

Diatomeas

del Pacífico central de Guatemala

Karla Paz Cordón
Yuri B. Okolodkov
Fernando Cobo Gradín



USAC
Educación Superior
pública y gratuita



DGI Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala





USAC
Educación Superior
pública y gratuita

DGI Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala

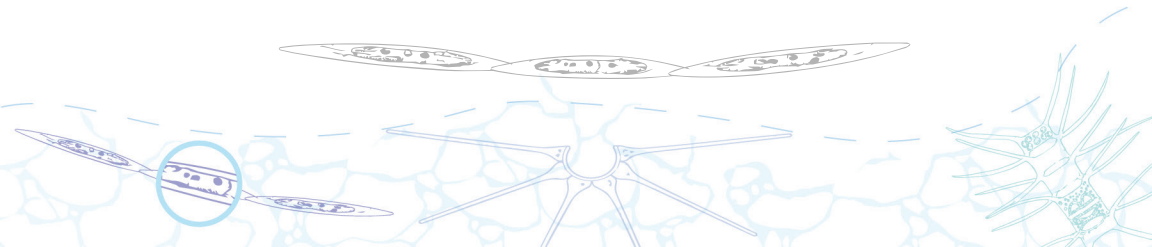


Diatomeas

del Pacífico central
de Guatemala



Karla Paz Cordón
Yuri B. Okolodkov
Fernando Cobo Gradín



Directorio

Universidad de San Carlos de Guatemala

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis
Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero
Secretario General

Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

M.Sc. Erick Villagrán Colón
Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura
CEMA -USAC

MSc. José Ortiz
Coordinador del Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas
IIH-CEMA

Dirección General de Investigación

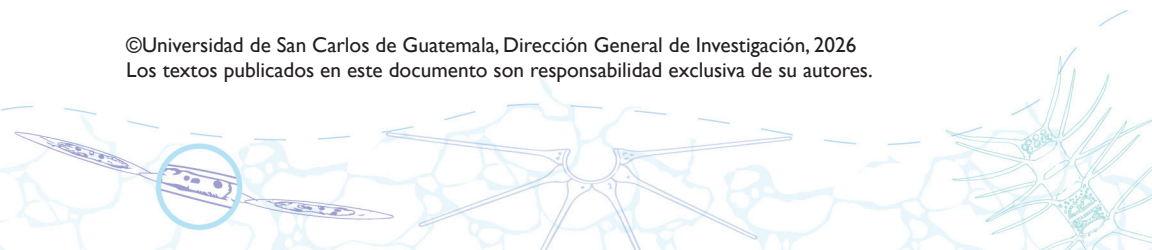
Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

Unidad de Publicaciones y Divulgación

M.A. Marlene Pawlova Pérez Muñoz
Jefa Unidad de Publicaciones y Divulgación

Lic. Alexander Alegría Monterroso
Diseño y Diagramación

©Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, 2026
Los textos publicados en este documento son responsabilidad exclusiva de su autores.



Diatomeas del Pacífico central de Guatemala

En cada diatomea, la naturaleza parece ensayar una arquitectura de cristal: diminuta, precisa y luminosa, invisible al ojo común, pero extraordinaria bajo el microscopio. Mirarlas es entrar en un mundo secreto, donde cada frústula revela formas, simetrías y delicados trazos de sílice que parecen haber sido dibujados con paciencia infinita. En su aparente fragilidad habita un misterio: nacen, se dividen, reducen su tamaño, recuperan su forma y continúan suspendidas en el agua como pequeñas testigos de la vida. Son organismos discretos, pero esenciales; sostienen redes tróficas, producen oxígeno, participan en los ciclos del carbono y del silicio, y reflejan la historia química de los ecosistemas que habitan. Algunas, además, nos recuerdan que la belleza microscópica también puede contener advertencias, al formar compuestos y toxinas capaces de transformar la salud de los mares y de quienes dependen de ellos. Así, cada diatomea es a la vez cristal, memoria, alimento, señal y enigma: una pequeña obra viva que nos invita a mirar con asombro la inmensidad escondida en una gota de agua.

Karla Paz



Nombre: Paz Cordon, Karla Evelyn, autor. | Okolodkov, Yuri, autor. | Cobo Gradín, Fernando, autor.

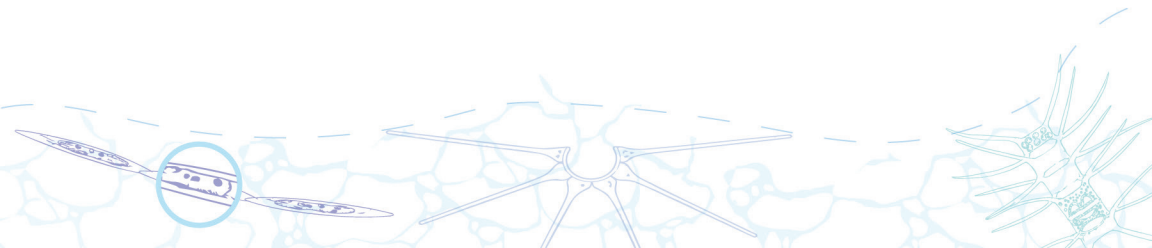
Título: Diatomeas del Pacífico central de Guatemala / autores Karla Evelyn Paz Cordon, Yuri Okolodkov y Fernando Cobo Gradín.

Descripción: Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, Centros de Estudios del Mar y Acuicultura, Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas, Unidad de Publicaciones y Divulgación, 2026. | 92 páginas : ilustraciones ; 20 x 15 cm.

Identificadores: ISBN 978-9929-620-67-4

Temas: LEMB: Algas marinas. | Biología marina. | Morfología (biología). | Océano Pacífico.

Clasificación: CDD 579.85 P348



Índice General

I. Introducción.....	13
II. Resultados	29
III. Listado de especies.....	43
IV. Referencias	83
V. Autores.....	89

Índice de tablas

Tabla 1

Listado de especies de diatomeas del Pacífico de Guatemala durante el año 2021 con base en las muestras cuantitativas tomadas con botella Van Dorn en tres sitios de muestreo: Boya Texaco (TEX), Boya Recalada (REC), y Boya Entre Morros (MOR). Números son abundancias por especie se expresan en células por mililitro (cél/ml).....

31

Tabla 2

Índices de biodiversidad por boya en el área de estudio.....	34
--------------------------------------------------------------	----

Tabla 3

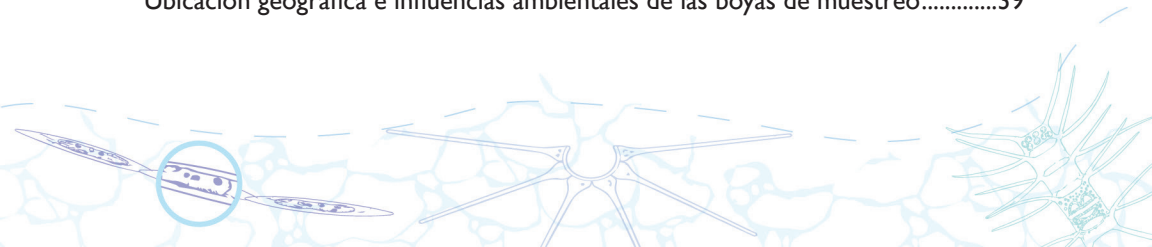
Características cualitativas de la comunidad de diatomeas y factores ambientales asociados por boya.....	35
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 4

Evaluación de la riqueza esperada y tendencia de acumulación de especies por boya	39
-----------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 5

Ubicación geográfica e influencias ambientales de las boyas de muestreo.....	39
------------------------------------------------------------------------------	----



Índice de figuras

Figura 1

Estructura y morfología básica de diatomeas. Adaptado de Blanco (2011) 16

Figura 2

Estructura y morfología básica de diatomeas. Adaptado de Blanco (2011) 17

Figura 3

Esquema básico de la célula de diatomeas.
Adaptación de TAIT & DIPPER (1998) 18

Figura 4

Representación esquemática básica del ciclo de vida y tipos de reproducción de las diatomeas (Lora-Vilchis, 2020) 19

Figura 5

Ejemplificación de la reducción celular de diatomeas
perfil de la frústula (Hans & Micha, 2002) 20

Figura 6

Comparación de entre diatomeas pennadas (A) y centricas (B).
(Haeckel, 1904) 23

Figura 7 46

Figura 8 47

Figura 9 49

Figura 10 52

Figura 11 55

Figura 12 58

Figura 13 59

Figura 14 62

Figura 15 64

Figura 16 65

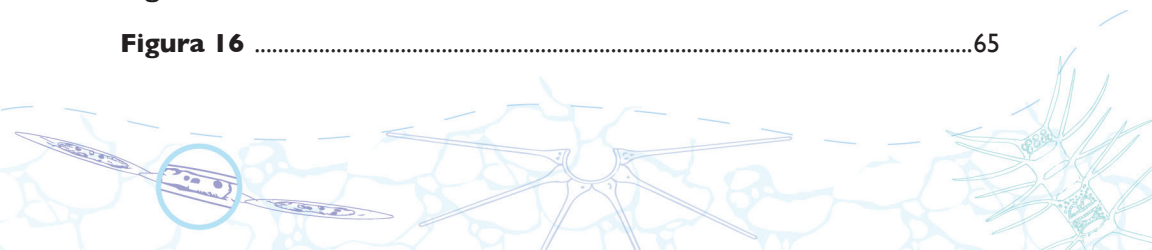


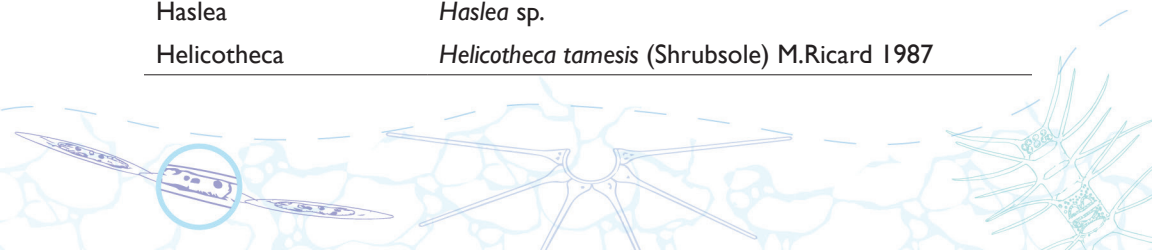
Figura 17	66
Figura 18	67
Figura 19	70
Figura 20	71
Figura 21	72
Figura 22	73
Figura 23	75
Figura 24	77
Figura 25	78
Figura 26	79
Figura 27	81
Figura 28	82



