y Taylor, 1962; Gárate-Lizarraga et al., 2001).

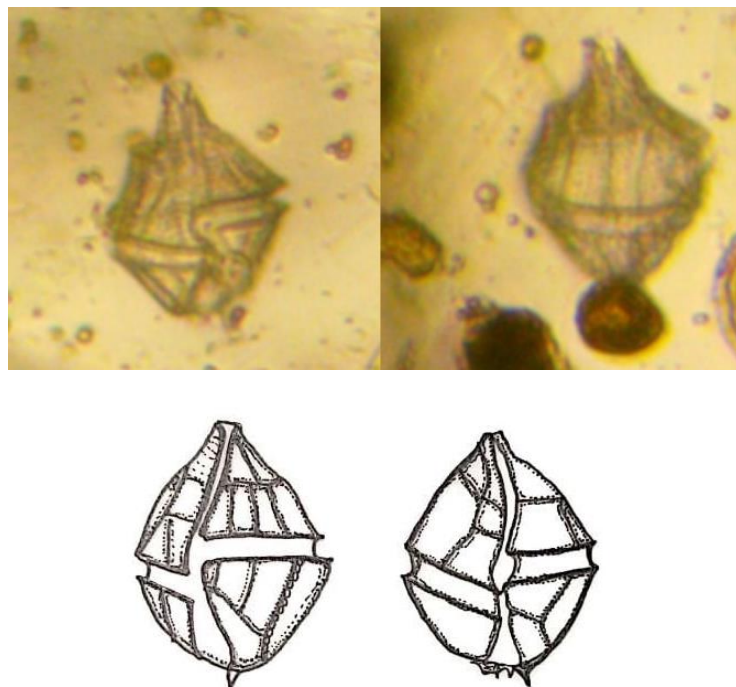


Figura 22. *Gonyaulax polygramma*

*Gonyaulax spinifera* (Claparède et Lachmann) Diesing 1866

Bas.: *Peridinium spiniferum* Claparède & Lachmann 1859

Diagnosis

Esta especie se caracteriza por tener un cingulo fuertemente excavado y descendente, con un saliente muy pronunciado. En la parte superior (epiteca), se observan claramente el cuello y los hombros bien definidos. En la región antapical, se destacan dos espinas bien desarrolladas. A pesar de su pequeño aplanamiento dorsoventral, la epiteca muestra una forma truncada cónica e irregular. El cingulo, profundamente excavado y sin aletas, se estrecha gradualmente a medida que se extiende, con una medida promedio de 2.5 a 3 unidades, ligeramente superior a 2.5 en la mayoría de los casos. Las seis placas que lo componen presentan una escultura característica, con dos hileras de poros de tricocistos, aunque en ocasiones se pueden observar tres hileras, siendo las marginales las que contienen elementos más pequeños.

El voladizo (desplazamiento de las terminaciones del cingulo) que equivale a entre 2 y 2.5 veces la altura del cingulo, destaca en la estructura. El surco, amplio desde el borde posterior derecho del cingulo, está conformado por siete placas. La sección antapical muestra una altura considerable y una relativa estrechez en comparación con otras especies similares (Guiry & Guiry, 2024).

Material

Boya Entre Morros ubicada en el rompeolas de Puerto Quetzal (13° 55' 7.53" N y 90° 47' 15.835" W).

Distribución

Maciel-Baltazar (2015) reportó *G. spinifera* en el Golfo de Tehuantepec, Pacífico centro oriental de México a 200 km de la frontera con Guatemala.

Fenología

Enero.

Ecología y toxicología

*Gonyaulax spinifera* se parece morfológicamente a *G. digitale* y *G. diegensis*. Los morfotipos de quistes, según la literatura, se derivan de la forma móvil de *G. spinifera*. Sin embargo, es difícil concebir que una o incluso tres especies de dinoflagelados puedan dar lugar a 16 especies de quistes con morfologías tan diferentes (Rochon et al., 2009).

Las floraciones de *G. spinifera* son responsables de una mortandad masiva en la biota marina y causan graves daños a las pesquerías ya que generan altas concentraciones de yesotoxinas. En el año 2011 se registró un florecimiento de *G. spinifera* al norte de San Francisco, el cual se extendió a lo largo de la costa en una distancia de 80 km resultando en una extinción masiva de invertebrados marinos silvestres (Gárate-Lizárraga et al., 2014).

Los espirolidos son toxinas emergentes presentes en el plancton y en moluscos. Estas toxinas son compuestos macrocíclicos con actividad biológica significativa, caracterizados por un

sistema tricíclico de anillos de éter fusionados. Los espirolidos son producidos por dinoflagelados marinos, como *Gymnodinium spinifera*. (Freer y Vargas-Montero 2003).

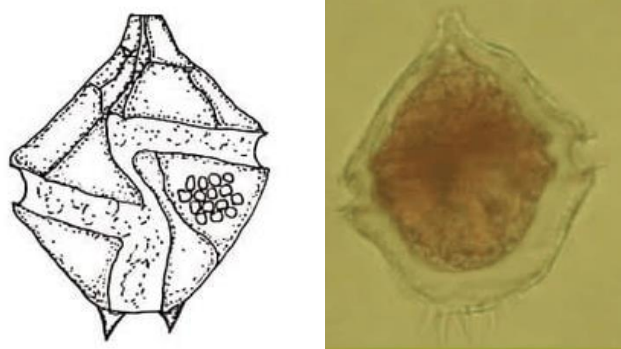


Figura 23. *Gonyaulax spinifera*

### *Gonyaulax verior* Sournia 1973

#### Diagnosis

Célula muy comprimida dorsoventralmente con dos espinas antapicales prominentes. La epiteca tiene una forma de huso gradual con un cuerno apical corto, el poro apical es en forma de lágrima.

#### Material

Puerto Quetzal: Boya Entre Morros (13° 55' 7.53'' N y 90° 47' 15.835'' W) y Boya Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W). Puerto San José.

#### Fenología

Febrero (Boya Entre Morros), junio (Boya Entre Morros), agosto (Boya Recalada y Puerto de San José, Escuintla), septiembre (Boya Recalada) y octubre (Boya Recalada).

#### Distribución

Reportada en el Caribe mexicano por Merino-Virgilio y colaboradores (2013) y en el Pacífico mexicano por Okolodkov y Gárate-Lizárraga (2006). Vargas y colaboradores (2014) reportaron esta especie en el Golfo de Nicoya, Pacífico de Costa Rica.

#### Ecología y toxicología

El género *Gonyaulax* está asociado con la intoxicación parálitica por consumo de mariscos. La salinidad parece ser un factor ecológico más importante que la temperatura para controlar la abundancia estival de este dinoflagelado en la naturaleza. La producción de toxinas en los cultivos unialgales de este género es, en gran medida, una función de la densidad celular. El principio tóxico sintetizado permanece dentro de la célula y puede recuperarse en cantidades sustanciales mediante la lisis de las células.

Comparado con otras especies, *G. tamarensis* es potencialmente la más tóxica dentro de las especies tóxicas conocidas de *Gonyaulax*. Aunque las bacterias no desempeñan un papel directo en la producción de toxinas, pueden influir indirectamente en la toxigenesis al promover el crecimiento de dinoflagelados (Prakash, 1967)

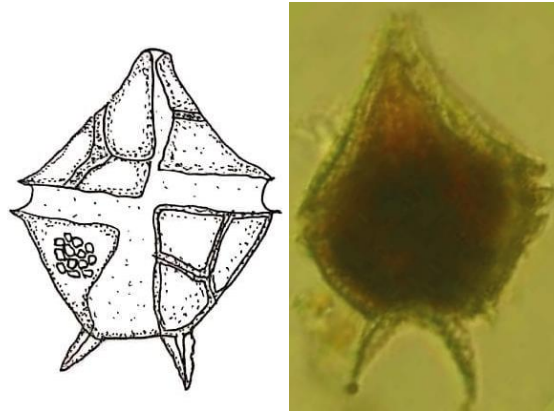


Figura 24. *Gonyaulax verior*

#### Género *Pyrodinium* Plate 1906

#### *Pyrodinium bahamense* Plate 1906

#### Diagnosis

Célula comprimida anteroposteriormente, teca con poros grandes. Tiene la capacidad de formar cadenas de más de treinta células. Forma quistes. La fórmula de la placa kofoidiana de *P. bahamense* es Po, cp, 4-5', 0a, 6", 6c, 6s, 6"', 2'''. Las células suelen ser subsféricas a lateralmente elipsoidales, cubiertas con placas tecales y ornamentadas con una proyección apical o un nódulo y una proyección anterior. Las placas tecales principales son gruesas y tienen muchas protuberancias pequeñas distribuidas uniformemente en las placas. Los poros de los tricocictos también son numerosos y claramente visibles y en ocasiones, están distribuidos a lo largo de las suturas. Las listas cingulares están bien desarrolladas sin nervaduras. Las aletas sulcales son prominentes a ambos lados de la región del surco y a veces cubren la mayor parte del surco (Guiry & Guiry, 2024; Balech, 1985).

#### Material

Límite perimetral de dársena Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N, 90° 45' 51.811'' W).

Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N, 90° 49' 55.685'' W).

Canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Puerto San José, Escuintla (13° 54' 55.693'' N, 90° 49' 8.598'' O)

La Isla, Retalhuleu (14° 29' 56.749'' N, 92° 10' 59.509'' O)

Champerico, Retalhuleu (14° 17' 31.788'' N, 91° 54' 58.832'' O)

Buena Vista, Iztapa (13° 55' 48.487'' N, 90° 42' 43.198'' O)

Iztapa, Escuintla (13° 55' 42.042'' N, 90° 43' 4.332'' O)

Madre Vieja (14° 0' 12.812" N, 91° 26' 5.917" O)  
 El Semillero (14° 2' 40.139" N, 91° 32' 4.934" O)  
 Ocós, San Marcos (14° 30' 26.341" N, 92° 11' 41.82" O)

### Fenología

Enero (Puerto Quetzal: Boya Recalada y Boya Entre Morros); mayo (Puerto Quetzal: Boya Entre Morros, Madre Vieja, El Semillero, Buena Vista, Iztapa, La Isla, Ocós y Champerico); junio (Puerto Quetzal: Boya Entre Morros, Madre Vieja, El Semillero, Buena Vista, Iztapa, La Isla, Ocós y Champerico); julio (Madre Vieja, El Semillero, Buena Vista, Iztapa, La Isla, Ocós, Champerico y Puerto San José); agosto (Ocós); diciembre (Puerto Quetzal: Boya Texaco, Boya Entre Morros y Boya Recalada).

### Distribución

*P. bahamense* es una especie de aguas cálidas. Fue reportada en la costa del Pacífico de América tropical desde el sur de México hasta Ecuador y en el Mar Caribe y en el Sudeste Asiático. Sus quistes se han registrado en otras zonas tropicales (Guiry y Guiry, 2024). Se ha registrado un episodio de florecimiento algal nocivo histórico de este género durante los años 2001-2002, el cual se observó en las costas de El Salvador, Guatemala y México. Durante este período, se dio seguimiento a decoloración marina desde agosto de 2001 hasta agosto de 2002. En El Salvador, se reportaron 41 personas intoxicadas por IPM (Barraza et al., 2004), mientras que en México se registró la muerte de 15 personas y más de 100 intoxicadas (Cortés-Altamirano et al., 1993).

### Ecología y toxicología

En Guatemala, el primer caso documentado de intoxicación por dinoflagelados se remonta a julio de 1987, cuando por el consumo de bivalvos de la especie *Amphichaena kindermanni*, conocida comúnmente como “almeja” o “almeja frijol”, contaminados con *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, afectó a 187 personas y causó la muerte de 26 debido a la acumulación de saxitoxina (Rosales-Loessener, 1989; Rosales-Loessener, 1986). Desde entonces, se han registrado múltiples florecimientos de *P. bahamense* var. *compressum* en 1989, 1990, 1995, 2001, 2005, 2007 y 2009 en Guatemala, aunque no se reportaron pérdidas humanas durante estos eventos (Carrillo-Ovalle, 2009).

En diciembre del 2018, se observaron decoloraciones de formas irregulares a lo largo de la superficie del mar en Puerto Quetzal, en la costa del Pacífico de Guatemala. Se decidió realizar un monitoreo y toma de muestras de agua para análisis, lo que resultó en la identificación nuevamente de la presencia de *P. bahamense*, junto con otras especies como *Prorocentrum sigmoide* y *Dinophysis caudata* (García-Pérez et al., 2020). Estos dinoflagelados formaron parches de longitud variable entre 50-500 m de largo y aproximadamente 50 m de ancho, paralelos a la dársena de Puerto Quetzal.

En el contexto de Guatemala, *P. bahamense* es la especie de dinoflagelado con más registros en las costas del Pacífico y ha sido responsable de pérdidas de vidas humanas por intoxicación parálitica debido al consumo de moluscos contaminados. Por lo tanto, se considera una de las especies más importantes en cuanto a salud pública en la región.



Figura 25. *Pyrodinium bahamense*

Género *Pyrophacus* F. Stein 1883

Diagnosis

Célula lenticular, muy comprimida anteroposteriormente. El cíngulo es angosto, ecuatorial y descendente. Cloroplastos presentes. Fórmula de la teca: Po, ?cp, 5-9', 0-8a, 7-15", 9-16c, 8s, 8-17"', 3"', 0-15p.

*Pyrophacus horologium* F. Stein 1883

Diagnosis

Célula lenticular, muy comprimida anteroposteriormente. El cíngulo es angosto, ecuatorial y descendente. Cloroplastos presentes. Fórmula de la teca: Po, 5', 9", 9c, 8s, 9"', 3"', 1p (Balech, 1988 y 1979).

Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), Boya Texaco (13° 53'43.292'' N, 90° 49'55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

Abril (Boyas: Texaco y Recalada), mayo (Boya Entre Morros), junio (Boyas: Texaco y Entre Morros), agosto (Boyas: Recalada y Entre Morros), septiembre (Boya Texaco), octubre (Boyas: Texaco, Recalada y Entre Morros), noviembre (Boyas: Recalada y Entre Morros) y diciembre (Boyas: Recalada y Entre Morros).

Distribución

Carrillo-Ovalle et al. (2003) lo reportan en la zona del Caribe guatemalteco. Moreira-González et al. (2013), lo identifican como una especie dominante en la Laguna Guanaroca, ubicada en la provincia de Cienfuegos, Cuba. Además, el Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco lo registra como una especie de distribución mundial, según se puede consultar en su sitio web

([https://www.smhi.se/oceanografi/oce\\_info\\_data/plankton\\_checklist/dinoflagellates/pyrophacus\\_horologium.htm](https://www.smhi.se/oceanografi/oce_info_data/plankton_checklist/dinoflagellates/pyrophacus_horologium.htm)).

Ecología y toxicología

Esta especie se distribuye en todo el mundo y se observan con frecuencia en zonas oceánicas, neríticas y aguas estuarinas. Sin embargo, no hay registros de florecimientos y efectos nocivos asociados sobre ecosistemas marinos en el océano mundial.

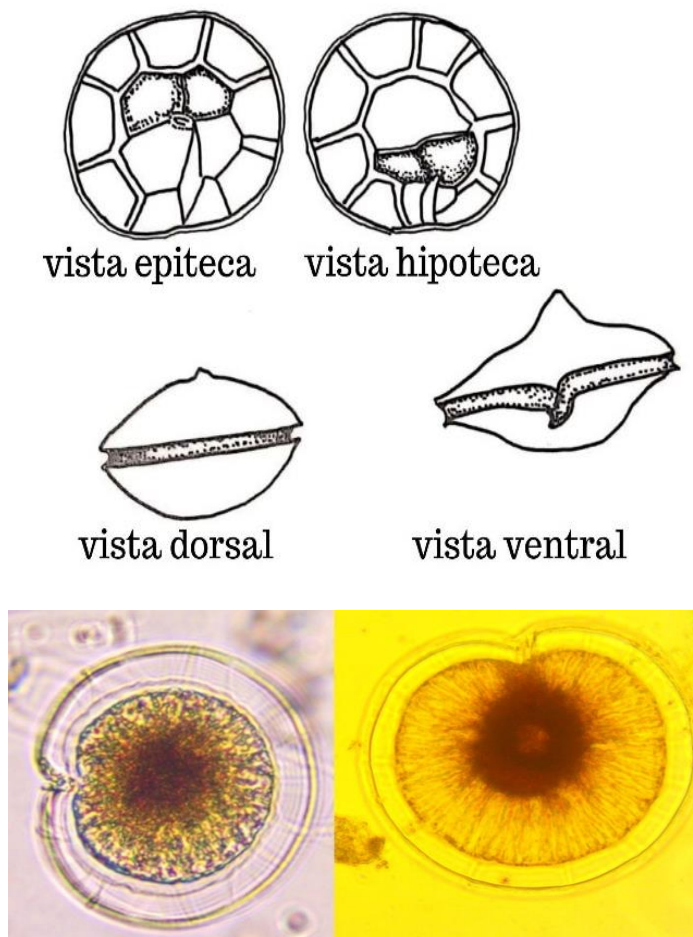


Figura 26. *Pyrophacus horologium*

***Pyrophacus steinii*** (J. Schiller) Wall & Dale 1971

Bas.: *Pyrophacus horologium* F. Stein var. *steinii* J. Schiller 1935.

Diagnosis

Célula lenticular aplanada con epiteca atenuada. Fórmula de la teca: Po, 7', 12'', 12c, 12''', 3''', 3p (BALECH, 1988).

Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), Boya Texaco (13° 53'43.292'' N, 90° 49'55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

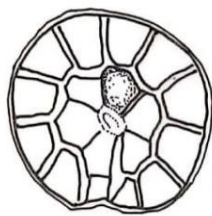
Febrero (Boyas: Texaco, Recalada y Entre Morros), marzo (Boyas: Recalada y Entre Morros), abril, mayo y junio (Boyas: Recalada y Entre Morros), septiembre (Boyas Recalada y Entre Morros), octubre (Boya: Texaco), noviembre (Boya: Recalada) y diciembre (Boyas: Texaco y Entre Morros).

Distribución

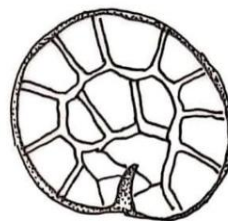
Especie marina, nerítica, estuarina y oceánica, su distribución es frecuente en aguas templadas y tropicales (Alonso-Rodríguez et al., 2008).

Ecología y toxicología:

Esta especie está distribuida por todo el mundo y es comúnmente avistada en océanos abiertos, áreas costeras y aguas estuarinas. A pesar de su amplia distribución, aún no se ha registrado su formación de florecimientos y los efectos nocivos que podría tener en los ecosistemas marinos a nivel global.



vista epiteca



vista hipoteca



Figura 27. *Pyrophacus steinii*

**Género *Tripes* Bory 1823**

Tratamiento taxonómico más reciente adoptado el de Gómez (2021).

***Tripes azoricus* (Cleve) F. Gómez 2013**

Bas.: *Ceratium azoricum* Cleve 1900.

Diagnosis

Especie pequeña, con cuernos cortos, los antapicales muy curvados, los tres cuernos tienden a ser paralelos. El apical es más corto respecto al cuerpo, el borde antapical es convexo. Cíngulo poco marcado.

Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), Boya Texaco (13° 53'43.292'' N, 90° 49'55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

Marzo (Puerto Quetzal: Boya Texaco y Boya Recalada), abril y mayo (Puerto Quetzal: Boya Recalada), junio (Puerto Quetzal: Boya Texaco y Boya Recalada), septiembre, noviembre y diciembre (Puerto Quetzal: Boya Recalada).

Distribución

De acuerdo con Vidal y Lozano-Duque (2011) la distribución de esta especie es mundial. Graham (1942) la considera una especie tropical muy tolerante.

Ecología y toxicología

Los florecimientos causados por los dinoflagelados del género *Tripes* son comunes en algunas partes del mundo, como se ha documentado en México (Cortés-Altamirano y Nuñez-Pasten, 2000). No se ha confirmado su toxicidad (Vargas-Montero y Freer, 2004).

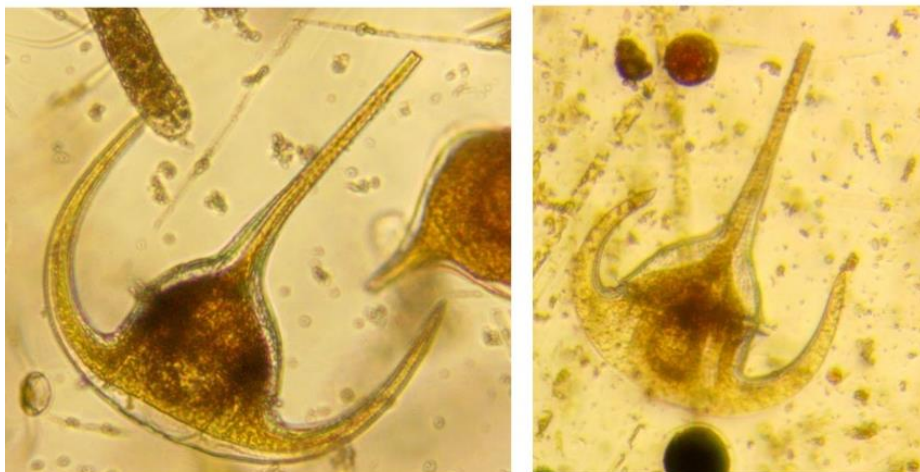


Figura 28. *Tripes azoricus*

*Tripos brevis* (Ostenfeld et Johannes Schmidt) F. Gómez 2021

Bas.: *Ceratium tripos* var. *breve* Ostenfeld & Johannes Schmidt 1901.

Sin.: *Cerarium breve* (Ostenfeld et Johannes Schmidt) Schröder 1906.

### Diagnosis

Esta especie se caracteriza por tener un cuerpo ancho con un borde antapical aplastado e inclinado. Presenta un apical corto y antapicales muy reducidos.

### Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), Boya Texaco (13° 53'43.292'' N, 90° 49'55.685'' W).

### Fenología

Enero, junio y agosto.

### Distribución

Según Graham (1942), esta especie se clasifica como tropical y se encuentra comúnmente tanto en la zona del Atlántico como en la del Pacífico. En el Atlántico, se registró en todas las estaciones de muestreo dentro de la región cálida con una temperatura superficial del agua de 21.2°C. Las condiciones ambientales observadas *in situ* fueron: temperatura entre 12.5°C y 29.4°C, salinidad de 29.7 a 36.8, pH de 7.68 a 8.47 y concentraciones de fosfato que variaban de 2 a 189 mg P<sub>04</sub>/m<sup>3</sup>.

### Ecología y toxicología

Stemann-Nielsen (1934) señaló que las observaciones de Jorgensen (1920) indicaban la fototropía de esta especie. Durante el invierno, cuando la intensidad lumínica es baja, las especies de sombra emergen a la superficie para mantener una posición óptima con respecto a la luz. Aunque los autores coinciden en que las observaciones de Jorgensen apuntan a una respuesta fototrópica por parte del "*Ceratium* de invierno", no consideran que la migración vertical sea simplemente una reacción a la luz.

La migración vertical de *Ceratium* puede ser resultado de la inversión de la respuesta fototrópica, dependiendo de la condición fisiológica del organismo, como la asimilación de nutrientes inorgánicos u otras sustancias asociadas. Se postula que el organismo se vuelve positivamente fototrópico con la asimilación de estas sustancias, permaneciendo cerca de la superficie en invierno. Sin embargo, con la disminución de esta asimilación, el organismo se vuelve fototrópico negativo y desciende a niveles más profundos con mayor contenido de nutrientes.

Además, Steemann-Nielsen (1934) observó que todas las especies de sombra son oceánicas cálidas, no se encuentran en condiciones neríticas ni en aguas frías.

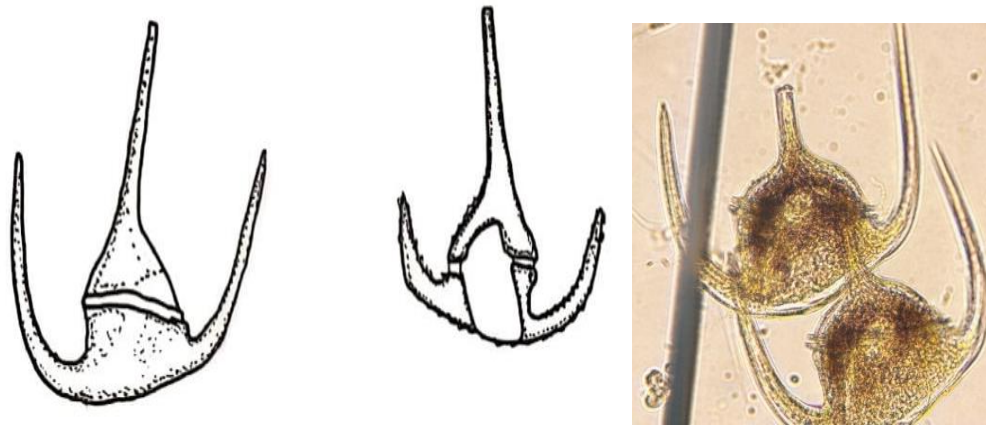


Figura 29. *Tripos brevis*

***Tripos candelabrum*** (Ehrenberg 1860) F. Gómez 2013

Bas.: *Peridinium candelabrum* Ehrenberg 1860

Sin.: *Ceratium candelabrum* (Ehrenberg 1860) F. Stein 1883.

Diagnosis

Cuerpo ancho, bajo, lado derecho hipoteca corto, longitud variable, forma cadenas.

Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W).

Fenología

Septiembre

Distribución

De acuerdo con Graham (1942), *C. candelabrum* se encontró en todas las regiones de aguas cálidas, independientemente del contenido de nutrientes del agua.

Ecología y toxicología

Se trata de una especie tropical común y poco tolerante, que no se limita únicamente a aguas tibias. Sus límites de distribución son paralelos a la isoterma superficial de 15°C extendiéndose en el Pacífico sudoriental frente a Japón y a lo largo de la costa occidental de América (Graham, 1942).

*C. candelabrum* es una especie común en aguas más cálidas, aunque su límite norte coincide con la isoterma superficial de 20°C en lugar de los 15°C como en el Pacífico. Es importante señalar que, en el Pacífico sudoccidental, así como en otras áreas del Pacífico, las latitudes alrededor de 40° están estrechamente alineadas con las isotermas superficiales de 15°C (Graham, 1942).



Figura 30. *Tripos candelabrum*

***Tripos dens*** (Ostenfeld et Johannes Schmidt) F. Gómez 2013

Bas.: *Ceratium dens* (Ostenfeld & Johannes Schmidt, 1901)

#### Diagnosis

El cuerpo es robusto y tiene forma triangular, con una epiteca ligeramente convexa. Su cuerno apical es corto y recto. Los cuernos antapicales están claramente diferenciados: el izquierdo es más corto, una característica distintiva de la especie, mientras que el derecho es delgado y medianamente alargado, de mayor tamaño que el izquierdo y disminuye en grosor hacia la punta. Presenta un cingulo que está inclinado y puede encontrarse tanto en células solitarias como en cadenas de dos células. Una característica destacada de esta especie son sus cuernos antapicales que apuntan hacia afuera.

#### Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada ( $13^{\circ} 54' 25.409''$  N y  $90^{\circ} 45' 51.811''$  W), Boya Texaco ( $13^{\circ} 53' 43.292''$  N,  $90^{\circ} 49' 55.685''$  W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" ( $13^{\circ} 55' 7.53''$  N,  $90^{\circ} 47' 15.835''$  W).

#### Fenología

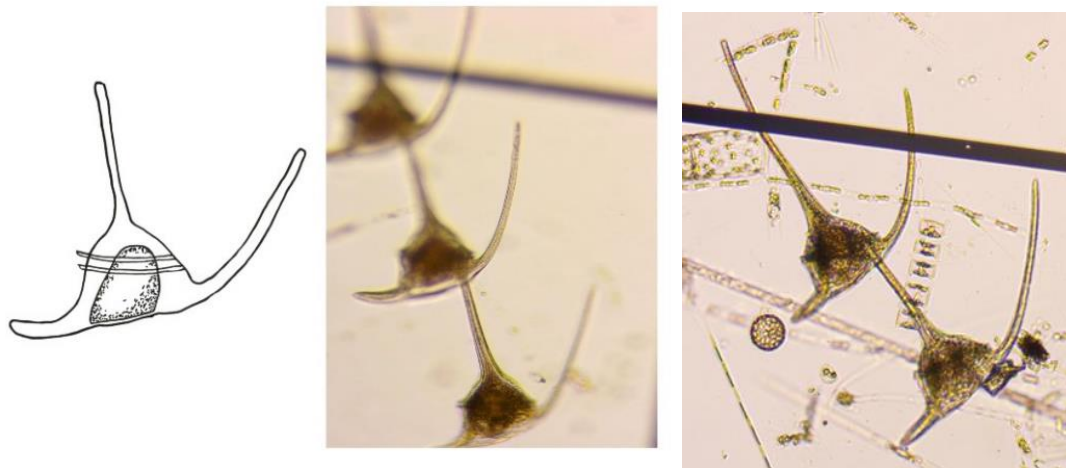
Febrero (Boya Recalada); mayo (Boya Texaco) y noviembre (Boya Recalada y Boya Entre Morros).

#### Distribución

*Tripos dens* es una de las especies más abundantes en el Pacífico mexicano. También se ha localizado en la bahía de Valparaíso, Chile y en toda la región del Pacífico cálido (Cortés-Altamirano y Nuñez-Pasten, 2000). Se ha identificado en aguas cálidas y estuarinas, validando lo argumentado por Gómez (2021), también en sitios costeros y oceánicos. Por el contrario, Taylor (1976) la considera endémica en aguas templadas del océano Índico (Quintana-Manotas et al., 2021).

Ecología y toxicología

Esta especie ha sido recientemente señalada como responsable de mareas rojas (Cortés-Altamirano y Nuñez-Pasten, 2000). Estos episodios de florecimientos nocivos fueron predominantemente dominados o subdominados por esta especie, la cual ha sido asociada con la mortalidad de postlarvas de camarón (Alonso-Rodríguez et al. 2004).



**Figura 31. *Triplos dens***

***Triplos gracilis*** (Pavillard) F. Gómez, 2013

Bas.: *Ceratium declinatum* G. Karsten 1907.

Sin.: *Ceratium declinatum* (G. Karsten) Jörgensen 1911; *Triplos declinatus* (G. Karsten) F. Gómez, nom. inval. 2013.

Diagnosis

La epitoca es muy asimétrica, con el lado izquierdo alineado con el cuerno apical, que generalmente es largo. Los cuernos antapicales tienen longitudes variables, pero el derecho nunca es más corto. El cíngulo es poco marcado.

Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

Marzo

Distribución

Especie tropical muy variable y poco tolerante, común en las regiones cálidas del Atlántico, el Pacífico cálido y el Pacífico sureste (Graham, 1942).

### Ecología y toxicología

Es una especie muy pequeña, no muestra preferencia por el agua oligotrófica, se reportó en ambientes con registros que contenían menos de  $10 \text{ mg PO}_4/\text{m}^3$ . Steemann-Nielsen (1934) afirmó que *T. declinatum* es definitivamente una forma de superficie. Los registros de Carnegie muestran una disminución en la frecuencia con el aumento de la profundidad, pero de ninguna manera indican que la especie sea exclusivamente una forma de superficie, se reportó en el 25 por ciento de las muestras de superficie, pero también en el 21% de las muestras de 100 m (Graham, 1942).



Figura 32. *Triplos gracilis*

***Triplos furca*** (Ehrenberg) F. Gómez 2013

Bas.: *Peridinium furca* Ehrenberg 1834.

Sin.: *Ceratium furca* (Ehrenberg) Claparède & J. Lachmann 1859.

### Diagnosis

Cuerpo angosto y alargado, lados poco convexos, paredes robustas. Cíngulo bien marcado. Cuernos antapicales de longitud variable, el izquierdo poco desarrollado.

### Material

Boya de Recalada ( $13^{\circ} 54' 25.409'' \text{ N}$  y  $90^{\circ} 45' 51.811'' \text{ W}$ ), Boya Texaco ( $13^{\circ} 53' 43.292'' \text{ N}$ ,  $90^{\circ} 49' 55.685'' \text{ W}$ ) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" ( $13^{\circ} 55' 7.53'' \text{ N}$ ,  $90^{\circ} 47' 15.835'' \text{ W}$ ).

### Fenología

Enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

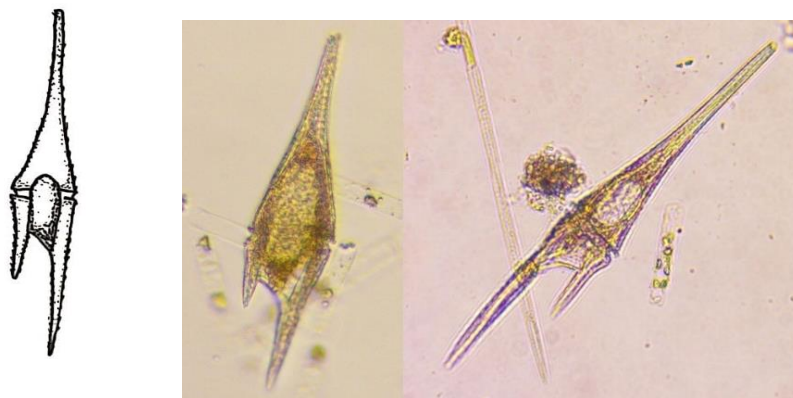
### Distribución

Cosmopolita, se ha identificado alrededor del mundo (Hoppenrath et al., 2009).

### Ecología y toxicología

En áreas con vegetación de manglar y sedimentos finos ricos en materia orgánica, así como en aguas someras, turbias y cálidas, se ha registrado la presencia de *T. furca* var. *furca*, conocida por desencadenar episodios de marea roja. Estos hábitats, caracterizados por una escasa circulación del agua que facilita la acumulación de materia orgánica, son propicios para el florecimiento de esta especie. Además, varios estudios han demostrado que condiciones como el aumento de la salinidad, la temperatura y la transparencia del agua favorecen el desarrollo de *T. furca* (Guerra-Martínez y Lara-Villa 1996).

En el hemisferio norte, diversas especies de *Triplos*, como *T. hexacanthus* y *T. furca*, han sido identificadas para monitorear cambios regionales en la temperatura superficial del mar (Anderson et al. 2022).



**Figura 33. *Triplos furca***

***Triplos macroceros*** (Ehrenberg) Hallegraeff & Huisman 2020 Bas.: *Peridinium macroceros* Ehrenberg 1841.

Sin.: *Ceratium macroceros* (Ehrenberg) Cleve 1899.

### Diagnosis

El cuerpo de esta especie es de tamaño mediano, forma un ángulo izquierdo con la unión de la hipoteca y epiteca bastante saliente. Los cuernos son delgados, más o menos largos. Se distingue por la proyección de sus cuernos hacia atrás.

### Material

Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W), Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N, 90° 49' 55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

### Fenología

Enero, febrero, marzo.

### Distribución

La especie en su conjunto es cosmopolita, una de las más comunes del género. Ha sido reportada en todas las estaciones de la cálida región del Pacífico, frente a California, el límite norte era igualmente abrupto, pero allí estaba por encima de los 40° de latitud norte, con una estación en la fría región del Pacífico Norte. En el Pacífico Sur en esta especie encontramos evidencia de la continuidad de las aguas más frías de todos los océanos australes (Graham, 1942).

### Ecología y toxicología

*T. macroceros* se encuentra de manera bastante uniforme hasta los 100 m de profundidad, sin embargo, varios autores lo han reportado por encima de los 50 m (Graham, 1942).

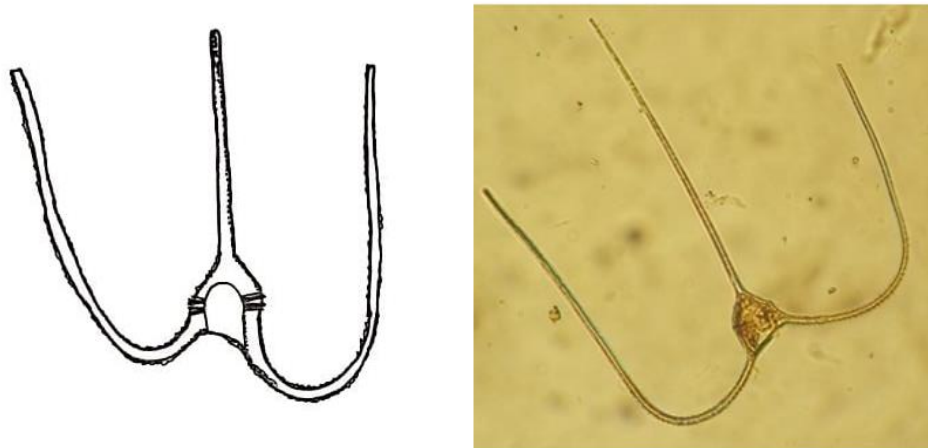


Figura 34. *Triplos macroceros*

***Triplos trichoceros*** (Ehrenberg) F. Gómez 2013

Bas.: *Peridinium trichoceros* Ehrenberg 1860.

Sin.: *Ceratium trichoceros* (Ehrenberg) Kent 1881

### Diagnosis

Esta especie tiene un cuerpo pequeño, más alto que ancho, con una forma recta y oblicua y presenta una membrana hialina en el ángulo izquierdo. El cingulo no está excavado. Los cuernos son largos, finos y lisos. Los cuernos antapicales son muy característicos, formando una curva amplia y regular hacia atrás y alcanzando la misma altura, para luego doblarse hacia adelante, creando una forma paralela. El cuerno apical es largo y recto, con el punto de mayor amplitud relacionado con la porción proximal de los cuernos antapicales.

Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W)

Fenología

Marzo

Distribución

Esta especie se considera tropical y muy extendida, con una característica distintiva de cuernos ampliamente expandidos que se disponen paralelamente en sus partes distales. Su forma tiende a ser bastante constante, aunque se ha observado una tendencia a incrementar su diámetro en aguas más frías o neríticas. Se ha documentado su amplia distribución en aguas cálidas del Pacífico, lo que confirma su naturaleza tropical (Graham, 1942).

Ecología y toxicología

*T. trichoceros* exhibe cuernos antapicales doblados y alineados a la misma altura, una característica que coincide con la descripción original de Ehrenberg (1860) de *Peridinium trichoceros*. Sin embargo, esta característica a veces conduce a confusiones con especies del subgénero *Biceratium* e incluso con miembros de la sección *Macroceros*, que han demostrado autotomía (Gómez, 2021). La variabilidad morfológica de esta especie ha resultado en errores en su identificación y se encuentra principalmente en aguas neríticas (Quintana-Manotas et al., 2021).

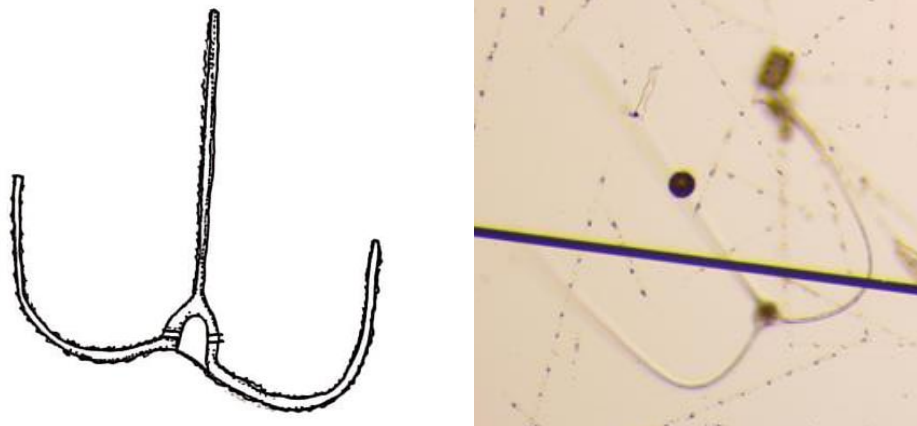


Figura 35. *Tripos trichoceros*

*Triplos vultur* (Cleve) F. Gómez 2013

Bas.: *Ceratium vultur* Cleve 1900.

Diagnosis

Esta especie se caracteriza por tener cuernos gruesos. El cuerno antapical derecho se dirige hacia adelante, con algunas inflexiones a poca distancia del cuerno apical, mientras que el cuerno antapical izquierdo se extiende de recto hacia atrás. La longitud del cuerno apical es variable y depende de la posición en la cadena.

Material

Canal de acceso Puerto Quetzal “Entre Morros” (13° 55` 7.53`` N, 90° 47` 15.835`` W)

Fenología

Enero

Distribución

Caribe mexicano (Merino-Virgilio et al., 2013), Pacífico mexicano (Okolodkov y Gárate-Lizárraga, 2006; Torres-Ariño et al., 2019). Especie de distribución mundial (Gómez, 2012).

Ecología y toxicología

*T. vultur* es una especie que exhibe una marcada variabilidad en sus características, lo que puede ocasionar confusiones durante su proceso de identificación. Según los registros, esta especie tiene una distribución principalmente tropical y se halla restringida a áreas de aguas cálidas y oligotróficas, como lo documentó Graham en 1942.

De acuerdo con Hallegraeff et al. (2020), *T. vultur* se desenvuelve en un rango de temperatura que oscila entre 15 y 30 °C; se caracteriza por su intolerancia al frío y su distribución se considera generalizada.

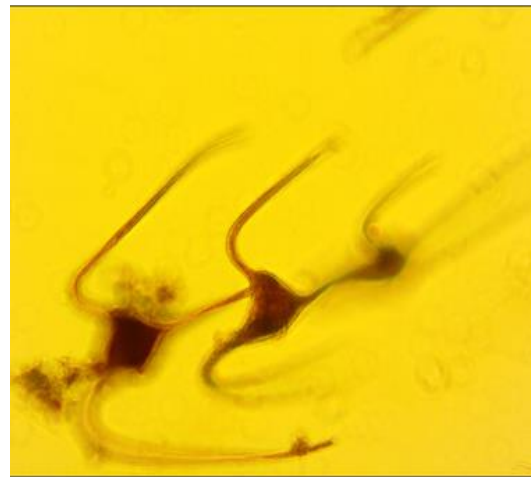
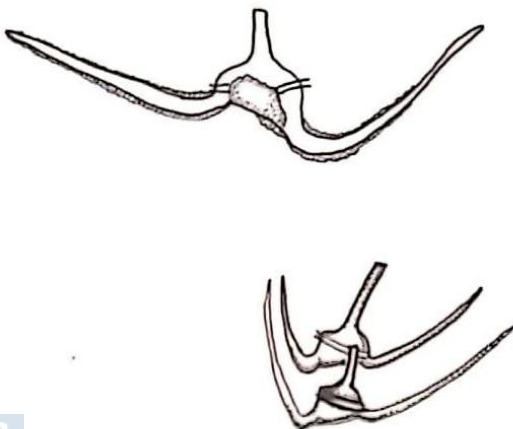


Figura 36. *Triplos vultur*

*Tripos fusus* (Ehrenberg) F. Gómez 2013

Bas.: *Peridinium fusus* Ehrenberg 1834.

Sin.: *Ceratium fusus* (Ehrenberg) Claparède & Lachmann 1859

#### Diagnosis

Hipoteca y epiteca muestran longitudes similares, con los cuernos apical y antapical izquierdos generalmente rectos o ligeramente curvados. La epiteca se estrecha hacia su extremo formando el cuerno apical, mientras que la hipoteca exhibe un cuerno antapical izquierdo largo y curvado, que se reduce hacia la punta y es notablemente más largo que el cuerno apical. Por otro lado, el cuerno antapical derecho aparece reducido debido a su proximidad al cingulo.

En términos generales, los cuernos antapical y apical tienen longitudes similares y curvaturas comparables. No se observa engrosamiento en los bordes ni curvaturas pronunciadas en sus extremos.

#### Material

Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W), Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N 90° 49' 55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N 90° 47' 15.835'' W).

#### Fenología

Presente durante todo el año de muestreo (enero a diciembre).

#### Distribución

Es una especie cosmopolita muy extendida. Los datos para el Pacífico sur muestran un aumento de tamaño en condiciones neríticas.

#### Ecología y toxicología

Los datos recolectados por Graham (1942) revelaron una marcada disparidad estadística en las formas de crecimiento de *T. fusus* en diferentes zonas de vida. Es evidente que los especímenes provenientes de regiones de agua fría presentaban un diámetro considerablemente mayor que aquellos de zonas de agua cálida, como se refleja tanto en los valores medios como en los extremos. Sin embargo, la longitud no exhibió una correlación similar. Mientras que los ejemplares del Atlántico cálido mostraron la mayor longitud promedio, los del Pacífico cálido tuvieron la menor. Se anticipa que un análisis morfológico más detallado de esta especie arroje luz sobre los problemas taxonómico-ecológicos involucrados.

Es posible que *T. fusus* no se desarrolle en gran medida en aguas oligotróficas. Dado que esta especie es cosmopolita, se ha encontrado en una amplia variedad de condiciones ambientales. Las temperaturas superficiales en las estaciones donde se encontró variaron de 7.2°C a 29.5°C. Las condiciones ambientales in situ fueron: temperatura de 21°C a 29.5°C; salinidad de 32 a 37 ppm; pH de 7.71 a 8.37; fosfato de 4 a 209 mg P<sub>04</sub>/m<sup>3</sup> (Graham, 1942).