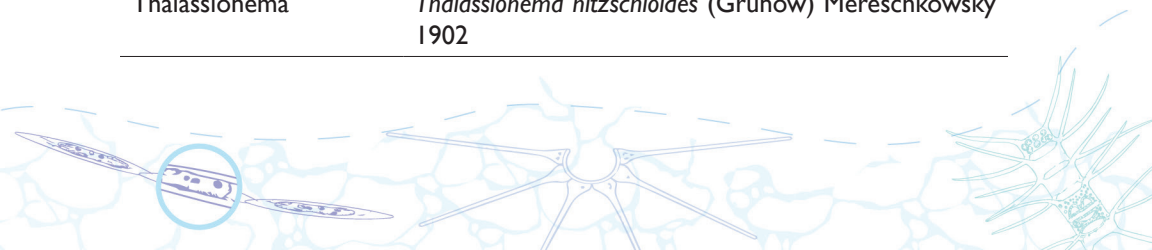
Lista de especies y/o géneros

Especies registradas en el documento

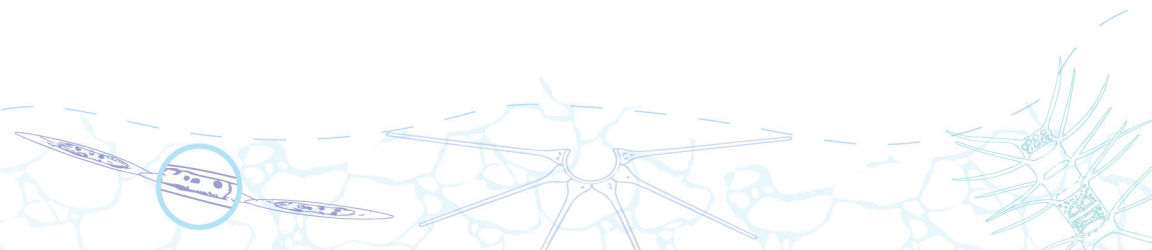
Género	Especie o taxón
Asterionellopsis	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round 1990
Bacteriastrum	<i>Bacteriastrum hyalinum</i> Lauder 1864
Bellerochea	<i>Bellerochea malleus</i> (Brightwell) Van Heurck 1885
Chaetoceros	<i>Chaetoceros aequatorialis</i> Cleve 1901
Chaetoceros	<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864
Chaetoceros	<i>Chaetoceros borealis</i> Bailey 1854
Chaetoceros	<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889
Chaetoceros	<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889
Chaetoceros	<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873
Chaetoceros	<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1863
Chaetoceros	<i>Chaetoceros pendulus</i> Karsten 1905
Chaetoceros	<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell 1856
Chaetoceros	<i>Chaetoceros singularis</i> Gran 1904
Chaetoceros	<i>Chaetoceros</i> sp.
Climacodium	<i>Climacodium frauenfeldianum</i> Grunow 1868
Coscinodiscus	<i>Coscinodiscus granii</i> L.F.Gough 1905
Coscinodiscus	<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg 1841
Ditylum	<i>Ditylum brightwellii</i> (T.West) Grunow 1885
Guinardia	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle 1997
Guinardia	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) H.Peragallo 1892
Guinardia	<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle 1996
Gyrosigma	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1853
Haslea	<i>Haslea</i> sp.
Helicotheca	<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) M.Ricard 1987

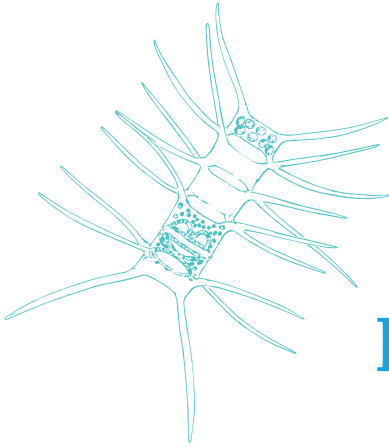


Género	Especie o taxón
Hemiaulus	<i>Hemiaulus</i> sp.
Lauderia	<i>Lauderia annulata</i> Cleve 1873
Leptocylindrus	<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve 1889
Licmophora	<i>Licmophora abbreviata</i> C.Agardh 1831
Lithodesmium	<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg 1839
Melosira	<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827
Nitzschia	<i>Nitzschia longissima</i> Kützinger 1849
Planktoniella	<i>Planktoniella sol</i> (G.C.Wallich) Schütt 1892
Pleurosigma	<i>Pleurosigma angulatum</i> (J.T.Quékett) W.Smith 1852
Pleurosigma	<i>Pleurosigma directum</i> Grunow 1880
Pleurosigma	<i>Pleurosigma elongatum</i> W.Smith 1852
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden 1928
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i> (Cleve) Hasle 1993
Pseudo-nitzschia	<i>Pseudo-nitzschia subpacifica</i> (Hasle) Hasle 1993
Rhizosolenia	<i>Rhizosolenia bergonii</i> H.Peragallo 1892
Rhizosolenia	<i>Rhizosolenia clevei</i> Ostefeld 1903 var. <i>clevei</i>
Rhizosolenia	<i>Rhizosolenia clevei</i> var. <i>communis</i> Sundström 1984
Rhizosolenia	<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell 1858
Rhizosolenia	<i>Rhizosolenia robusta</i> Pritchard 1961
Rhizosolenia	<i>Rhizosolenia styliformis</i> T.Brightwell 1858
Skeletonema	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve 1873
Skeletonema	<i>Skeletonema tropicum</i> Cleve 1900
Stephanopyxis	<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Greville) Grunow 1884
Sundstroemia	<i>Sundstroemia setigera</i> (Brightwell) Medlin 2021
Thalassionema	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Tempère et Peragallo 1910
Thalassionema	<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky 1902



Género	Especie o taxón
Trieres	<i>Trieres mobiliensis</i> (Bailey) Ashworth et E.C.Theriot 2013
Trieres	<i>Trieres regia</i> (M.Schultze) Ashworth et E.C.Theriot 2013
Trieres	<i>Trieres chinensis</i> (Greville) Ashworth et E.C.Theriot 2013





I. 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 aún hoy totalmente inadvertidos para la inmensa mayoría de las gentes...»

Roque Carús Falcón (1903)

1. Introducción a las diatomeas

Las diatomeas son conocidas como unas diminutas algas microscópicas que no superan en tamaño a un cuarto del diámetro de un cabello humano, son las responsables de proveer el oxígeno a una quinta parte al medio en el que vivimos y del cual respiramos (Quinteros, 2020). Junto a los otros grupos de microalgas con quienes forman una sola comunidad fitoplanctónica representan alrededor del 50% del oxígeno del planeta. Las diatomeas son autotróficas fotosintéticas y en cuanto a la abundancia, constituyen casi la mitad de la biomasa fitoplanctónica de los océanos. Esto equivale casi al 45% de la productividad primaria en los ambientes acuáticos, mientras que, a nivel del planeta, son las responsables de aproximadamente el 25% de productividad primaria, lo que equivale a una fijación de carbono mayor que la que producen en su conjunto, todas las selvas tropicales del mundo (Field et al., 1998).

En términos de distribución, las diatomeas habitan casi todos los ambientes acuáticos y en algunas ocasiones se pueden encontrar en ambientes terrestres con cierto contenido de humedad; desde aguas termales hasta hielos marinos, en ambientes ácidos o alcalinos, dulceacuícolas o hipersalinos, las especies de diatomeas tienen amplios rangos de tolerancia y distribución (Seckbach & Kociolek, 2011), habitan ambientes oligotróficos (pobres en nutrientes) o muy eutrofizados (elevada abundancia de nutrientes y materia orgánica), también pueden vivir como endosimbiontes de otros microorganismos como los dinoflagelados y foraminíferos (Kociolek & Hamsher, 2017).

En cuanto a su origen, se piensa que las algas eucariotas se originaron durante la era Proterozoica (hace unos 2,500-560 millones de años), mediante un evento de endocitosis primaria, en el que una cianobacteria (roja o verde) fue “engullida” por una célula heterótrofa y que la adoptó como parte de ella. El resultado de esta “fusión”, fue el primer ancestro autótrofo eucarionte, a partir del cual se originaron las algas verdes, las rojas y las glaucofitas, hace unos 200 millones de años (Benoiston et al., 2017).

Sin embargo, los primeros registros de diatomeas se hicieron en rocas sedimentarias fechadas en el período Cretácico (145.6-65.0 millones de años atrás). Con base en los adelantos en microscopía y la aplicación de un moderno concepto de especie, la estimación del número de especies podría ser de 100,000-200,000 alrededor de 360

géneros (Okolodkov & Huerta- Quintanilla, 2018). Posteriormente en el período del Eoceno (hace unos 50 millones de años), aparecieron los primeros registros de las diatomeas que poseen rafé, una formación anatómica, que parece producida por la unión o sutura de dos mitades laterales de un órgano (Benoiston et al., 2017).

De acuerdo a su forma de vida, generalmente son solitarias, aunque existen registros de que pueden vivir en colonias, formando cadenas o agregados. Por lo general son microscópicas y miden unas cuantas micras, pero algunas pueden crecer hasta 200 micras (= micrómetros, μm), y su alto contenido de silicio estructural le concede la mitad del peso seco de toda la célula y es por ello que son las principales responsables del reciclamiento de silicio en los océanos. El contenido de silicatos es tal que puede servir como un lastre para las partículas que las contienen, sean agregados celulares o heces del zooplancton, lo que permite un rápido hundimiento que lleva a estos agregados hacia el fondo marino, constituyendo la llamada “nieve marina” (Riley, 1963, 1970; Silver, 2015; Silver et al., 1978, Silver & Gowing, 1991).

El potencial metabólico y la fisiología de las diatomeas han permitido su adaptación exitosa a un entorno evolutivo con grandes cambios, lo que a su vez ha tenido repercusiones globales en los ecosistemas acuáticos. Por lo que conocer el papel de las diatomeas ha sido muy importante en la determinación de la composición gaseosa de la atmósfera y de la temperatura global (Lora-Vilchis, 2020). Comprender cómo los cambios atmosféricos y marinos influyen sobre este grupo taxonómico requiere de un mayor conocimiento de su fisiología y su papel ecológico al ser el componente más importante de la bomba biológica de carbono, algo muy importante en el contexto del cambio climático global.

En la actualidad sobresalen algunas publicaciones relacionadas a este filo que son aplicables para la identificación de diatomeas en Guatemala, estas guías son:

Identificación del fitoplancton marino, el editor Carmelo R. Tomas (1997) compiló una guía diseñada para el trabajo con microscopio óptico. El libro recopila una lista taxonómica, referencias bibliográficas e históricas. Incluye los principales grupos como dinoflagelados, diatomeas (Hasle & Syvertsen, 1997) y silicoflagelados.

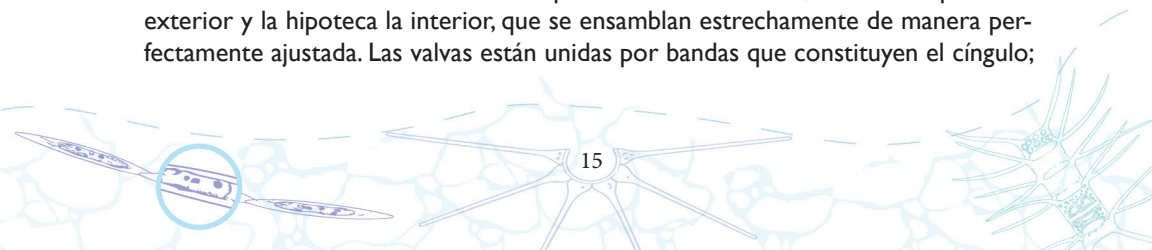
El libro “Phycology” de Robert E. Lee (2008), en la cual describe las características morfológicas y evolutivas de las algas unicelulares.

Uno de los documentos de apoyo y fundamentación más importantes para el desarrollo del tema morfología y clasificación de diatomeas fue la publicación escrita por Round et al. (1990), “The Diatoms. Biology and morphology of the genera”.

2. Morfología y terminología utilizada en la identificación

La característica más significativa de las diatomeas es su pared fina de sílice en su forma orgánica de silicato, que forma una caja. La estructura de las diatomeas se divide principalmente en dos formas: céntricas-radial y pennadas, siendo estas últimas las más extensas (Hasle & Syvertsen, 1997; Lee, 2008; Quinteros, 2020).

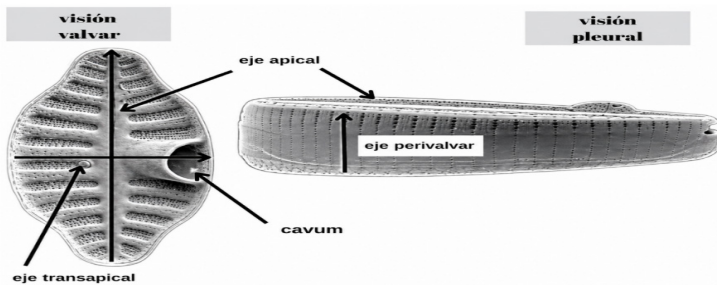
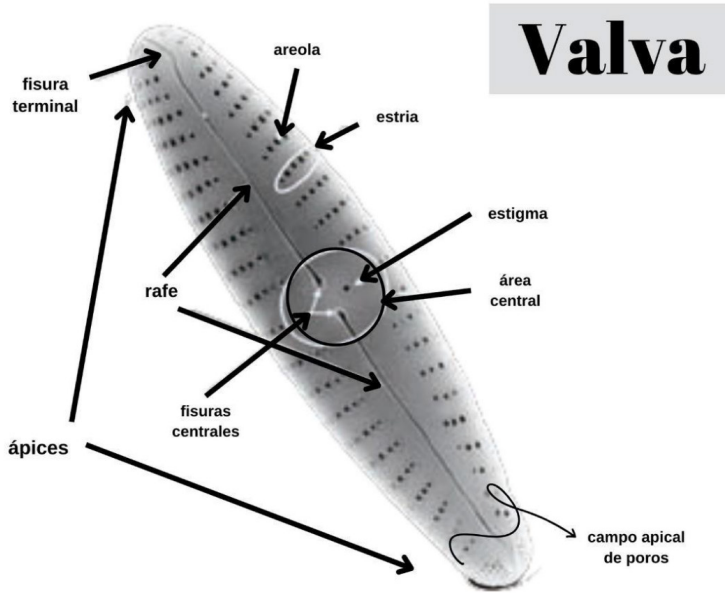
La frústula se encuentra constituida por dos tecas o valvas, siendo la epiteca la exterior y la hipoteca la interior, que se ensamblan estrechamente de manera perfectamente ajustada. Las valvas están unidas por bandas que constituyen el cíngulo;



sobre la valva se presentan poros (areolas) de gran diversidad con una intrincada y delicada trama y textura (Figura 1); los tamaños, formas y cubiertas son característicos de cada especie (Lora-Vilchis, 2020).

Figura 1

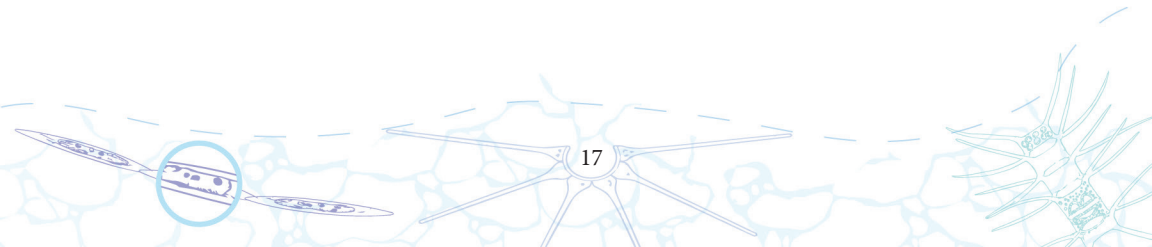
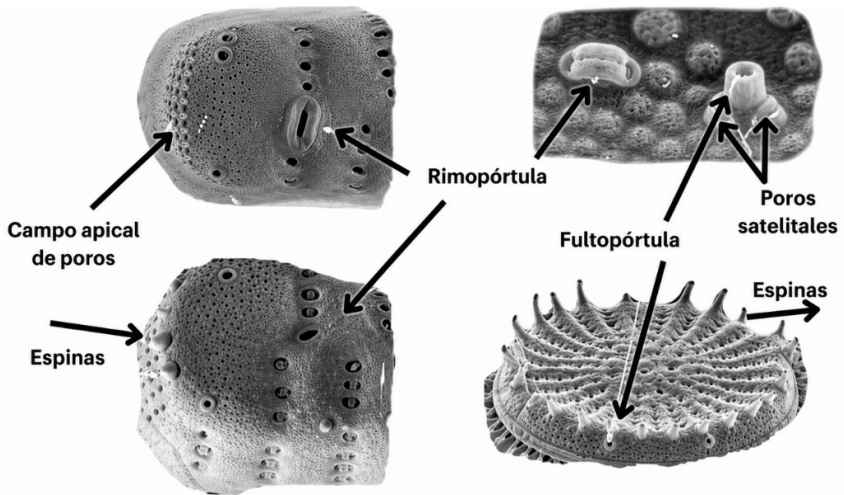
Estructura y morfología básica de diatomeas. Adaptado de Blanco (2011)



Las valvas están ornamentadas con una escultura intrincada de diminutas depresiones, perforaciones o pequeños puntos elevados que a veces son dispuestas en hermosos patrones simétricos de gran variedad. En algunos, la pared celular tiene proyecciones más grandes que forman espinas, cerdas y protuberancias (Hasle & Syvertsen, 1997; Tait & Dipper, 1998). La ornamentación aumenta el área de superficie y también fortalece la pared celular, que en la mayoría de diatomeas planctónicas es muy delgada. En algunas especies, el crecimiento ocurre por elongación de las valvas en sus márgenes formando una serie de bandas intercalares. Los engrosamientos internos de estas bandas pueden formar tabiques que dividen parcialmente el interior de la frústula (Figura 2).

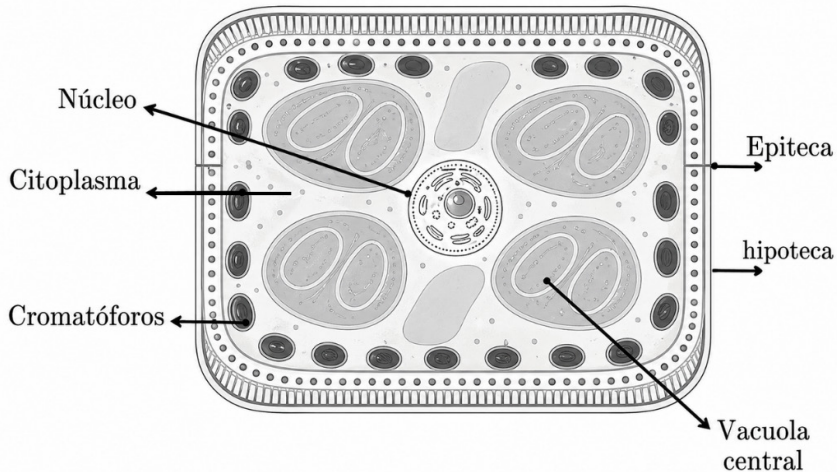
Figura 2

Estructura y morfología básica de diatomeas. Adaptado de Blanco (2011)



El citoplasma suele recubrir la pared celular y contiene numerosos y pequeños puntos de color marrón llamados cloroplastos o cromatóforos (Figura 3). Posee una vacuola central que contiene una savia celular. El núcleo con una película envolvente de citoplasma a menudo está suspendido dentro de la vacuola, sostenido por hilos citoplasmáticos que se extienden desde la capa periférica. En diatomeas planctónicas, la savia celular es probablemente más ligera que el agua de mar y puede conferir algo de flotabilidad para soportar el protoplasma más pesado y la pared celular. En muchas diatomeas el citoplasma no está confinado al interior de la frústula, sino que exuda a través pequeñas perforaciones para cubrir la superficie o formar hilos largos y delgados, y estos pueden unir las células en cadenas (Hasle & Syvertsen, 1997; Lee, 2008; Tait & Dipper, 1998).

Figura 3
Esquema básico de la célula de diatomeas. Adaptación de TAIT & DIPPER (1998)



3. Ciclo de vida

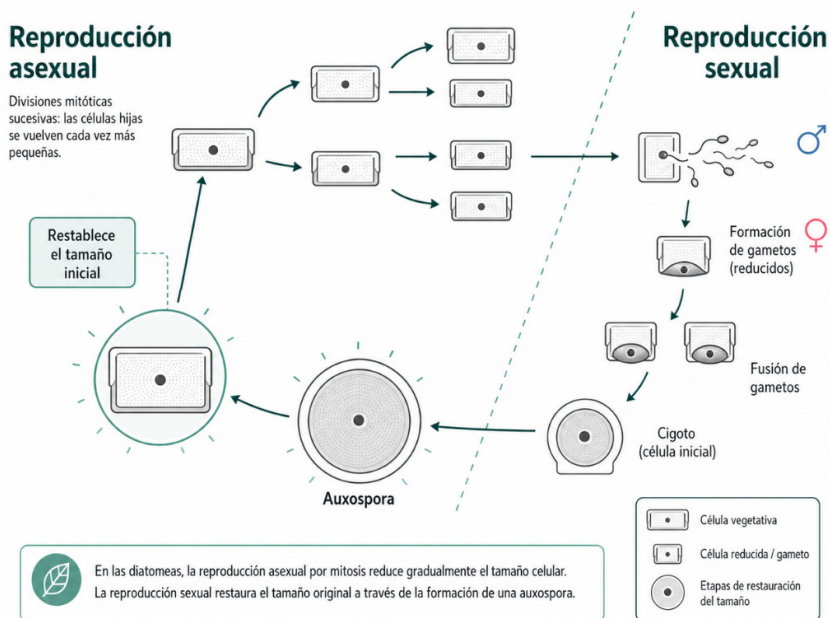
La mayoría de las especies de diatomeas superficiales, es decir, planctónicas se renuevan por reproducción asexual una vez al día, aunque también pueden reproducirse de forma sexual. Sus ciclos de vida tienen una duración promedio de siete días y posteriormente los esqueletos de diatomeas se van al fondo marino para formar exudados silicios (Figura 4) (Zepeda-Gómez, 2019; Lora-Vilchis, 2020; Quinteros, 2020).

Como la pared celular es rígida la célula no puede modificar su tamaño, sin embargo, el desplazamiento de las bandas de unión permite que se lleve a cabo un crecimiento en la parte central de la frústula y de esta manera se renueven por reproducción asexual (Round et al., 1990). Por esta razón cuando la célula alcanza un tamaño crítico después de varias reproducciones asexuales para evitar la extinción de la célula, hay un cambio de estrategia reproductiva, pasando de una reproducción asexual a la reproducción sexual o meiosis, lo que implica la formación de gametos (masculinos y femeninos).

Cuando los gametos se unen conforman una auxospora de mayor tamaño, que bajo condiciones ambientales propicias puede evolucionar a una célula con características estructurales similares a las que la originó, pero de mayor tamaño. Particularmente, las diatomeas céntricas producen gametos de diferente tamaño y forma, (el masculino posee flagelos y es más pequeño) mientras que, en las diatomeas penadas, ambos gametos son iguales (Lee, 2008).

Figura 4

Representación esquemática básica del ciclo de vida y tipos de reproducción de las diatomeas (Lora-Vilchis, 2020).



Por lo tanto, el ciclo de vida de las diatomeas consiste de largos periodos de reproducción asexual con la consecuente reducción de tamaño, la cual puede durar varios años (Mann, 1988), alternando con una restauración del tamaño vía auxosporulación, el cual puede durar unos pocos días. De manera que una misma población puede estar estructurada de diferentes tallas de diatomeas produciendo un espectro multimodal de tamaños y de formas (Canizal, 2009; Round et al., 1990).