Figura 37. *Tripus fusus*

***Tripus longirostrum* (Gourret) Hallegraeff & Huisman 2020**

Bas.: *Ceratium longirostrum* Gourret 1883.

Diagnosis

Especie larga, de epiteca cónica muy alargada que parece una sola el cuerpo y el cuerno. La epiteca es más larga que la hipoteca. Antapical derecho es muy corto, parece atrofiado.

Material

Canal de acceso Puerto Quetzal “Entre Morros” (13° 55' 7.53" N, 90° 47' 15.835" W).

Fenología

Mayo

Distribución

Área tropical en zonas oligotróficas, preferencia de aguas cálidas (Graham, 1942).

Ecología y toxicología

Es una especie reportada a temperaturas superficiales entre 22°C a 29°C; salinidad: 34.4 a 36.6; pH: 8.14 a 8.37; fosfato: 5 a 36 mg P<sub>04</sub>/m<sup>3</sup>. *T. longirostrum* no sólo se encuentra en aguas cálidas alejadas de la tierra, sino que a menudo se encuentra en aguas pobres en nutrientes, es considerado una especie de superficie (Graham, 1942).

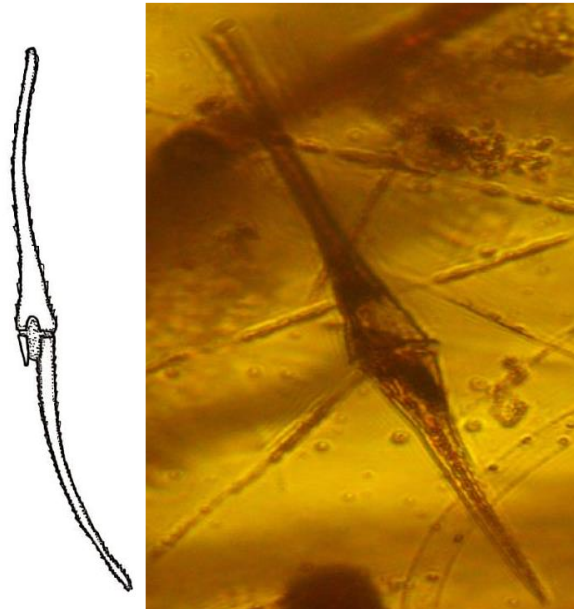


Figura 38. *Tripos longirostrum*

***Tripos muelleri* Bory 1826**

Sin.: *Ceratium tripos* (O.F. Müller) Nitzsch 1817

Diagnosis

Los cuernos están generalmente bien desarrollados, con un borde antapical con inclinación y no convexo, que a menudo presenta cierta irregularidad. El cuerno apical es recto, de longitud mediana e inclinado hacia la derecha. Los cuernos antapicales son cortos y delgados, dispuestos en dirección contraria al cuerpo y doblados hacia adelante. El cingulo está bien marcado e inclinado. La especie es polimórfica.

Material

Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W), Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N 90° 49' 55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

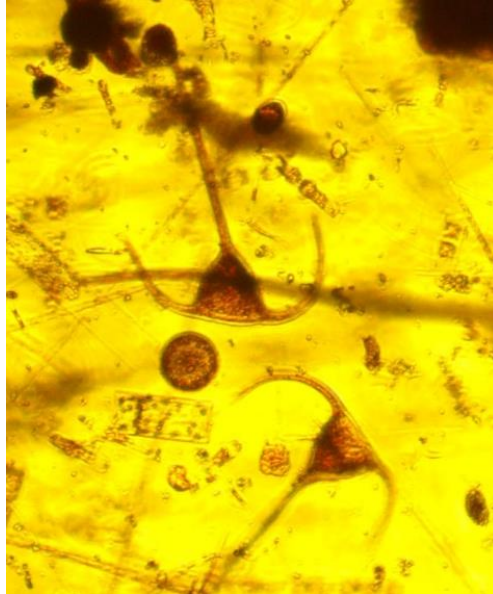
Abril, mayo, junio, septiembre y noviembre

Distribución

Cosmopolita (Balech, 1988; Graham, 1942; Lee et al., 2014).

### Ecología y toxicología

En 2013 se produjo un cambio de género de *Ceratium* a *Triplos*. En este contexto, el mismo autor determinó que la especie *C. triplos* fue reemplazada por *T. muelleri* al ser designada como la especie tipo del nuevo género. Además, Balech (1988) señala que esta especie se encuentra comúnmente en aguas costeras y oceánicas de regiones cálidas, siendo considerada cosmopolita en aguas cálidas y capaz de desarrollar biomasa a pequeña escala en un período de tiempo específico.



*Figura 39. Triplos muelleri*

### ***Triplos massiliensis* (Gourret) F. Gómez 2021**

Bas.: *Ceratium triplos* var. *massiliense* Gourret 1883.

#### Diagnosis

El cuerpo celular es corto y robusto. Cuernos cortos y robustos, con dientes o espinas fuertes en la convexidad de los antapicales. Los cuernos antapicales bastante divergentes (el izquierdo es más sobresaliente del borde del cuerpo). El cíngulo está inclinado y el núcleo es visible.

#### Material

Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W), Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N 90° 49' 55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N 90° 47' 15.835'' W).

### Fenología

Abril (Boya Texaco y Boya Entre Morros); junio (Boya Recalada y Boya Entre Morros) y septiembre (Boya Texaco y Boya Recalada).

### Distribución

Amplia distribución a nivel mundial, cosmopolita (Graham, 1942).

### Ecología y toxicología

*Tripes massiliensis* es una de las especies más variables y difíciles del género. La especie en su conjunto, es una de las más comunes. Es una especie tropical muy tolerante que puede ser desplazada por las corrientes. Se ha reportado en el Atlántico en la región cálida y fría siendo la más septentrional frente a Irlanda, donde la temperatura de la superficie era de 12°4 C. En el Pacífico se encontró continuamente en las regiones cálidas. Se ha clasificado a *T. massiliensis* como una especie de superficie. La especie se encontró con una frecuencia decreciente a medida que aumentaba la profundidad (Graham, 1942).



Figura 40. *Tripes massiliensis*

## **Orden Prorocentrales Lemmermann 1910**

### Diagnosis

Su principal característica es la presencia de una teca bivalva, aplastada bilateralmente. Cada valva es una placa completa. Las dos placas valvares están perforadas por poros generalmente oblicuos, notables, a veces densos y definidos. La célula tiene el área periflagelar en su ápice, de donde emergen dos flagelados. Sin sulco y sin presencia de cíngulo. Con cloroplastos. La mayoría de los *Prorocentrum* tienen un pirenoide central, un núcleo posterior y vacuolas anteriores, las células a menudo tienen zonas megacíticas, contornos alterados y superficies con marcas de las tecas con suturas (Steidinger y Jangen, 1997; Cohen-Fernández et al., 2006).

**Género *Prorocentrum* Ehrenberg 1833**

***Prorocentrum gracile* Schütt 1895**

Diagnosis

Es una célula piriforme, alargada, posteriormente termina en punta, muy parecida a *P. micans*, pero le dobla en largo en el tamaño. Las valvas tienen poros pocos profundos y con una espina anterior larga y alada que se encuentra en el área periflagelar.

Material

Puerto Quetzal, Puerto San José, Sipacate, Tecojate, El Semillero y Las Lisas.

Fenología

Presente durante todo el año de muestreo (enero a diciembre).

Distribución

En todo el Pacífico mexicano (Hernández-Becerril et al., 2000).

Ecología y toxicología

Durante los meses de agosto a octubre de 1991, se registró un significativo reporte de intoxicación paralizante por consumo de moluscos (PSP) en las localidades de Manzanillo y Guayacán, situadas en la costa noroeste de la Isla de Margarita, Venezuela. Este brote fue desencadenado por la proliferación de tres especies de dinoflagelados: *Prorocentrum gracile*, *Gymnodinium catenatum* y *Alexandrium tamarense*. Como consecuencia de esta proliferación, los niveles de saxitoxina, la toxina responsable de PSP, en los mejillones (*Perna perna*) superaron los límites permitidos, alcanzando niveles de hasta 2548 µg STX/100g de carne en Manzanillo y de hasta 1422 µg STX/100g de carne en Guayacán.

Es importante destacar que el nivel máximo permitido es de 80 µg STX/100g de carne. La mayor incidencia de intoxicaciones se observó en agosto, cuando 24 personas manifestaron síntomas característicos de PSP después de consumir mejillones cocidos. Durante este episodio, la especie dominante en el florecimiento tóxico fue *P. gracile*, según lo reportado por Barbera-Sánchez et al., (2004).



Figura 41. *Prorocentrum gracile*

***Prorocentrum micans* Ehrenberg 1933**Diagnosis

Células con tallas de pequeñas a medianas, varían de forma esferoides a piriformes en la vista valvar.

Material

Puerto Quetzal, Puerto San José, Sipacate, Tecojate, El Semillero y Las Lisas.

Fenología

Presente durante todo el año de muestreo (enero a diciembre).

Distribución

Esta especie se considera cosmopolita, aunque está ausente en la Antártida. Se encuentra tanto en aguas neríticas como oceánicas, aunque su presencia es más frecuente en las primeras. Balech (1988) señala que esta especie puede causar coloración del agua. Es común en diversas regiones del mundo, según lo indicado por Hoppenrath et al., (2009).

En la región de la Convergencia Austral, se observa principalmente durante el verano, con un rango de temperatura entre 14.4°C y 26.1°C y una salinidad de 32.7 ‰ a 37‰. Durante el invierno, su presencia es más notoria en la misma región, con temperaturas entre 12.9°C y 21.4°C y salinidad entre 26.5 ‰ y 36.6 ‰. En la región de la Corriente del Sur de México y Guatemala, se registra a temperaturas de 17.7°C a 21.4°C y una salinidad de 33.1‰ a 36.6 ‰. Balech (1988) indica que *P. micans* está ampliamente distribuido en aguas cálidas, siendo más común en aguas neríticas que oceánicas.

Ecología y toxicología

El ácido okadaico (AO) y la dinofisistoxina-1 (DTX1) son tipos de toxinas producidas por los géneros *Prorocentrum* y *Dinophysis*. Estas toxinas tienen la capacidad de acumularse en los tejidos de los moluscos que se alimentan filtrando el agua, lo que puede representar un peligro para los humanos que consumen estos moluscos. En un estudio realizado en una zona de cultivo de moluscos en Santa Catarina, Brasil, se investigó la presencia de AO y DTX1 en dos especies de dinoflagelados del género *Prorocentrum*. Utilizando una técnica de análisis llamada cromatografía líquida de alta resolución con derivatización precolumna y detección de fluorescencia, se determinó que las cepas aisladas de *P. micans* y *P. obtusum* Ostenfeld 1908 no producían AO ni DTX1. Estos hallazgos sugieren que estos organismos no deben considerarse como productores de toxinas asociadas al síndrome de intoxicación amnésica (ASP) en la región (Proença et al., 1999).

Se llevó a cabo una investigación sobre las interacciones entre *P. micans* y la diatomea céntrica colonial *Skeletonema costatum*, así como entre *P. micans* y *K. mikimotoi*, con el objetivo de determinar si la alelopatía de microalgas desempeña un papel en la regulación de la secuencia de floraciones nocivas en estas especies. Este estudio reveló que *P. micans* inhibió de manera significativa el crecimiento de *S. costatum* cuando se inoculó a dos densidades celulares diferentes. Del mismo modo, en presencia de bajas densidades de *K. mikimotoi* y altas densidades de *P. micans*, se observó una estimulación débil de *P. micans*. (Ji et al., 2011).

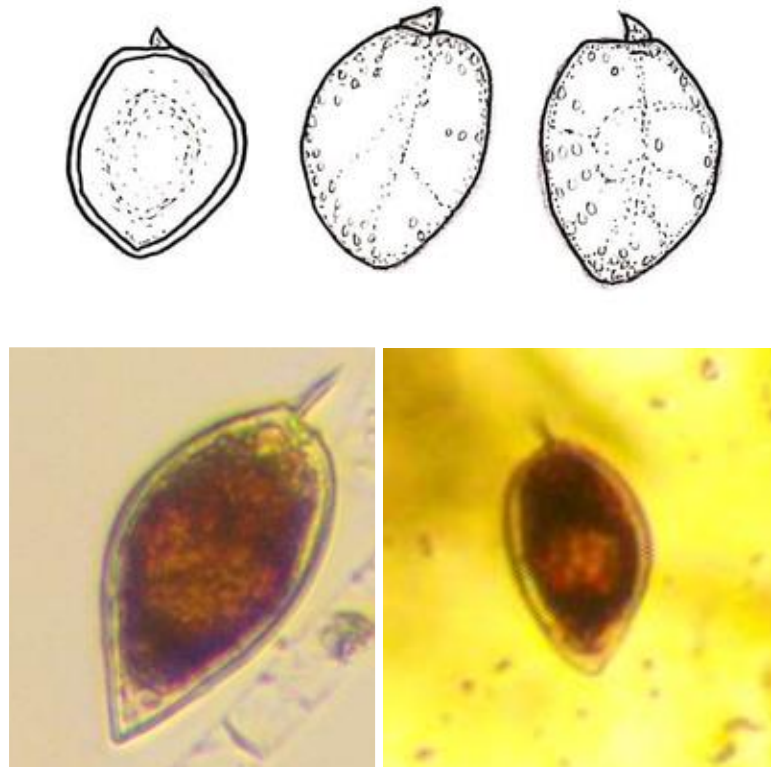


Figura 42. *Prorocentrum micans*

***Tryblionella compressa*** (Bailey) Poulin 1990

Bas.: *Pyxidicula compressa* Bailey 1851.

Sin.: *Prorocentrum compressum* (Bailey) T.H. Abé & J.D. Dodge 1975.

Diagnosis

Es una célula ovada, comprimida en vista lateral, con dos espinas cortas en el área periflagelar, las valvas tienen poros y depresiones no muy profundas. Las paredes generalmente son delgadas, poco espesas, poroides pequeños, poros de distribución irregular.

Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

Septiembre y noviembre

### Distribución

La especie es cosmopolita y se encuentra distribuida ampliamente desde la convergencia antártica hasta aguas templadas tropicales, abarcando tanto ambientes neríticos como oceánicos, con una preferencia destacada por aguas subantárticas. Es dominante en estas regiones (Balech, 1988). Aunque no es muy común en el Golfo de California, se ha registrado en el Pacífico mexicano (Hernández-Becerril et al., 2000).

Según Steidinger y Jangen (1997), esta especie se encuentra en un rango de temperatura que va desde 19°C hasta -1.76°C. Balech (1988) la ha observado en el Océano Atlántico Sudoccidental, principalmente entre los 32°S y el límite sur de la Convergencia Antártica, mostrando preferencia por aguas subantárticas con temperaturas de 11-6°C, aunque ocasionalmente se encuentra en temperaturas superiores a 15°C, a diferencia de lo observado en este estudio. Balech también notó una mayor abundancia de la especie en estaciones con salinidad entre 33.7 ‰ y 34.2 ‰.

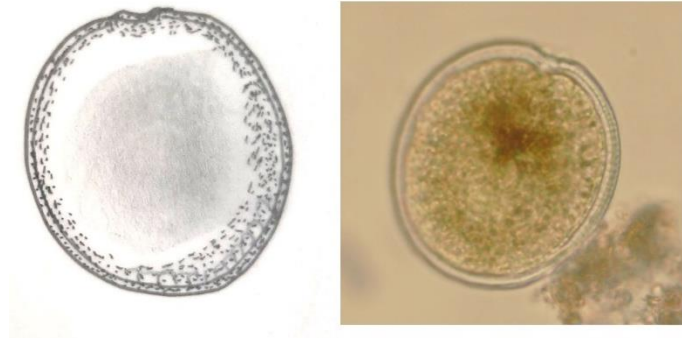
### Ecología y toxicología

Con el propósito de investigar la dinámica de interacción entre el ambiente marino, los dinoflagelados y la actividad de ficotoxinas, se llevó a cabo un estudio en Bahía Concepción, ubicada en el Golfo de California. Durante los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre de 1993, se realizaron mediciones de variables fisicoquímicas del agua y se tomaron muestras de fitoplancton y almeja catarina.

El análisis cualitativo y cuantitativo del fitoplancton reveló la presencia predominante de especies potencialmente tóxicas, como *Dinophysis caudata*, *Ceratium furca*, *Prorocentrum micans* y *P. compressum*, especialmente durante los picos de máxima abundancia de dinoflagelados.

La comparación de estos datos con las condiciones ambientales, incluyendo temperatura, oxígeno disuelto y concentraciones de nutrientes, sugiere que el inicio de la estratificación vertical del agua y la escasez de nutrientes fueron factores clave que propiciaron la proliferación de estas especies al comienzo de la primavera de 1993 (Morquecho-Escamilla, 1996).

Utilizando la metodología estándar para la determinación de toxinas paralíticas (bioensayo en ratón), se detectó actividad tóxica en las muestras de almeja catarina durante los meses de marzo y junio, con niveles que excedían el límite máximo permisible para el consumo humano de moluscos, establecido en 400 Unidades de Ratón (UR). Estos hallazgos coincidieron con la presencia de especies fitoplanctónicas potencialmente tóxicas en el área de estudio. Además, se plantea la posibilidad de la presencia de toxinas diarreicas y ciguatoxinas, dado que se identificaron especies relacionadas en el área de muestreo (Morquecho-Escamilla, 1996).



*Figura 43. Tryblionella compressa*

*Prorocentrum scutellum* B. Schröder 1900

Sin.: *Prorocentrum robustum* Osorio-Tafall 1942

#### Diagnosis

Las células son ovadas, semicirculares, con ambos márgenes redondeados. Tiene el extremo anterior ligeramente excavado, tiene una espina anterior prominente, alargada y alada.

#### Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N 90° 47' 15.835'' W).

#### Fenología

Septiembre

#### Distribución

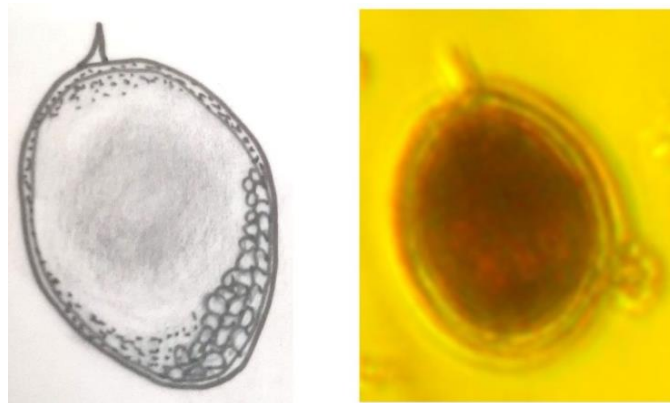
La especie ha sido citada tanto en la Corriente del Sur de México y Guatemala como en el Archipiélago Canario en ambos cruceros, mostrando una amplia variación de temperatura entre 12.2°C y 26.3°C y salinidad de 26.5 ‰ a 37.9 ‰. Aunque ocasionalmente puede ser confundida con *P. compressum*, por lo general se distingue claramente debido a su forma cordiforme y la presencia de proyecciones apicales asimétricas, siendo una de ellas notablemente más ancha en la base. Esta especie se considera nerítica o estuarina, con una distribución que abarca desde el Ártico hasta aguas tropicales (Steidinger y Jangen, 1997).

### Ecología y toxicología

En un estudio de fitoplancton llevado a cabo en la bahía de İzmit entre 1999 y 2000, se reportó un denso florecimiento ocasionado por el dinoflagelado *Prorocentrum scutellum* en la parte este de la bahía. Durante este evento, se sugirió que la abundancia de *P. scutellum* alcanzó las  $2.4 \times 10^6$  células por litro y se observó una marcada decoloración del agua. Los resultados de este estudio resaltaron la alta eutrofización de la bahía, la cual fue corroborada por otro estudio llevado a cabo entre febrero de 1999 y septiembre de 2000, que señaló la presencia intensa de dinoflagelados, principalmente del género *Prorocentrum*.

En septiembre de 1999, se reportó que *P. scutellum* fue la especie dominante, alcanzando aproximadamente las  $\sim 410 \times 10^3$  células por litro en la parte este de la bahía. Además de *P. scutellum*, otras especies comunes de *Prorocentrum*, como *P. micans* y *P. cordatum*, conocidas por ser potencialmente nocivas, fueron identificadas durante el estudio. Se registraron un total de 14 especies de fitoplancton consideradas tóxicas y nocivas en la bahía de İzmit.

Los autores también mencionaron la ocurrencia de mareas rojas causadas por especies de *Prorocentrum* en algunos períodos, pero no se registraron otros florecimientos de algas nocivas durante el período de estudio (Taş et al., 2016).



**Figura 44. *Prorocentrum scutellum***

*Prorocentrum rostratum* F. Stein 1883

Diagnosis

Célula de tamaño mediana, más larga que ancha (aproximadamente 6 veces su grosor en altura). Tiene un perfil curvo en vista de valva. El extremo posterior es puntiagudo y con depresiones profundas y poros.

Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

Noviembre

Distribución

Esta especie se observa en las regiones de la Convergencia Austral y en la Corriente del Sur de México y Guatemala durante el verano, donde las temperaturas oscilan entre 14.5°C y 26.2°C y la salinidad varía entre 33.1‰ y 37.0 ‰. Sin embargo, en la Convergencia Austral su presencia se limita al invierno, con temperaturas entre 13.2°C y 20.3°C y una salinidad de 34.6 ‰ a 36.5 ‰. Se trata de una especie nerítica y propia de aguas cálidas, con una distribución amplia (Steidinger y Jangen, 1997).

Ecología y toxicología

Pitcher et al. (2010) llevaron a cabo una evaluación de la región de mayor afloramiento frente a la Península del Cabo. Durante esta investigación, observaron que la población estaba confinada dentro de la corriente en chorro de Benguela, lo que resultó en el transporte del florecimiento hacia el norte a lo largo del borde de la plataforma. Encontraron una dominancia de un florecimiento compuesto por *Prorocentrum rostratum* y *P. gracile*.

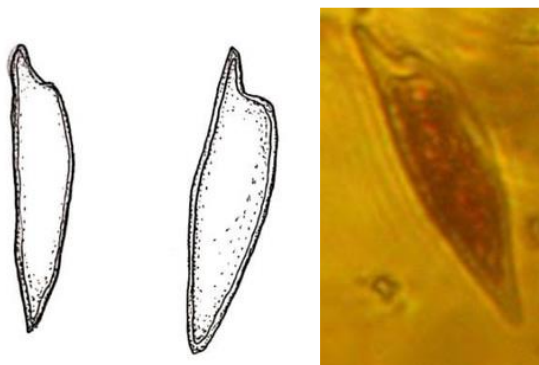


Figura 45. *Prorocentrum rostratum*

*Prorocentrum mexicanum* Osorio-Tafall 1942

Diagnosis

Células asimétricas, ovaladas. El polo anterior es levemente cóncavo. Las valvas son lisas. Los poros están organizados de 6 a 8 filas y en disposición de 3 a 6, dispuestos radialmente y perpendiculares al margen posterior de la valva. No hay poros en la parte central de la valva. Tiene una depresión localizada en el área periflagelar en forma de V.

Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

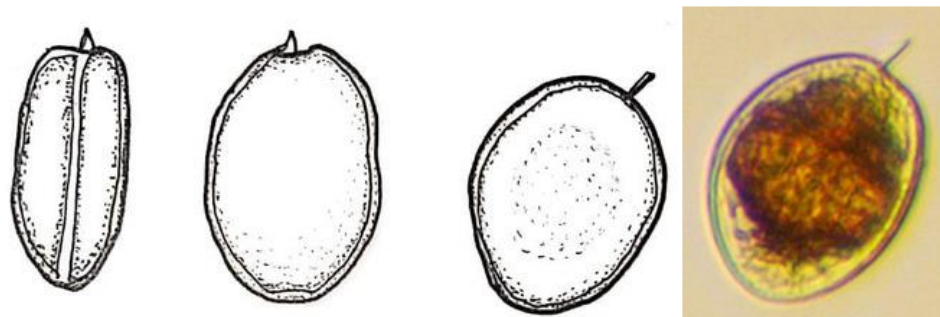
Noviembre

Distribución

Se han encontrado florecimientos ocurriendo en algunos puntos del Golfo de California y también en Acapulco (Hernández-Becerril et al., 2000). Bahía de Mazatlán (Cortés-Altamirano y Sierra-Beltrán, 2003).

Ecología y toxicología

Naves et al., (2006) observaron la actividad hemolítica en ratones utilizando extractos de *P. mexicanum* en su investigación sugieren la presencia de citotoxinas con mecanismo de acción similar al ácido okadaico o maitototoxina, sin embargo, se necesita más trabajo necesario para su confirmación.



**Figura 46. *Prorocentrum mexicanum***

## Orden *Dinophysiales* Lindermann 1928

### Género *Dinophysis* Ehrenberg 1839

#### Diagnosis

El género *Dinophysis* exhiben una amplia variación morfológica incluso dentro de la misma morfoespecie, la cual se desarrolla de manera distinta en diversas regiones geográficas. Dentro de una misma localidad, se han observado importantes variaciones intraespecíficas en cuanto al tamaño y la forma celular, las cuales pueden corresponder a transiciones morfológicas durante la división vegetativa o mitosis, diferentes estadios del ciclo vital o estados transitorios después de la ingestión de una presa.

Las variaciones en tamaño y forma han sido confirmadas tanto en cultivos en laboratorio de individuos aislados por micromanipulación como en muestreos intensivos de campo, realizados en ciclos de 24 horas. La presencia de formas pequeñas e intermedias en todas las especies estudiadas a veces genera incertidumbre en la clasificación taxonómica. (Reguera, 2003).

La teca suele ser comprimida lateralmente, presenta tres áreas: epiteca, cingulo e hipoteca. El sulco ocupa el margen ventral. La epiteca tiene desarrollo variable, pero es más corta que la hipoteca y aplastada. Cingulo queda delimitado por las membranas anterior y posterior.

#### *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann 1859

#### Diagnosis

Es una especie pequeña a mediana, de forma ovalada o elíptica. Tiene un perfil posterior redondeado, con un surco izquierdo desarrollado, el cual es profundo. La superficie posee areolas, con un poro dispuesto en cada una. Posee marcas superficiales que ayuda a distinguir la especie. El cingulo muy cóncavo dorsalmente, aleta cingular anterior bastante desarrollada, sin costillas, pero a veces irregularmente esculpida. Sulcal izquierda bastante más corta que la hipoteca.

#### Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W).

#### Fenología

Noviembre

#### Distribución

Esta especie tiene una amplia distribución en aguas templadas y frío-templadas del océano Índico, Pacífico (costa oeste de EEUU, sur de Chile, Japón, Tasmania, Nueva Zelanda) y

del Atlántico (Uruguay, Argentina, Suráfrica), incluyendo toda la costa europea, donde constituye la especie más abundante del género (Reguera, 2003).

#### Ecología y toxicología

La intoxicación diarreica por mariscos (DSP) es un síndrome de salud humana de alcance global, principalmente causado por dinoflagelados del género *Dinophysis*, aunque en casos menos frecuentes puede estar asociado con el dinoflagelado bentónico *Prorocentrum lima*. *Dinophysis* spp. son conocidos por sintetizar ácido okadaico (OA) y dinofisistoxinas (DTX) las principales toxinas responsables de la DSP, así como pectenotoxinas (PTX), las cuales, aunque no están directamente vinculadas con la DSP, pueden ser hepatotóxicas y promover la formación de tumores en mamíferos.

Aunque la DSP es común en regiones de Europa, América del Sur y Asia, América del Norte experimentó pocos casos relacionados con *Dinophysis* antes de 2008, siendo la mayoría de estos eventos registrados en Canadá. Sin embargo, en los últimos años, América del Norte ha observado un aumento en las floraciones de *Dinophysis*, lo que ha llevado a la detección de mariscos con niveles de toxinas DSP que superan los límites de acción establecidos por la USFDA (160 ng g<sup>-1</sup> de tejido de mariscos).

Un estudio realizado en Sudáfrica que empleó compuestos marcados con <sup>15</sup>N, encontró que las comunidades dominadas por *D. acuminata* tienen una alta afinidad por el amonio lo que podría otorgarles una ventaja competitiva en aguas con bajos niveles de nitratos. Sin embargo, el único estudio que investigó los efectos de los nutrientes en la producción de ácido okadaico y sus derivados reportó resultados contradictorios para las dos especies de *Dinophysis* estudiadas.

A pesar de la revisión más completa y reciente sobre la ecología de *Dinophysis*, que se enfocó únicamente en la fagotrofia como su modo principal de nutrición y no encontró evidencia sobre la capacidad para utilizar nutrientes directamente, aún persiste la necesidad de realizar más investigaciones para comprender los efectos de los nutrientes en el crecimiento y la toxicidad de *Dinophysis*.

Hattenrath-Lehmann et al. (2015) llevaron a cabo un estudio entre los años 2008 y 2012, en el cual evaluaron la dinámica de *D. acuminata*, así como las toxinas asociadas (ácido okadaico, dinofisistoxinas-1 y pectenotoxinas) y los nutrientes en dos estuarios eutróficos. Para investigar los efectos de los nutrientes (orgánicos e inorgánicos, que contienen nitrógeno y fósforo) en la abundancia y toxicidad de *D. acuminata*, realizaron experimentos de enmienda de nutrientes utilizando comunidades naturales de plancton de estos dos sistemas. Además, llevaron a cabo análisis de regresión gradual para examinar la relación entre *Dinophysis* y sus toxinas con varios parámetros ambientales y utilizaron matrices de correlación para explorar la relación entre *Dinophysis* y otros miembros de la comunidad de fitoplancton durante los experimentos.

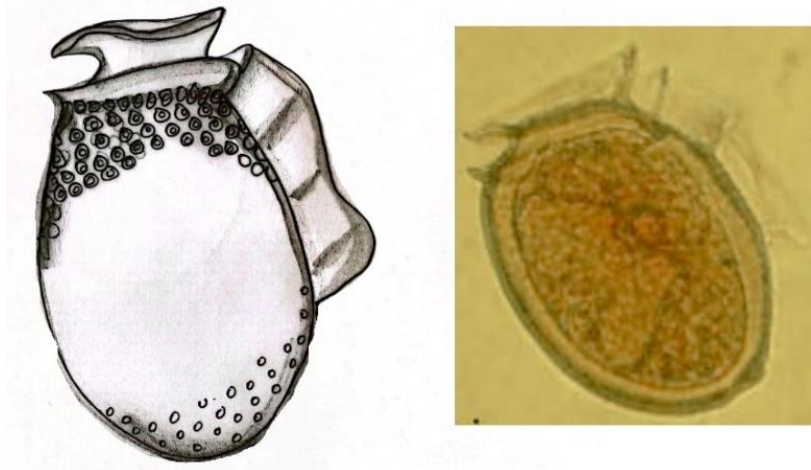


Figura 47. *Dinophysis acuminata*

*Dinophysis caudata* Saville-Kent 1881

#### Diagnosis

Especie de tamaño mediano a grande, las células a menudo se presentan en pares, unidas dorsalmente. La forma dorsal es curvada, el margen ventral en el perfil lateral es generalmente recto a lo largo del cuerpo principal. En su superficie se observan areolas. El cingulo es cóncavo. En vista ventral bastante angosta con lados casi paralelos en el cuerpo, generalmente un poco convexos.

#### Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada ( $13^{\circ} 54' 25.409''$  N y  $90^{\circ} 45' 51.811''$  W), Boya Texaco ( $13^{\circ} 53' 43.292''$  N,  $90^{\circ} 49' 55.685''$  W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" ( $13^{\circ} 55' 7.53''$  N,  $90^{\circ} 47' 15.835''$  W).

#### Fenología

Enero, marzo, abril, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre.

#### Distribución

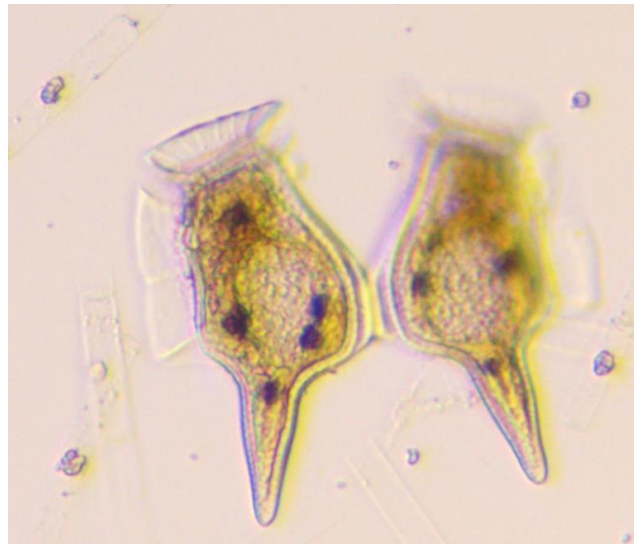
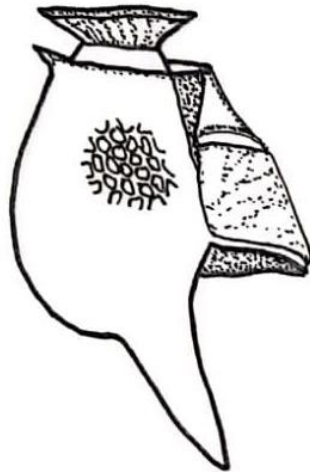
Esta especie, de distribución cosmopolita, se encuentra principalmente en aguas neríticas, aunque también se observa ocasionalmente en aguas oceánicas y costeras tropicales, subtropicales y cálidas a templadas del Mar Caribe, océanos Pacífico (incluyendo California, México, Costa Rica, Perú, Chile, Tailandia, Japón y Australia), Índico (como en India, Mozambique y Madagascar) y Atlántico (abarcando Brasil, Uruguay, Marruecos y la Península Ibérica), así como en el Mar Arábigo y el Golfo Pérsico. Es común en el Mediterráneo y se observa estacionalmente (principalmente a finales del verano y

principios del otoño) en la costa Atlántica y el Mar Cantábrico de la Península Ibérica (Reguera, 2003).

### Ecología y toxicología

En el estudio de Marasigan et al. (2001) sobre la intoxicación diarreica por mariscos (DSP), se identificaron toxinas en las células naturales de *Dinophysis caudata*, las cuales se producen en bajas densidades en aguas ambientales. Estos hallazgos sugieren la posibilidad de que la DSP ocurra en áreas tropicales cuando los organismos causantes, como *D. caudata*, estén presentes en alta densidad.

El estudio también revela que durante un florecimiento de *D. caudata* que comenzó en febrero y marzo, con una densidad de 1000 a 1500 céls./l se acumuló un alto nivel de toxinas DSP en *Perna viridis*. Este florecimiento alcanzó su máxima densidad en julio (2800 céls./l), disminuyendo en agosto por debajo de 500 céls./l, aunque un pequeño número de células se observó hasta diciembre. Esta proliferación provocó una escasez de alimentos debido a la severa diarrea causada por el envenenamiento. Estos hallazgos, junto con los resultados de la investigación, resaltan la importancia de monitorear este tipo de intoxicaciones por consumo de mariscos tropicales para las toxinas DSP, enfocándose especialmente en la presencia de *D. caudata*.



**Figura 48. *Dinophysis caudata***

## Orden Noctilucales Haeckel 1894

### Género *Noctiluca* Suriray 1836

#### Diagnosis

Son organismos grandes, su forma va de esférica a piriforme y de gran tamaño. No se distinguen las tecas en los adultos. El sulco termina en un tentáculo muy desarrollado donde se observan estriaciones transversales. El flagelo longitudinal es corto, mientras que el flagelo transversal se reduce a un diente móvil. Toda la masa del núcleo se encuentra cerca del sulco. Estos organismos no son fotosintéticos y son incoloros, aunque presentan glóbulos de aceite fluorescente dispersos.

*Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy 1921

Bas.: *Medusa scintillans* Macartney 1810.

#### Diagnosis

Es una célula vegetativa de gran tamaño, de forma subesférica que presenta un flagelo y un tentáculo estriado. El flagelo se encuentra ubicado en un surco ventral conectado al citostoma. El citoplasma de esta célula es vacuolado y puede contener simbiontes fotosintéticos, aunque carece de cloroplastos. Durante su fase trofote, el protoplasma se caracteriza por estar altamente vacuolizado y la célula está atravesada por filamentos protoplasmáticos fibrilares conocidos como mionemas que mejoran su capacidad de contracción.

Las células de *Noctiluca*, que pueden llegar a ser grandes (hasta 2000 micras) y tienen una forma redondeada, presentan una característica de invaginación conocida como "bolsa oral". Dentro de esta bolsa se encuentra un tentáculo largo distintivo, acompañado de un flagelo emergente, un citostoma permanente, un orgánulo de bastón y un diente saliente cuya función aún no se comprende completamente. El núcleo se localiza cerca del citostoma formando una acumulación (Soyer, 1972; Cachon y Cachon, 1969).

#### Material

Canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53" N, 90° 47' 15.835" W).

#### Fenología

*Noctiluca scintillans* floreció en noviembre de 2020 y enero a marzo de 2021 (hasta  $1,20 \times 10^6$  céls./l).

#### Distribución

Abundante, cosmopolita, forma florecimientos densos en el verano entre mayo y agosto, (Hoppenrath et al., 2009). La especie produce floraciones con intensas descoloraciones;

pueden ser bioluminiscentes y pueden acumular una alta concentración de amonio, volviéndose tóxicos. Esta especie es nerítica y planctónica (Sweeney, 1963).

### Ecología y toxicología

A diferencia de muchas otras especies, carecen de cloroplastos, por lo que su nutrición es holozoica. Esta especie se alimenta vorazmente de cualquier partícula que pueda ingerir, aunque las partículas grandes, como las cadenas de diatomeas, las células *Tripos* o los huevos de copépodos, pueden distorsionar la forma de sus células.

*Noctiluca scintillans* también puede alimentarse de manera social, donde muchas células excretan una red mucosa para atrapar y eliminar partículas de la columna de agua, incluyendo bacterias que son recolectadas de manera muy eficiente por este método. Esto significa que *Noctiluca scintillans* no solo puede tener un impacto significativo en las poblaciones de fitoplancton y zooplancton, sino también en las poblaciones bacterianas.

Algunas células de esta especie pueden albergar un endosimbionte prasinofito fotosintético, lo que permite que el consorcio viva fototróficamente durante muchas generaciones en cultivo. Además, se han observado bacterias intracelulares en algunas células de *Noctiluca scintillans*. La bioluminiscencia es una característica notable de la mayoría de las poblaciones de esta especie, aunque hay excepciones.

Por último, tiene la capacidad de acumular grandes cantidades de amoníaco dentro de sus células. Esto puede llevar a su concentración en la superficie del mar en cantidades masivas, dando lugar a una espectacular coloración azul-verdosa de grandes áreas del océano. Este fenómeno puede tener un impacto significativo en las pesquerías ya sea debido al agotamiento de oxígeno cuando las células se descomponen, o por la liberación de amoníaco desde la célula como señalaron Hoppenrath et al., (2009) y Gomes et al., (2014).



Figura 49. *Noctiluca scintillans*

## Orden Peridiniales Haeckel, 1894

### Género *Protoperidinium* Bergh, 1881

#### Diagnosis

Dentro de los dinoflagelados tecados este género es el que cuenta con el mayor número de especies y tiene una distribución marina cosmopolita (Balech, 1974 y 1988). Se caracterizan por su tamaño, que va desde pequeños hasta grandes (15-250  $\mu\text{m}$ ) y su forma, que puede variar de esférica a pentagonal, pudiendo presentar una espina apical o un gran cuerno apical con dos espinas antapicales. Algunas especies muestran una marcada compresión dorsoventral. El cíngulo es más o menos mediano, pudiendo ser circular o muy desplazado, con el desplazamiento que puede ser ascendente o descendente. Además, el surco se extiende únicamente hacia atrás (Hoppenrath et al., 2009; Abé, 1927).

El género *Protoperidinium* Bergh tiene más de 280 especies marinas de dinoflagelados con teca descritas (Gómez, 2012). Dentro de este género, algunas especies de *Protoperidinium* desempeñan funciones ecológicas cruciales. Por ejemplo, pueden ser responsables de la formación de florecimientos algales, actuar como vectores para las toxinas producidas por ciertas microalgas o incluso regular la proliferación de otros dinoflagelados (Gribble et al., 2007). Estas funciones son de gran importancia en los ecosistemas marinos ya que influyen en la estructura y dinámica de las comunidades biológicas, así como en la salud general del ecosistema.

#### *Protoperidinium abei* (Paulsen) Balech, 1974

Bas.: *Protoperidinium abei* Paulsen 1931

#### Diagnosis

Células fusiformes, con un cuerno apical no-separado que disminuye gradualmente. Cíngulo fuertemente excavado, descendente, tiene numerosas costillas longitudinales. La parte derecha de la hipoteca forma un fuerte cuerno con una aleta sulcal notable y es más grande que el izquierdo. Las placas 1<sup>a</sup> y 2<sup>a</sup> son hexagonales, casi igual en talla. El poro hipotecal está ausente.

#### Material

Boya Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W). Este sitio es el punto que se encuentra en el límite perimetral de la dársena de Puerto Quetzal.

#### Fenología

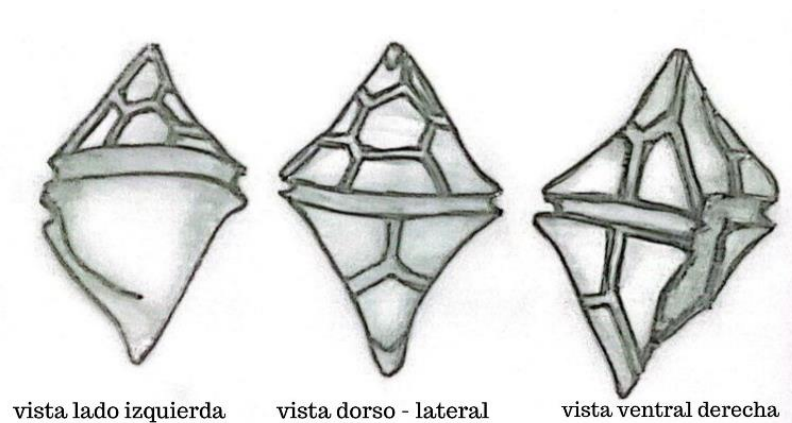
Abril

### Distribución

Cosmopolita, de aguas neríticas y oceánicas (Balech, 1988). *P. abei* ha sido ampliamente registrada en numerosas áreas marinas como Bangladesh, Rusia, el Mar Negro, el Mar Mediterráneo (Gómez, 2003), el Caribe (Merino-Virgilio et al., 2013). Lo que sugiere su amplia distribución, particularmente en mares cálidos y tropicales (Prabowo et al., 2023).

### Ecología y toxicología

Este es el primer reporte de la especie para el Pacífico de Guatemala. No se encontraron datos de florecimientos tóxicos donde desempeñara un papel de especie dominante. Los datos físico químicos en el área de colecta son: Salinidad: 34.66 ‰; P: 17.45 mg/L; NH: 0.20 mg/L; N total: 67.52 mg/L; Temperatura del agua: 29°C.



**Figura 50. *Protoperidinium abei***

### ***Protoperidinium oceanicum* (Vanhöffen) Balech, 1974**

Bas.: *Protoperidinium oceanicum* Vanhöffen 1897.

### Diagnosis

Especie grande que posee bien desarrollados los cuernos apicales y antapicales. La teca presenta curvas regulares y una convexidad media a nivel del cingulo, que se extiende a las partes basales de la epiteca y la hipoteca. Las aletas están bien desarrolladas y tienen pseudorradios. La especie muestra un aplastamiento dorso-ventral y el plano cingular está inclinado respecto al eje longitudinal.

### Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W), Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N, 90° 49' 55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

### Fenología

Febrero (Puerto Quetzal: Boya Texaco, Boya Recalada y Boya Entre Morros), mayo (Puerto Quetzal: Boya Entre Morros) y diciembre (Puerto Quetzal: Boya Recalada, Boya Texaco y Entre Morros).

### Distribución

Esta especie se observa en las regiones de la Convergencia Austral durante el invierno, donde las temperaturas oscilan entre 12.5°C y 12.9°C y la salinidad varía de 30.8 ‰ a 30.9 ‰. Dada su amplia distribución geográfica, esta especie muestra una considerable variabilidad en términos de tamaño, longitud de los procesos y tabulación (número de intercalares y tabulación ventral). Estas diferencias han llevado a la identificación de múltiples formas y variedades de la especie, como señala Balech (1988). Sin embargo, es importante destacar que la clasificación taxonómica de esta variedad sigue siendo objeto de debate en la comunidad científica, aunque Balech (1988) la acepta como una variedad de *P. oceanicum*.

### Ecología y toxicología

Las especies de *Protoperidinium* se encuentran en diferentes hábitats y producen muchos florecimientos que ocurren de forma estacional. *P. oceanicum* se encuentra tanto en aguas costeras como oceánicas desde áreas templadas a tropicales.



Figura 51. *Protoperidinium oceanicum*

***Protoperidinium depressum*** (Bailey) Balech, 1974

Bas.: *Protoperidinium depressum* Bailey 1854.