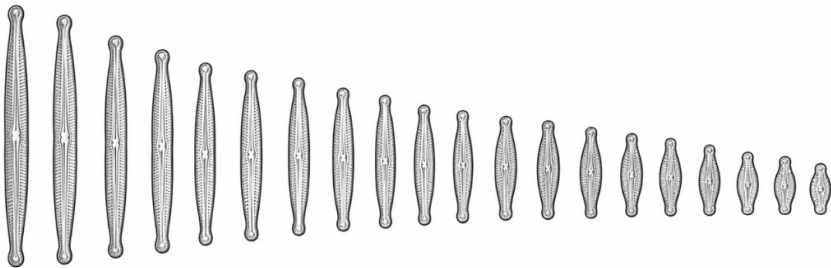
Reproducción asexual en diatomeas

Las diatomeas, igual que la mayoría de las células eucariontes, se reproducen por mitosis y citocinesis. Durante la fase I se observa un proceso de crecimiento en volumen y masa del citoplasma hasta el momento en que el ADN se replica (fase S), posteriormente se observa otro período de crecimiento (f_2) que dura hasta la división nuclear (mitosis) y la citocinesis (Canizal, 2009; Hasle & Syvertsen, 1997).

Durante la fase M, el núcleo se divide y el protoplasma se constriñe para iniciar la citocinesis dentro de la frústula intacto de la célula madre. Cada una de las células hijas comienza a producir una nueva hipoteca y es hasta que se han formado por completo cuando las células hijas se separan, de manera que las tecas o valvas de la célula madre pasan a ser las epivalvas de las células hijas. Una de las células resultantes de la división tendrá una epivalva vieja y una hipovalva nueva, lo que le permite conservar su tamaño original, sin embargo, una de las células hijas, la que toma la hipovalva madre (de menor tamaño) como epivalva nueva, desarrollará una hipovalva más pequeña que la original. Este proceso lleva a una reducción del tamaño de la mitad de las células hijas de la población (Figura 5) (Canizal, 2009; Hans & Micha, 2002; Mann, 1988; Round et al., 1990).

Figura 5

Ejemplificación de la reducción celular de diatomeas perfil de la frústula (Hans & Micha, 2002)



Reproducción sexual en diatomeas

El proceso de reducción de tamaño se presenta con cada división vegetativa sucesiva, hasta que el tamaño de las células pone en riesgo la continuidad de la población. El principal proceso de restauración del tamaño es por medio de la auxosporulación (Round et al., 1990), proceso asociado con la reproducción sexual.

Una vez que la población ha presentado varias fases de multiplicación vegetativa con la consecuente reducción del tamaño de las células, éste se restaura evitando la desaparición de la población, a través de la formación de auxosporas, proceso de reproducción sexual, precedido por la meiosis. En las diatomeas pennadas la reproducción sexual involucra la formación de isogametos, sin embargo, aunque no existen diferencias morfológicas, en algunos géneros se han observado diferencias fisiológicas entre ellos. Uno de los isogametos permanece dentro del gametangio, en tanto que el otro migra durante el proceso de plasmogamia (Canizal, 2009; Mann & Droop, 1996; Round et al., 1990).

4. Clasificación

Han existido diversos modelos de clasificación de las diatomeas que se han ido modificando conforme avanza el estudio de este filo, y han dado lugar a nuevas clasificaciones (Hustedt, 1930; Round et al., 1990; Simonsen, 1979), en la actualidad se dividen a estos organismos en dos grupos principales que se han mencionado anteriormente, siguiendo un criterio fundamentalmente morfológico, basado en la simetría de la ornamentación de la valva y la presencia o ausencia de rafé (fisura central). Solo uno de estos modelos de clasificación ha tomado en cuenta datos genéticos del ARN ribosomal de algunas especies (Medlin & Kaczmarek, 2004).

Las diatomeas planctónicas presentan una considerable variedad de formas, están adaptadas para proporcionar una gran relación superficie/volumen que mejora su eficiencia fotosintética (Round et al., 1990; Tait & Dipper, 1998). Se pueden agrupar en cuatro grandes categorías derivadas de la primera clasificación (céntricas y pennadas) de la siguiente manera (Tait & Dipper, 1998).

- Formas de pastilleros: generalmente circulares y radialmente simétricas cuando se ven en la parte superior o vista inferior; por ejemplo, *Coscinodiscus* y *Hyalodiscus*. A veces están conectados por hebras protoplásmicas para formar cadenas, por ejemplo, *Thalassiosira* y *Coscinosira*.

- Formas de varilla o aguja: la división entre las válvulas puede estar en ángulos rectos al eje largo de la célula, por ejemplo, *Rhizosolenia*, y estos a menudo se unen de extremo a extremo para formar cadenas rectas. En otros la división corre longitudinalmente, por ejemplo, *Thalassiothrix*, *Asterionella*, y estos pueden unirse para formar cúmulos similares a estrellas o hebras irregulares en zig-zag.
- Formas filamentosas: células unidas de extremo a extremo por las superficies de la válvula para formar cadenas rígidas y cilíndricas o cintas flexibles como *Fragilaria*.
- Formas ramificadas: células que tienen varias espinas grandes u otras proyecciones, y a veces unidos en cadenas por contacto entre espinas, *Chaetoceros*, o por secreciones pegajosas como *Trieres*.

Las valvas de las diatomeas tienen ornamentaciones características que permiten distinguir a las diferentes especies, e inclusive variedades, dentro del grupo. Las especies de diatomeas son bastante específicas a las condiciones en las que viven, por ejemplo:

pH, alcalinidad, salinidad, contenido de nutrientes, etc. Debido a esto y a la gran abundancia que pueden llegar a tener, es posible utilizarlos como indicadores ambientales e inclusive realizar, a partir de las asociaciones encontradas en una secuencia estratigráfica marina o lacustre, así como realizar estimaciones sobre los valores que presentaron estos parámetros en el pasado (Battarbee et al., 2001; Stoermer & Smol, 1999).

Según la clasificación de diatomeas propuesta por Round y colaboradores (1990), éstas pertenecen a una división con tres clases, la clase Coscinodiscophyceae, donde se clasifican todas las diatomeas céntricas, y las clases Fragilariophyceae y Bacillariophyceae dentro de las cuales se agrupan las diatomeas pennadas (Figura 6).

Diatomeas céntricas:

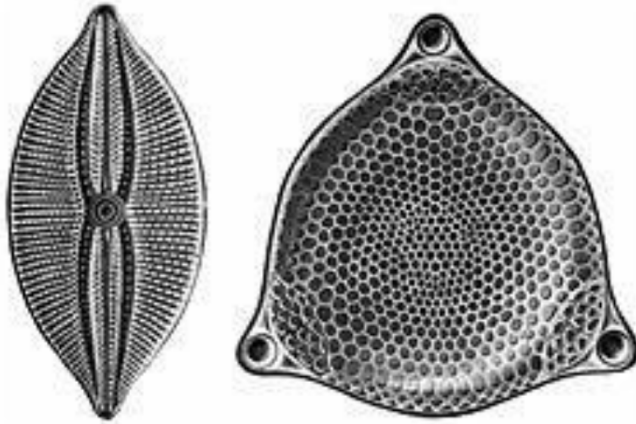
Son simétricas en vista valvar, en vista periapical que presentan simetría radial y presentan reproducción sexual oogámica (Canizal, 2009).

Diatomeas pennadas:

Son simétricas en vista valvar y presentan simetría bilateral en vista periapical y producen isogametos amoeboideos (Canizal, 2009).

Figura 6

Comparación de entre diatomeas pennadas (A) y centricas (B). (Haeckel, 1904)



5. Descripción de principales órdenes

La división Bacillariophyta Karsten 1928 consta de tres clases: Coscinodiscophyceae, Bacillariophyceae y Fragilariophyceae. Los principales órdenes son:

- a. Chaetocerotales: Perteneciente a las diatomeas céntricas (con simetría radial), en su mayoría marinas, actualmente existen 233 especies de la familia Chaetocerotophycidae, pertenecientes a 4 familias y 8 géneros (Sournia, 1978).
- b. Hemiaulales: Existen 53 especies de Hemiaulales, divididos entre 11 géneros y 2 familias, estos incluyen a los grupos *Hemiaulaceae* y *Belleracheaceae* (Round et al., 1990). Pertenecen a las diatomeas céntricas, cara de la valva cóncava en vista cingular ancha, bandas apenas visibles, cadenas enrolladas helicoidalmente se encuentran comúnmente en cadenas (Olenina et al., 2006; Sournia, 1986).
- c. Fragilariales: Su característica principal se encuentra en que las frústulas son pennadas (con simetría bilateral) y no presentan rafé. Muchas son unicelulares, aunque algunas de ellas pueden existir como colonias en

forma de filamentos o cintas. Se registran 332 especies divididas entre dos familias y 47 géneros (Hasle & Syvertsen, 1997; Round et al., 1990).

- d. Triceratales: Este orden se compone de dos familias, 25 géneros y 196 especies. Sus grupos principales son: Triceratiaceae y Plagiogrammaceae (Hasle & Syvertsen, 1997).
- e. Bacillariales: Los géneros más representativos como *Nitzschia* se encuentran en ambientes halófilos, este género incluye varias especies de diatomeas de importancia para la salud pública por producir la neurotoxina conocida como “ácido domoico”, una toxina responsable de la enfermedad humana llamada envenenamiento amnésico por mariscos (Hasle & Syvertsen, 1997; Hogan, 2008).
- f. Biddulphiales: Diatomeas céntricas de forma elíptica, oval o semi rectangular, esta familia tiene variabilidad valvar; la mayoría de especies son marinas, usualmente solitarias o pueden encontrarse formando cadenas (Hasle & Syvertsen, 1997; Prescott, 1978; Sournia, 1986).
- g. Briggerales: Constituyen un grado evolutivo intermedio entre las diatomeas céntricas que son más antiguas y las diatomeas pennadas que evolutivamente son posteriores. Su morfología es intermedia entre estos grupos, por lo que es radial-bipolar y la estructura de la valva está dispuesta en referencia a un punto central de la valva o en referencia a dos, tres o más puntos (valva gonioide) de manera que aparecen valvas circulares, triangulares, triangulares o poligonales (Prescott, 1978; Sournia, 1986).
- h. Coscinodiscales: Es uno de los géneros más comunes de las diatomeas céntricas. La identificación de las especies se basa en las dimensiones y características de la frústula: arreglo y densidad areolar, posición de las macrorimopórtulas, y presencia de microrimopórtulas sobre la valva además del anillo marginal. Se han registrado 152 especies aceptadas taxonómicamente, de las cuales la mayoría de los representantes se encuentran en hábitats marinos (Guiry & Guiry, 2025).
- i. Lithodesmiales: Existen 16 especies divididos entre 5 géneros y 1 familia: Lithodesmiaceae. Suelen tener una forma rectangular en un cinturón y se unen para formar filamentos, son algas planctónicas marinas (Prescott, 1978; Sournia, 1986).

- j. Naviculales: Se caracteriza por células solitarias o en cadenas, son predominantemente epipéllicas. También se pueden encontrar en ambientes epífitos, bentónicos y subaéreos, y más raramente en hábitats planctónicos. Existen 11 familias y más de 10,000 especies registradas (Hasle & Syvertsen, 1997; Sournia, 1986; Round et al., 1990).
- k. Rhizosoleniales: Existen 55 especies de Rhizosoleniales, en 8 géneros y 2 familias: *Rhizosoleniaceae* y *Pyxillaceae* (Round et al., 1990).
- l. Stephanopyxales: Células céntricas conectadas por cadenas, propias de ambientes subtropicales marinos, aunque pueden ser cosmopolitas, planctónicas (Hasle & Syvertsen, 1997; Round et al., 1990).
- m. Thalassiosirales: Este orden se distingue por que son las únicas células que tienen una única cara de valva plana. Estas diatomeas son comunes en hábitats salobres, cercanos a la costa y en mar abierto, con aproximadamente la misma cantidad de especies marinas y de agua dulce. Existen 471 especies registradas (Prescott, 1978; Round et al., 1990; Sournia, 1988).
- n. Thalassionematales: Son parte de las diatomeas pennadas, se pueden encontrar en todo el mundo excepto en las regiones polares a lo largo de las aguas poco profundas del océano costero; forman grupos o cadenas. Existen 21 familias y alrededor de 174 especies descritas (Prescott, 1978; Round et al., 1990; Sournia, 1988).