Diagnosis

Cuernos bien desarrollados, el derecho es más grueso y más largo. Forma ancha a nivel del cíngulo. Plano cingular un poco inclinado respecto al eje. Aplastamiento dorsoventral moderado. Protoplasma generalmente oscuro.

Material

Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), Boya Texaco (13° 53'43.292'' N, 90° 49'55.685'' W).

Fenología

Enero y marzo (Puerto Quetzal: Boya Texaco y Recalada).

Distribución

Esta especie presenta una amplia distribución que abarca diversas condiciones de temperatura, salinidad y disponibilidad de nutrientes, tanto en aguas oceánicas como neríticas, lo que le confiere una alta adaptabilidad a una variedad de hábitats (Balech, 1988).

Se caracteriza por ser eurihalina y euritérmica y ha sido avistada en aguas que van desde las regiones antárticas hasta las árticas (Al-Kandari, 2009). Asimismo, Taylor (1976) reportó la presencia de esta especie en aguas cálidas tropicales y templadas del Océano Índico y el Mar Mediterráneo, ampliando aún más su rango de distribución geográfica.

Ecología y toxicología

Después de una marea roja tóxica causada por *Alexandrium catenella* (= *Gonyaulax excavata* (Braarud) Balech) se observó la presencia de cantidades significativas del dinoflagelado heterótrofo *Protoperidinium depressum*, así como concentraciones menores de *P. oceanicum* y *P. obtusum*. El citoplasma de *P. depressum* se caracteriza por la presencia de grandes gotas de lípidos de un intenso color rojo salmón, que es similar en apariencia a las inclusiones lipídicas rojas encontradas en los quistes en reposo de *A. catenella*, aislados de sedimentos de la misma zona.

Este material fue recolectado en aguas de la plataforma continental argentina (42°23'S y 62°45'W) utilizando una red de 50 µm. Durante el examen, se descubrió que este material consistía exclusivamente en tres especies de *Protoperidinium*, de las cuales *P. depressum* representaba más del 90% de la biomasa total (Carreto, 1985).

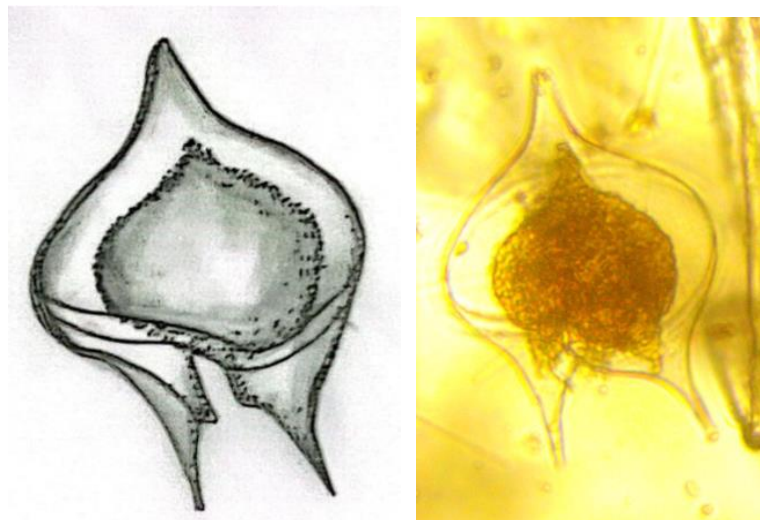


Figura 52. *Protoperidinium depressum*

***Protoperidinium conicum*** (Gran) Balech 1974

Bas.: *Peridinium divergens* (Ehrenberg) Balech var. *conicum* Gran 1900.

Diagnosis

La especie presenta una forma pentagonal modificada por la muesca posterior creada por los dos cuernos antapicales. La epitoca es cónica y casi rectilínea. Los cuernos antapicales son de longitud media, puntiagudos y gruesos en la base. Las aletas cingulares son angostas y presentan radios. En vista lateral, se observa un notable aplastamiento dorso-ventral, con un cingulo inclinado y cuernos antapicales anchos.

Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), Boya Texaco (13° 53'43.292'' N, 90° 49'55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

Enero (Boya Texaco y Boya Recalada); marzo y octubre (Boya Texaco, Boya Recalada y Entre Morros); abril (Boya Entre Morros); mayo y junio (Boya Entre Morros); agosto (Boya Texaco y Boya Recalada); noviembre (Boya Recalada y Entre Morros) y diciembre (Boya Entre Morros).

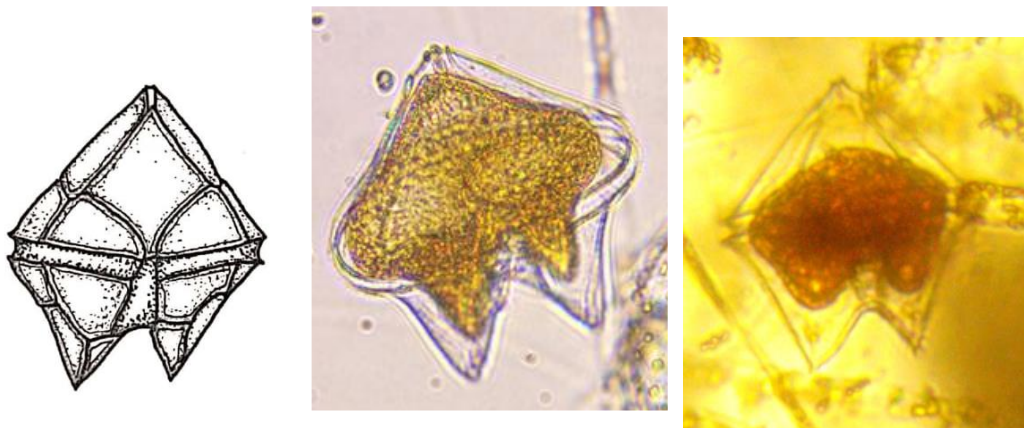
Distribución

Graham (1942) documentó que esta especie se registró en los océanos Atlántico y Pacífico en una amplia gama de condiciones hidrográficas. Es muy frecuente en mares templados como cálidos, neríticos y oceánicos

El hallazgo de esta especie en aguas de Veracruz es un nuevo registro para el Golfo de México y el segundo registro publicado de *P. concinnum* descrito originalmente en la Corriente del Golfo frente a la costa de Point Lookout, Carolina del Norte (Estados Unidos) y también se conoce en las aguas fuera de los cayos de manglares de Belice en el Caribe y en la Corriente del Golfo frente a la costa de Fort Pierce Inlet, Florida (Estados Unidos) (Okolodkov, 2014).

#### Ecología y toxicología

El descubrimiento de esta especie en las aguas de Veracruz representa un nuevo registro para el Golfo de México. No se encontró información toxicológica.



**Figura 53. *Protoperidinium conicum***

***Protoperidinium obtusum*** (G. Karsten) Parke J.& D. Dodge 1976

Bas.: *Peridinium divergens* (Ehrenberg) Balech var. *obtusum* G. Karsten 1907.

#### Diagnosis

Esta especie es grande y tiene una forma pentagonal alterada por una muesca antapical poco profunda. Las membranas cingulares son muy angostas. No tiene cuerno apical, pero cuenta con dos cuernos antapicales cortos y gruesos en la base, cada uno con pequeñas espinas en el extremo. La escultura es robusta, destacando líneas verticales sinuosas e irregulares, de aspecto vermiforme. En vista lateral, presenta una forma romboidal y un notable aplastamiento dorsoventral.

#### Material

Canal de acceso Puerto Quetzal “Entre Morros” (13° 55′ 7.53″ N, 90° 47′ 15.835″ W).

#### Fenología

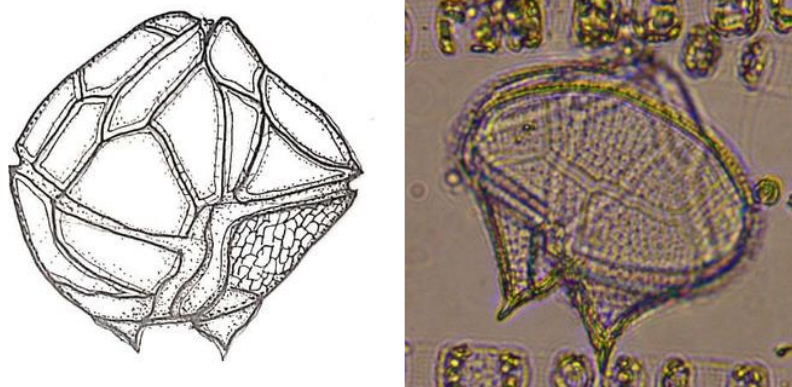
Abril

### Distribución

Durante el invierno de 2005, se avistó en la región nerítica de Convergencia Austral, donde las temperaturas oscilaban entre 12.5° y 16.0°C y la salinidad variaba de 26.5 ‰ a 33.9 ‰ (Balech, 1988).

### Ecología y toxicología

Esta especie muestra una aparente preferencia por aguas templadas-frías ya que suele encontrarse comúnmente en un rango de temperatura entre 9°C y 20°C, siendo poco comunes los registros por encima de los 17°C, según lo señalado por Balech (1988).



**Figura 54. *Protoperidinium obtusum***

### ***Protoperidinium divergens* (Ehrenberg) Balech 1974**

Bas.: *Protoperidinium divergens* Ehrenberg 1840.

### Diagnosis

Esta especie la podemos encontrar de tamaño mediano a grande y es ligeramente aplastada en la región dorso-ventral. En vista frontal, presenta una forma pentagonal más alta que ancha, modificada por una profunda muesca antapical. Esta muesca está delimitada por un par de cuernos bien desarrollados. Poseen espinas divergentes. Las membranas cingulares tienen radios muy irregulares.

### Material

Canal de acceso Puerto Quetzal “Entre Morros” (13° 55′ 7.53″ N, 90° 47′ 15.835″ W).

### Fenología

Mayo

### Distribución

Reportado en todo el mundo, pero su distribución real no está clara ya que a menudo se confunde con *P. crassipes* y con *P. depressum* (Hoppenrath et al., 2009).

### Ecología y toxicología

La especie fue reportada principalmente durante el invierno en las regiones de la Convergencia Austral, donde las temperaturas oscilaban entre 13.2°C y 19.8°C y la salinidad variaba de 29.9 ‰ a 36.4 ‰. También se registró en una sola temporada fuera de la Corriente del Sur de México y Guatemala. Además, se observa durante el verano en la zona oceánica de la CA, con temperaturas entre 17.6°C y 24.0°C y una salinidad de 33.8 ‰ a 35.9 ‰. Considerada una de las especies más antiguas y mencionadas del género, los registros suelen ser objeto de dudas, lo que dificulta la comprensión de su ecología y distribución, según señala Balech (1988).

A pesar de esto, parece mostrar una preferencia por aguas cálidas, siendo tolerante a temperaturas superiores a los 14°C y tiene una distribución amplia en mares cálidos y templados.



Figura 55. *Protoperidinium divergens*

### ***Protoperidinium grande* (Kofoid) Balech 1974**

Bas.: *Protoperidinium grande* Kofoid 1907

### Diagnosis

Especie grande, con cuello alargado gradualmente. Cuernos antapicales largos, pueden estar estriados. Teca dilatada en la región ecuatorial. Placas cingulares anchas. Poros irregulares. Puede observarse el protoplasma coloreado o denso.

### Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W), Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N, 90° 49' 55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

### Fenología



Abril, mayo, junio, agosto, noviembre y diciembre.

### Distribución

Esta es una especie oceánica, termófila y de alta salinidad (Balech, 1988).

### Ecología y toxicología

*Protoperidinium grande* es un dinoflagelado propio de aguas cálidas que se asocia con ciertas especies que generan florecimientos. Entre los dinoflagelados comúnmente encontrados se incluyen: *Pyrocystis fusiformis* Thomson, *P. noctiluca* Murray, *Ceratium gibberum* Gourret y *Dinophysis cuneus* Abé. Esta comunidad está vinculada a la mezcla de masas de agua ACF (aguas costeras frías) y ASS (aguas subtropicales superficiales).

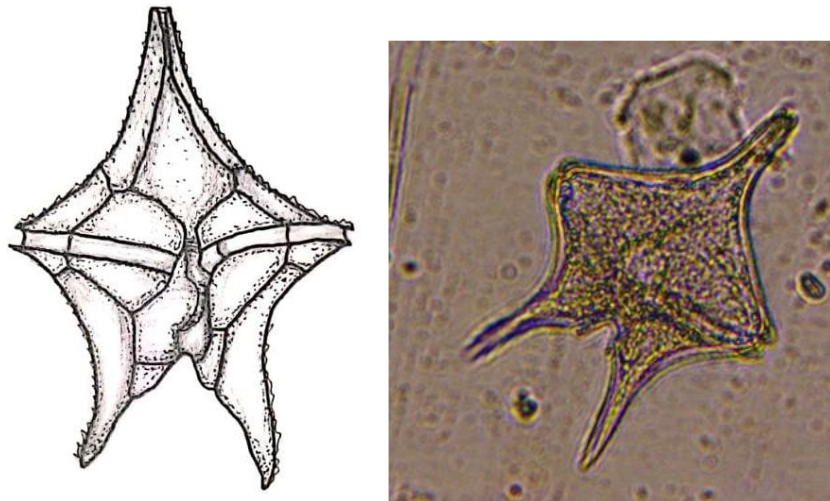


Figura 56. *Protoperidinium grande*

### **Género *Podolampas* F. Stein 1873**

#### Diagnosis

Esta especie se distingue por la ausencia de surcos. La epiteca está formada por cinco placas precingulares trapezoidales de bases anchas y una pequeña placa intercalar dorsal, que es pequeña y casi siempre alargada transversalmente. La hipoteca es siempre más corta que la epiteca y el cingulo es descendente. Las tres placas antapicales soportan espinas. El sulco está compuesto por 4 ó 5 placas.

***Podolampas bipes* (F. Stein) Balech, 1963**

Bas.: *Podolampas bipes* F. Stein 1883.

Diagnosis

Tiene forma piriforme, está aplastada dorso-ventral, presenta un cuello corto y un par de espinas antapicales de longitud mediana que están bastante separadas. La izquierda tiene membranas muy estrechas abajo y ensanchadas arriba. La espina derecha tiene aletas menos anchas y con menos desarrollo. Presenta poros y poroides cuya distribución forma campos densos.

Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W), Boya Texaco (13° 53'43.292'' N, 90° 49'55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W)

Fenología

Febrero, marzo y abril

Distribución

Esta especie fue avistada tanto en la plataforma AC durante el crucero de verano realizado por Balech, como en el CSMG durante el invierno. Las temperaturas en las que se observó oscilaron entre 16.6°C y 24.2°C, con una salinidad que variaba de 33.1‰ a 36.6 ‰. Es importante destacar que los especímenes observados presentaron temperaturas más elevadas y límites de salinidad más bajos en comparación con los registrados por Balech (1988), (Islabão y Odebrecht, 2011).

Ecología y toxicología

Kofoid (1907) distinguió *P. reticulata* de *P. bipes* principalmente por su "muy grande" y "ampliamente redondeadas" aletas antapicales y su superficie tecal reticulada. Esta especie está registrada en aguas templadas cálidas y con frecuencia se encuentra en regiones de aguas frías (Abe, 1966).

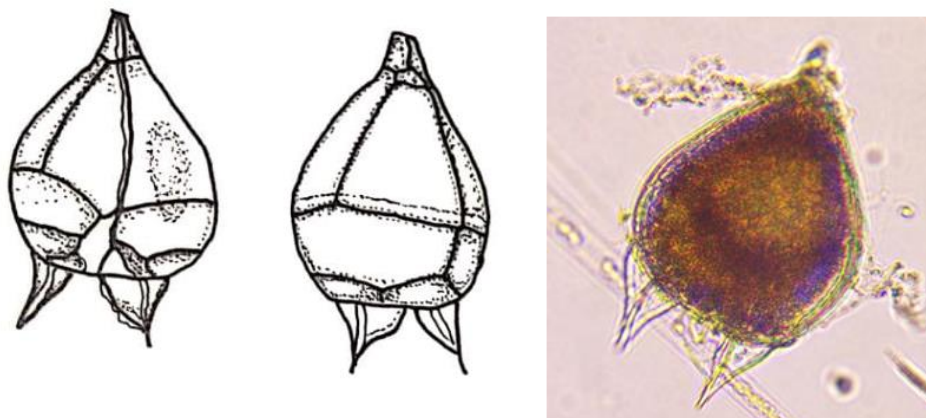


Figura 57. *Podolampas bipes*

## **Género *Scrippsiella* Balech ex Loeblich III 1965**

### Diagnosis

Este género comprende aproximadamente 30 especies, algunas de las cuales han sido recientemente reclasificadas en otros géneros. Se trata de dinoflagelados de tamaño variable, generalmente oscilando entre 20 y 50 micras, con formas que van desde esféricas hasta ovoides. Poseen un episoma con un cuerno apical distintivo, mientras que el hipoteca carece de cuernos antapicales, aunque pueden presentarse pequeñas espinas en esta región. Las células vegetativas se caracterizan por una pared celular compuesta por placas celulósicas. Además, exhiben una notable cantidad de cloroplastos y un dinocarión típicamente esférico u ovoide.

## ***Scrippsiella spinifera* G. Honsell et M. Cabrini 1991**

### Diagnosis

Las células de esta especie se caracterizan por su forma romboidal y angulada, con una ligera compresión ventral. La epiteca es alto-cónica, con lados ligeramente convexos; en la vista ventral y dorsal, los lados de la epiteca forman un ángulo menor de 90 grados. La hipoteca es trapecoidal, con márgenes redondeados en la vista ventral y presenta espinas características alrededor del antapex (Okolodkov et al., 2014).

### Material

Canal de acceso Puerto Quetzal “Entre Morros” (13° 55' 7.53" N, 90° 47' 15.835" W).

### Fenología

Agosto

### Distribución

*Scrippsiella spinifera* Balech es frecuente en la columna de agua a nivel mundial, con una distribución amplia que se extiende desde el subártico hasta los mares temporales y tropicales (Okolodkov et al., 2014).

### Ecología y toxicología

Las floraciones mixtas de algunas especies de este género se producen en un amplio rango de parámetros físico-químicos, incluyendo salinidad, nitratos, amonio y urea. En las aguas de Yucatán, el límite de temperatura inferior para los florecimientos de *Scrippsiella spinifera* se sitúa alrededor de los 26.5–27.0 °C. Estos eventos intensos ocurren típicamente de julio a septiembre, coincidiendo con la mitad de la temporada de lluvias, aunque también se han registrado en junio, diciembre y febrero. Por lo tanto, la estacionalidad de esta especie en la zona tropical muestra variaciones considerables según la ubicación específica (Okolodkov et al., 2014).

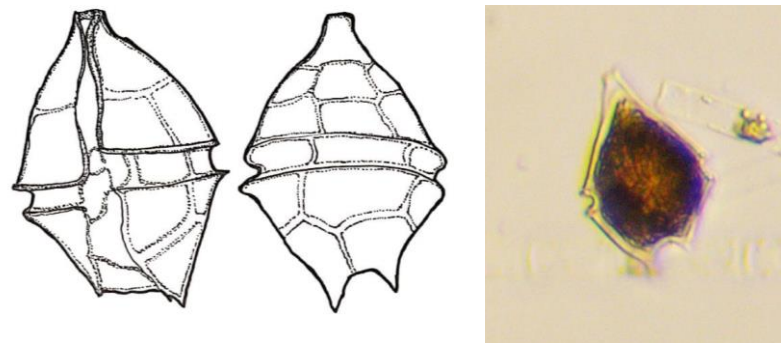


Figura 58. *Scrippsiella spinifera*

### Orden Gymnodiniales

*Akashiwo sanguinea* (K. Hirasaka, 1922) Gert Hansen & Moestrup 2000

Bas.: *Gymnodinium sanguineum* K. Hirasaka 1922.

Sin.: *Gymnodinium splendens* Lebour 1925; *Gymnodinium nelsonii* G.W.Martin 1929.

#### Diagnosis

Es un dinoflagelado no tecado, sin armadura, con cloroplastos. El sulco apical es curvado alrededor del vértice en el sentido de las agujas del reloj. El sulco apical es difícil de observar en un microscopio óptico, por lo que suele verse como una banda apical. La falta de cámaras de envoltura nuclear y el sulco apical son rasgos característicos.

#### Material

Canal de acceso Puerto Quetzal “Entre Morros” (13° 55′ 7.53″ N, 90° 47′ 15.835″ W).

#### Fenología

Mayo, noviembre y diciembre.

#### Distribución

Esta especie tiene una distribución cosmopolita según Hoppenrath et al. (2009) y se ha observado en la región de Cienfuegos, en el centro-sur de Cuba. Ocasionalmente, ha causado mareas rojas en áreas afectadas por la eutrofización en esta bahía, como reportan Moreira-González et al. (2013).

#### Ecología y toxicología

Esta especie de dinoflagelado atecado, se distingue por su capacidad para producir compuestos proteicos que pueden causar obstrucción en las vías respiratorias de los animales vertebrados (peces). Aunque esta alga nociva es ampliamente reconocida, aún se desconoce la naturaleza exacta de su toxicidad para numerosas especies acuáticas, incluyendo peces, camarones y zooplancton.

Los estudios de cultivos en fase exponencial revelaron una toxicidad más pronunciada, siendo óptimas para el crecimiento de esta microalga una temperatura de 20°C y una

salinidad de 35 ‰. Se observó que en cultivo la toxicidad aumentaba con un mayor suministro de nutrientes, lo que sugiere que esta especie podría volverse más tóxica tanto directamente, a través de un crecimiento más rápido, como indirectamente, mediante una mayor producción de toxinas, en respuesta a la eutrofización (Heisler, 2008).

Estos hallazgos apuntan a que la capacidad de producir y liberar toxinas puede impulsar la proliferación de *A. sanguinea* al suprimir a sus depredadores y competidores (Xu et al., 2017).

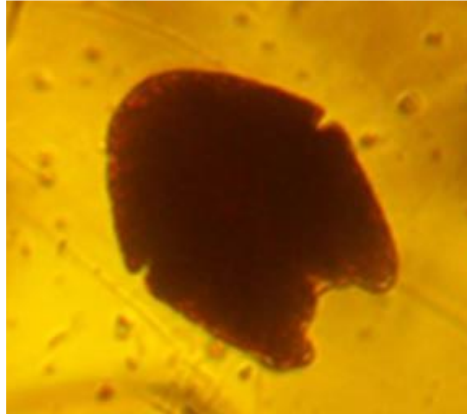


Figura 59. *Akashiwo sanguinea*

### *Gymnodinium catenatum* H.W. Graham, 1943

#### Diagnosis

Esta especie está compuesta por células pequeñas de forma elipsoidal que tienden a formar cadenas curvas. Cuando están fijadas, las células se acortan y ensanchan, adoptando formas cuadrangulares o pentagonales; las células en cadena están comprimidas antero-posteriormente. La epiteca es redondeada o truncada y más pequeña que la hipoteca, la cual presenta una forma bilobulada en el antápice. Cada célula contiene un núcleo central y un surco apical en forma de herradura. Además, posee un cíngulo excavado y descendente, mientras que el sulco es largo y angosto, ensanchándose hacia atrás y prolongándose en el epicono hasta el ápice. Esta especie es fotosintética, caracterizada por la presencia de numerosos cloroplastos. Desde el punto de vista ecológico, es conocida por formar mareas rojas (Balech, 1988).

#### Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54'25.409'' N y 90° 45'51.811'' W).

#### Fenología

Febrero

#### Distribución

Cosmopolita, parece ser estenotérmica termófila (Balech, 1988).

### Ecología y toxicología

*Gymnodinium catenatum* es un dinoflagelado marino desnudo que puede encontrarse como células individuales y como quistes. También puede formar cadenas celulares muy largas. Se distribuye en aguas templadas y tropicales y produce toxinas paralizantes, que son una amplia gama de neurotóxicos análogos de la saxitoxina (STX). Las abundancias reportadas varían desde miles hasta millones de células por litro en las costas de México (Band-Schmidt et al., 2010).

La investigación experimental centrada en *G. catenatum* ha abordado diversos aspectos fisiológicos en mamíferos, crustáceos y bivalvos. Las necropsias en ratones expuestos agudamente a la saxitoxina muestran una zona isquémica pronunciada en el borde hepático. Además, observaciones histológicas en ratones expuestos a extractos tóxicos de *G. catenatum* revelan una degeneración de las células de Purkinje en el cerebelo.

Respecto a los efectos sobre las tasas de pastoreo, la producción de huevos y el éxito de la eclosión se estudió que cuando el copépodo *Acartia clausi* es alimentado con este dinoflagelado, no se observaron efectos dañinos aparentes. Sin embargo, se notó un aumento en la producción de huevos y el éxito de la eclosión con un mayor consumo de *G. catenatum* (Band-Schmidt, 2010).

Un florecimiento algal de *G. catenatum* se registró por primera vez en Guatemala en el año 2004. Este evento duró 32 días, se produjo de mayo a junio de ese año. Hacia el final del florecimiento, el 23 de junio, se obtuvieron muestras para la identificación de especies y la densidad celular que contenían  $9.6 \times 10^5$  células  $L^{-1}$  que explicaban los valores anormales de clorofila *a* ( $> 30 \text{ mg/ m}^{-3}$ ) observados en imágenes de satélite (Carrillo-Ovalle et al., 2007).

También se encontraron niveles altos de clorofila *a* ( $10\text{--}39 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la costa de Honduras, El Salvador y el Golfo de Fonseca (golfo compartido entre El Salvador, Honduras y Nicaragua). La lluvia contribuyó a altas concentraciones de nutrientes. La temperatura del agua fue de  $30.3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Un segundo evento se registró en enero de 2007 con una mayor concentración celular ( $6.9 \times 10^6$  céls. /l). Este florecimiento ocurrió a una temperatura más baja ( $28^\circ\text{C}$ ) con influencia de las aguas costeras y se observaron muertes de peces durante ambos eventos (Carrillo-Ovalle et al., 2007).

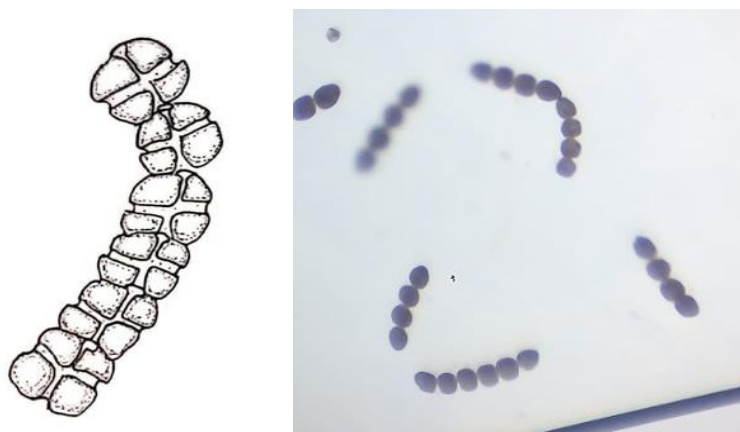


Figura 60. *Gymnodinium catenatum*

***Margalefidinium polykrikoides*** (Margalef) F. Gómez, Richlen & D.M. Anderson 2017

Bas.: *Cochlodinium polykrikoides* Margalef 1961.

Diagnosis

El cuerpo de este organismo es fusiforme, con un cingulo largo y profundamente excavado que da varias vueltas. Las células tienen forma elipsoidal y presentan una pigmentación más densa de color naranja oscuro en el lado dorsal anterior, conocido como mancha ocular o estigma. Generalmente, los organismos desnudos raramente se encuentran solitarios, prefiriendo formar cadenas de hasta 16 células, aunque comúnmente estas cadenas constan de solo 2 a 4 células.

Las células tienen una forma oval elipsoidal, se encuentra ligeramente comprimida dorso-ventralmente, con un epicono cónico y ápice redondeado y un hipocono bilobulado. El surco apical tiene forma de herradura y el cingulo es profundo y excavado, descendiendo en una espiral que rodea la célula de 1.8 a 2 veces su longitud, desplazándose aproximadamente un 60% de la longitud total de la célula. El sulco es superficial y corre muy cerca del cingulo; en el antápice, se profundiza, dividiendo el hipocono en dos mitades asimétricas, con el lado derecho más delgado y largo que el izquierdo. Los tricocistos están presentes en número variable. Los cloroplastos son alargados, se alinean longitudinalmente y tienen un color amarillo-verdoso o café. El núcleo esférico está ubicado en el epicono y la mancha ocular se encuentra en la parte dorsal del mismo (Steidinger y Jangen, 1997; Taylor et al., 2008).

Material

Límite perimetral de la dársena Puerto Quetzal en Boya de Recalada (13° 54' 25.409'' N y 90° 45' 51.811'' W), Boya Texaco (13° 53' 43.292'' N, 90° 49' 55.685'' W) y canal de acceso Puerto Quetzal "Entre Morros" (13° 55' 7.53'' N, 90° 47' 15.835'' W).

Fenología

Esta especie está presente durante todo el año (enero a diciembre).

Distribución

Está ampliamente distribuido en aguas templadas y tropicales (Steidinger y Jangen, 1997). Se ha registrado en todo el Pacífico mexicano y centroamericano, incluyendo Guatemala (Rosales-Loessener et al., 1986) y Costa Rica. Esta especie, que pertenece al Pacífico oriental tropical, ha sido identificada formando florecimientos en Centroamérica desde 1983 (en Costa Rica) y en México desde 2002. A lo largo de los años, ha sido ocasionalmente identificada como *C. catenatum* y en otras ocasiones como *C. polykrikoides*. Es esencial prestar especial atención al tipo de cloroplastos y al tipo de sulco de los ejemplares de *Cochlodinium* colectados para una correcta determinación (Meave et al., 2009).

Ecología y toxicología

Se registró por primera vez un florecimiento algal nocivo de *M. polykrikoides* en Guatemala en 2004, que duró 32 días, desde mayo hasta junio. Al final de la floración, el 23 de junio, se tomaron muestras para identificar las especies y determinar la densidad celular, encontrando que había  $9,6 \times 10^5$  céls./l lo que explicaba los valores anormalmente altos de clorofila a ( $>30 \text{ mg m}^{-3}$ ) observados en imágenes satelitales (Carrillo-Ovalle et al., 2007).

El dinoflagelado tóxico *M. polykrikoides* es prevalente en las aguas costeras de la zona neotropical del Pacífico, donde ha generado florecimientos recurrentes documentados principalmente en México y países de Centroamérica. Este organismo ha demostrado la capacidad de proliferar en un amplio rango de temperaturas (17 a 32 °C) y ha afectado a una variedad de organismos marinos, desde peces hasta gasterópodos.

Las floraciones de *M. polykrikoides* en el neotrópico de la región del Pacífico, se han asociado con períodos de intensas lluvias que aumentan la cantidad de nutrientes en las aguas costeras debido al escurrimiento de los ríos. Además, factores como los afloramientos costeros, patrones de viento y la mezcla de la columna de agua, junto con la lluvia, contribuyen al enriquecimiento de nutrientes en las aguas superficiales, lo que favorece la proliferación y recurrencia de este dinoflagelado. Aunque en otros países se han documentado pérdidas económicas significativas debido a los impactos negativos de *M. polykrikoides*, en esta región aún se carece de esta información, posiblemente debido a la escasez de estudios socioeconómicos. Se necesita implementar un programa de monitoreo continuo para recopilar información durante y después de la ocurrencia de los florecimientos, incluyendo datos sobre los lechos de quistes para generar información ecológica que permita evaluar los impactos potenciales en la pesca y la acuicultura (López-Cortés et al., 2019; García-Moreiras et al., 2021).

Esta especie fue reconocida por primera vez en Yatsushiro Sound, en el oeste de Japón, en 1978, causando graves daños económicos a las industrias acuícolas de cola amarilla. Desde entonces, ha estado expandiendo continuamente su hábitat y provocando perjuicios a las industrias acuícolas tanto en Japón como en Corea. Recientemente, la distribución geográfica de *M. polykrikoides* parece haberse extendido a las aguas costeras tropicales y subtropicales de Filipinas, el sur de China y el golfo de Tailandia, en el suroeste de Asia. Aunque el estado taxonómico de esta especie aún no está claro, se han registrado especies iguales o similares a *C. polykrikoides* en la costa del Pacífico de América Central (Gómez et al., 2017; Li et al., 2020).

Esta especie ha formado florecimientos recurrentes que se han documentado principalmente en México y países centroamericanos. *M. polykrikoides* ha podido proliferar en un amplio rango de temperaturas (17–32 °C) y ha afectado a varios organismos marinos, incluidos corales, gasterópodos, pulpos, camarones, cangrejos y peces. Los florecimientos de *M. polykrikoides* se han asociado con períodos de fuertes lluvias que causan un aumento de nutrientes en las aguas costeras debido a la escorrentía de los ríos. Además, los afloramientos costeros asociados con los patrones de viento, la mezcla de la columna de agua y la lluvia, todo lo cual puede crear un enriquecimiento de nutrientes en las aguas superficiales, parecen favorecer la proliferación y la recurrencia de este dinoflagelado (Gómez et al., 2017; Alonso-Rodríguez et al., 2004).

La presencia de *Margalefidinium* y otros géneros de microalgas marinas que matan peces requerirá un monitoreo constante principalmente en las áreas de cultivo para evitar impactos económicos severos, como los casos recientes en Chile y México (Clement et al., 2016; García-Mendoza et al., 2018 y 2016; León-Muñoz et al., 2018; Mardones et al., 2019).

Rosales-Loessener (1989) sugiere la posible presencia de quistes en reposo de *Margalefidinium polykrikoides* sobre la base de la observación de quistes ovoides frescos cubiertos con proyecciones parduscas similares a aletas después de un notable

florecimiento de marea roja causada por *Margalefidinium polykrikoides* en Puerto Quetzal en la costa del Pacífico de Guatemala.



**Figura 61. *Margalefidinium polykrikoides***

## 5.2 Físico-química del agua

### 5.2.1. Estadística descriptiva de los parámetros físico químicos

En la tabla 2 se recogen los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos. La zona fótica por lo general varía considerablemente dependiendo de la turbidez del agua, especialmente en época de lluvias, pero normalmente se encuentra entre 20 y 200 m de acuerdo con la literatura, los datos en la zona de estudio se encuentran entre los 8.63 m y 18.47 m.

El oxígeno disuelto debe estar por encima de 5 mg/l para la mayoría de las zonas marinas. Todos los valores colectados están por debajo ese rango, lo cual indica un posible problema de hipoxia. La salinidad promedio del agua está dentro del rango de valores normales para la zona de estudio (30-40 PSU).

La conductividad está estrechamente relacionada con la salinidad y los valores están dentro de la normalidad (50-55 mS/cm). Los valores de pH no arrojan ninguna alteración significativa (7.5-8.4).

Los niveles altos de fósforo pueden indicar contaminación; típicamente, los niveles deberían ser menores de 0.1 mg/L (100 µg/L). Los resultados obtenidos *in situ* están dentro del rango razonable para aguas marinas no contaminadas (<100 µg/L o 0.1 mg/L).

El amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) tiene valores de: Estación 1 - Boya Entre Morros (0.16), Estación 2 - Boya de Recalada (0.29), Estación 3 - Boya Texaco (0.34) mg/l. Esta es una forma de nitrógeno que puede ser utilizado por el fitoplancton. Los valores más altos de amonio en Estación 3 - Boya Texaco y Estación 2 - Boya de Recalada pueden indicar una mayor disponibilidad de nutrientes para el crecimiento celular.

Los valores de nitrógeno total en las tres zonas de muestreo son: MOR (12.26), Estación 2 - Boya de Recalada (19.75), Estación 3 - Boya Texaco (9.06) mg/l. El nitrógeno total incluye todas las formas de nitrógeno (amonio, nitratos, nitritos, etc.). Estación 2 - Boya de Recalada tiene un valor significativamente más alto, lo que podría favorecer el crecimiento de microorganismos si otros factores no limitan el crecimiento.

En relación con los sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), los valores de las boyas Estación 1 - Boya Entre Morros (0.74), Estación 2 - Boya de Recalada (0.52), Estación 3 - Boya Texaco (0.64) mg/l son relativamente bajos y similares en las tres estaciones sugieren que los sulfatos no son un factor limitante significativo.

Las temperaturas del agua son similares en todas las estaciones, indican que las condiciones térmicas son constantes y no deberían causar diferencias significativas en la abundancia celular.

Los valores de clorofila en las tres boyas Estación 1 - Boya Entre Morros (0.17), Estación 2 - Boya de Recalada (0.04), Estación 3 - Boya Texaco (0.07) mg/m<sup>3</sup> nos permite interpretar que como indicador de la biomasa fitoplanctónica, la boya Estación 1 - Boya Entre Morros tiene un valor más alto, lo que sugiere una mayor biomasa de fitoplancton en comparación con Estación 2 - Boya de Recalada y Estación 3 - Boya Texaco. Esto lo podemos asociar al resultado de la abundancia de células por ml donde los valores por boya son: Estación 1 - Boya Entre Morros

(291.32), Estación 2 - Boya de Recalada (144.00), Estación 3 - Boya Texaco (283.77) céls. /ml. La abundancia de células es mayor en Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 3 - Boya Texaco en comparación con Estación 2 - Boya de Recalada.

Tabla 2

*Lista de parámetros físico químicos analizados en las tres zonas de muestreo en Puerto Quetzal, Pacífico de Guatemala.*

<i>Físico química</i>	<i>MOR</i>	<i>REC</i>	<i>TEX</i>	<i>Físico química</i>	<i>MOR</i>	<i>REC</i>	<i>TEX</i>
Zona fótica (m)	8.63	18.47	16.11	Amonio (mg/l)	0.16	0.29	0.34
Desviación estándar	4.47	10.65	7.57	Desviación estándar	0.11	0.37	0.81
Oxígeno disuelto (mg/l)	3.88	4.43	4.27	Nitrógeno total (mg/l)	12.26	19.75	9.06
Desviación estándar	0.25	0.45	0.42	Desviación estándar	5.55	21.81	4.33
Salinidad (PSU)	33.67	33.55	33.57	Sulfatos (mg/l)	0.74	0.52	0.64
Desviación estándar	0.74	0.95	0.73	Desviación estándar	0.89	0.70	0.98
Conductividad (mS/cm)	48.01	48.66	48.25	Temperatura del agua (°C)	29.30	29.36	29.21
Desviación estándar	11.82	11.75	11.58	Desviación estándar	0.81	0.84	0.82
pH	8.04	8.08	8.09	Profundidad (m)	3.25	3.25	3.25
Desviación estándar	0.11	0.08	0.08	Desviación estándar	1.79	1.79	1.79
Sólidos disueltos totales (mg/l)	25.72	25.64	25.64	Clorofila (mg/m <sup>3</sup> )	0.17	0.04	0.07
Desviación estándar	0.5	0.63	0.46	Desviación estándar	0.19	0.02	0.08
Fósforo (µg/l)	13.92	13.9	12.59	Abundancia céls./ml	291.32	144.00	283.77
Desviación estándar	7.97	8.88	7.8	Desviación estándar	193.85	97.36	428.68

### 5.2.2. Similitud físico-química entre estaciones

El dendrograma de las características físico-químicas del agua (figura 63) revela una agrupación de los puntos de muestreo en dos categorías principales: Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 3 - Boya Texaco por un lado y Estación 2 - Boya de Recalada por otro. Estos hallazgos sugieren que la similitud entre los puntos de muestreo Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 3 - Boya Texaco (véase figura 62) se atribuye a su proximidad a la costa y la actividad antropogénica, lo que implica una influencia significativa de estos factores en las propiedades físico-químicas del agua en dichos puntos. En contraste, el punto de muestreo Estación 2 - Boya de Recalada se encuentra aislado, lo que sugiere que posee características únicas que lo distinguen de los demás.

Se señala específicamente que Estación 2 - Boya de Recalada se adentra en el mar y tiene un menor contacto con la costa, lo que podría explicar la menor influencia de la actividad antropogénica y las diferencias en los parámetros comparados con los puntos de muestreo cercanos a la costa (Figura 62 y 63). Estos resultados proporcionan una comprensión útil sobre las fuentes de contaminación y las tendencias fisicoquímicas en la región muestreada.

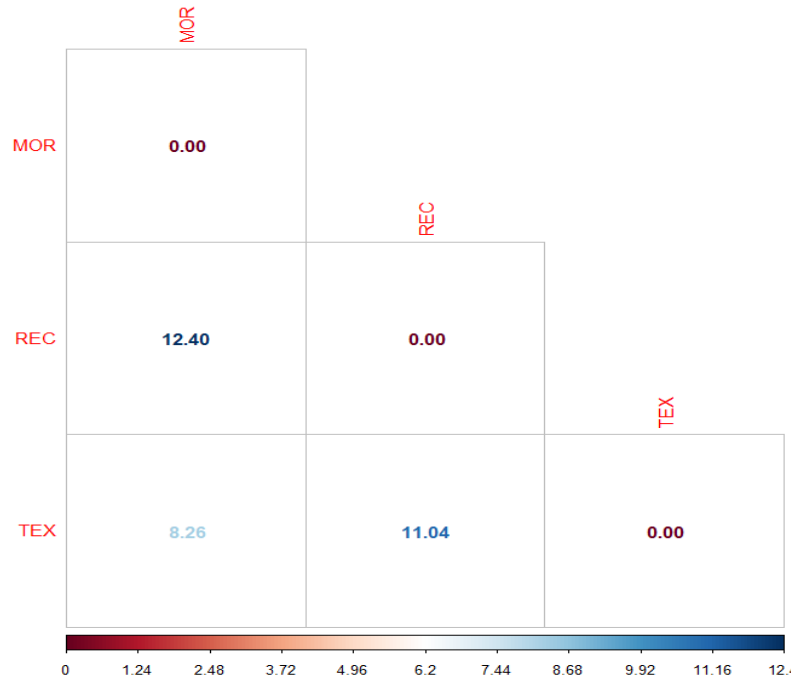


Figura 62. Distancia euclidiana de los puntos de muestreo según los datos fisicoquímicos.

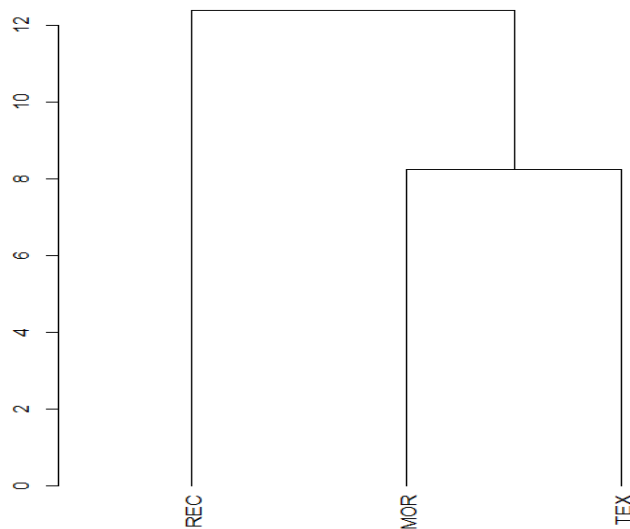


Figura 63. Dendrograma por lugar de muestreo según parámetros fisicoquímicos.

Los valores relacionan los tres puntos de muestreo Morros (Estación 1 - Boya Entre Morros), Recalada (Estación 2 - Boya de Recalada) y Texaco (Estación 3 - Boya Texaco). En donde la

similitud mayor la podemos establecer entre Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 2 - Boya de Recalada con un valor de 12.40 seguida por la similitud de Estación 2 - Boya de Recalada y Estación 3 - Boya Texaco con 11.04 y la menor entre Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 3 - Boya Texaco. Eso nos indica que en términos de las características físico-químicas del agua que Estación 2 - Boya de Recalada es el punto que menor similitud tiene en su relación con los otros dos puntos (Figura 63).

### 5.2.3. Estacionalidad fisicoquímica

El dendrograma de la agrupación de los meses, basado en los parámetros físico químicos (figura 65) ha identificado tres grupos principales. El primer grupo está formado por agosto y septiembre, lo que sugiere que estos meses tienen características similares en cuanto a los parámetros físico-químicos. El segundo grupo incluye enero, diciembre, marzo, febrero y abril, lo que sugiere que estos meses también tienen similitudes, pero diferentes a las observadas en agosto y septiembre. El tercer grupo está formado por junio, octubre, mayo y noviembre y se encuentra más distante de los dos grupos anteriores, lo que sugiere que tienen características diferentes a los demás meses. (Figura 64 y 65).

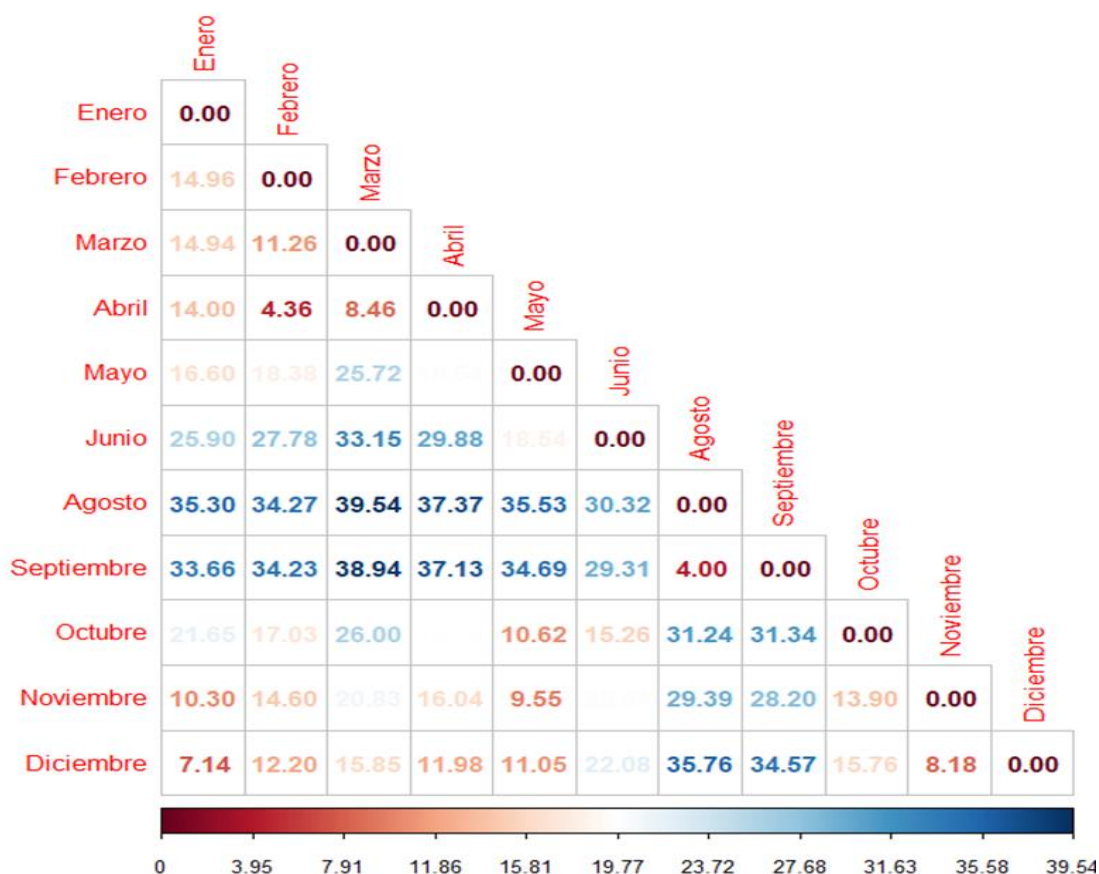
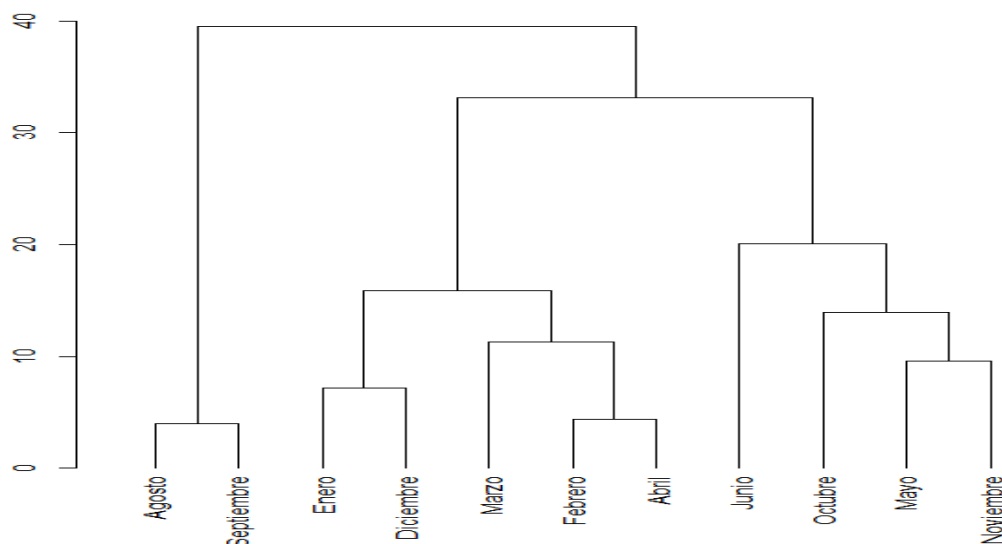


Figura 64. Distancia euclidiana por mes de muestreo según las características físico-químicas del agua.



*Figura 65. Dendrograma por mes según parámetros físico químicos del agua*

Los resultados (véase figura 64) indican que los meses de agosto y septiembre tienen características similares, lo mismo que ocurre con los meses de enero, diciembre, marzo, febrero y abril. Además, el mes de mayo y noviembre tienen una similitud más cercana entre sí en comparación con otros meses. Estos resultados pueden indicar patrones estacionales en la físico-química del agua, posiblemente relacionados con la precipitación, la temperatura, la circulación oceánica, entre otros factores (Figura 65). La identificación de estos patrones de agrupamiento en el dendrograma puede ser útil para comprender los cambios estacionales y las fluctuaciones de la composición específica que sirva para ayudar a diseñar estrategias de monitoreo y gestión de los recursos hídricos.

#### 5.2.4. Datos Hidrometeorológicos

En la tabla 3, se recogen los promedios anuales de los parámetros hidrometeorológicos analizados de la zona de muestreo en Puerto Quetzal.

La temperatura ambiental promedio de 29.74 °C se encuentra dentro del rango de temperatura de la zona costera tropical y subtropical. Sin embargo, la amplitud térmica desde 23.00 °C hasta 33.00 °C sugiere fluctuaciones significativas, posiblemente debido a cambios estacionales o eventos meteorológicos como olas de calor. Estos cambios pueden afectar la temperatura del agua superficial, influenciando la estratificación térmica y la distribución de organismos marinos.

En relación con el porcentaje de humedad promedio de 66% es adecuado para regiones costeras. Los valores altos (hasta 89%) podrían estar relacionados con condiciones de alta humedad típicas de la proximidad al océano y eventos de lluvias. Los valores más bajos (49%) podrían indicar periodos secos o vientos secos que pueden influir en la evaporación y en la salinidad del agua de superficie.

La profundidad promedio de la zona fótica es de 14.40 m, lo cual es razonable para aguas costeras con variabilidad en la turbidez. El amplio rango de 4.05 m a 35.00 m indica variaciones significativas en la transparencia del agua. Factores como la carga de sedimentos, la materia orgánica y la actividad biológica pueden influir en esta variabilidad. Los niveles mínimos podrían indicar alta turbidez, posiblemente debido a eventos de lluvias intensas o a la resuspensión de sedimentos, mientras que los niveles máximos sugieren aguas más claras y bajas concentraciones de partículas en suspensión.

El dato promedio de clorofila de 0.01 mg/L es bajo, indicando una baja biomasa fitoplanctónica en general. Sin embargo, la desviación estándar y el rango amplio desde -0.57 mg/L hasta 1.24 mg/L sugieren anomalías y posibles errores en la medición ya que valores negativos no son físicamente posibles. Los niveles máximos de 1.24 mg/L pueden indicar eventos de florecimiento algal localizados, mientras que los niveles negativos sugieren la necesidad de revisar los métodos de muestreo y análisis para corregir posibles errores.

**Tabla 3**

*Promedio anual de los parámetros hidrometeorológicos analizados de la zona de muestreo en Puerto Quetzal, Pacífico de Guatemala.*

Parámetros	Dato promedio	Desviación estandar	Nivel máximo	Nivel mínimo
Temperatura ambiental (T °C)	29.74	2.38	33.00	23.00
Humedad (%)	0.66	0.10	0.89	0.49
Zona fótica (m)	14.40	8.91	35.00	4.05
Clorofila (mg/l)	0.01	0.25	1.24	-0.57

#### **5.2.4.1 Promedio de los datos hidrometeorológicos por estación de muestreo**

Los datos de temperatura ambiental, clorofila y humedad muestran que los valores en las tres zonas de muestreo son similares entre sí, sin que se observe ninguna diferencia significativa. En cuanto al promedio de mareas durante el período del estudio, se llevó a cabo el muestreo durante la pleamar durante ocho meses y durante la bajamar durante cuatro meses (Figura 66).

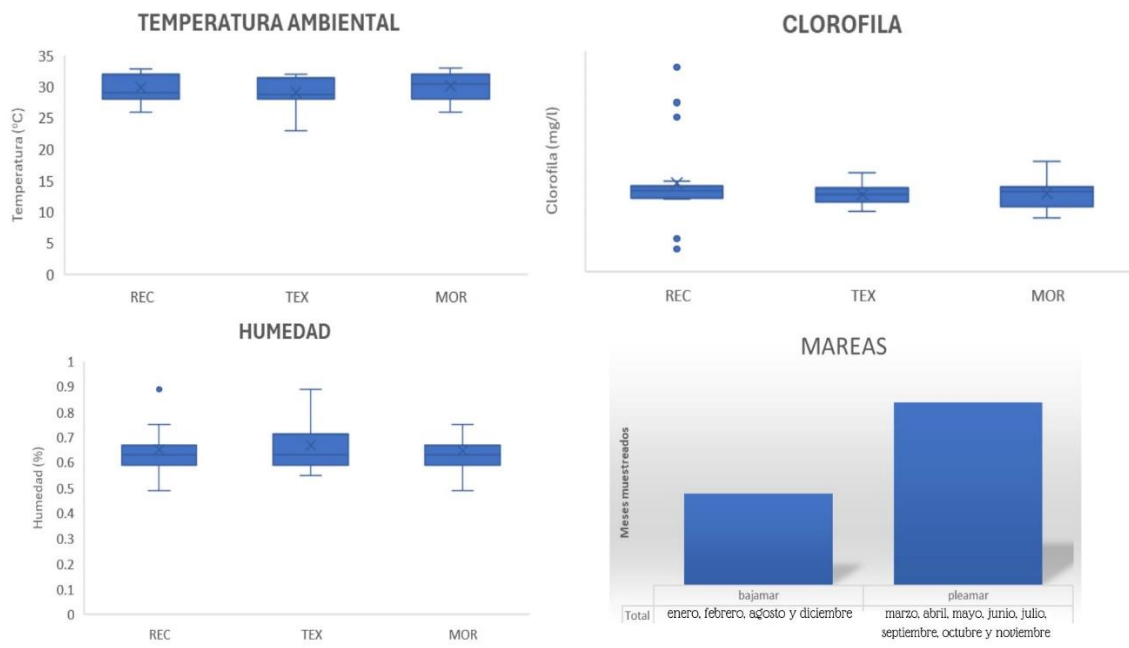


Figura 66. Promedio de los datos hidrometeorológicos por estación de muestreo.

### 5.2.4.2 Precipitación promedio anual

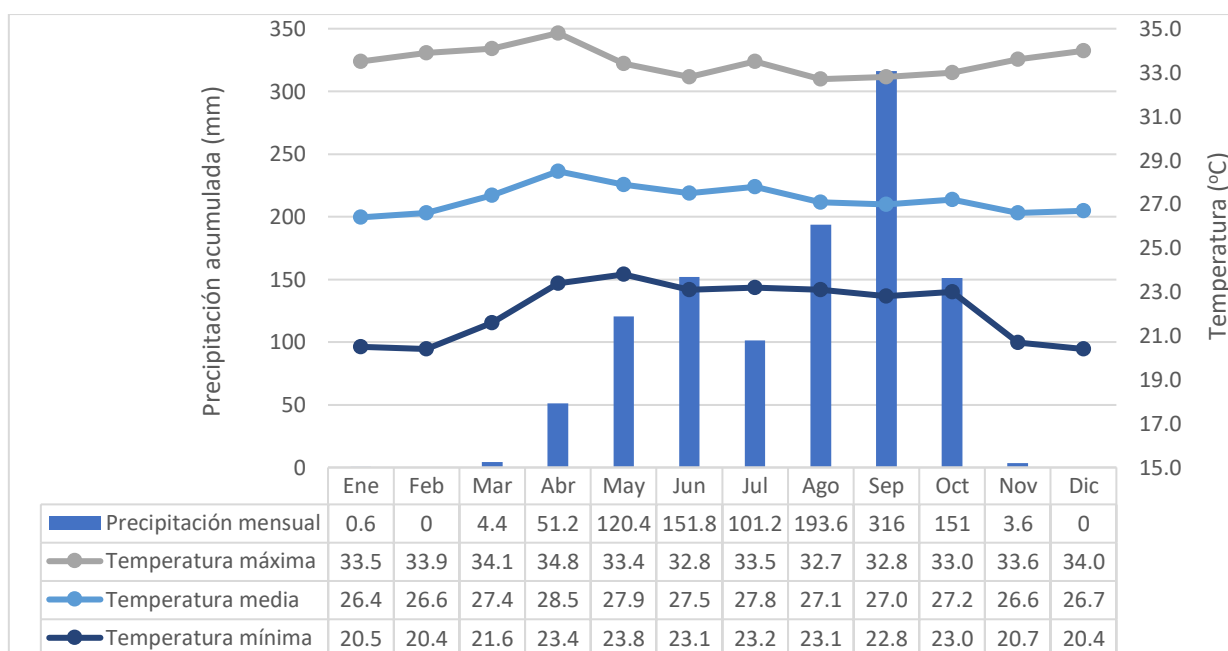
De acuerdo con los datos de la estación del Instituto de Cambio Climático (ICC) ubicada en Puerto San José, que es la más cercana a la zona de muestreo (coordenadas: 13.98028 - 90.93084), se ha observado un patrón anual de precipitación relevante para el estudio. Frente a esta estación meteorológica se encuentra la Boya Texaco, ubicada frente a las costas de Puerto San José, Escuintla.

La época lluviosa de 2021 en la zona de Puerto Quetzal comenzó entre el 11 y el 25 de mayo y finalizó entre el 17 y el 31 de octubre (ICC, 2022). Este año, el final de la época lluviosa se adelantó, lo que resultó en una disminución de los acumulados de precipitación en octubre en varias áreas. Durante 2021, la precipitación acumulada anual disminuyó en 248 mm, afectada principalmente por los acumulados de julio y octubre. Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH, 2022). En julio, la disminución de las precipitaciones se debió a la canícula que afectó la región del Pacífico. En octubre, los acumulados de precipitación superaron los registros históricos en Boca Costa debido al paso de tres ondas tropicales, dos frentes fríos y la aproximación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Sin embargo, algunas áreas del Pacífico presentaron bajos acumulados.

Durante el mes de junio, los acumulados de precipitación fueron altos, según los datos registrados en casi todo el sur de Guatemala, esto fue debido principalmente a la inestabilidad

generada indirectamente por los ciclones tropicales Blanca, Carlos, Dolores, Claudette, Danny y Enrique. No obstante, algunas áreas del sur del departamento de Escuintla presentaron déficits en los acumulados. Durante octubre, aunque las precipitaciones superaron la mediana histórica en Boca Costa debido a las ondas tropicales, frentes fríos y la ZCIT, algunas áreas del Pacífico continuaron con bajos acumulados (Figura 67).

El mayor acumulado de precipitación durante la época lluviosa se registró en septiembre, mientras que el menor se observó en julio. La temperatura máxima se registró en abril y la mínima en diciembre. Según INSIVUMEH (2022), en octubre las precipitaciones superaron el promedio histórico en Boca Costa debido al paso de tres ondas tropicales, dos frentes fríos y la ZCIT. Sin embargo, algunas áreas del Pacífico continuaron presentando bajos acumulados (Figura 67).



**Figura 67. Promedio anual de temperatura y precipitación en la zona de Puerto San José, Escuintla Guatemala. (IIC, 2022; INSIVUMEH, 2022).**

Durante el año 2021, se observó una disminución en la precipitación acumulada anual de 170 mm, siendo este cambio principalmente atribuido al registro de precipitaciones en el mes de octubre (Figura 70).

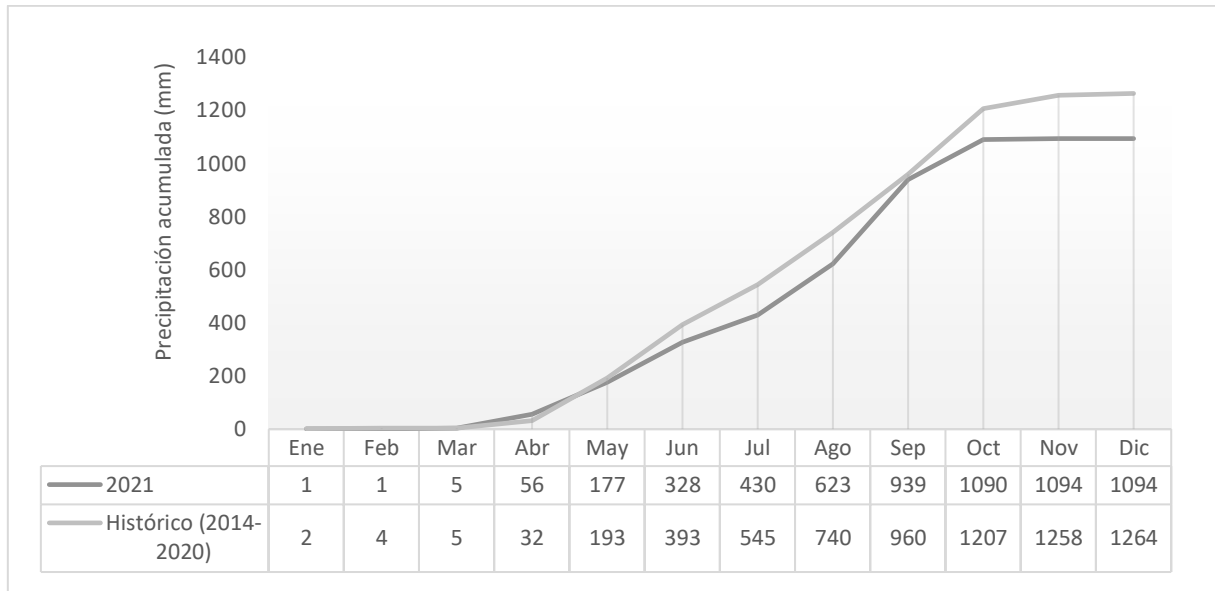


Figura 68. Promedio anual de precipitación en la zona de Puerto San José, Escuintla Guatemala durante el año 2021 y comparación al promedio histórico de la zona. (IIC, 2022; INSIVUMEH, 2022).

### 5.2.4.3. Estacionalidad hidrometeorológica

Las distancias por mes (figura 69) basadas en los datos hidrometeorológicos forman dos grupos: la época de verano y la época de invierno (Figura 70). Los resultados indican que el mes de marzo tiene un patrón de comportamiento diferente al resto de los meses; mayo y octubre muestran una relación que coincide con el ingreso de las lluvias, los meses de diciembre y enero están relacionados ya que no se presentaron lluvias (Figura 70 y 68).

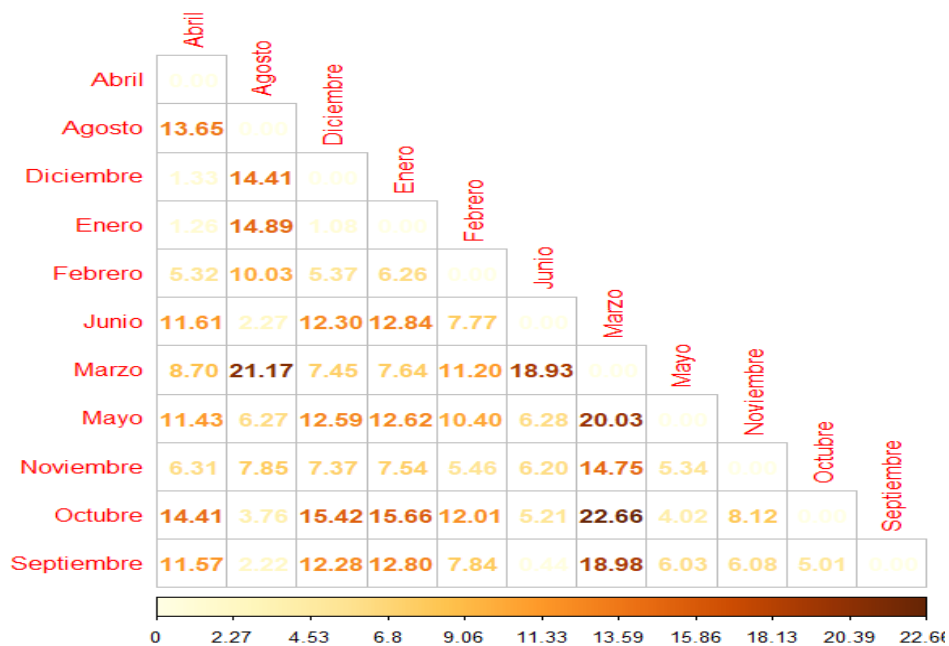


Figura 69. Distancia euclídiana por mes de muestreo según los datos hidrometeorológicos

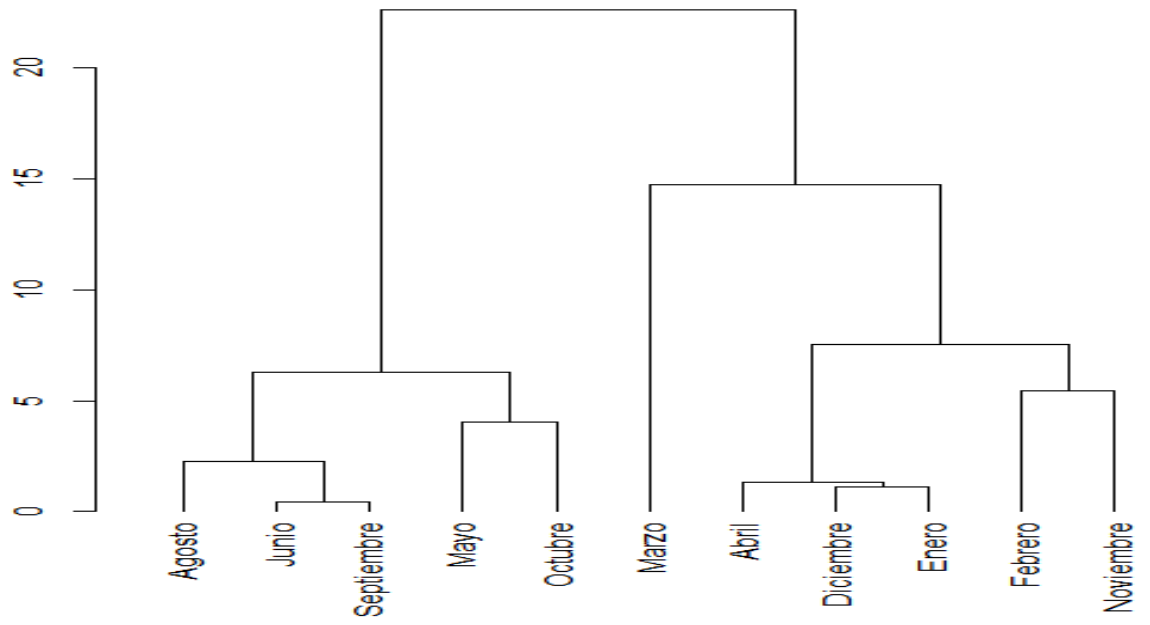


Figura 70. Dendrograma por mes según los datos hidrometeorológicos

## 5.3 Descripción de las poblaciones de dinoflagelados

### 5.3.1. Riqueza específica

El análisis se centró en la estructura de las poblaciones de dinoflagelados, incluida la composición de especies, abundancia, riqueza y diversidad, con especial atención a las especies potencialmente tóxicas y no tóxicas. Se identificaron un total de 42 especies de dinoflagelados distribuidas en 14 géneros y seis órdenes (Tabla 4). Se encontraron diferencias significativas en la riqueza de especies entre los sitios de muestreo. La boya Estación 2 - Boya de Recalada presentó el mayor número de especies sumando un total de 35 y la boya Estación 3 - Boya Texaco presentó el menor con un total de 27 especies.

Tabla 4

*Lista de especies de dinoflagelados del Pacífico central de Guatemala en 2021, con base en las muestras de botella, cerca de tres boyas de navegación: Texaco, Recalada y Entre Morros. Los números significan abundancias (cél./ml).*

Orden	Especie	Texaco	Recalada	Entre Morros
Gymnodiniales	<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) G. Hansen & Ø. Moestrup 2000	1	0	128
Gonyaulacales	<i>Alexandrium catenella</i> (Whedon et Kof.) Balech 1985	7	13	0
Dinophysiales	<i>Dinophysis acuminata</i> Clap. & Lachm. 1859	0	1	0
Dinophysiales	<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent 1881	46	42	21
Gonyaulacales	<i>Gonyaulax polygramma</i> F. Stein 1883	23	137	44
Gonyaulacales	<i>Gonyaulax spinifera</i> (Clap. & Lachm.) Diesing 1866	0	0	17
Gonyaulacales	<i>Gonyaulax verior</i> Sournia 1973	3	5	21
Gymnodiniales	<i>Gymnodinium</i> spp.	0	27	11
Gymnodiniales	<i>Margalefidinium polykrikoides</i> (Margalef) F. Gómez, Richlen & D.M. Anderson 2017	1480	2,969	1,417
Noctilucales	<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kof. & Swezy 1921	0	0	9
Peridinales	<i>Podolampas bipes</i> F. Stein 1883	8	4	1
Prorocentrales	<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) T.H. Abé ex J.D. Dodge 1975	0	7	29
Prorocentrales	<i>Prorocentrum gracile</i> F. Schütt 1895	51	254	124
Prorocentrales	<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenb. 1834	35	123	184
Prorocentrales	<i>Prorocentrum scutellum</i> B. Schröder 1900	2	70	58
Prorocentrales	<i>Prorocentrum rostratum</i> F. Stein 1883	0	10	18
Peridinales	<i>Protoperidinium abei</i> (Paulsen) Balech 1974	0	1	0

Peridinales	<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech 1974	4	47	27
Peridinales	<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech 1974	19	18	1
Peridinales	<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenb.) Balech 1974	0	0	1
Peridinales	<i>Protoperidinium grande</i> (Kof.) Balech 1974	14	25	9
Peridinales	<i>Protoperidinium obtusum</i> (G. Karst.) Parke & J.D. Dodge 1976	0	0	1
Peridinales	<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh 1881	5	10	9
Peridinales	<i>Protoperidinium oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech 1974	90	34	97
Gonyaulacales	<i>Pyrodinium bahamense</i> L. Plate 1906	53	72	176
Gonyaulacales	<i>Pyrophacus horologium</i> F. Stein 1883	11	109	29
Gonyaulacales	<i>Pyrophacus steinii</i> (J. Schiller) Wall & Dale 1971	18	36	26
Gonyaulacales	<i>Tripes azoricus</i> (Cleve) F. Gómez 2013	0	28	0
Gonyaulacales	<i>Tripes brevis</i> (Ostenf. & J. Schmidt) F. Gómez 2013	0	4	0
Gonyaulacales	<i>Tripes candelabrum</i> (Ehrenb.) F. Gómez 2013	0	3	0
Gonyaulacales	<i>Tripes declinatum</i> G. Karst., 1907	0	3	1
Gonyaulacales	<i>Tripes dens</i> Ostenf. & J. Schmidt 1901	0	2	0
Gonyaulacales	<i>Tripes furca</i> (Ehrenb.) Clap. & Lachm. 1859	64	257	133
Gonyaulacales	<i>Tripes fusus</i> (Ehrenb.) F. Gómez 2013	24	89	51
Gonyaulacales	<i>Tripes longirostrum</i> (Gourret) Hallegraeff & Huisman 2020	0	0	1
Gonyaulacales	<i>Tripes macroceros</i> (Ehrenb.) Vanhöffen 1897	7	38	7
Gonyaulacales	<i>Tripes massiliensis</i> (Gourret) F. Gómez 2013	1	4	0
Gonyaulacales	<i>Tripes trichoceros</i> (Ehrenb.) Kofoid 1908 var. <i>tripes</i> F. Gómez 2013	0	3	0
Gonyaulacales	<i>Tripes tripes</i> (Ostenf. & J. Schmidt) F. Gómez 2013 var. <i>tripes</i>	5	14	10
Gonyaulacales	<i>Tripes tripes</i> f. <i>tripodoides</i> Jörgensen 1920 emend. Paulsen, 1931	10	14	0
Gonyaulacales	<i>Tripes tripes</i> var. <i>breve</i> Ostenf. & J. Schmidt 1901	4	2	0
Gonyaulacales	<i>Tripes vultur</i> Cleve 1900	0	0	1

Por otro lado, se detectaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en la abundancia total de fitoplancton entre los trimestres. Según la prueba de Mann-Whitney, el primer trimestre (enero, febrero y marzo) presentó una abundancia significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) que los trimestres dos (abril-junio), tres (julio-septiembre) y cuatro (octubre-diciembre), con un valor de 1181 céls. /ml. En el cuarto trimestre se encontró una abundancia de 854 céls. /ml; *Margalefidinium polykrikoides* (Margalef) F. Gómez, Richlen et DM Anderson (= *Cochlodinium polykrikoides* Margalef) 168 céls/ml; *Pyrodinium bahamense* 246 céls. /ml; *Prorocentrum gracile* F. Schütt, 118 céls. /ml; *Prorocentrum micans* Ehrenb. 125 céls. /ml y *Tripos furca* (Ehrenb.) Clap. y Lachm 103 céls. /ml.

La figura 71 presenta los porcentajes de dinoflagelados clasificados por órdenes en tres zonas de muestreo: Boya Recalada, Boya Texaco y Boya Entre Morros. En Boya Recalada, se observa una mayor presencia de especies pertenecientes a los órdenes Gonyaulacales (52%), Peridiniales (37%), Prorocentrales (47%) y Gymnodiniales (50%). En la Boya Texaco, el orden Dinophysiales es predominante, representando el 48% del total de especies identificadas en esta zona. Por otro lado, en la Boya Entre Morros, el mayor porcentaje corresponde al orden Prorocentrales, que constituye el 43% de las especies presentes. Además, en esta última boya se identificó un florecimiento significativo de *Noctiluca scintillans*, lo cual también se visualiza en la gráfica.

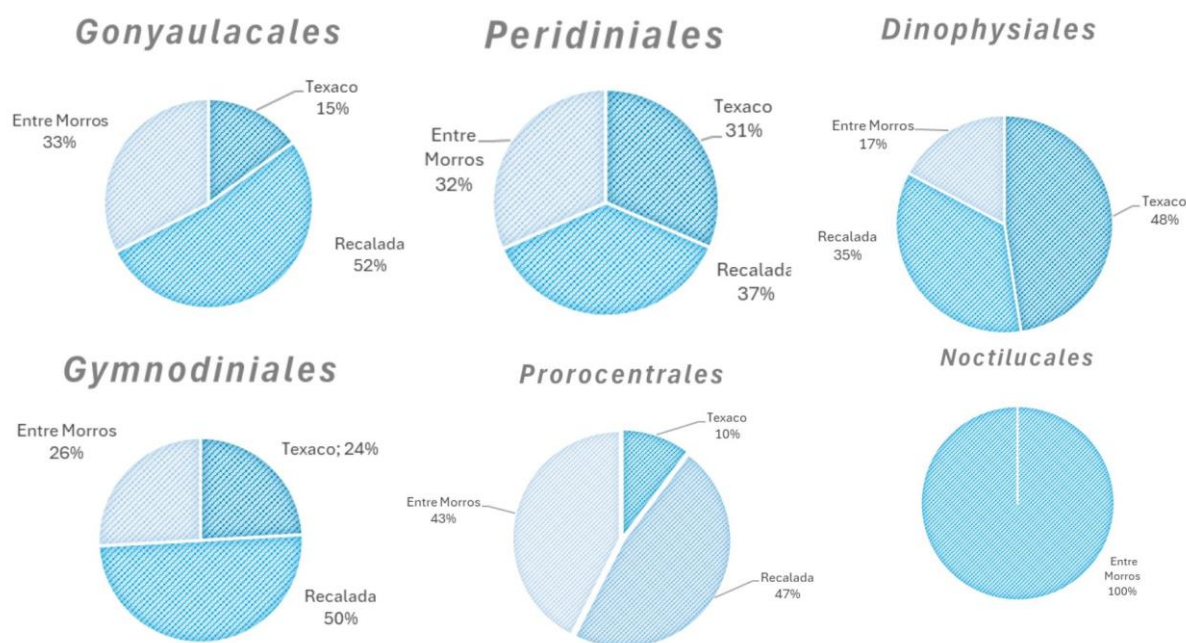


Figura 71. Ordenes de dinoflagelados presentes en las tres zonas de muestreo.

### 5.3.2. Distribución local de los taxones

Los datos de las abundancias no presentaron normalidad (Kolmogorov-Smirnfo  $p < 0.05$ ) por lo tanto, se aplicaron pruebas no paramétricas. Se registró un total de 7790 células de dinoflagelados en el estudio. Los análisis muestran que no se observan diferencias. Se compararon las abundancias celulares de los principales órdenes taxonómicos en las diferentes áreas de muestreo. En la boya Estación 3 - Boya Texaco no hubo diferencias significativas en la abundancia entre los órdenes de dinoflagelados: *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 1050.5$ ;  $p = 0.9365$ ); *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* ( $w = 1556$ ;  $p = 0,5414$ ) y *Gymnodiniales* vs. *Prorocentral* ( $w = 304$ ;  $p = 0,7486$ ).

En la boya Estación 2 - Boya de Recalada no hubo diferencias significativas entre los principales órdenes de dinoflagelados, a excepción de *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 1581$ ;  $p = 0,003366$ ) y *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* ( $p = 0.00285$ ).

En la boya Estación 1 - Boya Entre Morros existen diferencias significativas al comparar los órdenes de dinoflagelados: *Gymnodiniales* vs. *Gonyaulacales* ( $w = 1571$ ;  $p = 0.0001992$ ) y *Gonyaulacales* vs. *Prorocentrales* ( $w = 954.5$ ;  $p = 0.0001906$ ). No existen diferencias significativas al comparar los órdenes *Gymnodinial* vs *Prorocentral* ( $w = 418$ ;  $p = 0,06427$ ). Los análisis muestran que no se observan diferencias significativas entre las profundidades de muestreo realizadas a 1.5 m y 5.0 m durante los distintos trimestres del año (trimestre 1:  $p = 0.7671$ ; trimestre 2:  $p = 0.3391$ ; trimestre 3:  $p = 0.7022$ ; trimestre 4:  $p = 0.5818$ ).

La comparación de la abundancia total de fitoplancton entre los tres sitios muestreados (Estación 3 - Boya Texaco vs. Estación 2 - Boya de Recalada:  $w = 107294$ ,  $p = 0.217$ ; Estación 3 - Boya Texaco vs. Estación 1 - Boya Entre Morros:  $w = 114700$ ,  $p = 0.5604$ ; Estación 1 - Boya Entre Morros vs. Estación 2 - Boya de Recalada:  $w = 119032$ ,  $p = 0.0975$ ) refleja que no hubo diferencias significativas.

#### 5.3.2.1. Variación espacial

La comparación se realizó entre los órdenes *Gymnodiniales* y *Gonyaulacales* en relación con los sitios de muestreo y la densidad de microalgas. Estos órdenes se caracterizan por un mayor potencial de causar florecimientos algales tóxicos.

El orden *Gymnodiniales* presenta una diferencia en la abundancia de células comparando los sitios de muestreo Estación 3 - Boya Texaco vs. Estación 2 - Boya de Recalada ( $w = 91,5$ ;  $p = 0,001823$ ), Estación 3 - Boya Texaco vs. Estación 1 - Boya Entre Morros ( $w = 93$ ;  $p = 0,002131$ ). No hay diferencia en la abundancia de Estación 1 - Boya Entre Morros vs. Estación 2 - Boya de Recalada ( $w = 185$ ;  $p = 0,6905$ ). El orden *Gonyaulacales* tiene diferencias significativas en las comparaciones realizadas entre Estación 3 - Boya Texaco vs. sitios de muestreo. Estación 2 - Boya de Recalada ( $w = 3082,5$ ;  $p = 2,733e-08$ ), Estación 3 - Boya Texaco vs Estación 1 - Boya Entre Morros ( $w = 4247,5$ ;  $p = 0,004293$ ) y Estación 1 - Boya Entre Morros vs Estación 2 - Boya de Recalada ( $w = 4280,5$ ;  $p = 0,008102$ ). En la boya Entre Morros, existen diferencias significativas al comparar los órdenes de dinoflagelados identificados *Gymnodiniales* vs *Gonyaulacales* ( $p = 0.0001992$ ); *Gonyaulacales* vs *Prorocentrales* ( $p =$

0.0001906) y no existe diferencias significativas al comparar los órdenes *Gymnodiniales* vs *Prorocentrales* ( $p= 0.06427$ ).

Hubo mayor abundancia de *Gymnodiniales* en las áreas Estación 3 - Boya Texaco y Estación 1 - Boya Entre Morros en comparación con Estación 2 - Boya de Recalada, mientras que entre Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 2 - Boya de Recalada no hay diferencia significativa. Hubo mayor abundancia de *Gonyaulacales* en el área Estación 2 - Boya de Recalada en comparación con Estación 3 - Boya Texaco y Estación 1 - Boya Entre Morros, mientras que entre Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 3 - Boya Texaco no hay una diferencia significativa (Figura 75 y 77).

Se realizó la comparación entre los órdenes *Gymnodiniales* y *Gonyaulacales* en relación con las zonas muestreadas, esto debido a que en estos órdenes se encuentran la mayor presencia de especies y con potencial de causar florecimientos algales nocivos. El orden *Gymnodiniales* si presenta diferencia en la abundancia de especies comparando las zonas de muestreo Estación 3 - Boya Texaco vs Estación 2 - Boya de Recalada ( $p = 0.001823$ ), Estación 3 - Boya Texaco vs Estación 1 - Boya Entre Morros ( $p = 0.002131$ ). No existe diferencia en la abundancia entre las zonas de muestreo Entre Morros y Recalada ( $p = 0.6905$ ).

Por otro lado, el orden *Gonyaulacales* mostró diferencias significativas en todas las comparaciones realizadas entre zonas de muestreo: Estación 3 - Boya Texaco vs Estación 2 - Boya de Recalada ( $p = 2.733e-08$ ), Estación 3 - Boya Texaco vs Estación 1 - Boya Entre Morros ( $p = 0.004293$ ) y Estación 1 - Boya Entre Morros vs Estación 2 - Boya de Recalada ( $p = 0.008102$ ).

Estos resultados indican que hay diferencias significativas en la abundancia de especies del orden *Gymnodiniales* y *Gonyaulacales* entre las zonas de muestreo. En las figuras 72, 73 y 74 se enlista la densidad de céls/ml identificados en cada una de las zonas de muestreo.

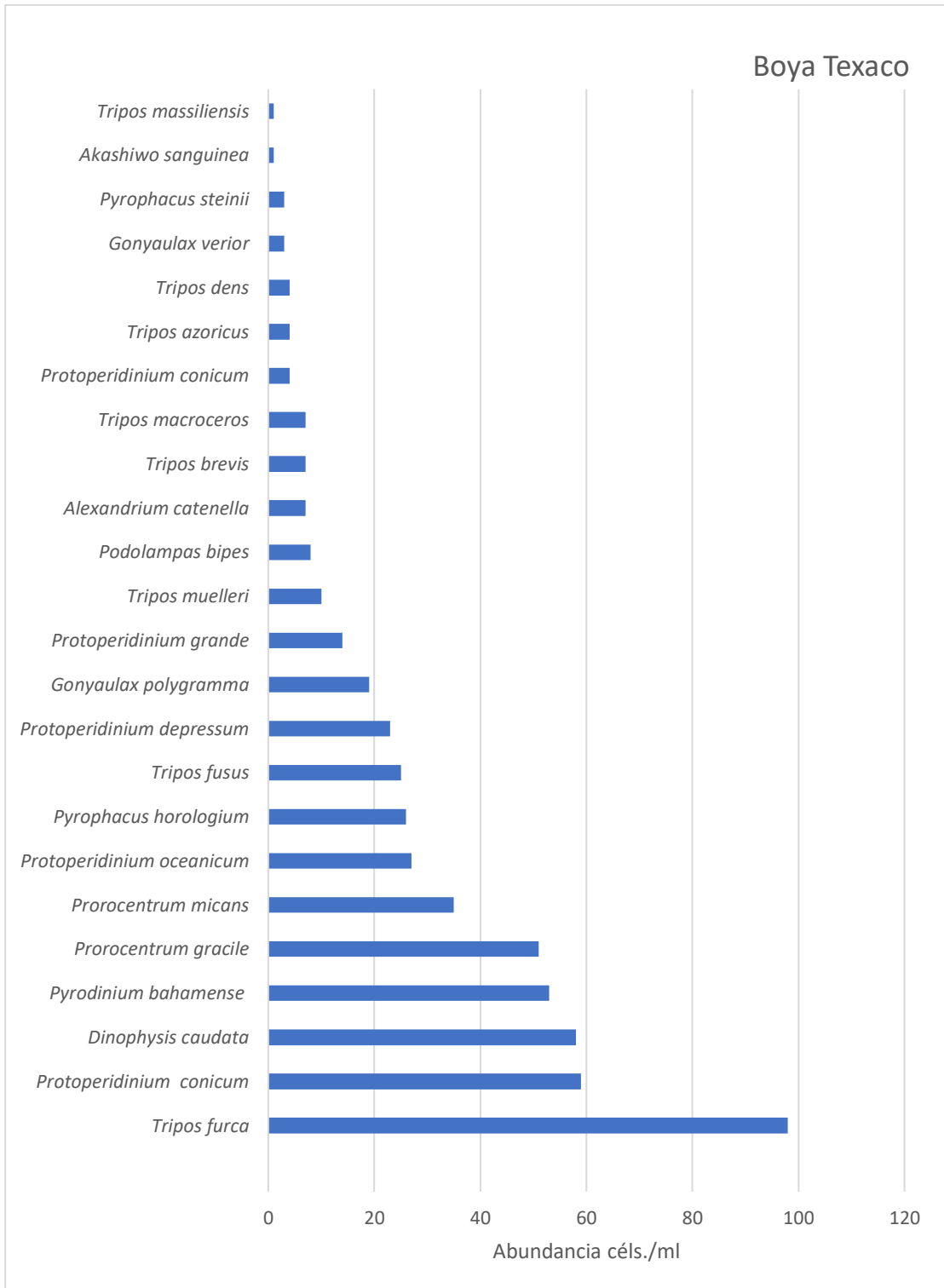


Figura 72. Abundancias de células de las especies identificadas en la Boya Texaco. Se excluye a *Margalefidinium polykrikoides* por el número de células tan altas que presenta (1420 céls. /ml).

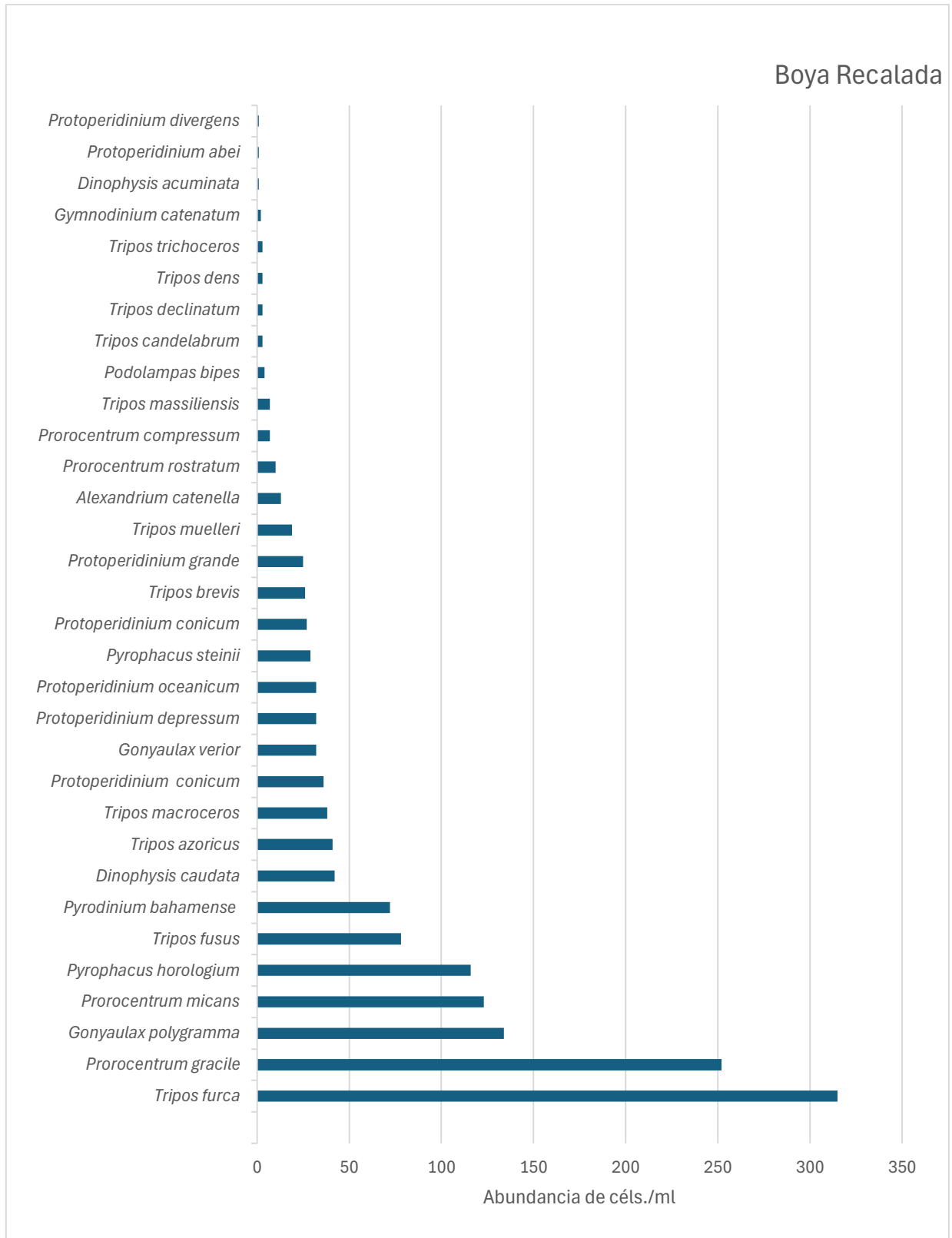


Figura 73. Abundancias de células de las especies identificadas en la Boya Recalada. Se excluye a *Margalefidinium polykrikoides* por el número de células tan altas que presenta (2941 céls. /ml).