6. Ecología de diatomeas

A menudo el fitoplancton incluye una colección numerosa y diversas especies muy pequeñas y móviles denominados colectivamente microflagelados. En los ambientes marinos generalmente predominan comúnmente dos grupos de importancia en el fitoplancton: diatomeas (Bacillariophyta) y dinoflagelados (Dinoflagellata).

Usualmente, las diatomeas pueden encontrarse comúnmente en formas flotantes libres (planctónicas), adheridas a la superficie de otras plantas o animales y en los lechos marinos. Ciertas especies bentónicas que viven en los sedimentos tienen capacidad de motilidad, deslizándose en columna de agua y en condiciones cambiantes. Cuando mueren las diatomeas planctónicas, fragmentos de sus valvas se hunden

hasta el fondo del mar y esta acumulación de material de diatomeas da lugar a un exudado silíceo que da lugar a la formación de los sedimentos biogénicos (Hasle & Syvertsen, 1997; Tait & Dipper, 1998).

Los exudados silíceos constituyen aproximadamente el 15% del fondo del océano (De Master, 1981). Las diatomeas han evolucionado para absorber sílice del medio en forma de ácido silícico, $\text{Si}(\text{OH})_4$. Una vez que un organismo ha capturado moléculas de $\text{Si}(\text{OH})_4$ en su citoplasma, las moléculas se transportan a vesículas de deposición de sílice donde se transforman en sílice de ópalo. Las diatomeas tienen proteínas especializadas llamadas transportadoras de silicio que evitan la mineralización durante la captura y transporte de ácido silícico dentro del organismo. Una vez depositado el exudado, la sílice continúa disolviéndose y ciclando, retrasando el entierro a largo plazo de las partículas hasta que se alcanza una profundidad de 10 a 20 cm en la capa de sedimento (Dixit et al., 2002).

Se estima que la producción de sílice biogénica en la zona fótica es de $240 \pm 40 \text{ Tmol/año}^{-1}$. (1 Tmol = 10^{12} moles). La rápida disolución en la superficie elimina aproximadamente 135 Tmol de ópalo de sílice por año⁻¹, convirtiéndose de nuevo en ácido silícico soluble que puede usarse nuevamente para biomineralización. En la interfase sedimento-agua, más del 90% de la sílice se recicla y se remodela para su uso nuevamente en la zona fótica. Se estima que el tiempo de residencia en una escala de tiempo biológica es de unos 400 años, con cada molécula de sílice reciclada 25 veces antes del entierro del sedimento (Tréguer & De La Rocha, 2013; Van Cappelle, 2003). Otro sumidero importante de silicio marino se encuentra en los márgenes continentales, donde acaban $3.6 \pm 3.7 \text{ Tmol/año}$, principalmente en forma de espículas silíceas que son el componente básico de las esponjas vítreas Hexactinellida. La sílice también puede salir del ciclo permanentemente cuando se convierte en chert (el chert es una roca sedimentaria rica en sílice de grano fino microcristalina que pueden contener pequeños fósiles) (Gaillardet et al., 1999).

Las diatomeas son productores primarios que convierten el dióxido de carbono en carbono orgánico a través de la fotosíntesis y exportan carbono orgánico desde la superficie del océano a las profundidades del mar a través de la bomba biológica (Armbrust, 2009). Casi todas las diatomeas son organismos fotosintéticos y contribuyen significativamente a la producción primaria de nuestro planeta, especialmente en los ambientes costeros como lagunas costeras y estuarios (Okolodkov & Huerta-Quintanilla, 2018).

Al ser el componente más grande del fitoplancton, las diatomeas son las principales participantes de la bomba biológica de carbono, contribuyen grandemente al proceso de captación del CO₂ por fotosíntesis para producir materia orgánica, su transferencia a los productores primarios en la capa fótica, y posteriormente la captura de este carbono mediante su hundimiento hacia grandes profundidades, para depositarse finalmente en el fondo marino y formar parte del sedimento (Basu & Mackey, 2018; Lora-Vilchis, 2020; Tréguer et al., 2017).

Por lo tanto, las diatomeas pueden ser un sumidero importante de dióxido de carbono en las aguas superficiales. Debido al tamaño relativamente grande de las diatomeas (en comparación con otros grupos de fitoplancton), pueden absorber más dióxido de carbono total. Además, las diatomeas no liberan dióxido de carbono al medio ambiente durante la formación de sus conchas de silicato de ópalo (Armbrust, 2009; Tait & Dipper, 1998). El fitoplancton que forma las cáscaras de carbonato de calcio libera dióxido de carbono como subproducto durante la formación de la cáscara, lo que los convierte en un sumidero menos eficiente para el dióxido de carbono. Los esqueletos de silicato de ópalo mejoran la velocidad de hundimiento de las partículas de diatomeas desde la superficie del océano hasta el fondo marino (Iversen & Plough, 2010).

7. Especies de diatomeas causantes de mareas rojas, tóxicas o potencialmente tóxicas

Hasta hace pocos años los registros de eventos de intoxicación causados por microalgas planctónicas marinas estuvieron restringidos, en forma casi exclusiva, a los dinoflagelados como causantes de estos eventos muchas veces catastróficos. Sin embargo, episodios ocurridos más recientemente en áreas costeras permitieron establecer que otros grupos fitoplanctónicos tales como diatomeas, primnesiofíceas y rafdofíceas también son capaces de producir este tipo de eventos en el medio marino (Sar et al., 2002).

El primer episodio de intoxicación asociado a la presencia de diatomeas data del año 1987 y se produjo en la Isla Príncipe Eduardo, en la costa este de Canadá. A raíz de este suceso murieron tres personas y alrededor de ciento cinco presentaron síntomas agudos de envenenamiento a consecuencia del consumo de bivalvos

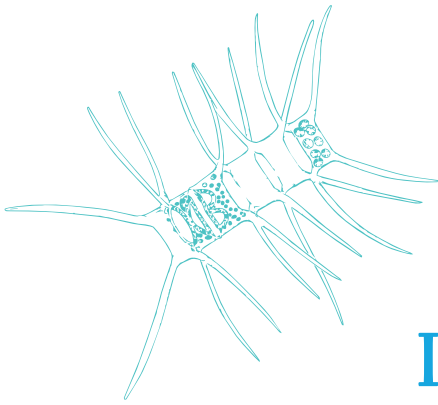
(Bates et al., 1989). Los síntomas eran desórdenes gastrointestinales en los casos leves, desórdenes neurológicos, trastornos del equilibrio, desorientación, pérdida permanente de la memoria de corto plazo, en los casos severos, llegando incluso a la muerte del paciente en los casos más graves (Todd, 1993).

Las investigaciones llevadas a cabo durante este episodio ocurrido en Canadá, demostraron que el agente causante fue *Nitzschia pungens*, actualmente denominada *Pseudo-nitzschia multiseriata*, y que el bivalvo que actuó como vector fue el mejillón azul, *Mytilus edulis*. La biotoxina implicada causante de los daños fue el ácido domoico, un aminoácido previamente aislado de varias especies de macroalgas pertenecientes a la división Rhodophyta (Bates et al., 1989, 1995; Bates, 1998; Subba Rao et al., 1988).

Estudios posteriores demostraron que otras especies del género marino *Pseudo-nitzschia*, tales como *P. australis*, *P. delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. seriata* y *P. turgidula* han estado relacionadas con la producción de ácido domoico en el medio natural y en ensayos de laboratorio (Ssr et al., 2002). Varias especies del grupo bajo análisis, han sido señaladas como nocivas a pesar de no producir toxinas debido a que, en altas concentraciones, generan un medio anóxico que produce mortandad masiva de organismos marinos, o las que generan compuestos ricos en proteínas formando barreras que afectan a la migración de peces. Algunas especies que causan estos problemas son: *Coscinodiscus concinnus*, *Thalassiosira* sp. y *Cerataulina pelagica* (Hasle & Fryxell, 1995).

Las diatomeas de las especies mencionadas en altas concentraciones pueden producir mortalidad de especies marinas por el bajo nivel de oxígeno a causa de la mancha producida en la superficie. Estas toxinas también pueden afectar a los peces a distintos niveles, pueden provocar daños en la piel de los peces y dañar mecánicamente las branquias, y en muchas ocasiones producir la muerte. Aparte de todos los daños socioeconómicos y de salud pública que afectan a las poblaciones costeras con cada evento de florecimientos algales.

En los registros históricos de Guatemala, no se han presentado aún eventos de mareas rojas provocados por diatomeas marinas del género *Pseudo-nitzschia*, pueden encontrarse presentes en pequeñas concentraciones, pero no han sido los causantes primordiales de los eventos registrados con anterioridad en el país.

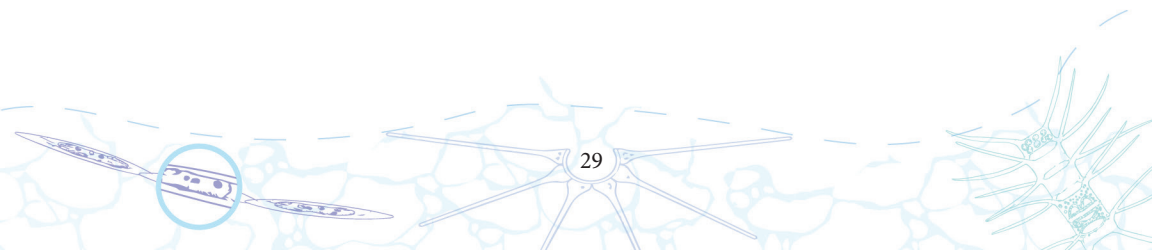


II. Resultados biológicos del área de estudio durante los muestreos realizados en 2021

«Figurémonos una cajita de diáfano cristal de Bohemia, frústula, que puede adoptar todas las formas imaginables [...] está dividida en dos mitades que se ajustan como las de una caja de cartón; que en el interior se encuentra una sustancia semilíquida [...] de aspecto y composición análogos a la clara de huevo [...] teñidas parcialmente de verde por la clorofila [...] y otro principio colorante amarillo, diatolina»

«¿es posible que hayan sido creadas para recorrer el tubo intestinal de una sardina, delfín o ballena, por más que muchas veces salgan intactas de la pasajera, infecta y humillante morada, quitando a salvo su cuerpo y tal vez su existencia, pero no así su honor?»

Roque Carús Falcón (1903)



Descripción del área de estudio y métodos

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 (TEX), Boya Recalada (REC) y Boya Entre Morros (MOR), utilizando botellas tipo Van Dorn a profundidades de 1.5 y 5 m. Además, se realizaron arrastres horizontales con una red de fitoplancton de 23 μm 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 (1958) usando un microscopio invertido.

Riqueza específica

Se identificaron un total de 53 especies de diatomeas, pertenecientes a 13 órdenes y 26 géneros (Tabla 1). Se encontraron diferencias significativas en la riqueza específica de especies entre los sitios de muestreo, siendo MOR el que presentó el mayor número de especies, mientras que REC registró la menor cantidad. En cuanto a la abundancia total de fitoplancton, se detectaron diferencias estadísticamente significativas únicamente entre los trimestres 1 y 2 ($p = 0.049$). Por otro lado, según la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, el cuarto trimestre presentó una abundancia significativamente diferente a los trimestres uno, dos y tres ($p < 0.05$), y el valor de abundancia para el trimestre tres fue de 1,797 células/ml (cél/ml). En cuanto a la distribución de especies, se observó que *Skeletonema costatum*, *S. tropicum*, *Coscinodiscus granii*, y *Chaetoceros lorenzianus* fueron las especies que se presentaron en el mayor número de sitios.