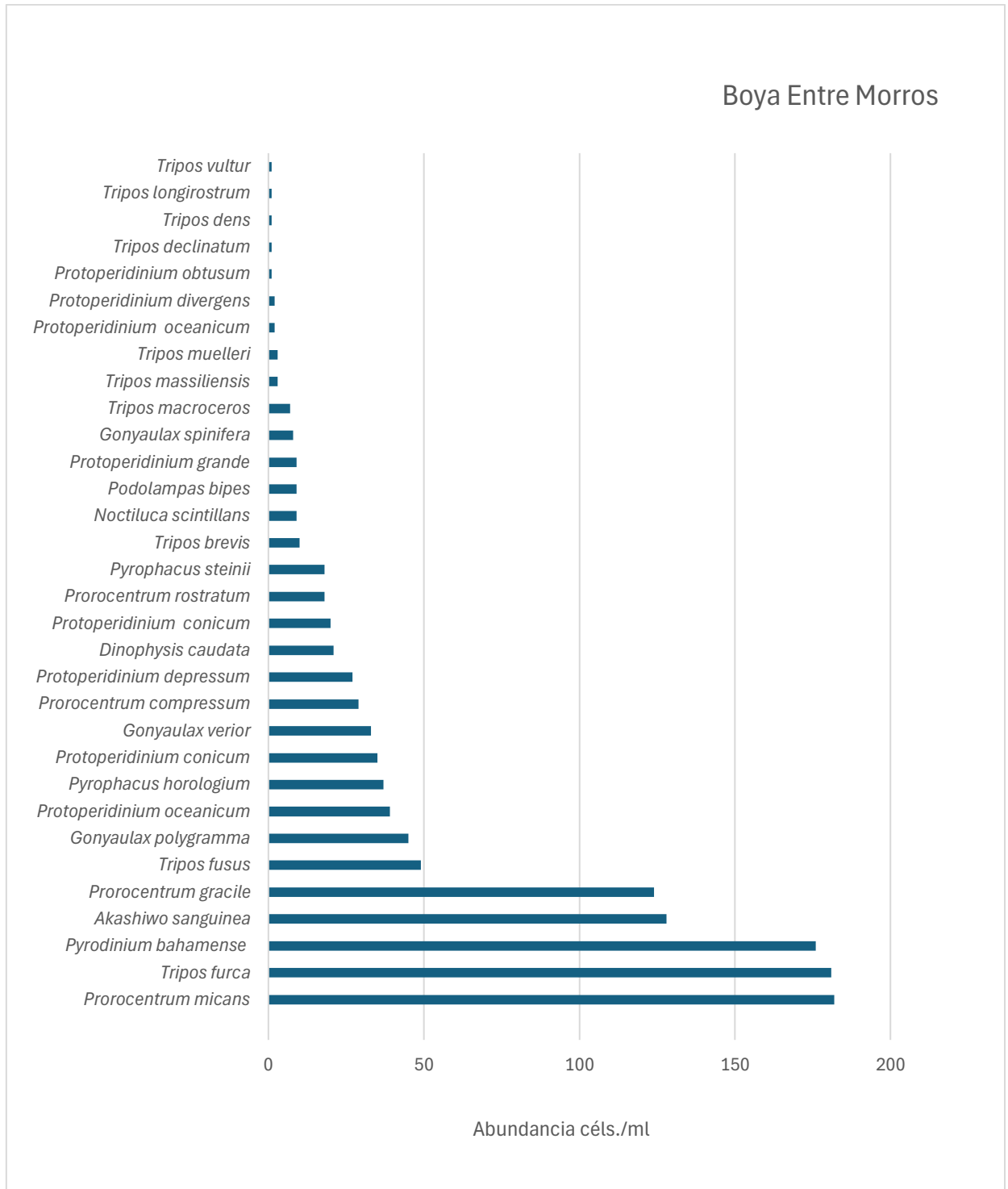


Figura 74. Abundancias de células de las especies identificadas en la Boya Entre Morros. Se excluye a *Margalefidinium polykrikoides* por el número de células tan altas que presenta (1393 céls. /ml).

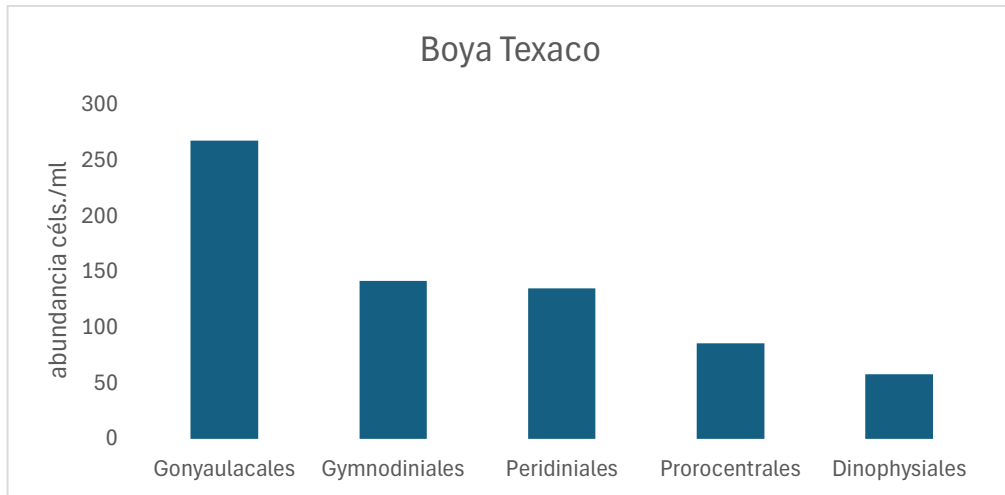


Figura 75. Abundancia de dinoflagelados por orden en Boya Texaco.

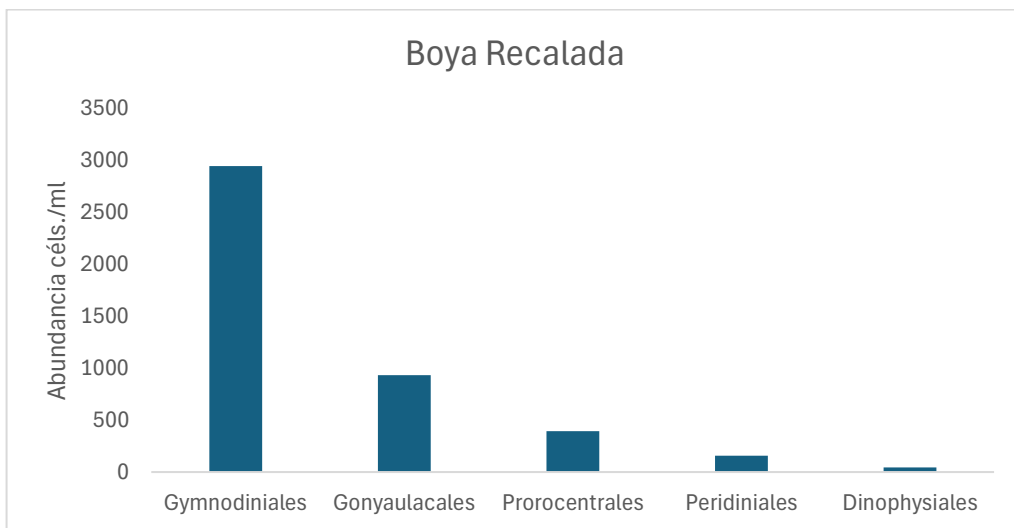


Figura 76. Abundancia de dinoflagelados por orden en Boya Recalada.

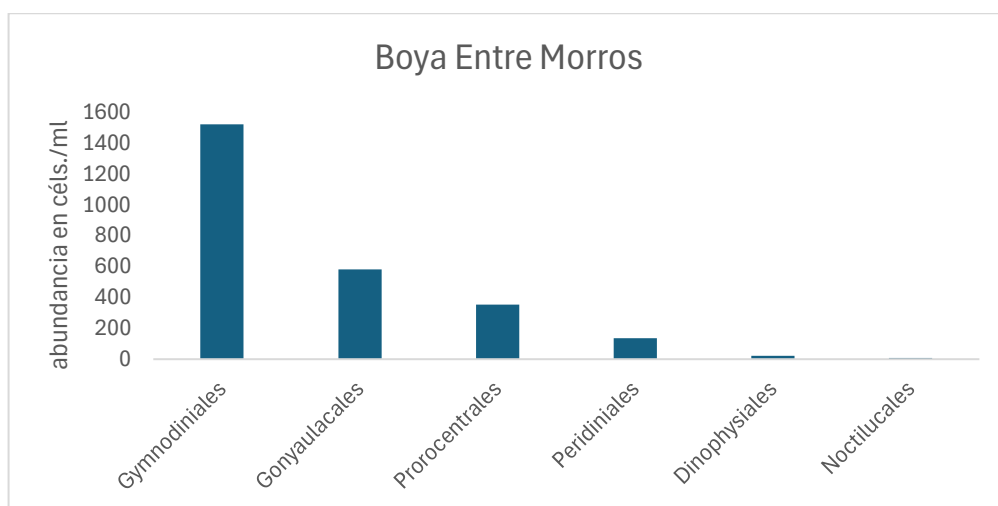


Figura 77. Abundancia de dinoflagelados por orden en Boya Entre Morros.

### 5.3.2.2. Similitud taxonómica espacial

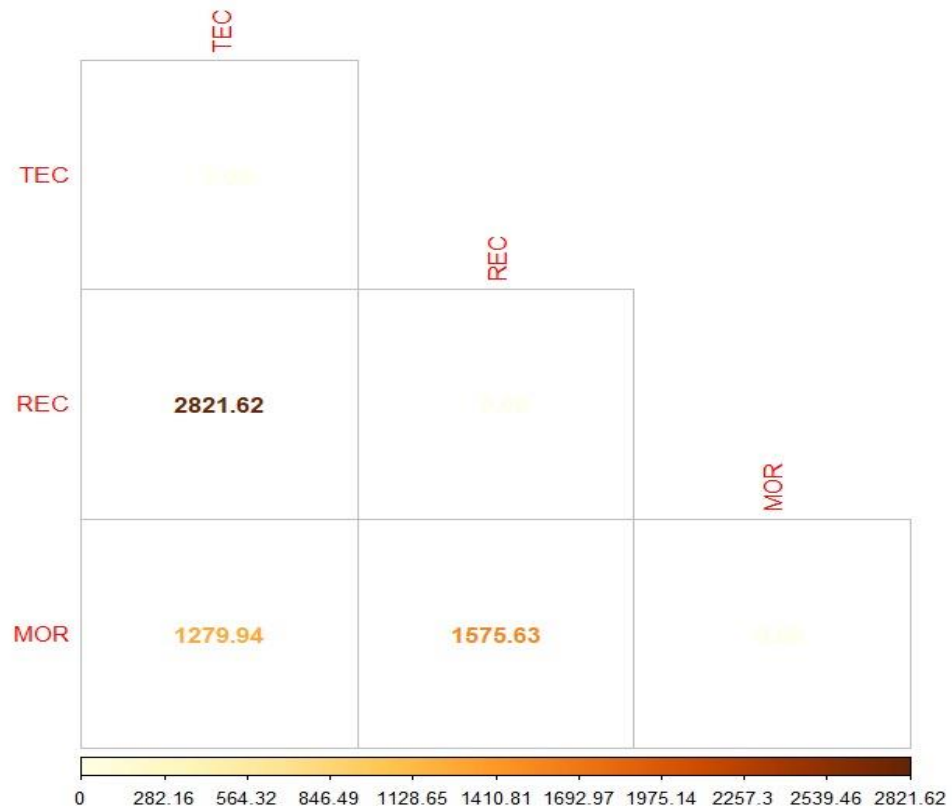


Figura 78. Matriz de similitud basada en las especies y las estaciones de muestreo.

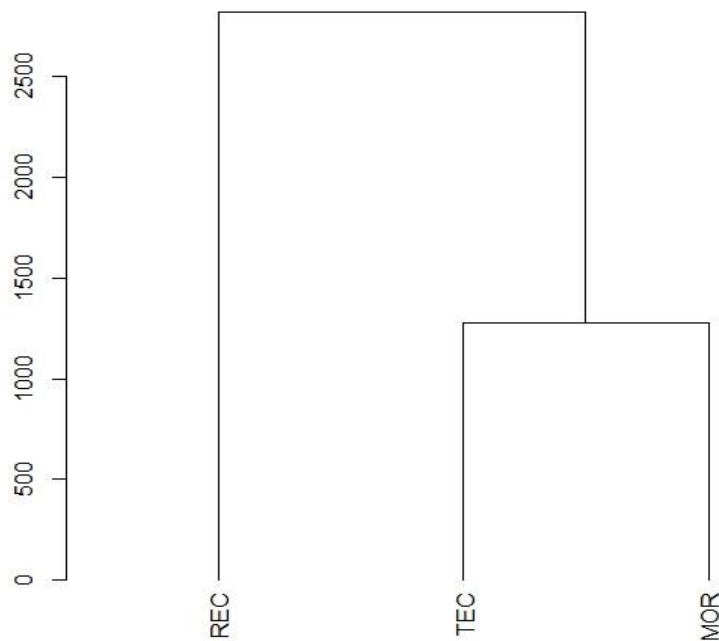


Figura 79. Dendrograma de las especies y las estaciones de muestreo.

De acuerdo con los resultados, las zonas de muestreo Estación 1 - Boya Texaco y Estación 2 - Boya Entre Morros tienen similitudes; su cercanía a la costa y la actividad antropogénica son factores que tienen una gran influencia en los resultados. En contraste, Estación 2 - Boya de Recalada se encuentra mostrando características únicas. La mayor similitud se puede establecer entre Estación 3 - Boya Texaco y Estación 2 - Boya de Recalada con un valor de 2821.62 seguida por la similitud entre Estación 2 - Boya de Recalada y Estación 1 - Boya Entre Morros con 1575.63 y la menor entre Estación 1 - Boya Entre Morros y Estación 3 - Boya Texaco (Figuras 78 y 79).

### 5.3.2.3. Variación temporal

Después de aplicar una prueba de Kruskal-Wallis para comparar los meses en los que se llevaron a cabo los muestreos, se encontró evidencia significativa de diferencias en la abundancia de los dinoflagelados entre las boyas ( $p\text{-valor} = 8.025e^{-11}$ ). Este resultado sugiere que todas las boyas son estadísticamente diferentes entre sí ya que los valores obtenidos son menores a 0.05. Al realizar un análisis post-hoc, se observó que la Boya Morros exhibió un resultado de  $3.8e^{-11}$ , la Boya Recalada mostró un valor de 0.014 y la Boya Texaco presentó un valor de  $3.3e^{-05}$  (Figuras 80 y 81).

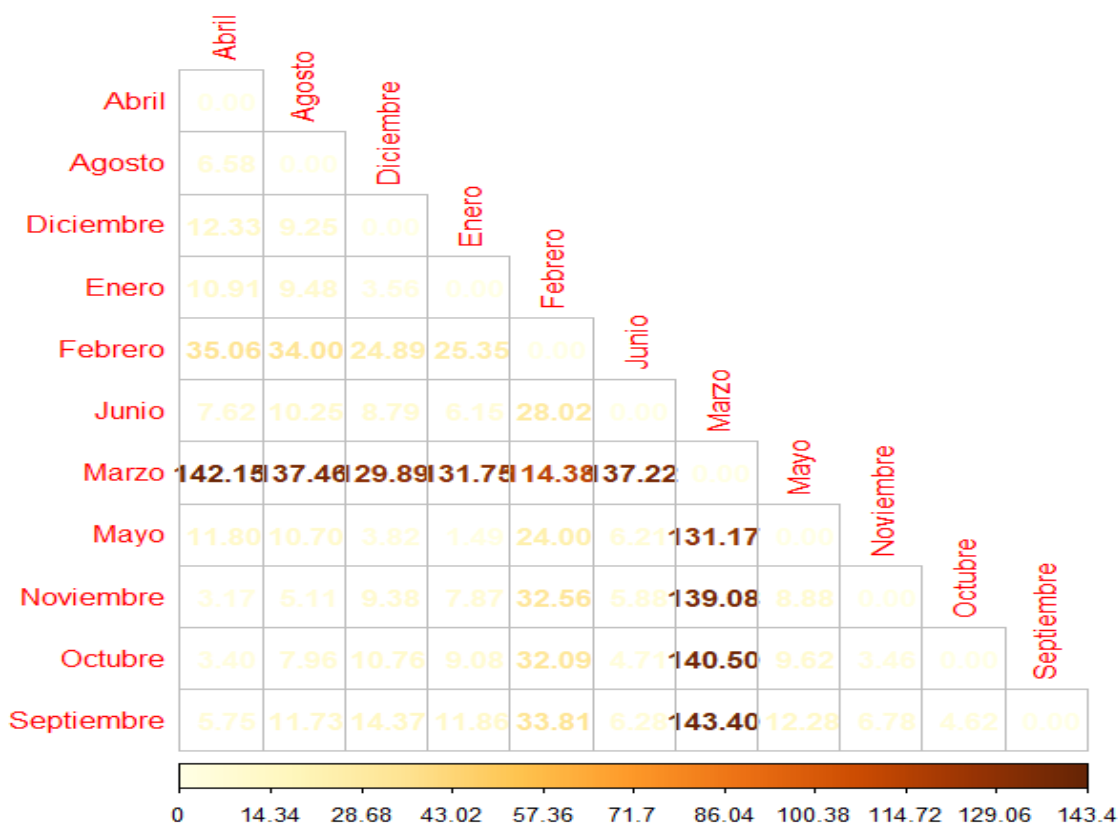


Figura 80. Distancia euclidiana comparando entre si los meses muestreados.

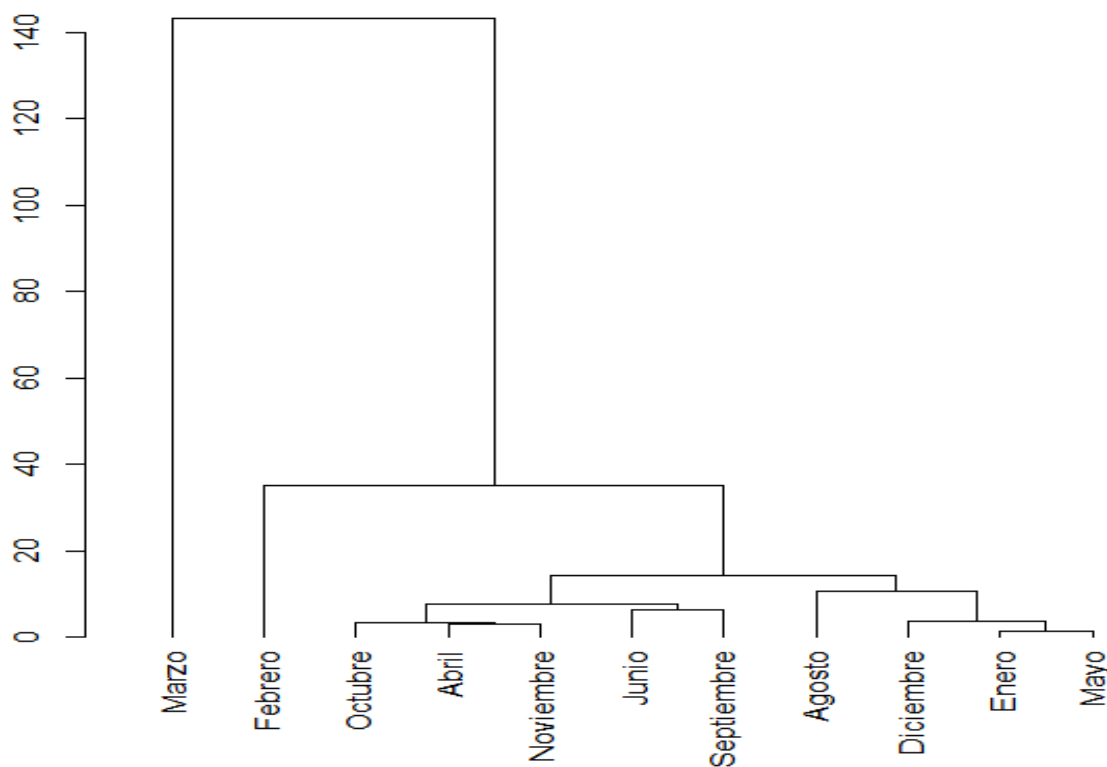


Figura 81. Dendrograma comparativo entre los meses de muestreo.

### 5.3.3. Estimadores de diversidad

Los valores presentados en la tabla 5 corresponden al índice de diversidad de Shannon y reflejan la diversidad de especies de dinoflagelados en cada mes del año de muestreo. Esta diversidad oscila entre 0.88 en marzo y 2.28 en noviembre, indicando una variación mensual en la diversidad de especies, posiblemente influenciada por factores ambientales.

Los valores del índice de equidad de Pielou oscilan entre 0.31 y 0.81, indicando que la distribución de especies en la muestra no es completamente equitativa, pero tampoco está dominada por una sola especie. A lo largo del año de muestreo, el índice de Pielou muestra variaciones significativas: el valor más bajo se registra en marzo y el más alto en enero. Esto sugiere que la uniformidad en la distribución de especies varía mensualmente, posiblemente debido a factores ambientales.

En cuanto a la abundancia relativa de las especies durante el año de muestreo, el índice alfa de Fisher presenta una amplia variabilidad. Los valores son muy bajos en febrero, marzo y septiembre, indicando dominancia de una sola especie en estos meses. Por otro lado, en enero, mayo y octubre, los valores son muy altos, reflejando una gran variedad de especies. En agosto, la muestra estuvo dominada por unas pocas especies, resultando en valores moderados. Esto sugiere que la diversidad de especies varía significativamente de un mes a otro.

Se compararon los índices de diversidad en las tres áreas de muestreo (tabla 6). En términos generales, las tres boyas presentaron altos índices de diversidad, lo que indica una gran riqueza

de especies. Además, la boya Estación 3 - Boya Texaco tiene los valores más altos de los cuatro índices, lo que sugiere que tiene una mayor diversidad de especies y una distribución más uniforme de la abundancia relativa de especies en comparación con las otras boyas. La boya Estación 2 - Boya de Recalada tiene los valores más bajos en los cuatro índices, lo que indica que tiene una menor diversidad de especies y una distribución menos uniforme de la abundancia relativa de especies. En general, la boya Estación 1 - Boya Entre Morros presenta valores intermedios de los cuatro índices.

**Tabla 5**  
*Índices de diversidad totales por mes*

Mes	Shannon	Fisher alpha	Simpson	Equidad
Enero	2.21	6.23	0.83	0.81
Febrero	1.12	1.84	0.45	0.41
Marzo	0.88	1.47	0.32	0.31
Abril	2.24	6.05	0.83	0.76
Mayo	2.08	5.7	0.82	0.68
Junio	1.87	3.45	0.71	0.63
Agosto	1.9	5.08	0.8	0.79
Septiembre	1.81	3.47	0.71	0.67
Octubre	1.97	5.77	0.82	0.77
Noviembre	2.28	7.46	0.86	0.77
Diciembre	1.8	3.77	0.73	0.65

**Tabla 6**  
*Índices de diversidad totales por ciclo anual.*

	Shannon	Fhiser Alpha	Simpson	Equidad
TEX	2.6	10.2	0.9	0.8
REC	1.5	2.2	0.6	0.4
MOR	1.9	3.3	0.7	0.6

Los índices de diversidad aplicados proporcionan información las diferencias temporales entre boyas. Así, difereciando entre trimestres se observa:

Trimestre 1. En enero de 2021, el valor del índice de Shannon fue alto, lo que indica una alta diversidad de especies en la muestra. Los valores del índice alfa de Fisher y del índice de Simpson también son altos, lo que indica una diversidad equilibrada de especies y una baja dominancia de una especie sobre las demás. El valor del índice de equidad también es alto, lo

que indica una distribución equitativa de las especies presentes en la muestra. En febrero, el valor del índice de Shannon disminuye significativamente en comparación con enero, lo que indica una disminución en la diversidad de especies en la muestra. Los valores del índice alfa de Fisher y del índice de Simpson también disminuyen, lo que indica una mayor dominancia de una o algunas especies sobre las demás.

El valor de uniformidad disminuye significativamente, lo que indica una distribución desigual de las especies presentes en la muestra. En marzo, los valores de los cuatro índices disminuyen aún más, lo que indica una disminución en la diversidad de especies y una mayor dominancia de una o algunas especies sobre las demás.

Trimestre 2. En abril y mayo, los valores del índice de Shannon aumentan significativamente en comparación con marzo, lo que indica un aumento en la diversidad de especies en la muestra. Los valores alfa de Fisher y Simpson también aumentan, lo que indica una diversidad equilibrada de especies y una baja dominancia de una especie sobre las demás. El valor del índice de uniformidad también aumenta, indicando una distribución más equitativa de las especies presentes en la muestra. En junio, los valores de los cuatro índices disminuyen ligeramente en comparación con mayo, pero el valor del índice de Simpson aumenta ligeramente, lo que indica una mayor dominancia de una o algunas especies sobre las demás.

Trimestre 3. En agosto, los valores de los cuatro índices aumentan en comparación con junio, lo que indica un aumento en la diversidad de especies y una diversidad de especies equilibrada. En septiembre, los valores de estos disminuyen significativamente respecto a agosto, lo que indica una disminución en la diversidad de especies y una mayor dominancia de una o algunas especies sobre las demás.

Trimestre 4. En noviembre, el valor del índice de Shannon es alto, lo que indica una alta diversidad de especies en la muestra. Los valores de los índices alfa de Fisher y Simpson también son altos, lo que indica una diversidad equilibrada de especies y una baja dominancia de una especie sobre las demás. El valor del índice de uniformidad también es alto, lo que indica una distribución equitativa de las especies presentes en la muestra. En particular, se observa que la diversidad de especies fue alta en enero con un valor de 2.21, incrementándose también en abril, mayo, octubre y noviembre. Luego disminuyó en febrero, marzo, junio, septiembre y diciembre.

## 5.4. Florecimientos nocivos 2019–2022

En esta sección se detallarán los hallazgos y resultados obtenidos durante el período de estudio proporcionando una visión de la dinámica de los florecimientos nocivos en el área y destacando la importancia del monitoreo continuo de estos fenómenos para proteger la salud pública y los ecosistemas marinos.

Se examinan los eventos de florecimientos algales nocivos (FAN) ocurridos en los años 2019, 2020 y 2021, los cuales han sido identificados como eventos recurrentes causados por *Margalefidinium polykrikoides* y *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (Böhm) Steidinger, Tester & FJR Taylor. Estos florecimientos se describen en orden cronológico, centrándose en la abundancia de células de las especies de dinoflagelados causantes y las concentraciones de toxinas asociadas.

Los resultados de las observaciones microscópicas realizadas entre 2019 y 2022 en el área del Pacífico de Guatemala han revelado la presencia de células vegetativas y quistes de *Margalefidinium polykrikoides*, así como células vegetativas de *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*. Estas especies fotosintéticas son reconocidas históricamente por su contribución a los florecimientos nocivos en la región central del Pacífico guatemalteco.

### 2019

En Puerto Quetzal, en octubre y noviembre de 2019 se identificaron células de *M. polykrikoides* que formaban cadenas de 3 a 4 células. El florecimiento de esta especie ( $7,80 \times 10^6$  céls. /l) provocó la decoloración del agua, así como un cambio de olor, provocando también la mortalidad de los peces. Además, se realizó el análisis STX ( $3.274$  MU/100 g). *Pyrodinium bahamense* también fue abundante en esta floración mixta (hasta  $3.90 \times 10^4$  células/L). Fue un evento donde ambas especies proliferaron.

### 2020

En septiembre de 2020, tanto las células vegetativas de *M. polykrikoides* como sus quistes alcanzaron la cantidad significativa de  $1.24 \times 10^6$  céls. /l y  $1.53 \times 10^6$  céls. /l, respectivamente. En la tabla 7 podemos observar los datos de STX para moluscos bivalvos de algunas regiones del Pacífico de Guatemala muestreados en enero, febrero, septiembre y octubre de 2020.

**Tabla 7.**  
Resultados de análisis de saxitoxinas en diversas zonas (sitio, departamento) del Pacífico guatemalteco; determinado por el método oficial 959.08.16 AOAC (bioensayo en ratón) en octubre-noviembre 2019-2020; ND - no detectado; na - no analizados.

Fecha	Puerto San José, Escuintla	Puerto Quetzal, Escuintla	Las Lisas, Santa Rosa	Buena Vista, Escuintla	Iztapa, Escuintla	Champerico, Retalhuleu
31/10/2019	na	3275	178.5	na	na	na
8/11/2019	1320.4	3037	na	na	na	na
11/11/2019	na	Na	na	na	na	ND
13/11/2019	na	Na	200.7	na	na	na
14/11/2019	ND	Na	na	na	na	ND
15/11/2019	na	Na	na	na	283.2	na

19/11/2019	na	1162.1	na	na	na	na
20/11/2019	na	Na	ND	140.9	na	na
22/11/2019	5200.6	Na	na	na	na	na
28/11/2019	na	426	na	na	na	na
31/01/2020	na	Na	na	156.2	na	na
11/02/2020	na	Na	na	na	na	ND
12/02/2020	na	Na	na	na	ND	na
24/09/2020	na	159.6	na	ND	na	na
29/09/2020	na	Na	ND	na	na	na
01/10/2020	na	Na	na	na	na	ND

En noviembre de 2020, dentro del muelle de Puerto Quetzal, se observó el florecimiento de *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy, con una abundancia de  $1.10 \times 10^6$  (céls. /l). Este fue el primer reporte cuantitativo de esta especie en Guatemala.

### 2021

En enero de 2021 se implementó un monitoreo mensual de fitoplancton en tres sitios de muestreo ubicados entre 3 y 5 km de la costa, con profundidades de 1.5 m y 5.0 m. En marzo de 2021, se identificó un florecimiento de *M. polykrikoides* donde se determinó una abundancia de  $1.20 \times 10^6$  céls/l. Durante el año 2021, las células vegetativas de *M. polykrikoides* en Puerto Quetzal y Puerto San José y las células vegetativas de *P. bahamense* en Puerto Quetzal se acompañaron de abundantes quistes ( $1.53 \times 10^6$  céls. /l) frente al puerto ( $13^{\circ}55'7.53''N$ ,  $90^{\circ}47'15.835''O$ ).

Durante el año 2021 los muestreos fueron realizados de forma mensual. La especie de *Margalefidinium polykrikoides* fue dominante en Puerto Quetzal y Puerto San José. Mientras que *Pyrodinium bahamense* fue dominante solamente en Puerto Quetzal (Tabla 8).

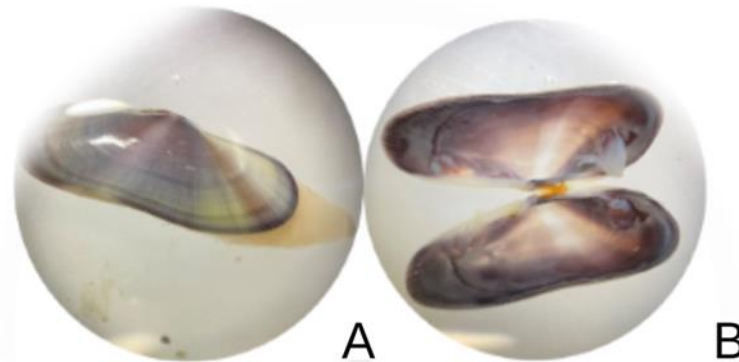
Tabla 8.

Abundancias de células vegetativas (céls. /ml) de *Margalefidinium polykrikoides* en Puerto Quetzal y Puerto San José y de *Pyrodinium bahamense* en Puerto Quetzal en 2021; nm - no muestreado.

Meses	<i>Margalefidinium polykrikoides</i> Puerto Quetzal	<i>Margalefidinium polykrikoides</i> Puerto San José	<i>Pyrodinium bahamense</i> Puerto Quetzal
Enero	$4.90 \times 10^4$	$9.20 \times 10^4$	$3.00 \times 10^4$
Febrero	$4.00 \times 10^5$	$8.20 \times 10^5$	0
Marzo	$2.50 \times 10^7$	$1.20 \times 10^6$	0
Abril	$8.50 \times 10^4$	$2.80 \times 10^6$	0
Mayo	$1.78 \times 10^5$	$1.80 \times 10^5$	0
Junio	$2.28 \times 10^5$	$2.30 \times 10^5$	$1.00 \times 10^4$
Julio	Nm	nm	nm
Agosto	$3.90 \times 10^4$	$3.90 \times 10^4$	0
Septiembre	$4.20 \times 10^4$	$6.90 \times 10^4$	0
Octubre	$6.70 \times 10^4$	$6.70 \times 10^4$	0
Noviembre	$1.60 \times 10^5$	$5.10 \times 10^4$	0
Diciembre	$8.00 \times 10^3$	$5.00 \times 10^4$	$2.40 \times 10^5$

**2022**

En abril de 2022 se registraron 11 casos de humanos que presentaron síntomas de PSP en el sector occidental del Pacífico guatemalteco, en particular, en el municipio de Tiquisate en el departamento de Escuintla. Trágicamente, uno de estos casos resultó en la muerte de un niño de 12 años por consumo de moluscos bivalvos conocidos como *Tagelus* sp. almejas (Bivalvia: *Cardiida*: *Solecurtidae*) (Figura 82).



**Figura 82.** El molusco bivalvo *Tagelus* sp., especie vector de la saxitoxina en el Pacífico de Guatemala: A - vista dorsal de la valva derecha; B - vista interior de las válvulas de la almeja.

Las personas intoxicadas recibieron atención médica en el Hospital de Tiquisate, donde manifestaron síntomas gastrointestinales a raíz de la ingestión de estas almejas. El Laboratorio Nacional del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social de Guatemala (MSPAS) realizó pruebas en ratones para detectar la presencia de STX en las citadas almejas. Los resultados revelaron niveles máximos de 7069.4 MU por 100g o 1413.9 µg de STX equivalente por 100 g de tejido de almeja en las muestras obtenidas en el municipio de Tiquisate. Estos niveles excedieron en 18 veces los límites permitidos para el consumo humano, según normativa nacional e internacional que establece un máximo de 400 MU por 100 g y/o 80 µg de STX equivalente por 100 g de tejido de molusco (Moestrup, 2009).

Con estos resultados la Comisión Nacional de Marea Roja de Guatemala decidieron intensificar la vigilancia epidemiológica para identificar posibles casos de intoxicación. Esto llevó a la emisión de una alerta roja por parte de la Comisión para proteger a la población humana.

Posteriormente, se examinó el bivalvo *Tagelus* sp., identificado como agente causante de la intoxicación por STX durante este FAN. La familia *Solecurtidae*, a la que pertenece este género se caracteriza por tener una concha equivalva alargada de forma cuadrada, con bisagra, generalmente con dos dientes cardinales en cada valva, así como dos cicatrices del músculo aductor de forma desigual y un seno palial profundo (Fischer et al., 1995).

El análisis morfológico de diez individuos de este bivalvo permitió determinar una longitud promedio de concha de 21.57 mm y una altura promedio de concha de 7.85 mm. Además, se analizó el contenido del estómago y se encontraron células de *P. bahamense*. El MSPAS realizó análisis STX adicionales y los resultados obtenidos indicaron un máximo de 7069.4 MU por 100 g de tejido de almeja en Madre Vieja, Tiquisate (Figura 83).

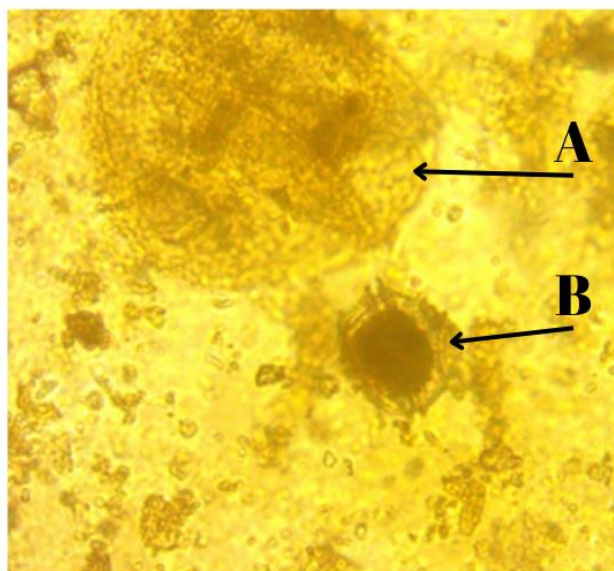


Figura 83. Dinoflagelados identificados en el contenido estomacal de la almeja *Tagelus* sp. en Tiquisate, Guatemala: A - *Noctiluca scintillans*; B - *Pyrodinium bahamense*.

El consumo de almejas provocó en todos los casos síntomas gastrointestinales y manifestaciones neurológicas. De acuerdo con la alerta epidemiológica emitida por el MSPAS, del 29 de abril al 20 de mayo se registraron un total de 34 casos de intoxicaciones en personas entre 5 y 59 años, de los cuales lamentablemente 4 fallecieron por el consumo de bivalvos durante el florecimiento de *Pyrodinium bahamense* en el Pacífico de Guatemala.

Tabla 9. Cronología de intoxicación humana por consumo de moluscos bivalvos en 2022 en el Pacífico guatemalteco.

Fecha	Sitio de muestreo, municipio/departamento	Concentración de STX unidad de ratón (MU)/100 g	Especies vectores
03/05/2022	Madre Vieja, Tiquisate	7069.40	<i>Tagelus</i> sp.
03/05/2022	El Semillero, Tiquisate	5013.10	<i>Tagelus</i> sp.
05/05/2022	El Semillero, Tiquisate	3948.90	<i>Tagelus</i> sp.
11/05/2022	El Semillero, Tiquisate	2316.60	<i>Tagelus</i> sp.
13/05/2022	Buena Vista, Escuintla	108	<i>Anadara grandis</i>
13/05/2022	Iztapa, Escuintla	0	<i>Crassostrea gigas</i>
25/05/2022	Playa de la Isla, San Marcos	12686.00	<i>Tagelus</i> sp.
25/05/2022	Madre Vieja, Tiquisate	14099.00	<i>Tagelus</i> sp.
27/05/2022	Tilapa, Ocós, San Marcos	816	<i>Tagelus</i> sp.
27/05/2022	Champerico, Retalhuleu	115	<i>Crassostrea gigas</i>
16/06/2022	Tilapa, Ocós, San Marcos	1580.00	<i>Tagelus</i> sp.
19/06/2022	El Semillero, Tiquisate	124	<i>Tagelus</i> sp.
27/07/2022	Playa de la Isla, San Marcos	163	<i>Tagelus</i> sp.
27/07/2022	Tilapa, Ocós, San Marcos	1501.00	<i>Tagelus</i> sp.
16/06/2022	Tilapa, Ocós, San Marcos	136	<i>Tagelus</i> sp.

## Capítulo 6

### DISCUSIÓN

«Existe una amplia variación, no sólo entre grupos de algas sino también entre especies y cepas, con respecto a su respuesta de contenido de toxinas a diferentes condiciones de nutrientes la limitación de fósforo a menudo parece aumentar el contenido de toxinas celulares»

*E. Granéli and K. Flynn, (2006)*

## 6.1. Catálogo de especies

El propósito principal del catálogo de especies de dinoflagelados del Pacífico de Guatemala es proporcionar el listado de las especies identificadas en esta región. Aunque existe abundante información sobre la biodiversidad de dinoflagelados en la región, esta se encuentra dispersa en una variedad de publicaciones e informes procedentes de países vecinos, como El Salvador y México. Esta dispersión dificulta la tarea de identificación específica para la costa del Pacífico de Guatemala y la aplicación de metodologías estandarizadas para su estudio, lo cual aún no se ha sistematizado en nuestro país.

El que se presenta en esta memoria incluye información fenológica, un aspecto que no ha sido abordado en ninguno de los catálogos de la región neotropical del Pacífico, la consideración de la ecología y la toxicología de las especies y presenta información sobre su distribución, lo que contribuye a una mejor comprensión de su alcance geográfico.

El material recopilado para este catálogo proviene del Pacífico de Guatemala y abarca 10 zonas de muestreo a lo largo de la costa, donde se han identificado un total de 42 especies de dinoflagelados, distribuidas en 14 géneros y seis órdenes. Este esfuerzo no solo llena un vacío significativo en el conocimiento de la biodiversidad marina de Guatemala en este tema, sino que también proporciona una herramienta esencial para monitorear y gestionar los florecimientos algales perjudiciales, contribuyendo así a la protección de los ecosistemas marinos y a la seguridad alimentaria en la región.

En la región neotropical del Pacífico, carecemos de catálogos dedicados a las microalgas asociadas a florecimientos algales perjudiciales. No obstante, algunas publicaciones relativas a otras zonas oceanográficas presentan información de áreas cercanas a las costas guatemaltecas. En tre ellas podemos citar el "Catálogo de microalgas de la Bahía de Todos Santos" (Almazán-Becerril et al., 2016). Esta guía fotográfica exhaustiva de diatomeas y dinoflagelados detalla los diversos ambientes de esta bahía que tiene una extensión de 180 km<sup>2</sup>. La dinámica hidrológica está íntimamente ligada al comportamiento estacional de la Corriente de California. Esta guía es ampliamente utilizada en nuestra región gracias a los datos específicos del Pacífico y de las corrientes del norte; sin embargo, su principal limitación radica en la falta de datos diagnósticos y fenológicos que facilitarían la identificación precisa en nuestra zona.

El "Catálogo de fitoplancton del Pacífico central mexicano" (Hernández-Becerril, Cruceros "MareaR", 2009-2019) abarca una amplia gama de especies pertenecientes a grupos taxonómicos como dinoflagelados, diatomeas, cocolitofóridos, silicoflagelados y otros grupos algales y protistas (Hernández-Becerril et al., 2021).

En el "Atlas de dinoflagelados marinos del Pacífico Mexicano" (Meave del Castillo & Zamudio-Resendiz, 2009) se presenta una descripción exhaustiva de la geografía de cada especie, así como comentarios taxonómicos, aspectos ecológicos y fotografías ilustrativas. Este documento representa una herramienta excelente para el estudio y la comprensión de la diversidad de dinoflagelados en la región.

Otra obra, el "Atlas de fitoplancton marino de El Salvador" ofrece descripciones detalladas, información sobre la toxicidad asociada y la distribución geográfica de las especies identificadas en tres zonas del Pacífico de El Salvador. Este recurso incluye fotografías y referencias para 44 especies de dinoflagelados identificados. Dada la proximidad de nuestras aguas y la ocurrencia de eventos tóxicos compartidos, esta guía ha adquirido una gran relevancia para nuestras costas (Espinoza et al., 2013).

Finalmente, en el "Catálogo de dinoflagelados microplanctónicos marinos del Pacífico central de México" (Esqueda-Lara & Hernández-Becerril, 2010) se realiza la caracterización de los taxones (especies, variedades y formas) de dinoflagelados planctónicos del Pacífico central mexicano, procedentes de 112 muestras de red obtenidas en costas de Jalisco, Colima e Isla Isabel (Nayarit). Es una obra muy completa, pero existen pocas coincidencias con especies colectadas en nuestras costas.

## 6.2. *Dinámica de poblaciones*

Las diferencias en la abundancia de especies pueden estar relacionadas con una serie de factores ambientales, como la concentración de nutrientes, la temperatura del agua, la salinidad y la luz (Margalef, 1978; Litchman y Klausmeier, 2008). Las boyas Estación 2 - Boya de Recalada y Estación 1 - Boya Entre Morros presentan condiciones ambientales más favorables para las especies de *Gymnodiniales* (Estación 1 - Boya Entre Morros 26% y Estación 2 - Boya de Recalada 50%) y las boyas Estación 2 - Boya de Recalada y Estación 1 - Boya Entre Morros tengan condiciones ambientales más favorables para las especies de *Gonyaulacales* (Estación 1 - Boya Entre Morros 33% y Estación 2 - Boya de Recalada 52%), lo que explicaría su mayor abundancia en estas zonas.

Para comprender mejor las razones detrás de las diferencias en la abundancia de especies en cada sitio de muestreo y sus fluctuaciones temporales, es necesario evaluar la presencia de depredadores o competidores o la disponibilidad de sustrato para la especie. También es importante señalar que, por sus implicaciones para la estructura y función del ecosistema, estas diferencias en la abundancia de especies se deben continuar monitoreando el fitoplancton y evaluando los factores que influyen en su distribución.

## 6.3. *Dinoflagelados y condiciones ambientales*

La capacidad de las microalgas para adaptarse y almacenar nutrientes en ellas les permite prosperar en una amplia gama de condiciones ambientales y dominar a otros organismos en su hábitat. La luz, los nutrientes, la temperatura, la salinidad, la estabilidad de la columna de agua y los frentes hidrológicos probablemente desempeñan papeles cruciales en la distribución y concentración de las poblaciones de microalgas en la zona marina costera del Pacífico de Guatemala.

Los dinoflagelados están influenciados por varios factores ambientales, incluyendo la luz, los nutrientes, la temperatura y la salinidad. Los nutrientes y la luz son factores críticos que influyen en el comportamiento migratorio de los dinoflagelados en la columna de agua. Las especies móviles se trasladan hacia la superficie en respuesta a la luz y los nutrientes y crecen más rápido de lo que son transportadas o predadas. La temperatura y la salinidad también son importantes para la distribución de los dinoflagelados en el agua. Estos factores pueden restringir, concentrar, mantener o transportar las poblaciones de dinoflagelados.

La disponibilidad de nutrientes está relacionada con las descargas provocadas por actividades antropicas y son importantes en los ciclos biogeoquímicos del fitoplancton (Field et al., 1998; Kormas et al., 2001; Sosnovsky y Quirós, 2006; Salcedo-Garduño et al., 2019). Así, la presencia

de residuos antrópicos en Puerto Quetzal, Puerto San José (Estación 3 - Boya Texaco) y en los afluentes cercanos al área de muestreo, como el Río Achiguate y el Río María Linda, se ha evidenciado claramente a partir de los datos analizados.

Sin embargo, pueden hacerse algunas observaciones particulares en las otras estaciones. De esta forma, las mayores concentraciones de amonio y nitrógeno total en Estación 2 - Boya de Recalada no se corresponden con una mayor abundancia de células, lo cual sugiere que hay otros factores limitantes en esta estación. Además, a pesar de tener altos niveles de nitrógeno total y amonio, la baja clorofila y abundancia celular sugieren que otros factores, como la disponibilidad de luz o la presencia de inhibidores, podrían estar limitando el crecimiento.

Los valores de sulfatos y la temperatura son similares en las tres estaciones, lo que indica que estos parámetros no son factores determinantes en las diferencias de abundancia celular observadas.

El género *Triplos* exhibe una notable sensibilidad a la temperatura del agua, lo que desencadena una variedad de respuestas morfológicas en sus especies. Esta diversidad morfológica se atribuye a la influencia directa de la temperatura del medio acuático, la cual afecta las propiedades físicas del agua, como su viscosidad. Es importante destacar que estas variaciones morfológicas tienen una estrecha relación con la flotabilidad celular. Según los hallazgos de Sournia (1967), algunas especies del género *Triplos* tienden a desarrollar formas delgadas y alargadas en aguas cálidas, caracterizadas por una baja viscosidad, lo que les permite abarcar más área y mejorar su flotabilidad. En contraste, otras especies adoptan una forma más ancha y corta en aguas con mayor viscosidad, lo que les proporciona una ventaja adaptativa para flotar eficientemente en ese entorno. Estos resultados sugieren que la variabilidad morfológica observada en las especies de *Triplos* puede atribuirse a la adaptación a diferentes condiciones térmicas y viscosidades del agua.

La salinidad del agua puede variar dependiendo de factores como la evaporación, la lluvia y los ríos cercanos, el área muestreada está cercana a dos ríos y enmarcada entre los ríos Achiguate y María Linda. Si la salinidad varía mucho, esto puede afectar la correlación entre la conductividad, la salinidad y los sólidos disueltos totales.

La escorrentía terrestre influye directamente al ingresar al mar aportando nutrientes e incorporando agua dulce, se convierte en un sustrato que impulsará la producción de fitoplancton por los aportes de materia orgánica que pueden acelerar el estrés en las comunidades y generar sustratos que dan espacio a la colonización de microalgas y otros organismos (Wells, et. al., 2019). Esto podría explicar la similitud fisicoquímica entre los puntos de muestreo Estación 3 - Boya Texaco y Estación 1 - Boya Entre Morros, ya que la distancia perpendicular a la costa no excede la media milla náutica y las condiciones de influencia de agua dulce son similares.

El Pacífico de Guatemala tiene una precipitación con períodos de gran intensidad, típica de las zonas costeras con una precipitación media anual de 2200 mm (INSIVUMEH, 2022). Diferentes investigaciones en el tema mencionan el incremento de episodios más intensos de lluvias, (Badylak et al., 2014; Huang et al., 2013) al incrementarse los aportes de agua dulce a la zona marítimo costera, impulsa a algunos organismos formadores de FAN a refugiarse en áreas de baja salinidad como el caso de *Akashiwo sanguinea* la cual ha sido documentada como un organismo de naturaleza euritérmica y eurihalino, lo que contribuye probablemente al éxito de la especie en estos ecosistemas, también la existencia de períodos de residencia del agua relativamente prolongados que proporcionan la ventana temporal necesaria para la acumulación

de biomasa lo cual es muy común en una zona portuaria (dentro de la dársena de Puerto Quetzal) donde se identificó por primera vez esta especie en la boya de navegación Estación 1 - Boya Entre Morros.

Otra especie asociada a las bajas salinidades y presente principalmente en temporada de lluvia en las boyas Estación 3 - Boya Texaco y Estación 2 - Boya de Recalada y que es conocida por formar floraciones tóxicas en condiciones de bajas salinidades es *Alexandrium catenella*, el cual puede causar intoxicaciones por mariscos contaminados con toxinas paralizantes. Este dinoflagelado puede encontrarse en aguas costeras y estuarios donde las salinidades pueden variar. La proliferación de *Alexandrium catenella* puede ser inducida por cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura del agua, la disponibilidad de nutrientes y los patrones de circulación. Por lo cual podemos asociar que esta especie con la temperatura elevada y los aportes de N y P pueden ser importantes impulsos para su florecimiento, (Paerl y Fulton, 2006; Hernández-Becerril et al., 2023).

Muchas especies como por ejemplo *Pyrodinium bahamense* se adaptan a períodos de condiciones adversas a corto y largo plazo. Esto permite la dispersión por medio de corrientes, así como de forma mecánica por medio del transporte marítimo. Los estadíos planctónicos se adaptan, migrando para aprovechar los gradientes de luz y la disponibilidad de nutrientes en el área (Azanza y Taylor, 2001; Azanza y Baula, 2005). Durante el mes de diciembre 2021 se presentó un florecimiento de *P. bahamense* frente a Puerto Quetzal y de *Margalefidinium polykrikoides* en Puerto Quetzal durante el mes de marzo 2021 (Tabla 8).

En este estudio, se observó que la distribución espacial de los dinoflagelados estaba relacionada con la disponibilidad de luz para la fotosíntesis, así como con la migración vertical durante las horas de mayor intensidad lumínica (de 8:00 a 12:00 horas horario de muestreo). Este comportamiento es común entre los productores primarios, según investigaciones previas (Flynn et al., 2018).

Los frentes y las surgencias son otros factores importantes para mantener las poblaciones concentradas así como el suministro de nutrientes del fondo. Las regiones carentes de nutrientes suelen almacenar reservas para crecer o mantenerse ante el agotamiento de estos.

Los vientos generan surgencias en las regiones costeras, las lluvias arrastran nutrientes importantes que sirven como un sustrato de mantenimiento que produce un florecimiento algal. Cualquier aumento en el flujo de nutrientes en aguas superficiales aumentaría la demanda biológica de oxígeno, que a su vez promueve la proliferación de especies asociadas a toxinas y a florecimientos no tóxicos como el género *Noctiluca* (Wells et al., 2019).

Las correlaciones de *A. sanguinea* con las variables ambientales (salinidad, temperatura y concentración de nutrientes) brindan algunos conocimientos sobre las preferencias y tolerancias ambientales de las especies, pero no son solamente esta lista de factores que se asocian para producir un florecimiento algal nocivo, tomando como ejemplo el caso de la especie *A. sanguinea*, la abundancia de diatomeas y dinoflagelados inhiben el crecimiento de esta por interacciones alelopáticas y segrega un mucílago por medio de sus poros superficiales que altera la estructura de la composición química y física en la columna de agua, le hace ser una especie muy competitiva con todos estos aspectos a su favor produciendo eventos de floraciones dentro y fuera del período de pico de biomasa de fitoplancton en la estación cálida del año (Badylak et al., 2014).

## **6.4. Estacionalidad y condiciones climáticas**

A diferencia de las cuatro estaciones del hemisferio norte, Guatemala cuenta con dos épocas muy marcadas: la época lluviosa, que se extiende desde mayo hasta octubre y la época seca, desde noviembre hasta abril.

Durante la época lluviosa, los vientos Alisios del Nordeste generan la zona de convergencia Intertropical (ZCTI), que se acerca a las latitudes de Guatemala. Esto provoca la formación de sistemas nubosos que se trasladan por los vientos alisios, generando lluvias intensas. A veces, estas ondas del Este pueden convertirse en ciclones tropicales y provocar lluvias torrenciales durante su paso (INSIVUMEH, 2022).

La temporada de lluvias comienza en mayo y en junio es frecuente que se presenten días nublados y lluviosos. En julio y parte de agosto, ocurre un período seco conocido como canícula, debido a la inversión de los vientos alisios y al fortalecimiento del anticiclón del Golfo de México. Luego, al debilitarse y desaparecer el anticiclón, comienzan de nuevo las precipitaciones intensas, completando de esta forma la temporada lluviosa en los meses de septiembre y octubre (INSIVUMEH, 2022).

En cambio, durante la época seca, la presión atmosférica aumenta y migran masas de aire frío desde la zona polar, causando un descenso en la temperatura e incrementando la velocidad del viento. Predomina el viento norte y esta época fría se extiende de noviembre a febrero. Posteriormente, la temperatura aumenta y se presentan olas de calor en marzo y abril. Durante esta época, pueden presentarse algunas lluvias locales de tipo convectivo o prefrontales debido a la influencia de frentes fríos (INSIVUMEH, 2022).

Durante el año de muestreo se observó la incidencia del fenómeno de La Niña, lo cual demuestra que, en la zona del Pacífico de Guatemala, la temperatura promedio del agua es un factor determinante en la presencia o ausencia de florecimientos algales (INSIVUMEH, 2022).

En los resultados pueden distinguirse tres grupos de meses con condiciones físico-químicas similares en el agua. El primer grupo incluye agosto y septiembre, que se caracterizan por vientos, descensos en la temperatura del agua y zonas de surgencia. El segundo grupo abarca enero, diciembre, marzo, febrero y abril, meses en los que la temperatura inicial es baja y va aumentando gradualmente. En estos meses, la mayor exposición al sol provoca un aumento en la dinámica de los parámetros físico-químicos. El tercer grupo comprende junio, octubre, mayo y noviembre, que presentan similitudes en cuanto a temperatura del agua, salinidad y penetración de la luz. Estos meses están influenciados por corrientes oceánicas y tormentas, cuyas trayectorias determinan el tipo de clima y las temporadas climáticas en el área de muestreo.

Las aguas costeras de Guatemala se caracterizan por remolinos estacionales que actúan como mecanismos de retención de organismos planctónicos. Estos organismos sirven como fuente de alimento para consumidores de primer orden y en consecuencia, generan alimento para depredadores tróficos superiores (Ehrhardt y Fitchett, 2006).

Aunque es una región tropical, esta área presenta una de las aguas más variables dentro de la Provincia de Aguas Superficiales Tropicales debido a la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), donde convergen los vientos del norte y del sur. Durante la primera mitad del año y el invierno del hemisferio norte (enero-marzo), los vientos del noreste soplan a través

de Centroamérica desde el Atlántico, produciendo un afloramiento costero, movimiento de viento y un patrón más complejo de temperatura. En la segunda mitad del año, predominan los vientos del sur, acompañados de lluvias, reducción de la salinidad e intensificación de la Contracorriente Ecuatorial (Cabrera, 2011).

La zona de muestreo se encuentra ubicada frente a las costas de Puerto Quetzal en el Pacífico tropical oriental, una región considerada de alta productividad a nivel mundial, crucial para la variación climática y la producción pesquera, con influencia de la Zona de Convergencia Intertropical. En esta región se encuentran la fosa de Mesoamérica y el Cañón de San José, sobre los cuales están situadas las áreas de muestreo (Estación 3 - Boya Texaco, Estación 2 - Boya de Recalada y Estación 1 - Boya Entre Morros). Los cañones submarinos, como el Cañón de San José, actúan como conductos para el transporte de aguas profundas y ricas en nutrientes hacia las aguas de la plataforma continental de los ecosistemas costeros. Estos cañones sustentan altos niveles de biodiversidad y sirven como zonas de alimentación para muchas especies, siendo la sección más diversa de la zona nerítica guatemalteca (Cabrera, 2011).

Sournia (1969), en su libro "Cycle annuel du phytoplancton et de la production primaire dans les mers tropicales", explica: "En todas las regiones neríticas, la composición del fitoplancton y la producción primaria se ven afectadas por variaciones estacionales ligadas a condiciones hidrológicas (corrientes, afloramientos) o climatológicas (vientos, lluvias)".

Según estas características, es muy difícil definir un patrón general del ciclo anual del fitoplancton en los mares tropicales ya que son esencialmente regionales y variables con numerosos factores involucrados (Sournia, 1969). Sin embargo, cuando existen condiciones de surgencia, como en las zonas costeras y ecuatoriales del Pacífico tropical oriental, la variabilidad estacional es más pronunciada y las reservas de fitoplancton varían en respuesta al ciclo de afloramiento estacional (Fernandez-Alamo y Färber-Lorda, 2006; Fiedler et al., 1991).

Las surgencias tienen implicaciones significativas en términos biológicos, químicos y económicos. Estas ocurren cuando aguas subsuperficiales, que contienen niveles elevados de nutrientes como fosfatos, nitratos y silicatos, emergen hacia la superficie, aunque con una reducida concentración de oxígeno disuelto (UNEP/CBD/RW/EBSA/ETTP/1/4., 2013). En la tabla 2 se presentan los parámetros de oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales que nos aportan datos fuera de los rangos marinos y podrían indicar condiciones anómalas o contaminación en esas zonas de muestreo.

Las características de mesoescala más distintivas del Pacífico tropical oriental están asociadas con los chorros de viento que soplan a través de tres brechas en la cordillera centroamericana. Los chorros provocan fuertes fenómenos de mezcla y afloramiento (UNEP/CBD/RW/EBSA/ETTP/1/4., 2013).

La costa del Pacífico de Guatemala está influenciada por un sistema de corrientes que trae tanto aguas frías del norte como aguas cálidas del sur y el oeste. Esta mezcla crea condiciones altamente dinámicas y variables a lo largo del año, impactando la temperatura del agua, la salinidad y la productividad biológica de la región.

En efecto, en la región del Pacífico Transicional Mexicano y Centroamericano, las corrientes marinas juegan un papel crucial en la dinámica oceánica y climática. Dos principales corrientes influyen en esta área: la Corriente de California y la Corriente Ecuatorial: La corriente de California (CC), que es una corriente de agua fría que se origina en Alaska y se desplaza hacia el sur a lo largo de la costa occidental de América del Norte. En los meses de enero y febrero,

alcanza hasta aproximadamente 18°N (Guerrero, México) y de marzo a junio, se extiende hasta alrededor de 15°N a 532 Km de distancia con Guatemala (Chiapas, México). Aunque su influencia directa disminuye a medida que se mueve más al sur, su interacción con otras corrientes en la región sigue siendo significativa. La corriente Norecuatorial y Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) se forma por la interacción de la Corriente de California y la Corriente Costera de Costa Rica; se origina en Panamá y se desplaza hacia el noroeste. Esta corriente, al llegar a México, se convierte en la Corriente Mexicana, que se desplaza hacia el norte hasta el extremo de la Península de Baja California de junio a diciembre. La Corriente Norecuatorial transporta aguas más cálidas, provenientes del Pacífico Central, bordeando el continente americano hacia el norte.

La combinación de estas corrientes crea un sistema complejo en la costa del Pacífico de Guatemala. Durante diferentes épocas del año, la interacción entre aguas frías provenientes de la Corriente de California y aguas cálidas de la Corriente Ecuatorial influye en las condiciones oceanográficas y climáticas de la región. En los meses de invierno del hemisferio norte (enero-marzo), la influencia de la Corriente de California puede contribuir a la presencia de aguas más frías en la región, pero durante la segunda mitad del año, la llegada de la Corriente Costera de Costa Rica y su transformación en la Corriente Mexicana introduce aguas más cálidas, coincidiendo con la temporada de lluvias y una disminución en la salinidad debido a las precipitaciones. Este patrón estacional también afecta la dinámica de surgencia, especialmente en las zonas costeras, donde la mezcla de aguas frías y ricas en nutrientes con aguas superficiales puede estimular la productividad biológica, beneficiando la biodiversidad marina.

## 6.5. Florecimientos algales nocivos

El equilibrio de los ecosistemas costeros se ve influido por una variedad de factores, entre los que se destacan la variabilidad estacional, las características geomorfológicas e hidrológicas del medio, la acidificación de los océanos, los depósitos atmosféricos y los desechos generados por actividades humanas cercanas a los ecosistemas (Burke et al., 2001). Esta diversidad de factores ocasiona una acumulación de diversos compuestos químicos y orgánicos, principalmente en sistemas costeros que tienen poca o ninguna circulación de agua (Contreras et al., 1996; La Barre et al., 2014; Salcedo-Garduño, 2019). No obstante, los hallazgos de esta investigación abordan la escasez de información crucial sobre el comportamiento del fitoplancton en el Pacífico guatemalteco, especialmente en lo que respecta a los factores desencadenantes de los florecimientos algales nocivos.

Cada vez hay más evidencia que indica un aumento en la frecuencia de eventos relacionados con especies tóxicas o nocivas en las últimas décadas. Esto puede deberse a una mayor distribución geográfica de estas especies o a una mayor diversidad de especies y metabolitos secundarios tóxicos encontrados en diferentes sitios. Aunque no está completamente claro cuáles son las causas de este aparente aumento, se cree que tanto los mecanismos naturales de dispersión, como las corrientes, como factores humanos, como el cambio climático global y la contaminación costera, podrían estar involucrados. Es importante señalar que es difícil determinar el impacto de cada uno de estos factores debido a que hay una mayor atención e investigación de estos fenómenos en zonas donde antes no se realizaban estudios (Hallegraeff et al., 2021).

Se recopiló la información de los florecimientos producidos por las especies *Margalefidinium polykrikoides* quistes de *M. polykrikoides* y *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* durante los años 2019 y 2021. Las mareas rojas se originan cerca de las desembocaduras de los ríos cuando la temperatura del agua aumenta durante períodos de vientos débiles y bajas concentraciones de nutrientes. En diversos estudios han observado que estas condiciones no solo fertilizan las aguas, sino que también generan gradientes verticales de densidad y temperatura que favorecen la estabilidad de la columna de agua, creando un entorno propicio para la supervivencia y el crecimiento de *Margalefidinium polykrikoides* (Alonso-Rodríguez, 2004). De manera similar, Azanza et al. (2008) en Filipinas, relacionaron las floraciones de este dinoflagelado con una alta concentración de nutrientes, inducida por la influencia de la lluvia y los vientos. Por lo tanto, se considera que la concentración de nutrientes disueltos en el agua y la hidrodinámica de la zona tienen una influencia significativa en la densidad de estas floraciones.

Los estudios reportados sobre florecimientos producidos por *Margalefidinium polykrikoides* en América del Norte se han registrado en la costa del Pacífico, incluyendo las bahías de México y Costa Rica y el golfo de California (Alonso-Rodríguez, 2004). Algunas de estas floraciones han generado consecuencias importantes para varias especies de peces.

En el florecimiento algal de marzo y diciembre 2021 en la zona de Puerto Quetzal y Puerto San José, coincide con el mayor acumulado de precipitación durante la época lluviosa ocurrido en septiembre (Puerto Quetzal: *Margalefidinium polykrikoides*  $4.2 \times 10^4$  células/L) y el menor en julio. La temperatura máxima ocurrió en abril (Puerto Quetzal: *Margalefidinium polykrikoides*  $8.5 \times 10^4$  células/L) y la mínima en diciembre (Puerto Quetzal: *Margalefidinium polykrikoides*  $8 \times 10^3$  células/L y *Pyrodinium bahamense*  $2.4 \times 10^5$  células/L).

A finales del mes de abril de 2022, se registraron 11 casos de personas con síntomas de intoxicación paralítica en el área del Pacífico-Oeste, específicamente en el municipio de Tiquisate, departamento de Escuintla.

Según la predicción IRI/CPC (El CPC (Climate Prediction Center) y el IRI (International Research Institute for Climate and Society) emitido en abril de 2022, las condiciones eran de La Niña débil presentes y durante el trimestre abril-junio, anomalía de temperatura superficial del mar fue cercana a  $-0.7^\circ\text{C}$  que indica la persistencia de La Niña y para el trimestre mayo-julio las condiciones de La Niña tienen un 61% de probabilidad y 39% de probabilidad que se presenten condiciones neutras (INSIVUMEH, 2022; Fasullo et al., 2018).

Para el trimestre junio-agosto un 49% para las condiciones de La Niña, un 49% para condiciones neutras y un 2% para condiciones de El Niño. Según los modelos de ENOS las condiciones de La Niña prevalecieron hasta finales de año, (INSIVUMEH, 2022).

Estos fenómenos subrayan la relación crítica entre las condiciones climáticas y los ecosistemas marinos, demostrando que variaciones en la temperatura del agua, como las provocadas por La Niña, pueden tener un impacto determinante en los eventos de floraciones algales. Estos hallazgos son respaldados por el Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH, 2021) y el Servicio Meteorológico Nacional de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), (Mankin et al., 2021)

En la literatura consultada en el presente estudio se ha encontrado algunas inconsistencias entre los valores de abundancia celular (bajos) y la toxicidad expresada en MU/100 g (demasiado

alta). Se sugiere que esto es el resultado de la heterogeneidad en la distribución de las células de fitoplancton en la zona de floración (en parches) y la distancia entre el sitio de muestreo de fitoplancton y el sitio de muestreo de toxicidad de moluscos bivalvos.

Por otro lado, es importante resaltar que los estudios que describen el papel de los quistes en la ecología de *Alexandrium catenella* y *Pyrodinium bahamense*, han contribuido en gran medida a lo que se sabe sobre el papel del acoplamiento bentónico en la ecología del fitoplancton, por ejemplo, las ubicaciones de los 'lechos de quistes' bénticos, las áreas donde los quistes en reposo se acumulan en los sedimentos, que a menudo determinan dónde ocurren las floraciones, (Brosnahan et al., 2020; Brosnahan et al., 2017).

Existen dos tipos distintos de latencia en los quistes de *A. catenella* y *P. bahamense*. La primera, denominada latencia obligatoria, se refiere a un período de maduración necesario para la germinación del quiste, que ocurre inmediatamente después de su formación. La segunda, conocida como latencia secundaria, es un estado reversible que subyace al ciclo de latencia y puede repetirse muchas veces durante la vida de un quiste. Se ha demostrado que la duración de la latencia secundaria está determinada por la temperatura.

Los factores ambientales como la circulación oceánica, las precipitaciones, los vientos y la estratificación del agua, entre otros, están siendo alterados por el cambio climático y afectan la ecología de los FAN de diversas maneras. Los lechos de quistes en ensenadas costeras poco profundas y de largo tiempo de residencia suelen tener una estacionalidad de temperatura más alta que aquellos en áreas profundas de aguas abiertas.

El enquistamiento puede limitar la intensificación de los florecimientos de las especies que forman quistes, independientemente de los factores como los nutrientes y la luz. La formación de nuevos quistes es importante para la renovación de los lechos y el inicio de futuras floraciones. Debido a su importancia para la ecología de las floraciones, se han buscado descripciones de la formación de nuevos quistes *in situ* durante décadas, pero su observación presenta un desafío considerable.

Como lo explica Gobler, C. (2020) en: *Climate change and harmful algal blooms: Insights and perspective*. Harmful Algae y Wells et al., (2019) en: *Future HAB science: Directions and challenges in a changing climate*. Harmful Algae. Las especies que forman quistes pasan la mayor parte de su vida en los sedimentos como quistes en reposo y solo una pequeña fracción de sus vidas como plancton y los cambios de temperatura activan o no estos ciclos (Brosnahan et al., 2020; Moore et al., 2008).

Las consecuencias de los efectos de la temperatura, son importantes por el pronóstico de florecimientos que puede realizarse para la temporada de floración en *Alexandrium catenella* y *Pyrodinium bahamense* y otras especies formadoras de quistes. La consideración del efecto del calentamiento en los quistes en reposo es especialmente importante porque son de larga vida y soportan casi el rango completo de temperaturas que ocurren en muchos hábitats de floración. Los quistes en reposo también responden al clima de maneras distintas a las etapas del ciclo de vida planctónico (Brosnahan et al., 2020).

Los aumentos en las estratificaciones del agua superficial pueden favorecer una mayor presencia de dinoflagelados y esto también puede estar asociado a las precipitaciones, que son un impulso para la ecología del fitoplancton. Todos los cambios relacionados con la temperatura, la precipitación, la salinidad, la estratificación, la luz, la acidificación de los océanos, los nutrientes y el pastoreo están relacionados con factores influyentes en los

florecimientos algales nocivos. Los cambios de temperatura pueden alterar el momento de desenquistamiento ya que la temperatura juega un papel importante en la germinación del quiste y el estado de reposo de la mayoría de las especies de dinoflagelados, especialmente las formadoras de toxinas. Además, los cambios de temperatura también están relacionados con las concentraciones de toxinas celulares (Gobler et al., 2017; Wang et al., 2017).

## Capítulo 7

### CONCLUSIONES

«Se ve de gráfica manera lo que es axiomático: que la Naturaleza se muestra variadísima y antojadiza en las misteriosas manifestaciones del mundo invisible... y que es preciso investigar mucho *é in situ* para comprender esta parte en extremo interesante de las ciencias naturales»

*Carús Falcón, R. (1903)*

## CONCLUSIONES

1. El catálogo que se presenta en esta memoria incluye información fenológica, un aspecto que no ha sido abordado en ninguno de los catálogos de la región neotropical del Pacífico, la consideración de la ecología y la toxicología de las especies y presenta información sobre su distribución, lo que contribuye a una mejor comprensión de su alcance geográfico.
2. El material recopilado para este catálogo proviene del Pacífico de Guatemala y abarca 10 zonas de muestreo a lo largo de la costa, donde se han identificado un total de 42 especies de dinoflagelados, distribuidas en 14 géneros y 6 órdenes.
3. El análisis de los parámetros físico-químicos revela una concentración de nutrientes en las boyas de muestreo cercanas a la costa. Los desechos antrópicos acumulados en Puerto Quetzal y Puerto San José (boya Estación 3 - Boya Texaco) y los afluentes cercanos a la zona de muestreo también tienen un efecto significativo (Río Achiguate y Río María Linda).
4. Los resultados sugieren la existencia de patrones estacionales en las características físico-químicas del agua. La identificación de estos agrupamientos estacionales es esencial para comprender las fluctuaciones en la composición del agua y puede ser valiosa para diseñar estrategias efectivas de monitoreo y gestión de los recursos hídricos.
5. Nuestros hallazgos subrayan la influencia de los ciclos estacionales y las condiciones hidrometeorológicas en la dinámica ambiental de la región, proporcionando una base sólida para el diseño de estrategias de monitoreo y gestión de los recursos hídricos.
6. Para comprender mejor las razones detrás de las diferencias en la abundancia de especies en cada sitio de muestreo y sus fluctuaciones temporales, es necesario evaluar la presencia de depredadores o competidores o la disponibilidad de sustrato para la especie.
7. Por sus implicaciones para la estructura y función del ecosistema, se debe continuar monitoreando el fitoplancton y evaluando los factores que influyen en las diferencias en la abundancia de especies y su distribución.
8. Los valores de los índices de diversidad de especies para cada mes brindan información valiosa sobre la diversidad de especies en el área estudiada y cómo cambia a lo largo del año. Esta información puede ser útil para comprender mejor la biodiversidad del área y para la toma de decisiones respecto de la conservación y manejo de los ecosistemas marino costeros del Pacífico de Guatemala.
9. Los sitios de muestreo exhiben una notable diversidad de especies, pero se observa una diferencia significativa en la riqueza de especies entre los tres sitios de muestreo, particularmente en los órdenes *Gymnodiniales* y *Gonyaulacales*.
10. Se registraron variaciones considerables en la abundancia relativa de las especies a lo largo de 2021, lo que sugiere una fluctuación mensual significativa en la diversidad de especies con una estrecha relación entre las abundancias de dinoflagelados y los parámetros físicos de la zona estudiada.

11. Durante el año de muestreo, se observó la incidencia del fenómeno de La Niña este factor demuestra que, en la zona del Pacífico de Guatemala, la temperatura media del agua es un factor determinante en la presencia o ausencia de florecimientos algales o episodios de mareas rojas.
12. En Guatemala no se conocen descripciones de las condiciones hidrográficas presentes para eventos de florecimientos algales, esta investigación presenta datos de florecimientos del año 2019 con muestreos de la dársena de Puerto Quetzal, donde *Margalefidinium polykrikoides* y *Pyrodinium bahamense* se identificaron en florecimientos que no tuvieron repercusiones económicas y tampoco en salud pública.
13. En Puerto Quetzal, Pacífico de Guatemala, por ejemplo, las floraciones más importantes se han registrado en época de verano, como se observa en los resultados del mes de marzo de 2021.
14. En el área de estudio, las características topográficas y climáticas locales pueden dar lugar a la formación de zonas de surgencias o al levantamiento de la capa de mezcla, procesos que se han identificado como factores determinantes en la fertilización de la zona costera y la generación de florecimientos algales. Incluso durante los meses en los que no hay aporte de nutrientes continentales debido a las escorrentías por lluvia, los dinoflagelados, en particular, emergen como un grupo dominante que contribuye significativamente a la productividad en la zona cercana a la costa, influenciados por los aportes de los ríos María Linda y Achiguate.
15. La dársena de Puerto Quetzal presenta un bajo recambio de agua, lo que conlleva a constantes florecimientos algales, especialmente en áreas como la boya Entre Morros y el Límite Perimetral de la dársena Puerto Quetzal en la Boya de Recalada.
16. Las especies identificadas en las costas del Pacífico guatemalteco son productoras del síndrome de Intoxicación Paralítica por Consumo de Moluscos (PSP).
17. Durante el periodo comprendido entre 2019 y 2022, se observaron dos especies de dinoflagelados fotosintéticos dominantes y potencialmente tóxicos en las aguas del Pacífico de Guatemala: *Margalefidinium polykrikoides*, conocido por su capacidad ictiotóxica y *Pyrodinium bahamense*, productor de saxitoxina (STX).
18. Se documentó la primera floración cuantitativamente estimada de *Noctiluca scintillans*, una especie heterótrofa y no tóxica. Sin embargo, en abril y mayo de 2022 se produjo un evento crítico relacionado con el síndrome de Intoxicación Paralítica por Consumo de Moluscos (PSP).
19. Las altas concentraciones de toxinas de *P. bahamense* durante el período de La Niña, específicamente entre mayo y julio de 2022 parece inicialmente contradictorio con la literatura revisada pero en la zona del Pacífico guatemalteco coincidieron con la temporada de lluvias en la región además con factores como la Oscilación del Atlántico Norte y la Oscilación Decenal del Pacífico, también influyeron en las condiciones favorables para los florecimientos algales nocivos, agregando complejidad al panorama.
20. Se destaca la importancia crítica del tema de los florecimientos algales nocivos (FAN) y su impacto en la salud humana y el ecosistema marino para Guatemala. A pesar de los registros existentes de especies de microalgas asociadas a síndromes de intoxicación y casos documentados de mortandades de fauna marina y humanos afectados, aún persiste

una falta de precisión en la comprensión de las conexiones entre estos fenómenos. Esto se debe en parte a la detección tardía de los efectos una vez que el FAN ha desaparecido o ha producido sintomatología en humanos.

21. Urge implementar un sistema de respuesta oportuna ante eventos de FAN, con una participación interinstitucional coordinada. Esto implica establecer acciones específicas por institución para homologar y actualizar criterios relacionados con el muestreo de moluscos y agua de mar, con el objetivo de implantar acciones preventivas de manera temprana y prevenir intoxicaciones humanas.
22. En Guatemala, la falta de un programa de divulgación científica dirigido a las comunidades costeras afectadas por estos eventos es evidente. Es imperativo establecer y dar seguimiento a estos programas a través de los centros de salud locales. Además, se necesita establecer monitoreos eficientes y colaborativos entre la academia y las instancias gubernamentales para apoyar la investigación y obtener una comprensión más profunda de los riesgos y consecuencias de los FAN en el país.
23. La confusión en los centros de salud cercanos a las poblaciones afectadas por intoxicaciones de microalgas resalta la necesidad de promover la investigación y la formación de recursos humanos en este campo. El desconocimiento de estos eventos puede tener repercusiones negativas en diversos sectores, desde el turismo hasta la salud pública. Es por ello esencial promover el trabajo colaborativo interinstitucional, involucrando a autoridades gubernamentales, pescadores, acuicultores y la academia, para abordar y comprender los desafíos relacionados con los FAN. Esto implica la creación de programas de investigación nacionales y colaborativos internacionales en la región.



**Bibliografía**

- Abé, T. (1927). Report of the biological survey of Mutsu Bay. 3. Notes on the protozoan fauna of Mutsu Bay. I. Peridinales. *Science Reports of the Tôhoku Imperial University, Sendai, Japan, Ser. 4, Biol.*, 2, 383-438.
- Abe, T. H. (1966). The armoured Dinoflagellata: I. Podolampidae. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 14(2), 129-154.
- Acuerdo Gubernativo Comisión Nacional para la Vigilancia y Control de la Marea Roja Tóxica, 412-91. Diario de Centro América No. 81, t.1756 (16 julio de 1991).
- Al-Kandari, M., Al-Yamani, F., & Al-Rifaie, K. (2009). *Marine phytoplankton atlas of Kuwait's waters*. Kuwait Institute for Scientific Research.
- Almazán-Becerril, A., Aké-Castillo, J. A., García-Mendoza, E., Sánchez-Bravo, Y. A., Escobar-Morales, S., & Valadez-Cruz, F. (2016). *Catálogo de microalgas de Bahía de Todos Santos, Baja California*. CICESE.
- Alonso-Rodríguez, R., Páez-Osuna, F., & Gárate-Lizárraga, I. (2004). *El fitoplancton en la Camaronicultura y Larvicultura: Importancia de un Buen Manejo*. Inst Cienc Mar Limnol-UNAM/CESASIN.
- Alonso-Rodríguez, R. (2004). Hidrología y condiciones ambientales que determinan la proliferación de dinoflagelados causantes de mareas rojas en la bahía de Mazatlán, Sin., México. [Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC].
- Alonso-Rodríguez, R., & Ochoa, J. (2004). Hydrology of winter–spring “red tides” in Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Harmful Algae*, 3(2), 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2003.10.002>
- Alonso-Rodríguez, R., Hernández-Becerril, D. U., & Gárate-Lizárraga, I. (2008). *Catálogo de microalgas de las lagunas costeras de Sinaloa*. Universidad Nacional Autónoma de México, ICMYL-UNAM.
- Alonso-Rodríguez, R., Mendoza-Amezquita, E., Velásquez-López, S. A., Seim, J. A., & Martínez-Rodríguez, V. (2015). Florecimientos algales nocivos producidos por *Pyrodinium bahamense* en Oaxaca, México (2009-2010). *Salud Pública de México*, 57(4), 343-351. <https://doi.org/10.21149/spm.v57i4.7578>
- Alonso-Rodríguez, R. (2020). Curso intersemestral “Fitoplancton, Florecimientos Algales y Ficotoxinas” Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, en la Unidad Académica Mazatlán, UNAM. Diapositiva 2. Tema: Ficotoxinas en organismos acuáticos.
- Amaya, O., Quintanilla, R., Stacy, B. A., Dechraoui Bottein, M.-Y., Flewelling, L., Hardy, R., Dueñas, C., & Ruiz, G. (2018). Eventos de mortalidad de tortugas marinas a gran escala en El Salvador atribuidos a la proliferación paralizante de algas productoras de toxinas de los mariscos. *Frontiers in Marine Science*, 5, 411. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00411>

- Anderson, D., Kulis, D., & Binder, J. (1984). Sexuality and cyst formation in the dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*: cyst yield in batch cultures. *Journal of Phycology*, 20(3), 418-425.
- Anderson, C. R., Siegel, D. A., Brzezinski, M. A., & Guillocheau, N. (2008). Controls on temporal patterns in phytoplankton community structure in the Santa Barbara Channel, California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C4).
- Anderson, D. M., Alpermann, T. J., Cembella, A. D., Collos, Y., Masseret, E., & Montresor, M. (2012). The globally distributed genus *Alexandrium*: multifaceted roles in marine ecosystems and impacts on human health. *Harmful Algae*, 14, 10-35. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.012>
- Anderson, D., Fukuyo, Y., & Matsuoka, K. (2003). Cyst methodologies: Manual on harmful marine microalgae. In *Manual on Harmful Marine Microalgae* (pp. 165-189). UNESCO.
- Anderson, M. P., Davies, C. H., & Eriksen, R. S. (2022). Latitudinal variation, and potential ecological indicator species, in the dinoflagellate genus *Tripos* along 110° E in the south-east Indian Ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 203, 105150.
- AOAC (2000). Método oficial 959.08. Veneno paralizante de mariscos, método biológico. En W. Horwitz (Ed.), *Métodos oficiales de análisis de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales* (pp. 59-61). AOAC Internacional.
- APHA/AWWA/WEF (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- Arévalo-Martínez, R. (1945). *Guatemala*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Tipografía Nacional.
- Azanza, R. V., David, L. T., Borja, R. T., Baula, I. U., & Fukuyo, Y. (2008). An extensive *Cochlodinium* bloom along the western coast of Palawan, Philippines. *Harmful Algae*, 7, 324-330.
- Azanza, R. V., & Baula, I. U. (2005). Fish kills associated with *Cochlodinium* blooms in Palawan, the “last frontier” of the Philippines. *Harmful Algae News*, 29, 13-14.
- Azanza, R. V., & Taylor, F. M. (2001). Are *Pyrodinium* blooms in the Southeast Asian region recurring and spreading? A glimpse of the end of the millennium. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 30(6), 356-364.
- Badylak, S., Philips, E., & Mathews, A. (2014). *Akashiwo sanguinea* (Dinophyceae) blooms in a sub-tropical estuary: An alga for all seasons. *Plankton and Benthos Research*, 9, 147-155. <https://doi.org/10.3800/pbr.9.147>
- Baird, R. B., Eaton, A. D., & Rice, E. W. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23a ed.). American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation. ISBN-13: 978-0875532875

- Balech, E. (1958). Los dinoflagelados y tintinnoideos como indicadores oceanográficos. En *Symposium sobre Plancton* (S. Paulo, Brasil, nov. 1955) (pp. 33-36). Centro Coop. Cient. UNESCO para América Latina.
- Balech, E., & Ferrando, H. (1964). *Fitoplancton marino*. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Balech, E. (1974). El género *Protoperidinium* Bergh, 1881 (*Peridinium* Ehrenberg, 1831, partim). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "B. Rivadavia" e Instituto Nacional de Investigación de las Ciencias Naturales, Hidrobiología*, 4, 1-79.
- Balech, E. (1979). El género *Pyrophacus* Stein (Dinoflagellata). *Physis (Buenos Aires), Sección A*, 38(94), 27-38.
- Balech, E. (1985). A revision of *Pyrodinium bahamense* Plate (Dinoflagellata). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 45, 17-34.
- Balech, E. (1988). *Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Publicación Especial del Instituto Español de Oceanografía Núm. 1.
- Balech, E. (1995). *The genus Alexandrium Halim (Dinoflagellata)*. Sherkin Island Marine Station.
- Band-Schmidt, C. J., Bustillos-Guzmán, J. J., López-Cortés, D. J., Gárate-Lizárraga, I., Núñez-Vázquez, E. J., & Hernández-Sandoval, F. E. (2010). Ecological and physiological studies of *Gymnodinium catenatum* in the Mexican Pacific: A review. *Marine Drugs*, 8(6), 1935-1961.
- Band-Schmidt, C., Duran-Riveroll, L., Bustillos, J., Leyva-Valencia, I., López-Cortés, D., Nuñez-Vazquez, E., Hernández, F., & Ramírez-Rodríguez, D. (2019). Paralytic toxin producing dinoflagellates in Latin America: Ecology and Physiology. *Frontiers in Marine Science*, 6, 42. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00042>
- Band-Schmidt, C., Zumaya-Higuera, M., López-Cortés, D., Leyva-Valencia, I., Quijano-Scheggia, S., & Hernández-Guerrero, C. (2020). Allelopathic effects of *Margalefidinium polykrikoides* and *Gymnodinium impudicum* in the growth of *Gymnodinium catenatum*. *Harmful Algae*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101846>
- Barbera-Sánchez, L., Soler, J. F., Rojas de Astudillo, L., & Chang-Yen, I. (2004). Paralytic shellfish poisoning (PSP) in Margarita Island, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 52, 89-98.
- Bardales-Espinoza, W. A., Castañón, C., & Herrera-Herrera, J. L. (2019). Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala* (pp. 20-39). Editorial Universitaria UVG.
- Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2006). *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology*. CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN: 0-8493-1467-4

- Barraza, J. E., Armero–Guardado, J. A., & Valencia, Z. M. (2004). The red tide event in El Salvador, August 2001 – January 2002. *Revista de Biología Tropical*, 52(1), 1–4.
- Basu, S., & Mackey, K. R. (2018). Phytoplankton as Key Mediators of the Biological Carbon Pump: Their Responses to a Changing Climate. *Sustainability*, 10, 869-886.
- Bates, S., Bird, C., Boyd, R., De Freitas, A., Falk, M., Foxall, R., Hanic, L., Jamieson, W., McCulloch, A., Odense, P., Quilliam, M., Sim, P., Thibault, P., Walter, J., & Wright, J. (1988). Investigations on the source of domoic acid responsible for the outbreak of amnesic shellfish poisoning (ASP) in eastern Prince Edward Island. *Atl. Res. Lab. Tech. Rep.* 57, NRCC 29086.
- Berdalet, E., Fleming, L. E., Gowen, R., Davidson, K., Hess, P., Backer, L. C., & Enevoldsen, H. (2016). Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: challenges and opportunities in the 21st century. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(1), 61-91.
- Blackburn, S., Hallegraeaf, G., & Bolch, C. (1989). Vegetative reproduction and sexual life cycle of the toxic dinoflagellate *gymnodinium catenatum* from tasmanis, australia. *Journal Of Phycology*, 25(3), 577-590. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1989.tb00264>
- Block, W. M., & Brennan, L. A. (1993). The habitat concept in ornithology: Theory and applications. En D. M. Power (Ed.), *Current Ornithology* (pp. 35-91). Plenum Press.
- Brooks, R., Guillou, L., Marano, A., Neuhauser, S., Sullivan, B., & Karsten, U. et al. (2016). Zoosporic parasites infecting marine diatoms – A black box that needs to be opened. *Fungal Ecology*, 19, 59-76. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.09.002>
- Brosnahan, M. L., Ralston, D. K., Fischer, A. D., Solow, A. R., & Anderson, D. M. (2017). Terminación de la floración del dinoflagelado tóxico *Alexandrium catenella* : comportamiento de migración vertical, infiltración de sedimentos y producción de quistes bentónicos. *Limnología y Oceanografía*, 62, 2829-2849. <https://doi.org/10.1002/lno.10664>
- Brosnahan, M. L., Fischer, A. D., López, C. B., Moore, S. K., & Anderson, D. M. (2020). Dinoflagelados formadores de quistes en un clima cálido. *Algas nocivas*, 91, artículo 101728. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101728>
- Burke, L., Kura, Y., Kasem, K., Revenga, C., Spalding, M., & McAllister, D. (2001). *Coastal Ecosystems*. World Resource Institute.
- Burkholder, P., Glibert, & Skelton, H. (2008). Mixotrophy, a major mode of nutrition for harmful algal species in eutrophic waters. *Harmful Algae*, 8(1), 77-93.
- Cabrera, A. A. (2011). *Distribución y selección de hábitat de cetáceos en el Pacífico este de Guatemala* (Informe de Tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.
- Cachon, J., & Cachon, M. (1967). Contribution a l'etude des Noctilucidae Saville-Kent, I. Les Kofoidininae Cachon J. et M. Evolution, morphologique et systematique. *Protistológica*, 3, 427–444.