Tabla I

Listado de especies de diatomeas del Pacífico de Guatemala durante el año 2021 con base en las muestras cuantitativas tomadas con botella Van Dorn en tres sitios de muestreo: Boya Texaco (TEX), Boya Recalada (REC), y Boya Entre Morros (MOR). Números son abundancias por especie se expresan en células por mililitro (cél/ml).

Especie	Orden	TEX	REC	MOR
<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round 1990	Rhaphoneidales	33	16	90
<i>Bacteriastrium hyalinum</i> Lauder 1864	Chaetocerotales	9	6	6
<i>Bellerochea malleus</i> (Brightwell) Van Heurck 1885	Biddulphiales	70	36	22
<i>Chaetoceros aequatorialis</i> Cleve 1901	Chaetocerotales	12	0	0
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864	Chaetocerotales	46	26	22
<i>Chaetoceros borealis</i> Bailey 1854	Chaetocerotales	2	0	0
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve 1889	Chaetocerotales	69	37	178
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889	Chaetocerotales	2	0	0
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873	Chaetocerotales	1	0	0
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1863	Chaetocerotales	100	42	52
<i>Chaetoceros pendulus</i> Karsten 1905	Chaetocerotales	0	0	3
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell 1856	Chaetocerotales	59	13	34
<i>Chaetoceros singularis</i> Gran 1904	Chaetocerotales	21	18	35
<i>Chaetoceros</i> sp.	Chaetocerotales	4	0	8
<i>Climacodium frauenfeldianum</i> Grunow 1868	Chaetocerotales	6	9	13
<i>Coscinodiscus granii</i> L.F.Gough 1905	Chaetocerotales	159	237	267
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg 1841	Chaetocerotales	29	0	3
<i>Ditylum brightwellii</i> (T.West) Grunow 1885	Lithodesmiales	18	8	5
<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle 1997	Rhizosoleniales	5	0	0

Continuación Tabla I

Especie	Orden	TEX	REC	MOR
<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) H.Peragallo 1892	Rhizosoleniales	16	0	2
<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle 1996	Rhizosoleniales	45	10	34
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1853	Naviculales	4	17	2
<i>Haslea</i> sp.	Naviculales	21	10	6
<i>Helicotheca tamesis</i> (Shrubsole) M.Ricard 1987	Lithodesmiales	0	0	4
<i>Hemiaulus</i> sp.	Hemiaulales	15	5	6
<i>Lauderia annulata</i> Cleve 1873	Thalassiosirales	52	28	62
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve 1889	Chaetocerotales	4	1	9
<i>Licmophora abbreviata</i> C.Agardh 1831		1	0	0
<i>Lithodesmium undulatum</i> Ehrenberg 1839	Lithodesmiales	1	0	0
<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827	Melosirales	7	10	10
<i>Nitzschia longissima</i> Kützing 1849	Bacillariales	50	4	11
<i>Planktoniella sol</i> (G.C.Wallich) Schütt 1892	Thalassiosirales	4	18	1
<i>Pleurosigma angulatum</i> (J.T. Quekett) W.Smith 1852	Naviculales	31	6	9
<i>Pleurosigma directum</i> Grunow 1880	Naviculales	30	3	2
<i>Pleurosigma elongatum</i> W.Smith 1852	Naviculales	0	10	1
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden 1928	Bacillariales	116	123	184
<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i> (Cleve) Hasle 1993	Bacillariales	29	30	0

Continuación Tabla I

Especie	Orden	TEX	REC	MOR
<i>Pseudo-nitzschia subpacific</i> (Hasle) Hasle 1993	Bacillariales	42	0	4
<i>Rhizosolenia bergonii</i> H.Peragallo 1892	Rhizosoleniales	2	1	3
<i>Rhizosolenia clevei</i> Ostenfeld 1903 var. <i>clevei</i>	Rhizosoleniales	15	0	1
<i>Rhizosolenia clevei</i> var. <i>communis</i> Sundström 1984	Rhizosoleniales	0	0	5
<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell 1858	Rhizosoleniales	44	3	2
<i>Rhizosolenia robusta</i> Pritchard 1961	Rhizosoleniales	8	2	1
<i>Rhizosolenia styliformis</i> T.Brightwell 1858	Rhizosoleniales	2	0	0
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve 1873	Thalassiosirales	186	248	1271
<i>Skeletonema tropicum</i> Cleve 1900	Thalassiosirales	480	22	146
<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (Greville) Grunow 1884	Stephanopyxales	40	53	13
<i>Sundstroemia setigera</i> (Brightwell) Medlin 2021	Rhizosoleniales	33	19	8
<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Tempère et Peragallo 1910	Thalassionematales	63	159	207
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky 1902	Thalassionematales	24	36	28
<i>Trieres mobiliensis</i> (Bailey) Ashworth et E.C.Theriot 2013	Eupodiscales	7	13	9
<i>Trieres regia</i> (M.Schultze) Ashworth et E.C.Theriot 2013	Eupodiscales	8	0	6
<i>Trieres chinensis</i> (Greville) Ashworth et E.C.Theriot 2013	Eupodiscales	6	0	26

Abundancia y distribución

Tabla 2

Índices de biodiversidad por boya en el área de estudio

Boya	Riqueza específica (S)	Índice de Shannon (H')	Equidad de Pielou (J')	Dominancia de Simpson (D)
Texaco	49	3.063	0.787	0.086
Recalada	35	2.729	0.768	0.105
Morros	44	2.204	0.582	0.233

- **Riqueza específica (S)**
Texaco presentó la mayor riqueza específica, lo que sugiere una comunidad de diatomeas más diversa en términos de número de especies. Recalada tuvo la menor riqueza, lo que puede estar asociado a factores ambientales más restrictivos, menor heterogeneidad del hábitat, o mayor impacto humano.
- **Índice de diversidad de Shannon (H')**
Este índice refleja tanto la riqueza como la equitatividad. Texaco tiene la diversidad más alta, lo que implica una comunidad más compleja, con muchas especies y una distribución más equitativa de los individuos. Morros, a pesar de tener una buena riqueza, tiene la menor diversidad, posiblemente por la dominancia de una o pocas especies (como veremos en la dominancia de Simpson).
- **Equidad de Pielou (J')**
La equidad mide cuán uniformemente están distribuidos los individuos entre las especies. Texaco y Recalada presentan valores altos y similares (~0.77-0.79), lo que indica una distribución relativamente equitativa. Morros, en cambio, muestra un valor mucho más bajo, señal de que unas pocas especies dominan fuertemente esa comunidad.
- **Dominancia de Simpson (D)**
Este índice refleja la probabilidad de que dos individuos tomados al azar pertenezcan a la misma especie. Valores bajos indican mayor diversidad. Morros muestra una dominancia notablemente más alta, lo que refuerza

la idea de que pocas especies dominan allí, especialmente *Skeletonema costatum* (con >1200 células/ml), que seguramente desequilibra la comunidad.

Síntesis del análisis ecológico

Tabla 3

Características cualitativas de la comunidad de diatomeas y factores ambientales asociados por boya

Boya	Comunidad más diversa y equitativa	Comunidad dominada	Posible influencia
Texaco	Mayor riqueza y diversidad	Baja dominancia	Ambientes variados, condiciones estables
Recalada	Moderada en todo	Menor riqueza	Condiciones posiblemente más homogéneas
Morros	Baja equidad y alta dominancia	Dominancia marcada por <i>Skeletonema</i>	Posible eutrofización o perturbación puntual

- La boya Texaco alberga la comunidad más balanceada, diversa y equitativa de diatomeas.
- Recalada tiene una comunidad menos rica, pero con buena equidad y diversidad relativa.
- Morros muestra señales de dominancia ecológica por una o pocas especies, lo cual puede ser un signo de perturbación ambiental o condiciones locales muy favorables para ciertas diatomeas oportunistas.

Durante el período de muestreo se contabilizaron un total de 6,121 células de diatomeas, recolectadas en tres sitios de muestreo: boya Texaco, boya Recalada y boya Entre Morros. Se evidenció que no existieron diferencias significativas entre las profundidades de muestreo (1.5 m y 5 m) durante los diferentes trimestres del año (trimestre 1: $p = 0.7671$; trimestre 2: $p = 0.3391$; trimestre 3: $p = 0.7022$; trimestre 4: $p = 0.5818$), lo que permite considerar las muestras de ambas profundidades como equivalentes en términos de estructura comunitaria.

Comparación entre sitios de muestreo

La comparación de la abundancia total de diatomeas entre los tres sitios (TEX vs REC, $p = 0.24$; TEX vs MOR, $p = 0.5159$; MOR vs REC, $p = 0.09746$) refleja que no hubo diferencias significativas. Esto coincide con los índices ecológicos calculados previamente, donde la abundancia total puede ser similar, pero la estructura comunitaria difiere: por ejemplo, MOR presentó alta dominancia de *Skeletonema costatum*, mientras que TEX exhibió mayor equidad y riqueza específica.

Comparación entre órdenes de diatomeas

En la boya Texaco no se encontraron diferencias significativas entre los órdenes:

- Thalassiosirales vs Chaetocerotales ($p = 0.3228$)
- Thalassiosirales vs Coscinodiscales ($p = 0.1255$)

Sin embargo, sí se observó una diferencia significativa entre Chaetocerotales y Coscinodiscales ($p = 0.000743$). Esto es coherente con el mayor nivel de diversidad y equidad observado en Texaco (Shannon $H' = 3.06$; Pielou $J' = 0.79$), que permite detectar diferencias taxonómicas sutiles debido a la estructura comunitaria más compleja y balanceada.

Comparación entre diatomeas y dinoflagelados evaluados en el área de estudio

Las comparaciones entre los principales órdenes de diatomeas y dinoflagelados mostraron diferencias significativas:

- Thalassiosirales vs Gymnodiniales ($p = 0.01148$)
- Thalassiosirales vs Gonyaulacales ($p = 6.948e-05$)
- Chaetocerotales vs Gymnodiniales ($p = 0.02373$)
- Chaetocerotales vs Gonyaulacales ($p = 2.025e-05$)

Esto sugiere una respuesta diferencial de estos grupos ante las condiciones ambientales del área. Las diatomeas, típicamente asociadas a aguas bien mezcladas y ricas en nutrientes, contrastan con los dinoflagelados, que tienden a prosperar en aguas más estables y estratificadas.

Comparaciones adicionales entre órdenes

Diferencias significativas también fueron observadas:

- Entre diatomeas: Chaetocerotales vs Coscinodiscales ($p = 0.001238$)
- Entre grupos de diatomeas y dinoflagelados: Chaetocerotophycidae vs Gonyaulacales ($p = 0.0002889$); Thalassiosirales vs Gymnodiniales ($p = 6.185e-05$)

Estos resultados apuntan a una estructura taxonómica diferenciada en la comunidad fitoplanctónica, donde tanto la filogenia como la ecología funcional de cada grupo influyen en su distribución y abundancia.

Análisis específico por sitio

Texaco

Ubicada frente a Puerto San José, esta boya está influenciada por actividad antropogénica, una zona de descarga de hidrocarburos y el río Achiguate. A pesar de estas presiones, presentó la mayor riqueza y diversidad ($S = 49$; $H' = 3.06$). Esto indica que, en condiciones eutróficas moderadas o enriquecidas, la comunidad puede sostener una estructura diversa, posiblemente por la entrada de nutrientes y la del entorno.