- Cachon, J., & Cachon, M. (1969). Contribution a l'etude des Noctilucidae Saville-Kent. Evolución, morfológica, citológica, sistemática. II. Les Leptodiscinae Cachon J. et M. *Protistologica*, 5, 11–33.
- Cachon, J. (1987). Parasitic dinoflagellates. En F. J. R. Taylor (Ed.), *The biology of dinoflagellates* (pp. 571-610). Blackwell.
- Carreto, J. I. (1985). A new ketocarotenoid from the heterotrophic dinoflagellate *Protoperdinium depressum* (Bayley) Balech, 1974. *Journal of Plankton Research*, 7(3), 421-423.
- Carrillo-Ovalle, L. C., Reyes, A. S., Martínez, L. P., & Mencos, J. M. (2003). *Evaluación del recurso pesquero y oceanografía del Atlántico guatemalteco, durante el año 2000*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA).
- Carrillo-Ovalle, H., Ruiz-Fernández, A., Alonso-Hernández, C., Amaya-Monterrosa, O., Quintanilla, R., & Cuellar-Martínez, T. et al. (2007). Addressing the Problem of Harmful Algal Blooms in Latin America and the Caribbean- A Regional Network for Early Warning and Response. *Frontiers in Marine Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00409>
- Carrillo-Ovalle, H. L. (2009). *Fase I: Estudio de los florecimientos algales (mareas rojas), en el Pacífico de Guatemala* (Fodecyt No. 31-2007). Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Carty, S. (2003). Dinoflagellates. En J. D. Wehr & R. G. Sheath (Eds.), *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification* (pp. 685-714). Academic Press.
- Choudhury, A., & Pal, R. (2014). *An Introduction to Phytoplanktons: Diversity and Ecology*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-81-322-1838-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-81-322-1838-8_2)
- Chust, G., Allen, J. I., Bopp, L., Schrum, C., Holt, J., Tsiaras, K., ... & Irigoien, X. (2014). Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biology*, 20(7), 2124-2139.
- Clarke, K. J., & Pennick, N. C. (1972). Flagellar scales in *Oxyrrhis marina* Dujardin. *British Phycological Journal*, 7(3), 357-360.
- Clement, T., Bhattacharya, D., & Dhanasekaran, M. (2016). Evaluating the neurotoxic effects of Deepwater Horizon oil spill residues trapped along Alabama's beaches. *Life Sciences*, 155, 161-166.
- Cohen-Fernandez, E. J., Meave Del Castillo, E., Salgado Ugarte, I. H., & Pedroche, F. F. (2006). Contribution of external morphology in solving a species complex: The case of *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum gracile* and *Prorocentrum sigmoides* (Dinoflagellata) from the Mexican Pacific Coast. *Phycological Research*, 54(4), 330-340.
- Colwell, R. K. (2013). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. Persistent URL [purl.oclc.org/estimates](http://purl.oclc.org/estimates).

- Comisión del Codex Alimentarius. (2017). *Criterios para la aprobación de métodos biológicos utilizados para la detección de productos químicos de interés*. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias, Tema 5 del programa, CX/MAS 17/38/5, Comité del Codex sobre Métodos de Análisis y Toma de Muestras, 38. a reunión, Budapest (Hungría), 8-12 de mayo de 2017. Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Mundial de la Salud. 12p.
- Comisión Portuaria Nacional. (1997). *Boletín informativo meteorológico*. Empresa Portuaria Quetzal –EPQ-. Puerto Quetzal: Guatemala.
- Comisión Portuaria Nacional. (2017). *Empresa Portuaria Quetzal* [en línea]. Recuperado septiembre 30, 2022, de <https://cpn.gob.gt/sistema-portuario/empresa-portuaria-quetzal/>
- CONAP & MARN. (2009). *Biodiversidad Marina de Guatemala: Análisis de vacíos y estrategias para su conservación*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, The Nature Conservancy. 113 pp.
- Contreras, F., Castañeda, O., Torres-Alvarado, R., & Gutiérrez, F. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista de Biología Tropical*, pp. 417-425.
- Contreras, H., Oyaneder-Terrazas, J., & García, C. (2017). Prevalence, variability and bioconcentration of saxitoxin-group in different marine species present in the food chain. *Toxins*, 9(6), p. 190.
- Cortés-Altamirano, R., Muñoz-Cabrera, L., & Sotomayor-Navarro, O. (1993). Envenenamiento paralítico por mariscos (PSP), causado por el dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* en la costa suroeste de México. In *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* (Vol. 20, No. 1, pp. 43-54).
- Cortés-Altamirano, R., & Nuñez-Pasten, A. (2000). Distribución y abundancia anual de *Ceratium dens* (Peridinales: Ceratiaceae) en el golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, 48(2-3), 305-311.
- Cortés-Altamirano, R., & Sierra-Beltrán, A. (2003). Morphology and taxonomy of *Prorocentrum mexicanum* and reinstatement of *Prorocentrum rhathymum* (Dinophyceae). *J. Phycol.*, 39, 221-225.
- Costas, E., & Goyanes, J. (1988). Comparative analysis of dinoflagellate chromosomes and nuclei: A phylogenetic approach. *Genet. (Life Sci. Adv.)*, 7, 15-18.
- Cuéllar-Martínez, T. del C. (2007). *Abundancia y distribución de dinoflagelados Dinophyceae desmophyceae y diatomeas Bacillariophyceae con énfasis en las especies nocivas en tres sitios de la zona costera de El Salvador* (Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología. Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Cullen, J., Franks, P., Karl, D., & Longhurst, A. (2002). Physical influences on marine ecosystem dynamics. In: A. R. Robinson, J. J. McCarthy, & B. J. Rothschild (eds.), *The Sea*. Vol. 12: Biological-Physical Interactions in the Ocean. New York: John Wiley & Sons, pp. 297–335.

- Davidson, K., Gowen, R. J., Harrison, P. J., Fleming, L. E., Hoagland, P., & Moschonas, G. (2014). Anthropogenic nutrients and harmful algae in coastal waters. *Journal of Environmental Management*, 146, 206-216.
- Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología [INSIVUMEH] (2021). *Perspectiva climática*. Agosto 2021. <https://insivumeh.gob.gt/?p=13162>
- Dodge, J. D. (1955). Chromosome structure in the dinoflagellates and the problem of the mesocaryotic cell. *2nd Int. Conf. on Protozool. Exc. Med. Inter. Congr. Ser.*, 91, 3-39.
- Durán-Riveroll, L. M., & Cembella, A. D. (2017). Guanidinium toxins and their interactions with voltage-gated sodium ion channels. *Marine drugs*, 15(10), 303.
- Durán-Riveroll, L. M., Band-Schmidt, C. J., Okolodkov, Y. B., & Almazán-Becerril, A. (2019). Florecimientos algales nocivos en las costas de México: estado actual y perspectivas. In A. V. Botello, S. Villanueva, & J. Gutiérrez (Coords.), *Costas y mares mexicanos: Contaminación, impactos, vulnerabilidad y cambio climático* (pp. 277-312). Ciudad de México, México: UNAM, UAC. 652 p. doi:10.26359/epomex.0419
- Dybas, C. (2018). Two decades of hurricanes change coastal ecosystems: increase algae blooms, fish kills, dead zones. NSF Discoveries.
- Edler, L., & Elbrächter, M. (2010). El método de Utermöhl para el análisis cuantitativo de fitoplancton. In B. Karlson, C. Cusack, & E. Bresnan (Eds.), *Métodos microscópicos y moleculares para análisis cuantitativo de fitoplancton* (pp. 13-20). Manuales y guías, 55. París, Francia: Comisión Oceanográfica Intergubernamental, UNESCO.
- Edwards, M., Seuront, L., & Leterme, S. (2006). Differential contribution of diatoms and dinoflagellates to phytoplankton biomass in the NE Atlantic Ocean and the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 312, 57-65. doi:10.3354/meps312057.
- Ehrhardt, N. M., & Fitchett, M. D. (2006). On the seasonal dynamic characteristics of the sailfish, *Istiophorus platypterus*, in the eastern Pacific off Central America. *Bulletin of Marine Science*, 79(3), 589-606.
- Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436, 686-688.
- Espinoza, J., Amaya, O., & Quintanilla, R. (2013). *Atlas de fitoplancton marino*.
- Esqueda-Lara, K., & Hernández-Becerril, D. U. (2010). Dinoflagelados microplanctónicos marinos del Pacífico central de México (Isla Isabel, Nayarit y costas de Jalisco y Colima). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Evitt, W. R. (1985). *Sporopollenin dinoflagellate cysts: Their morphology and interpretation*. Am. Assoc. Stratigr. Palynol. Found. Austin, Texas.
- Fasullo, J., Otto-Bliesner, B., & Stevenson, S. (2018). ENSO's changing influence on temperature, precipitation and wildfire in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 45, 9216-9225.

- Fernández-Álamo, M. A., & Färber-Lorda, J. (2006). Zooplankton and the oceanography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69(2-4), 318-359.
- Ferrante, M., Conti, G. O., Fiore, M., Rapisarda, V., & Ledda, C. (2013). Harmful Algal Blooms in the Mediterranean Sea: Effects on Human Health. *EuroMediterranean Biomedical Journal*, 8.
- Fiedler, P. C., Philbrick, V., & Chavez, F. P. (1991). Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific. *Limnology and Oceanography*, 36, 1834–1850.
- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). *Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components*. *Science*, 281, 237-240.
- Figuroa, R., Dapena, C., Bravo, I., & Cuadrado, A. (2015). The Hidden Sexuality of *Alexandrium minutum*: An Example of Overlooked Sex in Dinoflagellates. *PLOS ONE*, 10(11), e0142667. doi: 10.1371/journal.pone.0142667.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. E., & Niem, V. H. (1995). Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico centrooriental. vol. 1. Plantas e invertebrados. Roma, Italia: FAO. doi:10.1515/9783110881417.1.
- Flynn, K. J., Mitra, A., Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2018). Mixotrophy in harmful algal blooms: by whom, on whom, when, why, and what next. In *Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms* (pp. 113-132). Springer, Cham.
- Freer, E., & Vargas-Montero, M. (2003). Floraciones algales nocivas en la costa pacífica de Costa Rica: toxicología y sus efectos en el ecosistema y salud pública. *Acta Médica Costarricense*, 45(4), 158-164.
- Fukuyo, Y., Taylor, F. J. R., Hallegraeff, G. M., & Maclean, J. L. (1989, May). Morphological characteristics of dinoflagellates. In *Biology, Epidemiology and Management of Pyrodinium Red Tides*. International Center for Living Aquatic Resources Management Conference Proceedings (Vol. 21, pp. 201-205).
- Gárate-Lizárraga, I., Hernández-Orozco, M. L., Band-Schmidt, C. J., & Serrano-Casillas, G. (2001). Red tides along the coasts of Baja California Sur, México (1984 to 2001). *Oceanides*, 16, 127-134.
- Gárate-Lizárraga, I., Muñetón-Gómez, M. S., & Maldonado-López, V. M. L. (2006). Florecimiento del dinoflagelado *Gonyaulax polygramma* frente a la Isla Espiritu Santo, Golfo de California, México. *Revista de Investigaciones Marinas*, 27(1), 31-39.
- Gárate-Lizárraga, I., Muñetón-Gómez, M. S., Pérez-Cruz, B., & Díaz-Ortíz, J. A. (2014). Florecimiento de *Gonyaulax spinifera* (Dinophyceae: Gonyaulacales) en la laguna Ensenada de La Paz, Golfo de California. *CICIMAR Oceanides*, 29(1), 11–18. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v29i1.130>
- García-Moreiras, I., Oliveira, A., Santos, A., Oliveira, P., & Amorim, A. (2021). Factores ambientales que afectan la distribución espacial de quistes de dinoflagelados en sedimentos superficiales frente a Aveiro-Figueira da Foz (Margen Atlántico Ibérico). *Fronteras en las Ciencias Marinas*, 8, artículo 699483. doi:10.3389/fmars.2021.699483

- García-Mendoza, E., Olivos-Ortiz, A., Quijano-Scheggia, S. I., Núñez-Vázquez, E. J., & Pérez-Morales, A. (2016). FAN: Conceptos básicos, definiciones, impactos negativos y un poco de historia. In E. García-Mendoza, S. I. Quijano-Scheggia, A. Olivos-Ortiz, & E. J. Núñez-Vázquez (Eds.), *Florecimientos Algas Nocivos en México* (pp. 10-19). RedFAN-CICESE, Ensenada, B.C. México.
- García-Mendoza, E., Irola-Sansores, E. D., Delgado-Pech, B., Núñez-Vázquez, E. J., Olivos-Ortiz, A., & Almazán-Becerril, A. (2018). Population dynamics of benthic-epiphytic dinoflagellates on two macroalgae from coral reef systems of the northern Mexican Caribbean. *Frontiers in Marine Science*, 5, 487.
- García-Pérez, J., Carrillo-Ovalle, L., Blanda, E., & Vargas-Montero, M. (2018). First report of the genus *Gambierdiscus* from the Atlantic coast of Guatemala. *Harmful Algae News*, 61, 9-10.
- García-Pérez, J., García-López, A., Carrillo-Ovalle, L., Solares-Cortez, N., & López-Bran, R. (2020). Florecimiento algal nocivo por *Pyrodinium bahamense* en diciembre 2018 en la Costa del Pacífico de Guatemala. *Revista de Ciencia Tecnología y Salud*, 7(1). doi: <http://dx.doi.org/10.36829/63CTS.v7i1.810>.
- Geider, R. J., MacIntyre, H. L., & Kana, T. M. (1997). Dynamic model of phytoplankton growth and acclimation: Responses of the balanced growth rate and the chlorophyll a: Carbon ratio to light, nutrient-limitation and temperature. *Marine Ecology Progress Series*, 148, 187–200.
- Glibert, P., & Burkholder, J. (2012). Recent insights about relationships between nutrient availability, forms, and stoichiometry, and the distribution, ecophysiology, and food web effects of pelagic and benthic *Prorocentrum* species. *Harmful Algae*, 14. doi: 10.1016/j.hal.2011.10.023.
- Glibert, P. M., & Burkholder, J. M. (2018). Causas de la proliferación de algas nocivas. In S. E. Shumway, J. M. Burkholder, & S. L. Morton (Eds.), *Floraciones de algas nocivas: una referencia documental del compendio* (1st ed., pp. 1-38). John Wiley & Sons Ltd.
- Gobler, C. J., Doherty, O. M., Hattenrath-Lehmann, T. K., Griffith, A. W., Kang, Y., & Litaker, R. W. (2017). *Ocean warming since 1982 has expanded the niche of toxic algal blooms in the North Atlantic and North Pacific oceans*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(19), 4975-4980.
- Gobler, C. (2020). Climate change and harmful algal blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101731>
- Gomes, H. D. R., Goes, J. I., Matondkar, S. G. P., Buskey, E. J., Basu, S., Parab, S., & Thoppil, P. (2014). Massive outbreaks of *Noctiluca scintillans* blooms in the Arabian Sea due to spread of hypoxia. *Nature Communications*, 5, 4862. <https://doi.org/10.1038/ncomms5862>
- Gómez, F. (2003). Checklist of Mediterranean free-living dinoflagellates. *Journal Name*, Volume(Issue), Page numbers.
- Gómez, F., Moreira, D., & López-García, P. (2011). Avances en el estudio de los dinoflagelados (Dinophyceae) con la filogenia molecular. *Hidrobiológica*, 21(3), 343-364.

- Gómez, F. (2012). A quantitative review of the lifestyle, habitat and trophic diversity of dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata). *Systematics and Biodiversity*, 10(3), 267-275. <https://doi.org/10.1080/14772000.2012.721021>
- Gómez-Pérez, F. (2015). *Diversidad y biogeografía de dinoflagelados marinos: Notas en la taxonomía de algunos de los grupos menos conocidos* (PhD thesis). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas.
- Gómez, F., Richlen, M., & Anderson, D. (2017). Molecular characterization and morphology of *Cochlodinium strangulatum*, the type species of *Cochlodinium*, and *Margalefidinium* gen. nov. for *C. polykrikoides* and allied species (Gymnodiniales, Dinophyceae). *Harmful Algae*, 63, 32-44. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2016.10.008>
- Gómez, F. (2021). Speciation and infrageneric classification in the planktonic dinoflagellate *Triplos* (Gonyaulacales, Dinophyceae). *ScienceOpen Preprints*. <https://doi.org/10.14293/S2199-1006.1.SOR-PPWONUQ.v1>
- Góngora González, D. T. (2003). *Estudio taxonómico de Peridiniales (Dinophyceae): relación entre los estadios quístico y vegetativo* [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR)].
- Graham, H. W. (1942). *Studies in the morphology, taxonomy and ecology of the Peridiniales*. Scientific results of cruise VII of the Carnegie during 1928–1929 under command of Captain J. P. Ault. Carnegie Institution of Washington, Publication 542. Washington, D.C. <https://archive.org/details/studiesinmorphol00carn>
- Graham, L. E., & Wilcox, L. W. (2000). *Algae*. Prentice Hall.
- Granéli, E., & Turner, J. (2006). Una introducción a las algas nocivas. In E. Granéli & J. T. Turner (Eds.), *Ecología de algas nocivas* (pp. 1-23). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-32210-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32210-8_1)
- Gribble, K. E., Nolan, G., & Anderson, D. M. (2007). Biodiversity, biogeography and potential trophic impact of *Protoperidinium* spp. (Dinophyceae) off the southwestern coast of Ireland. *Journal of Plankton Research*, 29(11), 931-947.
- Grindley, J. R., & Taylor, F. J. R. (1962). Red water and mass-mortality of fish near Cape Town. *Nature*, 195(4848), 1324.
- Guerra-Martínez, S. L., & Lara-Villa, M. A. (1996). "Florecimiento" de *Ceratium furca* (Peridiniales: Ceratiaceae) en un ambiente salobre: Laguna de Sontecomapan, México. *Revista de Biología Tropical*, 44(1), 23-30.
- Guiry, M. D. (2013). Gymnodiniales. In M. D. Guiry & G. M. Guiry (Eds.), *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Recuperado de <http://marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=109392>
- Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2018). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Recuperado el 19 septiembre, 2022, de <http://www.algaebase.org>
- Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2024). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org/>

- Hallegraeff, G. (1993). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, 32(2), 79-99. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-32-2-79.1>
- Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M., & Cembella, A. D. (Eds.). (2003). *Manual sobre microalgas marinas nocivas*. Monografías sobre Metodología Oceanográfica, 11. UNESCO.
- Hallegraeff, M., Blackburn, S., Doblin, D., & Bolch, J. (2012). Global toxicology, ecophysiology and population relationships of the chain-forming PST dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. *Harmful Algae*, 14, 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.018>
- Hallegraeff, G., Eriksen, R., Davies, C., Slotwinski, A., McEnulty, F., Coman, F., Uribe-Palomino, J., Tonks, M., & Richardson, A. (2020). The marine planktonic dinoflagellate *Tripos*: 60 years of species-level distributions in Australian waters. *Australian Systematic Botany*, 33(4), 392-411. <https://doi.org/10.1071/SB19043>
- Hallegraeff, G., Anderson, D., Belin, C., et al. (2021). El aumento global percibido en la proliferación de algas se puede atribuir al seguimiento intensificado y a los impactos de la floración emergente. *Communications Earth & Environment*, 2, 117. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00178-8>
- Hansen, G., & Moestrup, Ø. (2000). In Daugbjerg et al. (Eds.), p. 308, figs. 2f-g; Balech (1988), p. 20, lám. 1, figs 1-2 (como *G. splendens*); Steidinger & Tangen (1997), p. 451, lám. 19.
- Happach-Kasan, C. (1982). Studies on the construction of theca of *Ceratium cornutum*. *Archiv für Protistenkunde*, 125, 181-207.
- Hasle, G. R. (1978). Diatoms. In A. Sournia (Ed.), *Phytoplankton manual* (pp. 136-142). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Hattenrath-Lehmann, T. K., Marcoval, M. A., Middlesdorf, H., Goleski, J. A., Wang, Z., Haynes, B., ... & Gobler, C. J. (2015). Nitrogenous nutrients promote the growth and toxicity of *Dinophysis acuminata* during estuarine bloom events. *PLoS ONE*, 10(4), e0124148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124148>
- Heisler, J. (2008). Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae*, 8, 3-13. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.08.002>
- Hernández-Becerril, D. U., Cortés Altamirano, R., & Alonso, R. R. (2000). The dinoflagellate genus *Prorocentrum* along the coasts of the Mexican Pacific. *Hydrobiologia*, 418, 111-121.
- Hernández-Becerril, D. U., Barón-Campis, S. A., Ceballos-Corona, J. G. A., Alonso-Rodríguez, R., Rincones-Reyes, K. M., Becerra-Reynoso, R. T., & Arce-Rocha, G. (2021). *Catálogo de fitoplancton del Pacífico central mexicano, Cruceros "Marea R" (2009-2019)*. B/O "El Puma", Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hernández-Becerril, D. U., Pichardo-Velarde, J. G., Alonso-Rodríguez, R., Maciel-Baltazar, E., Morquecho, L., Esqueda-Lara, K., ... & Quiroz-González, N. (2023). Diversity and distribution of species of the planktonic dinoflagellate genus *Alexandrium* (Dinophyta)

- from the tropical and subtropical Mexican Pacific Ocean. *Botanica Marina*, 66(6), 539-557. <https://doi.org/10.1515/bot-2023-0022>
- Hinder, S., Hays, G., Edwards, M., Roberts, E., Walne, A., & Gravenor, M. (2012). Changes in marine dinoflagellate and diatom abundance under climate change. *Nature Climate Change*, 2(4), 271-275. <https://doi.org/10.1038/nclimate1388>
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center.
- Hoppenrath, M., Elbrächter, M., & Drebes, G. (2009). *Marine phytoplankton. Selected microphytoplankton from the North Sea around Helgoland and Sylt*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.10.003>
- Hoppenrath, M., Chomérat, N., & Horiguchi, T. (2014). *Dinoflagelados bentónicos marinos: Revelando su biodiversidad mundial*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nagele u. Obermiller).
- Hoppenrath, M. (2017). Dinoflagellate taxonomy — A review and proposal of a revised classification. *Marine Biodiversity*, 47, 381–403. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0471-8>
- Hoppenrath, M. (2022). Kofoid system. Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung. <https://www.dinophyta.org/morphology-of-dinoflagellates/kofoid-tabulation/>
- Huang, P., Xie, S., Hu, K., Huang, G., & Huang, R. (2013). Patterns of the seasonal response of tropical rainfall to global temperature. *Nature Geoscience*, 6, 357–361. <https://doi.org/10.1038/ngeo1768>
- ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). (2022). *Resumen Meteorológico 2021*. Resultados del Sistema Meteorológico del ICC. Guatemala. 57 p.
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología). (2022). Sección de hidrología. Recuperado de <https://insivumeh.gob.gt/?p=45289>
- Islabão, C. A., & Odebrecht, C. (2011). Dinoflagelados (Peridiniales, Prorocentrales) do micróplâncton na plataforma continental e talude do extremo sul do Brasil (inverno 2005, verão 2007). *Biota Neotropica*, 11, 153-166.
- Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F. C., & Wright, S. W. (1995). *Phytoplankton pigments in oceanography*. SCOR-UNESCO. París. 660 pp.
- Jeong, H., Yoo, Y., Seong, K., Kim, J., Park, J., Kim, S., Lee, S., Ha, J., & Yih, W. (2005). Feeding by the mixotrophic red-tide dinoflagellate *Gonyaulax polygramma*: Mechanisms, prey species, effects of prey concentration, and grazing impact. *Aquatic Microbial Ecology*, 38, 249-257. <https://doi.org/10.3354/ame038249>
- Ji, X., Han, X., Zheng, L., Yang, B., Yu, Z., & Zou, J. (2011). Allelopathic interactions between *Prorocentrum micans* and *Skeletonema costatum* or *Karenia mikimotoi* in laboratory cultures. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 29(4), 840-848.
- Joyce, L. B. (2004). Dinoflagellate cysts in recent marine sediments from Scapa Flow, Orkney, Scotland. *Botanica Marina*, 47, 173–183.

- Karlson, B., Godhe, A., Cusack, C., & Bresnan, E. (2010). *Microscopic and molecular methods of quantitative phytoplankton analysis*. París, Francia: Intergovernmental Oceanographic Commission Manuals, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Katano, I., Negishi, J. N., Minagawa, T., Doi, H., Kawaguchi, Y., & Kayaba, Y. (2009). Longitudinal macroinvertebrate organization over contrasting discontinuities: Effects of a dam and a tributary. *Journal of the North American Benthological Society*, 28(2), 331-351.
- Klais, R., Tamminen, T., Kremp, A., Spilling, K., & Olli, K. (2011). Decadal-scale changes of dinoflagellates and diatoms in the anomalous Baltic Sea Spring bloom. *PLoS ONE*, 6(6), 21-56. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021567>
- Kormas, K., Garametsi, V., & Nicolaidou, A. (2001). Size-fractionated phytoplankton chlorophyll in an Eastern Mediterranean coastal system (Maliakos Gulf, Greece). *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 56, 125–133.
- Kremp, A., & Heiskanen, A. (1999). Sexuality and cyst formation of the spring-bloom dinoflagellate *Scrippsiella hangoei* in the coastal northern Baltic Sea. *Marine Biology*, 134, 771–777.
- Kremp, A., & Parrow, M. (2006). Evidence for asexual resting cysts in the life cycle of the marine peridinioid dinoflagellate, *Scrippsiella hangoei*. *Journal of Phycology*, 42, 400–409.
- Kudella, R., Dierssen, H., Ryan, J., Scholin, C., Johnson, K., & Sullivan, J. (2005). Coastal ocean physics and red tides: An example from Monterey Bay, California. *Oceanography*, 18(2), 246-255. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.58>
- Kurtz, J. C., Jackson, L. E., & Fisher, W. S. (2001). Strategies for evaluating indicators based on guidelines from the Environmental Protection Agency's Office of Research and Development. *Ecological Indicators*, 1(1), 49-60. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00004-8](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00004-8)
- La Barre, S., Bates, S. S., & Quilliam, M. A. (2014). Domoic acid. In *Outstanding marine molecules* (pp. 189-216).
- Lalli, C., & Parsons, T. (1997). *Biological Oceanography: An Introduction* (Second ed., pp. 16-38). ISBN 9780750633840. <https://doi.org/10.1016/B978-075063384-0/50058-X>
- Lavaniegos, B. E. (2014). Crustáceos planctónicos como indicadores de variabilidad climática y corrientes marinas. En Z. González, C. A. Vallarino, J. C. Pérez, & A. M. Low (Eds.), *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 147-170). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Lee, R. (2008). Dinophyta. En *Phycology* (pp. 262-309). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812897.011>
- Lee, J., An, S., Chung, H., & Shah, M. (2014). New records of genus *Tripos* (Dinophyceae) around Jeju Island, Korea. *Journal of Ecology and Environment*, 37(4). <https://doi.org/10.5141/ecoenv.2014.031>

- Leiva, A. V. (2008). Eventos de marea roja ocurridos en el océano Pacífico de Guatemala (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- León-Muñoz, J., Urbina, M. A., Garreaud, R., & Iriarte, J. L. (2018). Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Scientific Reports*, 8(1), 1-10.
- Li, Z., Matsuoka, K., & Shin, H. H. (2020). Revision of the life cycle of the harmful dinoflagellate *Margalefidinium polykrikoides* (Gymnodiniales, Dinophyceae) based on isolates from Korean coastal waters. *Journal of Applied Phycology*, 32, 1863–1873. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02125-0>
- Litchman, E., & Klausmeier, C. A. (2008). Community ecology of phytoplankton: Traits based approach. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 615-639. <http://www.jstor.org/stable/30245179>
- Loeblich III, A., & Plank, J. (2008). Obra Original Nascimento. *Res.*, 1(2), 113–120, 1979. S. M. et al. *Harmful Algae News*, 37, 1-4.
- López-Cortés, D. J., Núñez Vázquez, E. J., Dorantes-Aranda, J. J., Band-Schmidt, C. J., Hernández-Sandoval, F. E., Bustillos-Guzmán, J. J., Leyva-Valencia, I., & Fernández-Herrera, L. J. (2019). The state of knowledge of harmful algal blooms of *Margalefidinium polykrikoides* (a.k.a. *Cochlodinium polykrikoides*) in Latin America. *Frontiers in Marine Science*, 6, 463.
- Lundholm, N., Moestrup, Ø., Kotaki, Y., Hoef-Emden, K., Scholin, C., & Miller, P. (2006). Inter- and intraspecific variation of the *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex (Bacillariophyceae) illustrated by rRNA probes, morphological data, and phylogenetic analyses. *Journal of Phycology*, 42(2), 464-481.
- Maciel-Baltazar, E. (2015). Dinoflagelados (Dinoflagellata) tóxicos de la costa de Chiapas, México, Pacífico centro oriental. *Cuadernos de Investigación UNED*, 7(1), 39-48.
- Mallin, M., & Corbett, C. (2006). How hurricane attributes determine the extent of environmental effects: Multiple hurricanes and different coastal systems. *Estuaries and Coasts*, 29, 1046–1061.
- Mankin, J. S., Simpson, I., Hoell, A., Fu, R., Lisonbee, J., Sheffield, A., & Barrie, D. (2021). *NOAA drought task force report on the 2020–2021 southwestern US drought*.
- Marasigan, A. N., Sato, S., Fukuyo, Y., & Kodama, M. (2001). Accumulation of a high level of diarrhetic shellfish toxins in the green mussel *Perna viridis* during a bloom of *Dinophysis caudata* and *Dinophysis miles* in Sapián Bay, Panay Island, the Philippines. *Fisheries Science*, 67(5), 994-996.
- Mardones, J. I., Fuenzalida, G., Zenteno, K., Alves-de-Souza, C., Astuya, A., & Dorantes-Aranda, J. J. (2019). Salinity-growth response and ichthyotoxic potency of the Chilean *Pseudochattonella verruculosa*. *Frontiers in Marine Science*, 6, 24.
- Margalef, R. (1978). Formas de vida del fitoplancton como alternativas de supervivencia en un ambiente inestable. *Acta Oceanológica*, 1(4), 493-509.

- Meave del Castillo, M. E., & Zamudio-Resendiz, M. E. (2009). *Atlas de dinoflagelados marinos del Pacífico mexicano* en dinoflagelados y diatomeas del Pacífico tropical mexicano. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. DJ022. Ciudad de México, México.
- Meave, M. E., Zamudio-Reséndiz, M. E., Castillo-Rivera, M. A., Gutiérrez-Mendieta, F. J., Varona-Cordero, F., & Hernández-Cárdenas, G. (2020). Co-occurrence of two toxic dinoflagellates in Acapulco Bay, Gro., México: An opportunity to quantify their biology and ecology. *Acta Botánica Mexicana*, 127. <https://doi.org/10.21289/abm127.2020.1559>
- Merino-Virgilio, F. del C., Okolodkov, Y. B., Aguilar-Trujillo, A. C., & Herrera-Silveira, J. A. (2013). Phytoplankton of the northern coastal and shelf waters of the Yucatan Peninsula, southeastern Gulf of Mexico, Mexico. *Check List*, 9(4), 771-779.
- Moestrup, Ø. (2009). *Taxonomic Reference List of Harmful Micro Algae*. IOC-UNESCO. Retrieved from: [www.marinespecies.org/hab](http://www.marinespecies.org/hab)
- Moore, S. K., Trainer, V. L., Mantua, N. J., Parker, M. S., Laws, E. A., Backer, L. C., & Fleming, L. E. (2008). Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. *Environmental Health*, 7(Suppl 2), T4. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-7-S2-S4>
- Morales, L. (2014). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión del municipio de San José, Escuintla* (Licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Morales-Pulido, J. M., & Aké-Castillo, J. A. (2019). *Coscinodiscus* y *Coscinodiscopsis* (Bacillariophyceae) del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Golfo de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90. <https://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2790>
- Moreira González, A., Betancourt, C., Toledo, L., Barcia, S., & Comas, A. (2013). Notas acerca del fitoplancton de la Laguna Guanaroca, Cienfuegos, Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 33(1), 39-45.
- Morquecho-Escamilla, M. de L. (1996). *Fitoplancton tóxico y actividad de ficotoxinas en la Almeja Catarina *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835) en Bahía Concepción, Golfo de California* (Tesis Doctoral). Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, Baja California Sur, México.
- Morrill, J., & Loeblich III, A. R. (1981). A survey for body scales in dinoflagellates and a revision of *Cachonina* and *Heterocapsa* (Pyrrophyta). *Journal of Plankton Research*, 3(1), 53-65.
- Myung-Soo Han, Pengbin Wang, Jin Ho Kim, Soo-Yeon Cho, Bum Soo Park, Joo-Hwan Kim, Toshiya Katano, & Baik-Ho Kim. (2016). Morphological and molecular phylogenetic position of *Prorocentrum micans* sensu stricto and description of *Prorocentrum koreanum* sp. nov. from southern coastal waters in Korea and Japan. *Protist*, 167(1), 32-50. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2015.12.001>

- Navarro-Vargas, G., Díaz-Ramos, J. R., Troccoli-Ghinaglia, L., & Subero, S. (2014). Dinoflagelados epibentónicos presentes en diferentes sustratos en la bahía Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 53(2).
- Naves, J. L., Prado, M. P., Rangel, M., De Sanctis, B., Machado-Santelli, G., & Freitas, J. C. (2006). Cytotoxicity in the marine dinoflagellate *Prorocentrum mexicanum* from Brazil. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 143(1), 73-77.
- Nogales, B., Lanfranconi, M. P., Piña-Villalonga, J. M., & Bosch, R. (2011). Anthropogenic perturbations in marine microbial communities. *FEMS Microbiology Reviews*, 35(2), 275-298.
- Ojeda, A. (1998). *Dinoflagelados de Canarias: estudio taxonómico y ecológico* (Ph.D. Thesis). Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Okolodkov, Y. B. (1997). A new combination and new species of *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, and *Protoperidinium* (Dinophyceae) from the Arctic and N.E. Atlantic. *Botanicheskii Zhurnal Rossiyskoy Akademii Nauk (Botanical Journal, Russian Academy of Sciences)*, 82, 97-106.
- Okolodkov, Y. B. (2005). *Protoperidinium* Bergh (Dinoflagellata) in the southeastern Mexican Pacific Ocean: part I. *Botanica Marina*, 48(4), 284-296. <https://doi.org/10.1515/BOT.2005.038>
- Okolodkov, Y. B., & Gárate-Lizárraga, I. (2006). An annotated checklist of dinoflagellates (Dinophyceae) from the Mexican Pacific. *Acta Botanica Mexicana*, 72, 1-154.
- Okolodkov, Y. B., Campos-Bautista, G., Gárate-Lizárraga, I., González-González, J. A. G., Hoppenrath, M., & Arenas, V. (2007). Seasonal changes of benthic and epiphytic dinoflagellates in the Veracruz reef zone, Gulf of Mexico. *Aquatic Microbial Ecology*, 47(3), 223-237.
- 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.
- Okolodkov, Y., & Blanco, R. (2011). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de estado. Ecología y productividad primaria de microalgas marinas y mixohalinas*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología.
- Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A., Gutiérrez-Quevedo, M. G., Pérez-España, H., & Salas-Monreal, D. (2011). Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, southwestern Gulf of Mexico. In G. Kattell (Ed.), *Zooplankton and phytoplankton: Types, characteristics and ecology* (pp. 63-88). Hauppauge, New York: Nova Science Publishers, Inc.
- 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. <https://doi.org/10.21829/abm106.2014.217>
- Okolodkov, Y. B., Merino-Virgilio, F. D. C., Aguilar-Trujillo, A. C., Osorio-Moreno, I., & Herrera-Silveira, J. A. (2014). The genus *Scrippsiella* (Dinoflagellata) in coastal

- waters of the northern Yucatan Peninsula, SE Gulf of Mexico. *Boletín de la SMF y SOFILAC*, 4, 21-32.
- Oksanen, J. (2010). *Vegan: Community ecology package*. Retrieved from <http://vegan.r-forge.r-project.org/>
- Orantes Ramos, T. E. M., & Vieytez Basagoitia, B. M. (2007). Abundancia y distribución de *Pyrodinium bahamense* en fase vegetativa y quística, en las playas: El Sunzal, Taquillo y Mizata, departamento de La Libertad, El Salvador.
- Ordoñez-López, U. (2017). Curso-Taller de identificación de zooplancton. En R. González (Presidencia). *XX Reunión Nacional de la Sociedad Mexicana de Planctología y XIII International Meeting of the Mexican Society of Planktology*, Sociedad Mexicana de Planctología, Mérida, Yucatán, México.
- Osorio-Tafall, B. F. (1942). Notas sobre algunos dinoflagelados marinos planctónicos de México, con descripción de nuevas especies. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 2, 435–447.
- Paerl, H. W., & Fulton, R. S. (2006). In E. Graneli & J. Turner (Eds.), *Ecology of Harmful Marine Algae* (pp. 95-107). Springer, Berlin.
- Pal, R., & Choudhury, A. K. (2014). *An introduction to phytoplanktons: Diversity and ecology*. Kolkata, India: Springer India. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1838-8>
- Paz-Cordón, K. E. (1997). *Identificación, abundancia y temporalidad estacional y espacial de Pyrrophytas y su relación con las variables ambientales presentes en Puerto Quetzal, San José, Escuintla* (Tesis de licenciatura). Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura.
- Paz-Cordón, K. E. (2022). *Florecimientos algales nocivos producidos por Pyrodinium bahamense en el Pacífico de Guatemala*. Retrieved from <https://remarco.org/blog/2022/05/30/florecimientos-algales-nocivos-producidos-por-pyrodinium-bahamense-en-el-pacifico-de-guatemala/>
- Pech, D. (2010). Cambio climático global, eventos extremos y biodiversidad costera de la península de Yucatán. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adeath, L. Alpuche Gual, & G. J. Villalobos-Zapata (Eds.), *Cambio Climático en México: Un Enfoque Costero Marino* (pp. 263-276). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Peña, J. (2008). *Ecología de dinoflagelados productores de florecimientos en la Bahía de Todos Santos, Baja California*. Retrieved September 23, 2022, from <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1517/1/179041.pdf>
- Person, A., Smith, B., Wikfors, G., & Alix, A. (2008). Dinoflagellate gamete formation and environmental cues: Observations, theory, and synthesis. *Harmful Algae*, 7, 798–801.
- Pitcher, G. C., Figueiras, F. G., Hickey, B. M., & Moita, M. T. (2010). The physical oceanography of upwelling systems and the development of harmful algal blooms. *Progress in Oceanography*, 85(1-2), 5-32.

- Pizarro, G., Garrido, C., Cárdenas, C., Frangópulos, M., Alarcón, C., Guzmán, I., Zamora, C., & Pacheco, H. (2011). Distribución espacial de *Alexandrium catenella* y de toxinas paralizantes en el plancton y mariscos entre el golfo de Penas y Canal Trinidad (primavera 2008). *Ciencia y Tecnología del Mar*, 34(1-2), 19-30.
- Prabowo, D. A., Purbani, D. C., & Noerdjito, D. R. (2023). First record of the thecate marine dinoflagellate *Protoperidinium abei* (Peridinales, Dinophyceae) in Indonesia. *HAYATI Journal of Biosciences*, 30(2), 207-215.
- Prakash, A. (1967). Growth and toxicity of a marine dinoflagellate, *Gonyaulax tamarensis*. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 24(7), 1589-1606.
- Pritcher, G., Lanza, C. G., Niño, A., Horstman, A., Agenbag, J., Calder, D., & Nelson, P. (1998). Poblaciones de dinoflagelados del subsuelo, floraciones frontales y formación de marea roja en el sistema de surgencia del sur de Benguela. *Marine Ecology*, 172, 253-264.
- Proença, L. A. O., Schmitt, F., Silva, M., Guimarães, S., & Rörig, L. R. (1999). Produção de ácido okadaico, uma toxina diarreica, por *Dinophysis acuminata* em Santa Catarina. *Atlântica*, 19, 121-127.
- Provoost, P., & Enevoldsen, H. (2024). *Harmful Algal Event Database (HAEDAT)*. Version 3.22. IOC Harmful Algal Bloom Programme. Sampling event dataset. Retrieved from <https://doi.org/10.25607/0wdrmq> accessed via GBIF.org on 2024-04-10.
- Quintana-Manotas, H. L., Atehortúa-Garcés, L., Hoyos-Acuña, J. J., & Portillo-Cogollo, L. (2021). Taxonomía del género *Tripos* en el Golfo de Urabá, Caribe colombiano. *Intropica*, 16(2), 191-203.
- Reguera, B. (2003). *Biología, autoecología y toxinología de las principales especies del género Dinophysis asociadas a episodios de Intoxicación Diarreogénica por Bivalvos (DSP)*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, Instituto de Ciencias del Mar, Instituto de Investigaciones Marinas, España. 298 pp.
- Reguera, B., Alonso, R., Moreira, A., & Méndez, S. (2011). *Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas*. Proyecto ARCAL RLA 7/014. Manuales y Guías, 59. París y Viena: Comisión Oceanográfica Intergubernamental, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 46 pp.
- Reguera, B., Velo-Suárez, L., Raine, R., & Gil, P. (2012). Harmful *Dinophysis* species: A review. *Harmful Algae*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.016>
- Rivera, C. A., Zapata, A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., & Jiménez, P. (2005). Comparison of Spectrophotometric and Fluorometric Measurements of Chlorophyll-a. *Acta Biológica Colombiana*, 10, 95-103.
- Robledo, D., & Freile-Pelegrin, Y. (2014). Las algas marinas como bioindicadores de calidad ambiental y su uso en estudios ecotoxicológicos. In G. González, J. C. Vallarino, & A. M. Low (Eds.), *BIOINDICADORES: Guardianes de nuestro futuro ambiental* (pp. 535-549). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

- Rochon, A., Lewis, J., Ellegaard, M., & Harding, I. C. (2009). The *Gonyaulax spinifera* (Dinophyceae) “complex”: Perpetuating the paradox? *Review of Palaeobotany and Palynology*, 155(1-2), 52-60.
- Rodríguez, M. (2016). Recursos naturales del municipio de San José, Escuintla. Retrieved October 1, 2022, from <https://www.deguate.com/departamentos/escuintla/recursos-naturales-del-municipio-de-san-jose-escuintla/>
- Rosales-Loessener, F. (1989). The Guatemalan experience with red tides and paralytic shellfish poisoning. In G. Hallegraeff & J. L. Maclean (Eds.), *Biology, Epidemiology and Management of Pyrodinium Red Tides* (pp. 49-51). Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Rosales-Loessener, F. M. W. (1986). Toxic shellfish poisoning in Guatemala. In T. Okaichi, D. M. Anderson, & T. Nemoto (Eds.), *Red Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology* (pp. 113-116). Amsterdam: Elsevier Science Publishing.
- Ryan, J., Nowinski, B., Esson, K., Preston, C., Marin, R., Birch, J., & et al. (2009). Unprecedented DMSP concentrations in a massive dinoflagellate bloom in Monterey Bay, CA. *Geophysical Research Letters*, 46(21), 12279-12288. <https://doi.org/10.1029/2019gl085496>
- Salcedo-Garduño, M. G., Castañeda-Chávez, M. R., Lango-Reynoso, F., Sosa-Villalobos, C. A., Landeros, C., & Galaviz-Villa, I. (2019). Influence of physicochemical parameters on phytoplankton distribution in the lagoon system of Mandinga, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 6, 1-25. <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e427>
- Salgado, P. (2011). Distribución espacio-temporal de ensambles de quistes de dinoflagelados productores de floraciones algales nocivas en sedimentos costeros del sur de Chile (región de Los Lagos) durante los últimos 150 años (Tesis de Magister). Universidad de Concepción de Chile.
- Sanseverino, I., Conduto, D., Pozzoli, L., Dobricic, S., & Lettieri, T. (2016). *Algal bloom and its economic impact*. European Commission, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability, pp. 32-55.
- Satake, M., MacKenzie, L. & Yasumoto, T. (1997). Identification of *Protoceratium reticulatum* as the Biogenetic origin of Yessotoxin. *Nat. Toxins* 5: 164-167.
- Servicio Meteorológico Nacional de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica [NOAA] (2021). Estado del Sistema de alerta del ENSO: Advertencia de La Niña. February 11, 2021. Retrieved from [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_disc\\_feb2021/ensodisc\\_Sp.shtml](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_feb2021/ensodisc_Sp.shtml)
- Shawn, M., Colin, S., & Dam, H. (2003). Effects of the toxic dinoflagellate *Alexandrium fundyense* on the copepod *Acartia hudsonica*: A test of the mechanisms that reduce ingestion rates. *Marine Ecology Progress Series*, 248, 55-65.
- Solares, N. (2021). Plan de trabajo departamento de OBIMAR. Empresa Portuaria Quetzal.
- Sosnovsky, A., & Quirós, R. (2006). El estado trófico de pequeñas lagunas pampeanas, su relación con la hidrología y el uso de la tierra. *Ecología Austral*, 16, 115-124.