Recalada

La boya más alejada de la costa, aunque influenciada por el río María Linda, y sirve como canal de navegación hacia el Puerto Quetzal. Mostró riqueza intermedia ($S = 35$), con valores de equidad relativamente altos ($J' = 0.77$), lo que sugiere una comunidad marina estable, pero con menor complejidad estructural que Texaco.

Entre Morros

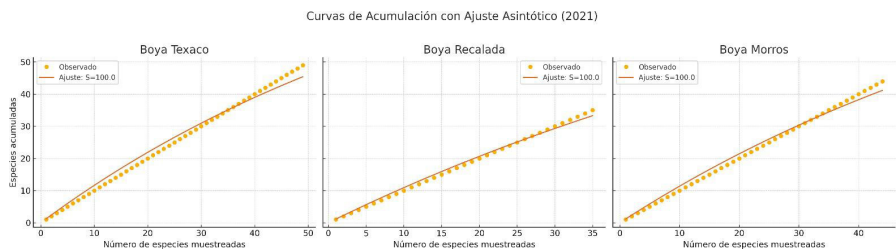
Ubicada en la entrada del puerto, altamente perturbada por tráfico de embarcaciones. Dominada por *Skeletonema costatum* (hasta 1,271 células/ml), esta boya mostró alta dominancia y baja equidad ($D = 0.233$; $J' = 0.58$). Las pruebas estadísticas reflejan que no existen diferencias entre órdenes de diatomeas, probablemente por el dominio de una sola especie.

Durante el período de muestreo se contabilizaron 6,121 células de diatomeas. Se evidenció que no existe diferencias entre las profundidades donde se realizaron los muestreos (1.5 m y 5 m) durante los diferentes trimestres a lo largo 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 entre los tres sitios muestreados (TEX vs REC: $p = 0.24$; TEX vs MOR: $p = 0.5159$; MOR vs REC: $p = 0.09746$) refleja que no hubo diferencias significativas.

Al comparar las diferentes áreas de muestreo y los principales órdenes registrados se obtuvo que la abundancia de organismos en las áreas de muestreo presentó los siguientes resultados:

Curva de acumulación de especies



Análisis de las asíntotas estimadas

La asíntota en una curva de acumulación representa la riqueza máxima esperada de especies si el esfuerzo de muestreo fuera infinito. A partir del modelo exponencial ajustado, se interpretan así:

Tabla 4*Evaluación de la riqueza esperada y tendencia de acumulación de especies por boya*

Boya	Asíntota (S esperada)	Tendencia observada
Texaco	Alta (S ≈ 50)	Curva se estabiliza rápidamente, con buena cobertura
Recalada	Media (S ≈ 35–40)	Estabilización moderada, buen muestreo, pero menor riqueza
Morros	Intermedia-alta (S > 44)	Curva aún en ascenso, sugiere submuestreo o dominancia de especies

Interpretación:

- Texaco tiene una comunidad bien caracterizada, con la mayoría de las especies ya observadas.
- Recalada presenta una diversidad menor pero igualmente bien muestreada.
- Morros, con una curva aún creciente, podría necesitar más esfuerzo para detectar especies raras o poco abundantes.

Áreas de muestreo y características ambientales**Tabla 5***Ubicación geográfica e influencias ambientales de las boyas de muestreo*

Boya	Ubicación/Entorno	Influencias ambientales clave
Texaco	Frente a Puerto San José; zona costera con actividad humana intensa	Descarga de hidrocarburos (zona Texaco), influencia del río Achiguate, posible contaminación puntual y nutrientes costeros
Recalada	Bóya de navegación más alejada de la costa	Influencia del río María Linda; zona de tránsito marítimo hacia Puerto Quetzal, menos presión directa costera
Morros	Entrada directa al puerto, alta actividad de embarcaciones	Fuertemente influenciada por el tránsito portuario; perturbaciones físicas y posibles resuspensiones

Texaco

- Su alta riqueza y diversidad puede reflejar una mezcla de nutrientes provenientes tanto del mar como del río Achiguate.
- La influencia antropogénica significativa (zona de descarga de hidrocarburos) no ha reducido la diversidad, lo cual podría deberse a la capacidad de resiliencia de algunas especies de diatomeas.
- Posibilidad de encontrar especies oportunistas resistentes a contaminantes, o de estructura comunitaria influenciada por pulsos de nutrientes y materia orgánica.

Recalada

- A pesar de estar más alejada de la costa, muestra una riqueza intermedia, influida por el río María Linda, lo cual introduce nutrientes, pero sin los impactos directos de la zona urbana o industrial.
- La comunidad podría representar condiciones más estables y marinas, pero aún con algún grado de influencia fluvial.
- Al ser una boya de tránsito marítimo, podría haber interferencia mecánica moderada (oleaje, navegación).

Morros

- Dominancia marcada por *Skeletonema costatum* y baja equidad podrían ser resultado directo de la actividad portuaria intensa, resuspensión de sedimentos y perturbaciones físicas.
- La elevada abundancia de ciertas especies indica un entorno altamente perturbado, que favorece florecimientos de especies resistentes y tal vez con tolerancia a condiciones eutróficas o a cambios bruscos.
- El ecosistema aquí puede estar mostrando señales de estrés ambiental localizado.

De acuerdo a los hallazgos encontrados llegamos a la interpretación que:

- Texaco y Morros, aunque ambas cerca del puerto, muestran respuestas ecológicas distintas: una con alta diversidad (Texaco) y otra con fuerte dominancia (Morros).
- Recalada sirve como punto de referencia intermedio, con menor influencia urbana directa pero aún bajo efectos fluviales y marítimos.

- Estos patrones son útiles para inferir la respuesta del fitoplancton ante presiones humanas y naturales, y podrían ser relevantes en programas de monitoreo ambiental costero.
- La mayor riqueza y equidad de Texaco puede estar relacionada con una alta heterogeneidad ambiental (gradientes de salinidad, nutrientes, etc.).
- Recalada tiene una comunidad más estable y homogénea.
- En Morros, la alta dominancia de *Skeletonema costatum* podría indicar un evento de eutrofización o florecimiento estacional, lo que reduce la equidad y permite que pocas especies proliferen en grandes cantidades.

Presencia de Especies en la Zona

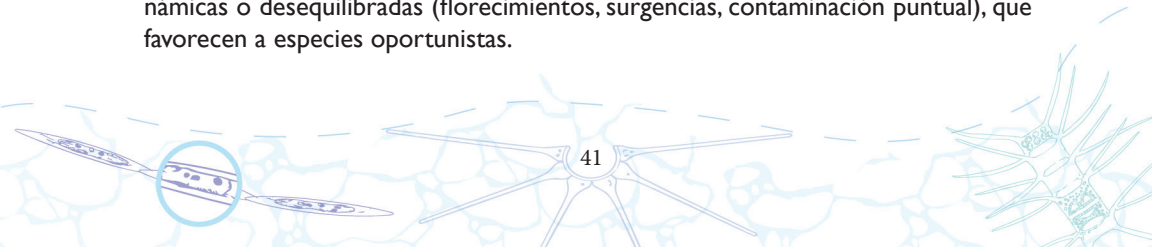
Se detectaron especies comunes y algunas de interés ecológico:

- Indicadoras de alta productividad:
 - *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros curvisetus*, *Coscinodiscus granii*. ○ Su abundancia en Morros sugiere condiciones de alta fertilidad o actividad de surgencia.
- Especies cosmopolitas y resistentes:
 - *Pseudo-nitzschia delicatissima* (posiblemente productora de toxinas), presente en todas las boyas.
 - *Lauderia annulata*, *Thalassionema frauenfeldii*, asociadas a aguas templadas o mezcladas.
- Especies escasas o puntuales:
 - Algunas como *Rhizosolenia clevei* var. *communis* o *Licmophora abbreviata* solo se presentaron en un sitio, lo que podría indicar microhábitats específicos o especies accidentales.

La comunidad de Texaco muestra alta riqueza y buena equidad, lo que refleja una comunidad ecológicamente madura, posiblemente con influencia de zonas estuarinas que enriquecen el ecosistema.

Recalada presenta una comunidad menos rica pero relativamente estable, ideal para representar condiciones promedio del área.

Morros, en cambio, tiene señales de dominancia, posiblemente por condiciones dinámicas o desequilibradas (florecimientos, surgencias, contaminación puntual), que favorecen a especies oportunistas.



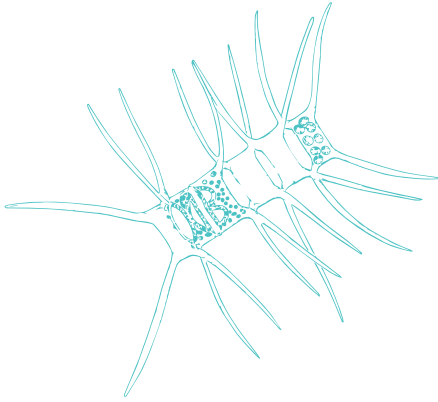
Esta diferenciación espacial es clave para entender la dinámica del fitoplancton en sistemas costeros del Pacífico guatemalteco, y puede ser útil para programas de monitoreo, alertas de florecimientos o estudios de productividad primaria.

Aunque la abundancia total no difiere significativamente entre sitios, la estructura de la comunidad sí lo hace, como lo indican los índices ecológicos y las pruebas estadísticas entre órdenes.

Las diferencias entre grupos taxonómicos son más marcadas en Texaco, donde la diversidad lo permite, y menos evidentes en Morros, donde la dominancia ecológica de pocas especies impide detectar variaciones internas.

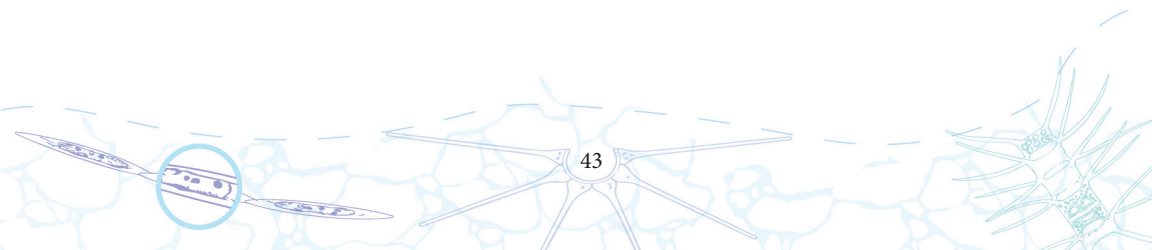
Las condiciones ambientales específicas de cada boya (hidrodinámica, descarga fluvial, presión humana) moldean una comunidad fitoplanctónica única en cada sitio.

La hidrografía de la costa del Pacífico de Guatemala es influenciada directamente por las condiciones oceánicas y se extiende hasta la plataforma continental y la zona costera. En estas áreas, las características topográficas y climatológicas locales pueden dar lugar a la formación de zonas de surgencias o levantamiento de la capa de mezcla. Se ha concluido que estos procesos son un factor determinante 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 relacionados con las escorrentías por lluvia, las diatomeas y dinoflagelados son los grupos dominantes que contribuyen en mayor medida a la productividad de la zona cercana a la costa.



III. Listado de especies

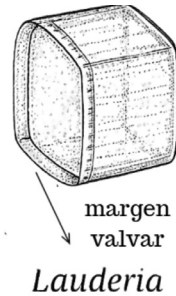
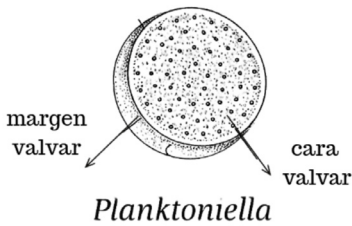
En el océano, las diatomeas viven como pequeñas joyas encerradas en estuches de vidrio exquisitamente ornamentados. Su frústula de sílice no solo resguarda la vida microscópica que contiene, sino que también participa en uno de los procesos más importantes del planeta: capturar la luz, transformar el carbono y liberar oxígeno. Así, dentro de una estructura casi invisible, se sostiene una parte silenciosa de la respiración de la Tierra (Princeton University, 2002).