- Sournia, A. (1967). Le genre *Ceratium* (péridinien planctonique) dans le canal de Mozambique. Contribution à une révision mondiale. *Vie et Milieu*, 18(2-3A), 375-399.
- Sournia, A. (1969). Cycle annuel du phytoplancton et de la production primaire dans les mers tropicales. *Marine Biology*, 3, 287–303. <https://doi.org/10.1007/BF00698859>
- Sournia, A. (1986). *Atlas du Phytoplancton Marin. Volume I: Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées*. Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique. 216 p.
- Soyer, M. (1972). Les ultrastructures nucléaires de la noctiluque (dinoflagellé libre) au cours de la sporogénèse. *Chromosome (Berlin)*, 39, 419-441.
- Stemann-Nielsen, E. (1934). Untersuchungen über die Verbreitung, Biologie und Variation der Ceratien im südlichen Stillen Ozean. *Dana Reports*, 1(4), 1-68.
- Steidinger, K., & Williams, A. (1970). Dinoflagellates. *Memoirs of the Hourglass Cruises*, 2, 251.
- Steidinger, K., & Jangen, K. (1997). Identifying marine phytoplankton. In C. R. Tomas (Ed.), *Identifying Marine Phytoplankton* (pp. 387-584). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012693018-4/50005-7>
- Steidinger, K. (2009). Perspectiva histórica sobre la investigación de la marea roja *Karenia brevis* en el Golfo de México. *Algas Nocivas*, 8, 549–561.
- Stoecker, D., Hansen, P., Caron, D., & Mitra, A. (2017). Mixotrophy in the marine plankton. *Annual Review of Marine Science*, 9, 311-335. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010816-060617>
- Suzuki, T. & Mitsuya, T. (2001). Comparison of dinophysistoxin-1 and esterified dinophysistoxin1 (dinophysistoxin-3) contents in the scallop *Patinopecten yessoensis* and the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Toxicon* 39: 905-908.
- Sweeney, B. (1963). Bioluminescent dinoflagellates. *Biological Bulletin*, 125, 177-181.
- Tait, R., & Dipper, F. (1998). *Elements of Marine Ecology* (4th ed.). Chapter 2 – Marine Plankton (pp. 25-45). ISBN 9780750620888. <https://doi.org/10.1016/B978-075062088-8/50002-0>
- Taş, S., Ergül, H. A., & Balkis, N. (2016). Harmful algal blooms (HABs) and mucilage formations in the Sea of Marmara. In E. Özsoy, M. N. Cagatay, N. Balkis, & B. Öztürk (Eds.), *The Sea of Marmara: Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance* (pp. 786). Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Publication No. 42.
- Taylor, F. (1976). Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. *Bibliotheca Botanica*, 1321, 197–234.
- Taylor, F. (1987). General and marine ecosystems. In F. J. R. Taylor (Ed.), *The Biology of Dinoflagellates* (Vol. 21, pp. 399-502). Blackwell Scientific Publications.

- Taylor, F., Hoppenrath, M., & Saldarriaga, J. (2008). Diversidad y distribución de dinoflagelados. *Biodiversity and Conservation*, 17, 407–418. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9258-3>
- Tester, P. A., Stumpf, R. P., Vukovich, F. M., Fowler, P. K., & Turner, J. T. (1991). An expatriate red tide bloom: Transport, distribution, and persistence. *Limnology and Oceanography*, 36(5), 1053-1061.
- Thomas, C., Hasle, G., Syvertsen, E., Throndsen, J., Jagen, K., Steidinger, K., & Heimdahl, B. (1997). *Identifying Marine Phytoplankton*. San Diego: Academic Press.
- Tillmann, U., & Hoppenrath, M. (2013). Life cycle of the pseudocolonial dinoflagellate *Polykrikos kofoidii* (Gymnodiniales, Dinoflagellata). *Journal of Phycology*, 49(2), 298-317. <https://doi.org/10.1111/jpy.12037>
- Todd, E. (1993). Domoic acid and amnesic shellfish poisoning: A review. *Journal of Food Protection*, 56(1), 69-83.
- Torres-Ariño, A., Okolodkov, Y. B., Herrera-Herrera, N. V., Hernández-Barrera, B. L., González-Resendiz, L., León-Tejera, H., & Gárate-Lizárraga, I. (2019). Un listado del fitoplancton y microfítobentos del sureste del Pacífico mexicano. *Cymbella*, 5, 1-97.
- Trench, R., & Winsor, H. (1987). Symbiosis with dinoflagellates in two pelagic flatworms, *Amphiscolops* sp. and *Haplodiscus* sp. *Symbiosis*.
- Turpin, D., & Harrison, P. (1978). Fluctuations in free amino acid pools of *Gymnodinium simplex* (Dinophyceae) in response to ammonia perturbation: Evidence for glutamine synthetase pathway. *Journal of Phycology*, 14(4), 461-464. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1978.tb02469.x>
- UNEP/CBD/RW/EBSA/ETTP/1/4 (2013). *Convenio sobre la diversidad biológica: Taller regional del Pacífico oriental tropical y templado para facilitar la descripción de áreas marinas de importancia ecológica o biológica*. Islas Galápagos, Ecuador, 28 al 31 de agosto de 2012. PNUMA-WCMC.
- Uribe, J. C., Oyarzún, S., & Latorre, V. (2010). *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech, 1985, en aguas magallánicas, Chile. *Anales del Instituto de la Patagonia*, 38(1), 103-110.
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9, 39-52.
- Van Egmond, H. P., Van Apeldoorn, M. E., & Speijers, G. J. A. (2005). *Biotoxinas marinas*. Estudio FAO: Alimentación y nutrición. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO.
- Vargas Montero, M., Freer Bustamante, E., Guzmán, J. C., & Vargas, J. C. (2008). Florecimientos de dinoflagelados nocivos en la costa Pacífica de Costa Rica. *Hidrobiológica*, 18(1 Suplemento), 15-23.
- Vargas, E. C., Abarca, J. B., & Artavia, K. B. (2014). Efectos de El Niño y La Niña sobre el comportamiento del microfitoplancton marino y las variables fisicoquímicas durante el

- 2008 a 2010 en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 6, 115-133.
- Vargas-Montero, M., & Freer, E. (2004). Presencia de los dinoflagelados *Ceratium dens*, *C. fusus* y *C. furca* (Gonyaulacales: Ceratiaceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52, 115-120.
- Vidal, L. A., & Lozano-Duque, J. (2011). Revisión de los taxones del género *Neoceratium* F. Gómez, D. Moreira et P. López-García (Dinophyceae) y primer registro de *N. dens* en el mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 40(1), 143-183.
- Walker, J. (1984). Life histories, dispersal, and survival in marine planktonic dinoflagellates. In C. Steidinger & L. M. Walker (Eds.), *Marine Plankton Life Cycle Strategies* (pp. 19-34). CRC Press.
- Wang, G., Wang, D., Trenberth, K. E., Erfanian, A. Y., Bosilovich, M. G., & Parr, D. T. (2017). The peak structure and future changes of the relationships between extreme precipitation and temperature. *Nature Climate Change*, 7(4), 268-274.
- Wells, M., Karlson, B., Wulff, A., Kundela, R., Trick, C., Asnaghi, V., Berdalet, E., & Trainer, V. (2019). Future HAB science: Directions and challenges in a changing climate. *Harmful Algae*, 91. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101632>
- Xu, N., Wang, M., Tang, Y., Zhang, Q., Duan, S., & Gobler, C. J. (2017). Acute toxicity of the cosmopolitan bloom-forming dinoflagellate *Akashiwo sanguinea* to finfish, shellfish, and zooplankton. *Aquatic Microbial Ecology*, 80, 209-222. <https://doi.org/10.3354/ame01846>
- Yasakova, O., Makarevich, P., & Okolodkov, Y. (2020). Long-term changes in community of planktonic algae of the northeastern Black Sea (2005-2011). In *International Applied Research Conference Biological Resources Development and Environmental Management* (pp. 569–580). KnE Life Sciences. <https://doi.org/10.18502/cls.v5i1.6129>



Tabla de los Parámetros Físico - Químicos del agua durante el año 2021 en Puerto Quetzal, Pacífico de Guatemala

Mes	Sitio	Zona.fótica	Oxígeno disuelto	Salinidad	Conductividad	pH	TDS	Fosforo	Amonio	N.total	Sulfatos	T.agua	Profundidad	Chl
Enero	REC	35.00	4,26	33,72	51,61	7,83	25,75	14,54	0,06	11,23	0,2	28,74	1,5	0,006
Enero	REC	35.00	4,1	33,8	51,6	7,89	25,81	10,23	0,05	10,65	0,6	28,72	5.00	0,01
Enero	TEX	21,6	4.00	33,15	50,75	7,93	25,37	26,15	0,04	12,86	0,32	28,89	1,5	0,026
Enero	TEX	21,6	3,8	33,44	51,04	7,87	25,56	32,46	0,05	10,36	0,65	28,8	5.00	0,03
Enero	MOR	13,5	3,88	33,78	51,47	7,87	25,74	30,25	0,06	11,25	0,24	28,78	1,5	0,048
Enero	MOR	13,5	3,8	33,68	51,45	7,87	25,73	11,54	0,06	14,26	0,93	28,8	5.00	0,05
Febrero	REC	21,95	4,26	34,07	51,92	8,13	25,96	42,32	0,9	68,01	0,323	27,96	1,5	0,024
Febrero	REC	21,95	4,1	34,08	51,93	8,11	25,97	11,35	1,6	24,27	0,215	27,93	5.00	0,024
Febrero	TEX	18,9	4.00	34,15	52.00	8,07	26.00	12,57	3,9	17,64	0,614	27,78	1,5	0,034
Febrero	TEX	18,9	3,8	34,13	51,98	8,09	26.00	5,24	0,3	8.00	0,263	27,77	5.00	0,036
Febrero	MOR	9,45	3,88	34,1	51,97	8,06	25,99	10,49	0,2	8,65	0,542	28,09	1,5	0,062
Febrero	MOR	9,45	3,8	34,13	52.00	8,07	26.00	13,65	0,3	18,27	0,965	27,9	5.00	0,07
Marzo	REC	32,4	4,75	34,46	52,5	8,11	26,25	16,2	0,35	67,03	0,159	28,89	1,5	0,012
Marzo	REC	32,4	4,01	34,45	52,44	8,13	26,23	15,6	0,25	42,63	0,137	28,63	5.00	0,014
Marzo	TEX	32,4	4,4	34,75	52,32	8,12	26,16	11,8	0,15	10,02	0,127	28,55	1,5	0,016
Marzo	TEX	32,4	4,01	34,42	52,41	8,1	26,21	13,6	0,13	10,42	0,154	28,38	5.00	0,016
Marzo	MOR	18,9	4,3	34,44	52,45	8,08	26,24	17,48	0,25	9,81	0,185	28,82	1,5	0,036
Marzo	MOR	18,9	3,97	34,4	52,39	8,07	26,2	19,6	0,21	9,77	0,152	28,46	5.00	0,036
Abril	REC	27.00	4,75	34,7	57,46	8,11	26,43	17,45	0,2	67,52	0,175	29,58	1,5	0,018
Abril	REC	27.00	4,01	34,66	57,38	8,11	26,4	16,65	0,1	33,45	0,165	29,59	5.00	0,02
Abril	TEX	21,6	4,4	34,76	57,16	8,07	26,47	16,43	0,3	13,83	0,153	29,2	1,5	0,026
Abril	TEX	21,6	4,01	34,76	57,1	7,96	26,47	14,24	0,2	9,21	0,173	29,16	5.00	0,032
Abril	MOR	10,8	4,3	34,64	37,07	7,97	26,38	20,44	0,2	9,23	0,204	29,3	1,5	0,054
Abril	MOR	10,8	3,97	34,45	56,58	8,05	26,25	20,07	0,1	14,22	0,188	29,11	5.00	0,058
Mayo	REC	10,8	5,34	34,18	57,82	8,04	26,09	17,1	0,3	8,08	0,182	30,68	1,5	0,056
Mayo	REC	10,8	4,35	34,01	57,61	8,06	25,99	19,3	0,4	10,24	0,176	30,7	5.00	0,06

Mayo	TEX	9,45	4,7	33,22	56,65	8,12	25,51	16,2	0,1	9,35	0,143	30,83	1,5	0,064
Mayo	TEX	9,45	5,00	33,85	57,3	8,09	25,89	12,5	0,4	7,15	0,116	30,64	5,00	0,072
Mayo	MOR	5,4	3,57	34,13	57,78	8,05	26,07	23,4	0,2	10,04	0,261	30,72	1,5	0,112
Mayo	MOR	5,4	3,59	34,23	57,99	7,96	26,15	21,6	0,2	10,06	0,218	30,71	5,00	0,16
Junio	REC	6,75	5,34	31,9	48,77	8,01	24,47	2,14	0,7	1,5	2,53	29,7	1,5	0,044
Junio	REC	6,75	4,35	32,84	54,39	8,01	25,03	2,23	0,1	1,23	2,73	29,54	5,00	0,046
Junio	TEX	14,85	4,7	32,9	54,65	8,1	25,21	2,22	0,2	1,5	3,51	29,4	1,5	0,084
Junio	TEX	14,85	5,00	32,9	54,69	8,12	25,21	2,31	0,6	3,5	3,72	29,28	5,00	0,088
Junio	MOR	5,4	3,57	32,72	54,83	7,99	25,08	2,25	0,3	1,00	3,37	29,9	1,5	0,112
Junio	MOR	5,4	3,59	32,79	54,82	7,97	25,12	2,38	0,2	1,00	3,42	29,81	5,00	0,208
Agosto	REC	9,45	5,34	31,65	24,34	8,16	24,34	4,32	0,3	2,23	0,324	30,01	1,5	0,066
Agosto	REC	9,45	4,35	32,81	25,16	8,14	25,16	6,15	0,2	3,15	0,251	30,07	5,00	0,074
Agosto	TEX	5,4	4,7	32,63	25,03	8,04	25,03	3,23	0,2	3,36	0,263	29,91	1,5	0,126
Agosto	TEX	5,4	5,00	32,85	25,18	8,13	25,18	4,26	0,1	3,45	0,123	30,08	5,00	0,13
Agosto	MOR	5,4	3,57	32,15	24,71	8,11	24,71	6,54	0,4	24,13	0,458	30,18	1,5	0,234
Agosto	MOR	5,4	3,59	32,24	24,76	8,11	24,76	3,46	0,3	23,16	0,402	30,06	5,00	0,24
Septiembre	REC	7,15	4,26	31,54	24,5	8,08	24,5	5,16	0,1	5,36	0,132	29,07	1,5	0,046
Septiembre	REC	7,15	4,1	33,23	25,43	8,08	25,43	6,13	0,4	6,13	0,256	29,3	5,00	0,048
Septiembre	TEX	13,83	4,00	33,49	25,6	8,15	25,6	7,25	0,2	3,52	0,356	29,37	1,5	0,08
Septiembre	TEX	13,83	3,8	32,94	25,22	8,15	25,22	6,18	0,2	3,59	0,324	29,36	5,00	0,084
Septiembre	MOR	5,87	3,88	33,22	25,42	8,00	25,42	5,54	0,1	11,63	0,659	29,48	1,5	0,102
Septiembre	MOR	5,87	3,8	33,23	25,43	8,4	25,43	5,23	0,1	12,05	0,701	29,37	5,00	0,108
Octubre	REC	5,4	4,26	32,94	55,56	8,1	25,26	13,26	0,00	15,26	0,423	30,71	1,5	0,084
Octubre	REC	5,4	4,1	33,05	55,78	8,13	25,33	11,24	0,00	12,36	0,56	30,35	5,00	0,092
Octubre	TEX	6,75	4,00	32,43	54,58	8,23	24,91	8,96	0,01	11,58	0,532	30,1	1,5	0,136
Octubre	TEX	6,75	3,8	33,08	55,07	8,13	25,29	7,65	0,02	12,03	0,456	29,72	5,00	0,376
Octubre	MOR	4,05	3,88	33,27	55,77	8,05	25,47	9,33	0,02	16,53	0,356	29,99	1,5	0,544
Octubre	MOR	4,05	3,8	33,27	55,42	8,02	25,45	8,35	0,02	15,98	0,654	29,8	5,00	0,746
Noviembre	REC	21,6	4,75	33,64	51,41	8,14	25,69	25,23	0,04	10,98	0,355	29,44	1,5	0,028
Noviembre	REC	21,6	4,01	33,69	51,47	8,15	25,75	21,38	0,05	10,65	0,326	29,44	5,00	0,034
Noviembre	TEX	13,5	4,4	33,03	50,67	8,15	25,34	18,54	0,01	10,45	0,456	29,42	1,5	0,05

KARLA EVELYN PAZ CORDÓN

Noviembre	TEX	13,5	4,01	33,6	41,8	8,14	25,68	17,98	0,01	10,32	0,352	29,37	5,00	0,05
Noviembre	MOR	5,4	4,3	33,5	51,21	8,03	25,62	15,24	0,02	10,56	0,653	29,44	1,5	0,138
Noviembre	MOR	5,4	3,97	33,51	51,24	8,03	25,62	14,86	0,03	10,42	0,645	29,36	5,00	0,464
Diciembre	REC	25,65	4,75	34,32	55,64	8,15	26,14	12,31	0,13	11,26	0,632	28,39	1,5	0,02
Diciembre	REC	25,65	4,01	34,33	55,71	8,13	26,16	15,46	0,14	11,32	0,651	28,42	5,00	0,022
Diciembre	TEX	18,9	4,4	33,71	54,79	8,15	25,74	18,76	0,15	14,53	0,687	28,36	1,5	0,036
Diciembre	TEX	18,9	4,01	34,33	55,59	8,11	26,12	18,45	0,14	12,56	0,689	28,32	5,00	0,042
Diciembre	MOR	10,8	4,3	34,47	55,73	8,12	26,24	21,25	0,16	13,89	0,546	28,22	1,5	0,058
Diciembre	MOR	10,8	3,97	34,44	55,67	8,1	26,22	23,26	0,16	13,75	0,548	28,29	5,00	0,06

Tabla de los Parámetros hidrometeorológicos durante el año 2021

Mes	sitio	profundidad metros	T °C ambiental	% humedad	Marea	zona fótica (m)	mg/L de Chl a Laboratorio
enero	Recalada	1.5	28	0.66	marea baja	35	0.00696
Enero	Recalada	5	28	0.66	marea baja	35	0.0174
Enero	Boya Texaco	1.5	23	0.89	marea baja	22	-0.02784
Enero	Boya Texaco	5	27	0.66	marea baja	22	-0.02436
Enero	Boya entre morros	1.5	30	0.59	marea baja	14	0.04872
Enero	Boya entre morros	5	31	0.55	marea baja	14	0.0174
Febrero	Recalada	1.5	32.6	0.89	marea baja	22	-0.0696
Febrero	Recalada	5	32.6	0.89	marea baja	22	0.02436
Febrero	Boya Texaco	1.5	31.5	0.89	marea baja	19	-0.03132
Febrero	Boya Texaco	5	31.5	0.89	marea baja	19	0.18792
Febrero	Boya entre morros	1.5	33	0.89	marea baja	9	-0.174
Febrero	Boya entre morros	5	33	0.89	marea baja	9	-0.0348
Marzo	Recalada	1.5	32	0.49	marea alta	32	-0.0348
Marzo	Recalada	5	32	0.49	marea alta	32	-0.4698
Marzo	Boya Texaco	1.5	28	0.55	marea alta	32	-0.11136
Marzo	Boya Texaco	5	31	0.55	marea alta	32	-0.04176
Marzo	Boya entre morros	1.5	32	0.49	marea alta	19	-0.00348
Marzo	Boya entre morros	5	32	0.49	marea alta	19	-0.00348
Abril	Recalada	1.5	28	0.67	marea alta	27	0.741576
Abril	Recalada	5	28	0.67	marea alta	27	0.099234
Abril	Boya Texaco	1.5	28	0.66	marea alta	22	-0.160917
Abril	Boya Texaco	5	28	0.66	marea alta	22	-0.008703
Abril	Boya entre morros	1.5	28	0.67	marea alta	11	-0.174723
Abril	Boya entre morros	5	28	0.67	marea alta	11	-0.02739
Mayo	Recalada	1.5	26	0.59	marea alta	11	-0.571962
Mayo	Recalada	5	26	0.59	marea alta	11	0.079761

<b>Mayo</b>	Boya Texaco	1.5	26	0.59	mareas alta	9	0.070722
<b>Mayo</b>	Boya Texaco	5	26	0.59	mareas alta	9	0.056802
<b>Mayo</b>	Boya entre morros	1.5	26	0.63	mareas alta	5	0.067071
<b>Mayo</b>	Boya entre morros	5	26	0.63	mareas alta	5	0.061569
<b>Junio</b>	Recalada	1.5	32.9	0.67	mareas alta	7	0.048492
<b>Junio</b>	Recalada	5	32.9	0.67	mareas alta	7	0.048885
<b>Junio</b>	Boya Texaco	1.5	31	0.7	mareas alta	15	0.026547
<b>Junio</b>	Boya Texaco	5	31	0.7	mareas alta	15	0.033507
<b>Junio</b>	Boya entre morros	1.5	32.9	0.67	mareas alta	5	0.033336
<b>Junio</b>	Boya entre morros	5	32.9	0.67	mareas alta	5	0.026376
<b>Agosto</b>	Recalada	1.5	32	0.63	mareas baja	9	0.050007
<b>Agosto</b>	Recalada	5	32	0.63	mareas baja	9	0.021159
<b>Agosto</b>	Boya Texaco	1.5	32	0.63	mareas baja	5	0.088908
<b>Agosto</b>	Boya Texaco	5	32	0.63	mareas baja	5	0.04782
<b>Agosto</b>	Boya entre morros	1.5	32	0.63	mareas baja	5	0.040689
<b>Agosto</b>	Boya entre morros	5	32	0.63	mareas baja	5	0.289956
<b>Septiembre</b>	Recalada	1.5	32	0.63	mareas alta	7	0.884979
<b>Septiembre</b>	Recalada	5	32	0.63	mareas alta	7	1.237752
<b>Septiembre</b>	Boya Texaco	1.5	32	0.63	mareas alta	14	0.023967
<b>Septiembre</b>	Boya Texaco	5	32	0.63	mareas alta	14	0.023853
<b>Septiembre</b>	Boya entre morros	1.5	32	0.63	mareas alta	6	-0.165195
<b>Septiembre</b>	Boya entre morros	5	32	0.63	mareas alta	6	0.297354
<b>Octubre</b>	Recalada	1.5	28.5	0.59	mareas alta	5	-0.0621
<b>Octubre</b>	Recalada	5	28.5	0.59	mareas alta	5	-0.070632
<b>Octubre</b>	Boya Texaco	1.5	28.5	0.59	mareas alta	7	-0.105552
<b>Octubre</b>	Boya Texaco	5	28.5	0.59	mareas alta	7	-0.117621
<b>Octubre</b>	Boya entre morros	1.5	28.5	0.59	mareas alta	4	-0.142773
<b>Octubre</b>	Boya entre morros	5	28.5	0.59	mareas alta	4	0.000915
<b>Noviembre</b>	Recalada	1.5	28	0.75	mareas alta	22	-0.078498
<b>Noviembre</b>	Recalada	5	28	0.75	mareas alta	22	-0.029385

---

<b>Noviembre</b>	Boya Texaco	1.5	28	0.75	marea alta	14	-0.184386
<b>Noviembre</b>	Boya Texaco	5	28	0.75	marea alta	14	-0.196455
<b>Noviembre</b>	Boya entre morros	1.5	28	0.75	marea alta	5	-0.216606
<b>Noviembre</b>	Boya entre morros	5	28	0.75	marea alta	5	-0.263082
<b>Diciembre</b>	Recalada	1.5	29	0.59	marea baja	26	-0.052653
<b>Diciembre</b>	Recalada	5	29	0.59	marea baja	26	-0.016383
<b>Diciembre</b>	Boya Texaco	1.5	29	0.59	marea baja	19	-0.066174
<b>Diciembre</b>	Boya Texaco	5	29	0.59	marea baja	19	-0.079473
<b>Diciembre</b>	Boya entre morros	1.5	29	0.59	marea baja	11	-0.038283
<b>Diciembre</b>	Boya entre morros	5	29	0.59	marea baja	11	-0.034803

---

## LISTA DE FIGURAS

Número	Nombre	Página
1	Extrusoma en dinoflagelados. Kofoid, C. A., & Swezy, O. (1921). Archivo en línea de la Universidad de Toronto. Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).	15
2	Tipo de morfología en dinoflagelados. Lebour, M. V. (1925). <i>The Dinoflagellates of Northern Seas</i> . Marine Biological Association of the United Kingdom.	16
3	Orientación en los dinoflagelados (Ojeda, 1998); Fuente: Archivo en línea de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).	17
4	Desplazamiento del flagelo en dinoflagelados (Ojeda, 1998). Fuente: Archivo en línea de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).	18
5	Morfología general del género <i>Ceratium</i> (Okolodkov, 2010)	19
6	Diferencias morfológicas en células tecadas y atecadas. (Hoppenrath, 2017)	20
7	Sistema Kofoidiano de designación de placas tecales (Nomenclatura de tabulación) (Hoppenrath, et al., 2009)	21
8	Ciclo de vida de un dinoflagelado meropláctico con alternancia de reproducción sexual y asexual. A. células móviles, haploides. B. Células móviles, diploides. C. Células diploides, no móviles. Góngora González, D. T. (2003). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).	23
9	Micrografías electrónicas de barrido de algunas especies de <i>Dinophysiales</i> (Okolodkov, 2014)	24
10	Ejemplos de dinoflagelados desnudos o atecados. Orden <i>Gymnodiniales</i> (Gómez et al., 2011). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).	24
11	Colonias de especies de <i>Tripes</i> ( <i>Gonyaulacales</i> ) (Okolodkov, 2010)	25
12	Ejemplos de <i>Noctilucales</i> (Gómez et al., 2011). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).	26
13	Micrografías de luz de algunas especies de <i>Protoperidinium</i>	27

14	Prorocentrum micans especie del orden <i>Prorocentrales</i> (Myung-Soo et al., 2016). Figura reproducida con permiso de Elsevier. Licencia #5927071312831.	28
15	Boyas oceanográficas establecidas por la Empresa Portuaria Quetzal	34
16	Ubicación de los puntos de muestreos en el Pacífico central de Guatemala en 2021	35
17	Primer punto de muestreo canal de acceso denominado “Entre Morros”	36
18	Segundo punto de muestreo limite perimetral de la dársena de maniobras denominada “Boya de Recalada”	36
19	Tercer punto de muestreo en mar abierto denominado “Boya Texaco”	37
20	Áreas de muestreo durante los florecimientos algales en el Pacífico de Guatemala	38
21	<i>Alexandrium catenella</i>	44
22	<i>Gonyaulax polygramma</i>	45
23	<i>Gonyaulax spinifera</i>	47
24	<i>Gonyaulax verior</i>	48
25	<i>Pyrodinium bahamense</i>	50
26	<i>Pyrophacus horologium</i>	51
27	<i>Pyrophacus steinii</i>	52
28	<i>Tripes azoricus</i>	53
29	<i>Tripes brevis</i>	55
30	<i>Tripes candelabrum</i>	56
31	<i>Tripes dens</i>	57
32	<i>Tripes gracilis</i>	58
33	<i>Tripes furca</i>	59
34	<i>Tripes macroceros</i>	60
35	<i>Tripes trichoceros</i>	61
36	<i>Tripes vultur</i>	62
37	<i>Tripes fusus</i>	64
38	<i>Tripes longirostrum</i>	65

39	<i>Tripos muelleri</i>	66
40	<i>Tripos massiliensis</i>	67
41	<i>Prorocentrum gracile</i>	68
42	<i>Prorocentrum micans</i>	70
43	<i>Tryblionella compressa</i>	72
44	<i>Prorocentrum scutellum</i>	73
45	<i>Prorocentrum rostratum</i>	74
46	<i>Prorocentrum mexicanum</i>	75
47	<i>Dinophysis acuminata</i>	78
48	<i>Dinophysis caudata</i>	79
49	<i>Noctiluca scintillans</i>	81
50	<i>Protoperidinium abei</i>	83
51	<i>Protoperidinium oceanicum</i>	84
52	<i>Protoperidinium depressum</i>	86
53	<i>Protoperidinium conicum</i>	87
54	<i>Protoperidinium obtusum</i>	88
55	<i>Protoperidinium divergens</i>	89
56	<i>Protoperidinium grande</i>	90
57	<i>Podolampas bipes</i>	91
58	<i>Scrippsiella spinifera</i>	93
59	<i>Akashiwo sanguinea</i>	94
60	<i>Gymnodinium catenatum</i>	95
61	<i>Margalefidinium polykrikoides</i>	98
62	<i>Distancia euclidiana de los puntos de muestreo según los datos de calidad del agua</i>	101
63	<i>Dendograma por lugar de muestreo según parámetros de calidad del agua</i>	101
64	<i>Distancia euclidiana por mes de muestreo según las características físico-químicas del agua</i>	102
65	<i>Dendograma por mes según parámetros físico químicos del agua</i>	103

66	<i>Promedio de los datos hidrometeorológico por estación de muestreo</i>	105
67	<i>Promedio anual de temperatura y precipitación en la zona de Puerto San José, Escuintla, Guatemala (IIC, 2022; INSIVUMEH, 2022)</i>	106
68	<i>Promedio anual de precipitación en la zona de Puerto San José, Escuintla Guatemala durante el año 2021 y comparación al promedio histórico de la zona. (IIC, 2022; INSIVUMEH, 2022)</i>	107
69	<i>Distancia euclideana por mes de muestreo según datos hidrometeorológicos</i>	107
70	<i>Dendograma por mes según datos hidrometeorológicos</i>	108
71	<i>Ordenes de dinoflagelados presentes en las tres zonas de muestreo</i>	111
72	<i>Abundancias de células de las especies identificadas en la Boya Texaco. Se excluye a Margalefidinium polykrikoides por el número de células tan altas que presenta (1420 céls./ml)</i>	114
73	<i>Abundancias de células de las especies identificadas en la Boya Recalada. Se excluye a Margalefidinium polykrikoides por el número de células tan altas que presenta (2941 céls./ml)</i>	115
74	<i>Abundancias de células de las especies identificadas en la Boya Entre Morros. Se excluye a Margalefidinium polykrikoides por el número de células tan altas que presenta (1393 céls./ml)</i>	116
75	<i>Abundancia de dinoflagelados por orden en Boya Texaco</i>	117
76	<i>Abundancia de dinoflagelados por orden en Boya Recalada</i>	117
77	<i>Abundancia de dinoflagelados por orden en Boya Entre Morros</i>	117
78	<i>Matriz de similitud basada en las especies y las estaciones de muestreo</i>	118
79	<i>Dendograma de las especies y las estaciones de muestreo</i>	118
80	<i>Distancia euclidiana comparando entre sí los meses muestreados</i>	119
81	<i>Dendograma comparativo entre los meses de muestreo</i>	120
82	<i>El molusco bivalvo Tagelus sp., especie vector de la saxitoxina en el Pacífico de Guatemala: A - vista dorsal de la valva derecha; B - vista interior de las válvulas de la almeja</i>	125
83	<i>Dinoflagelados identificados en el contenido estomacal de la almeja Tagelus sp. en Tiquisate, Guatemala</i>	126

## LISTA DE TABLAS

Número de tabla	Nombre	Página
1	Principales ficotoxinas marinas.	29
2	Lista de parámetros físico químicos analizados en las tres zonas de muestreo en Puerto Quetzal, Pacífico de Guatemala.	100
3	Lista del promedio anual de los parámetros hidrometeorológicos analizados de la zona de muestreo en Puerto Quetzal, Pacífico de Guatemala.	104
4	Lista de especies de dinoflagelados del Pacífico central de Guatemala en 2021, con base en las muestras de botella, cerca de tres boyas de navegación: Texaco, Recalada y Entre Morros. Los números significan abundancias (céls. /ml)	109
5	Índices de diversidad totales por mes	121
6	Índices de diversidad totales por ciclo anual	121
7	Resultados de análisis de saxitoxinas en diversas zonas (sitio, departamento) del Pacífico guatemalteco.	123
8	Abundancias de células vegetativas (céls. /ml) de <i>Margalefidinium polykrikoides</i> en Puerto Quetzal y Puerto San José y de <i>Pyrodinium bahamense</i> en Puerto Quetzal en 2021	124
9	Cronología de intoxicación humana por consumo de moluscos bivalvos en 2022 en el Pacífico guatemalteco	126

## AUTORIZACIÓN USO DE IMÁGENES

Figura 1:

Kofoid, C. A., & Swezy, O. (1921). Archivo en línea de la Universidad de Toronto. Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)

Uso no comercial *The free-living unarmored Dinoflagellata* (Vol. 5). University of California Press.

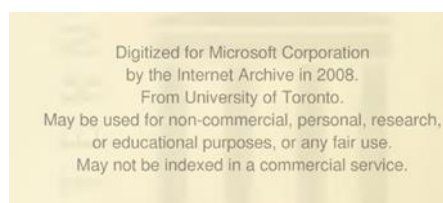


Figura 2:

El libro "The Dinoflagellates of Northern Seas" de Marie V. Lebour fue publicado en 1925 por la Marine Biological Association of the United Kingdom. Dado que las leyes de derechos de autor del Reino Unido de esa época otorgaban protección por 50 años después de la publicación, la obra habría pasado al dominio público en 1975. Por lo tanto, actualmente se considera de dominio público y puede compartirse libremente.

Have library access? [Log in thru](#)

All Content
Images
[Advanced Search](#)


---

Search journals, books, images, and primary sources

Transactions of the American Microscopic... / Vol. 45, No. 4, Oct., 1926 / Review: [Untitled]

JOURNAL ARTICLE [OPEN ACCESS](#)  
 Review: [Untitled]

Reviewed Work: *The Dinoflagellates of Northern Seas* by Marie V. Lebour  
*Transactions of the American Microscopical Society*, Vol. 45, No. 4 (Oct., 1926), p. 306 (1 page)  
<https://doi.org/10.2307/3221792> · <https://www.jstor.org/stable/3221792>

Figura 3 y Figura 4:

accedaCRIS
[Estadísticas](#)
[Qué es ac](#)

Publicaciones	Personal Investigador	Organización
<b>Título:</b>	Dinoflagelados de Canarias: estudio taxonómico y ecológico	
<b>Autores/as:</b>	Ojeda Rodríguez, Alicia	
<b>Director/a - Tutor/a:</b>	<b>Aristegui Ruiz, Javier</b>	
<b>Clasificación UNESCO:</b>	241705 Biología marina	
<b>Palabras clave:</b>	Dinoflagelados Islas Canarias	
<b>Fecha de publicación:</b>	1998	
<b>Resumen:</b>	Se pretende ofrecer una visión, lo más rigurosa y completa posible, de los dinoflagelados observados en aguas de la plataforma y talud del archipiélago Canario. El estudio es fundamentalmente taxonómico y se ha cuidado en especial que las descripciones fuesen lo más originales posibles y que estuvieran acompañadas de una abundante iconografía, contribuyendo al mejor conocimiento de los dinoflagelados con la descripción de 207 foras observadas en 332 muestras recolectadas en el área de estudio.	
<b>Descripción:</b>	Programa de Doctorado: Ecosistemas Litorales	
<b>Departamento:</b>	Departamento de Biología	
<b>Facultad:</b>	Facultad de Ciencias del Mar	
<b>URI:</b>	<a href="http://hdl.handle.net/10553/4872">http://hdl.handle.net/10553/4872</a>	
<b>Derechos:</b>	by-nc-nd	
<b>Colección:</b>	<b>Tesis doctoral</b>	



Los derechos BY-NC-ND son una licencia Creative Commons que significa Reconocimiento  
- No Comercial - Sin Obra Derivada.

Figuras: 5, 9, 11 y 13:

### Permiso del autor.

Veracruz, México  
10 de diciembre de 2024

A la atención de:  
Escuela Internacional de Doctorado de la USC (EDIUS)  
Universidad de Santiago de Compostela, España

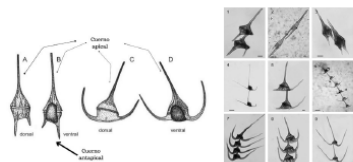
Asunto: Autorización para el uso de figuras en tesis doctoral

Estimados miembros de la Escuela Internacional de Doctorado de la USC:

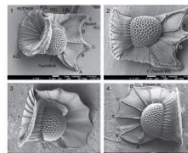
Por la presente, otorgo mi autorización para el uso de las siguientes figuras en la tesis titulada: "Diversidad y abundancia de los dinoflagelados (Dinoflagellata) asociados a florecimientos algales nocivos en el Pacífico Central de Guatemala" de la estudiante doctoral Karla Evelyn Paz Córdón.

Las figuras autorizadas son las siguientes:

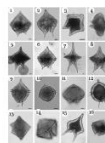
1. Morfología general del género *Ceratium* (Okolodkov, 2010), contenida en el artículo: Okolodkov, Y. B. (2010). *Ceratium* Schrank (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification. Acta Botanica Mexicana, 93, 41-101.



2. Micrografías electrónicas de barrido de algunas especies de Dinophysiales (Okolodkov, 2014), contenida en el artículo: 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. <https://doi.org/10.21829/abm106.2014.217>



3. Micrografías de luz de algunas especies de *Protoperidinium*, contenida en el artículo: Okolodkov, Y. B. (2005). *Protoperidinium* Bergh (Dinoflagellata) in the southeastern Mexican Pacific Ocean: part I. Botánica Marina, 48(4), 284-296. <https://doi.org/10.1515/BOT.2005.038>



Manifiesto que esta autorización se otorga exclusivamente para fines académicos y relacionados con la elaboración y defensa de la tesis mencionada, respetando los derechos de autor de los artículos referidos. Quedo a su disposición para cualquier consulta o documentación adicional que consideren necesaria.

Atentamente,

Dr. Yuri B. Okolodkov

Copia a: Karla Evelyn Paz Córdón

Figuras 6: Diferencias morfológicas en células tecadas y atecadas. (Hoppenrath, 2017) y figura 7: Sistema Kofoidiano de designación de placas tecaes (Nomenclatura de tabulación) (Hoppenrath, et al., 2009). Permiso de la autora.

10 February 2024

Subject: Authorization for the Use of Figures in Doctoral Thesis

USC International Doctoral School (EDIUS)  
University of Santiago de Compostela, Spain

Dear Members of the USC International Doctoral School:

With this letter, hereby, I grant my authorization for the use of the following figures in the doctoral thesis entitled:

"Diversity and Abundance of Dinoflagellates (Dinoflagellata) Associated with Harmful Algal Blooms in the Central Pacific of Guatemala", authored by the doctoral candidate Karla Evelyn Paz Córdón.

The authorized figures are as follows:

1. The photograph illustrating the "Kofoid System" of tabulation nomenclature, available on the webpage: <https://www.dinophyta.org/morphology-of-dinoflagellates/kofoid-tabulation/>.

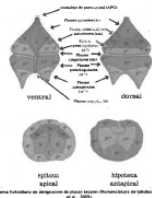


Figure 7. Sistema de nomenclatura de tabulación de células (Kofoid, 1935).

2. The figure demonstrating the differences between thecate and atecate species, featured on the webpage: <https://www.dinophyta.org/morphology-of-dinoflagellates/cell-orientation-flagellation-etc/>.

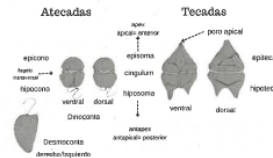


Figure 8. Diferencias morfológicas en células tecadas y atecadas. (Hoppenrath, 2017).

This authorization is granted exclusively for academic purposes related to the preparation, submission, and defense of the aforementioned thesis, while respecting the copyright of the cited materials.

Should you require any additional information or documentation, please do not hesitate to contact me.

Yours faithfully,

Dr. Mona Hoppenrath

Figura 8.

Ciclo de vida de un dinoflagelado meroplanctónico con alternancia de reproducción sexual y asexual. Góngora González, D. T. (2003). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

Figura 10: Ejemplos de dinoflagelados desnudos o atecados. Orden *Gymnodiniales* (Gómez et al., 2011). Figura 12: Ejemplos de *Noctilucales* (Gómez et al., 2011). Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC).

#### Política de acceso abierto

Los autores/as que publiquen en HIDROBIOLÓGICA aceptan las siguientes condiciones:

De acuerdo con la legislación de derechos de autor, HIDROBIOLÓGICA reconoce y respeta el derecho moral de los autores/as, así como la titularidad del derecho patrimonial, el cual será cedido a la revista para su difusión en acceso abierto.

Publicar en la revista *HIDROBIOLÓGICA* tiene un costo de recuperación de \$500 pesos mexicanos por página en blanco y negro (aproximadamente 26.5 dólares americanos) y \$1000 pesos por página a color (aproximadamente 53 dólares americanos).

Todos los textos publicados por *HIDROBIOLÓGICA* (sin excepción) se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.

Los autores/as pueden realizar otros acuerdos contractuales independientes y adicionales para la distribución no exclusiva de la versión del artículo publicado en *HIDROBIOLÓGICA* (por ejemplo incluirlo en un repositorio institucional o darlo a conocer en otros medios en papel o electrónicos) siempre que indique clara y explícitamente que el trabajo se publicó por primera vez en *HIDROBIOLÓGICA*.

Para todo lo anterior, los autores/as deben remitir el [formato de carta cesión de la propiedad de los derechos de la primera publicación](#) debidamente requisitado y firmado por los autores/as. Este formato debe ser remitido en archivo PDF al correo: [enlacerevistahidrobiologica@gmail.com](mailto:enlacerevistahidrobiologica@gmail.com)



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional.

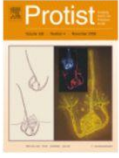


Figura 14:

Prorocentrum micans especie del orden *Prorocentrales* (Myung-Soo et al., 2016)

CCC RightsLink KP ?

---



**Morphological and Molecular Phylogenetic Position of Prorocentrum micans sensu stricto and Description of Prorocentrum koreanum sp. nov. from Southern Coastal Waters in Korea and Japan**

Author: Myung-Soo Han, Pengbin Wang, Jin Ho Kim, Soo-Yeon Cho, Bum Soo Park, Joo-Hwan Kim, Toshiya Katano, Baik-Ho Kim

Publication: Protist

Publisher: Elsevier

Date: February 2016

Copyright © 2015 Elsevier GmbH. All rights reserved.

---

**Order Completed**

Thank you for your order.

This Agreement between Karla Evelyn Paz Cordón ("You") and Elsevier ("Elsevier") consists of your license details and the terms and conditions provided by Elsevier and Copyright Clearance Center.

Your confirmation email will contain your order number for future reference.

[Printable Details](#)

<p><b>License Number</b> 5927071312831</p> <p><b>License date</b> Dec 13, 2024</p>	
--	--

<p><b>Licensed Content</b></p> <p><b>Licensed Content Publisher</b> Elsevier</p> <p><b>Licensed Content Publication</b> Protist</p> <p><b>Licensed Content Title</b> Morphological and Molecular Phylogenetic Position of Prorocentrum micans sensu stricto and Description of Prorocentrum koreanum sp. nov. from Southern Coastal Waters in Korea and Japan</p> <p><b>Licensed Content Author</b> Myung-Soo Han, Pengbin Wang, Jin Ho Kim, Soo-Yeon Cho, Bum Soo Park, Joo-Hwan Kim, Toshiya Katano, Baik-Ho Kim</p> <p><b>Licensed Content Date</b> Feb 1, 2016</p> <p><b>Licensed Content Volume</b> 167</p> <p><b>Licensed Content Issue</b> 1</p> <p><b>Licensed Content Pages</b> 19</p>	<p><b>Order Details</b></p> <p><b>Type of Use</b> reuse in a thesis/dissertation</p> <p><b>Portion</b> figures/tables/illustrations</p> <p><b>Number of figures/tables/illustrations</b> 1</p> <p><b>Format</b> electronic</p> <p><b>Are you the author of this Elsevier article?</b> No</p> <p><b>Will you be translating?</b> No</p>
---	--

<p><b>About Your Work</b></p> <p><b>Title of new work</b> Diversity and abundance of dinoflagellates (Dinoflagellata) associated with harmful algal blooms in the Central Pacific of Guatemala.</p> <p><b>Institution name</b> University of Santiago de Compostela, Spain</p> <p><b>Expected presentation date</b> Dec 2024</p>	<p><b>Additional Data</b></p> <p><b>Portions</b> Figure 2. Prorocentrum micans on page 34</p> <p><b>The Requesting Person / Organization to Appear on the License</b> Karla Evelyn Paz Cordón</p>
--	---

<p><b>Requestor Location</b></p> <p>Karla Paz Km.24.2 Carretera a El Salvador</p> <p>Requestor Location Guatemala, Guatemala 01062 Guatemala</p>	<p><b>Tax Details</b></p> <p><b>Publisher Tax ID</b> GB 494 6272 12</p> <p><b>Customer Tax ID</b> GT12649112</p>
--	--



Este estudio fue realizado en Puerto Quetzal, Guatemala, una región afectada por cambios oceanográficos y florecimientos algales nocivos. Se realizaron muestreos en tres sitios utilizando botellas Van Dorn y redes de fitoplancton, a profundidades de 1.5 y 5 metros, para estudiar la composición de especies. Se identificaron 42 especies de dinoflagelados, algunas potencialmente tóxicas. Como resultado de la información recopilada, se elaboró un Catálogo de Especies del área del Pacífico Central de Guatemala. Los hallazgos ofrecen nuevos conocimientos sobre la comunidad de fitoplancton y llenan un vacío en la investigación de una región donde anualmente ocurren florecimientos algales, con impactos ecológicos significativos y riesgo de intoxicaciones humanas.