Orden Thalassiosirales

El orden Thalassiosirales pertenece al grupo de diatomeas céntricas, caracterizadas por su simetría radial, frústula con estructuras ornamentales complejas y gran diversidad en formas de valvas.

Estructura	Descripción
Simetría	Radial (actinomorfa), típicamente vista en cara valvar.
Valvas	Circulares, elípticas, ovaladas o multipolares con areolas, espinas, o costillas.
Frústulo	Sílice, con anillos de cintura bien definidos.
Rafé	Ausente.
Colonias	Algunas especies forman cadenas o colonias filamentosas, por ejemplo, <i>Skeletonema</i> .
Cloroplastos	Dispuestos radialmente o marginales.
Fultoportulae y rimoportulae	Poros tubulares u ornamentaciones funcionales para secreción o adhesión.



Cuadro comparativo de géneros del orden Thalassiosirales

Género	Forma valvar	Organización colonial	Ornamentación	Características distintivas
Planktoniella	Circular u ovalada	Solitaria	Con espinas marginales	Prolongaciones marginales en forma de espinas
Skeletonema	Circular	En cadenas filamentosas	Fultoportulae en anillos	Uniones intercelulares con tubos marginales
Lauderia	Circular o poligonal	Cadenas laxas	Valvas con espinas radiales	Espinas unidas entre células; valva compleja

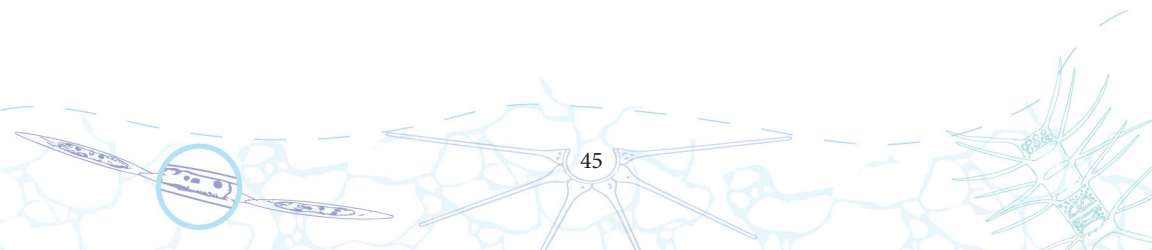
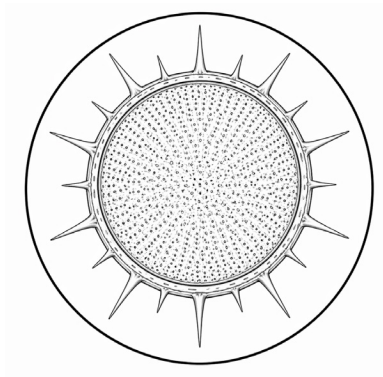
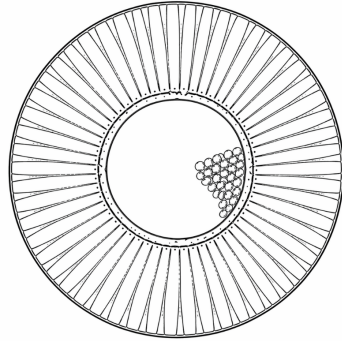


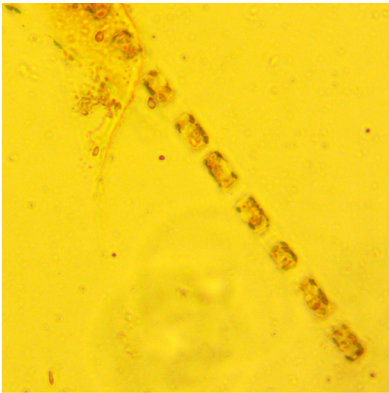
Figura 7



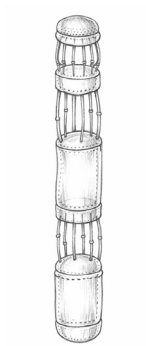
1



2



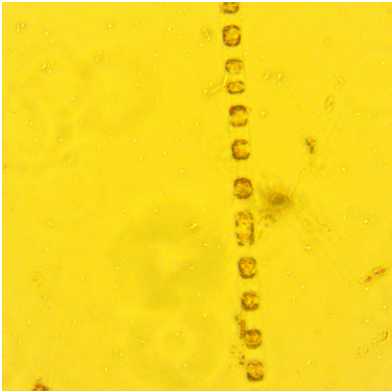
3



4

Nota. 1 y 2: *Planktoniella sol.* 3 y 4: *Skeletonema costatum*. Escala: 10 μ m

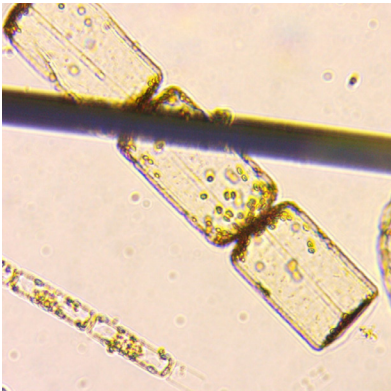
Figura 8



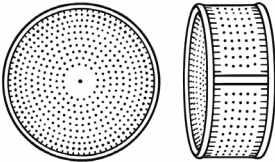
5



6

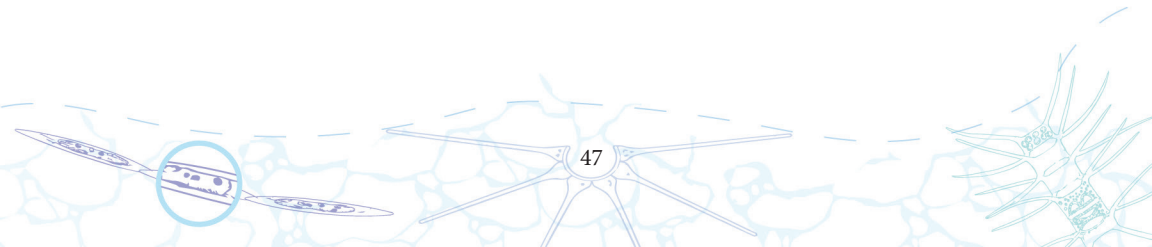


7



8

Nota. 5 y 6: *Skeletonema tropicum*. 7 y 8: *Lauderia annulata*. Escala: 10 µm



Orden melosirales

El orden Melosirales pertenece a las diatomeas céntricas. Se caracteriza por:

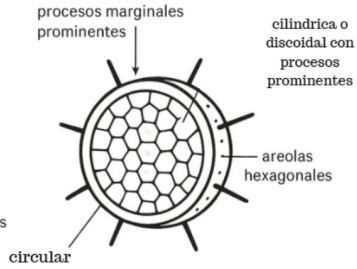
- Células generalmente no móviles y sin rafé (estructura para el movimiento en diatomeas pennadas).
- Valvas con simetría radial, a menudo ornamentadas con estrías o areolas. Colonias que se forman mediante enlaces mucilaginosos o estructuras especializadas (espinas o procesos marginales).
- Ambientes variados: especies tanto de agua dulce como marina.
- Este orden incluye géneros importantes como *Melosira* y *Stephanopyxis*, los cuales presentan adaptaciones morfológicas distintivas a sus hábitats respectivos.

Característica	<i>Melosira varians</i>	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>
Tipo de colonia	Filamentosas o cadenas cilíndricas	Cadenas o solitarias con procesos marginales
Forma de las células	Cilíndrica, ligeramente curvada	Cilíndrica o discoidal con procesos prominentes
Valvas	Circulares, planas o levemente convexas	Circular con procesos marginales prominentes
Rafé	Ausente	Ausente
Estructuras ornamentales	Anillos y estrías radiales finas	Areolas hexagonales, espinas y procesos tubulares
Hábitat común	Agua dulce y marino	Marino
Tamaño relativo	Mediano a grande	Grande

Figura 9



Melosira varians



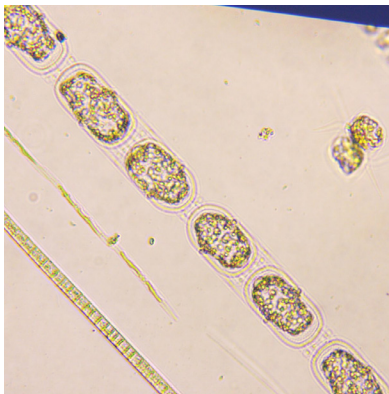
Stephanopyxis palmeriana



9



10



11



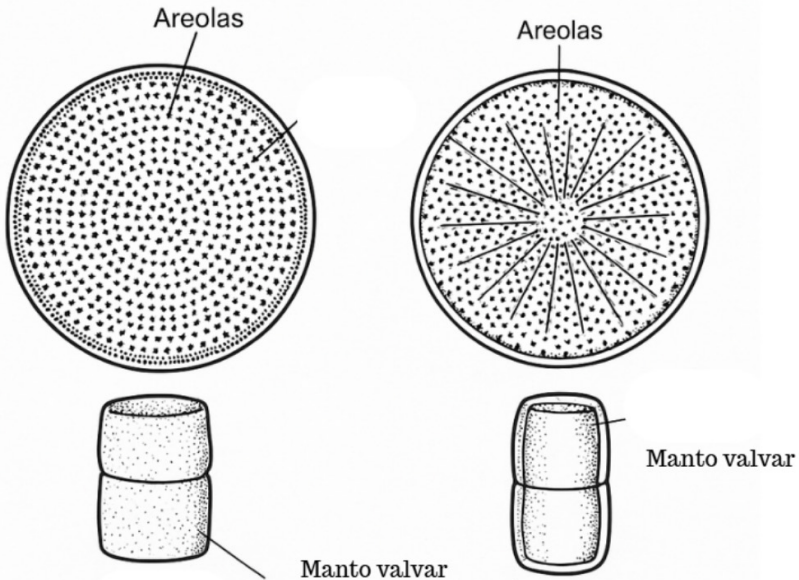
12

Nota. 9 y 10: *Melosira varians*. 11 y 12: *Stephanopyxis palmeriana*. Escala: 10 µm

Orden Coscinodiscales

El orden Coscinodiscales pertenece a las diatomeas céntricas. Estas diatomeas se caracterizan por:

- Simetría radial en las valvas.
- Células discoideas (forma circular o elíptica en vista valvar).
- Ausencia de rafé, por lo tanto no presentan movimiento activo.
- Areolas dispuestas en patrones radiales o concéntricos, muchas veces con ornamentaciones complejas.
- Predominantemente planctónicas y típicas de ambientes marinos.
- Importancia ecológica alta, especialmente como productores primarios.



Coscinodiscus granii

Coscinodiscus radiatus

Orden Coscinodiscales

Característica	<i>Coscinodiscus granii</i>	<i>Coscinodiscus radiatus</i>
Forma de la célula	Discoidal	Discoidal
Valvas (vista frontal)	Circular con patrón areolar denso	Circular con patrón areolar bien visible
Manto valvar	Amplio y levemente convexo	Pronunciado y abombado
Areolas	Finas, densamente organizadas	Grandes, dispuestas en patrón radial marcado
Tamaño celular	Grande (hasta 300 μm)	Grande (hasta 500 μm)
Distribución radial	Ordenada y uniforme	Radial con líneas más evidentes
Hábitat	Marino, común en zonas templadas	Marino, frecuente en aguas abiertas

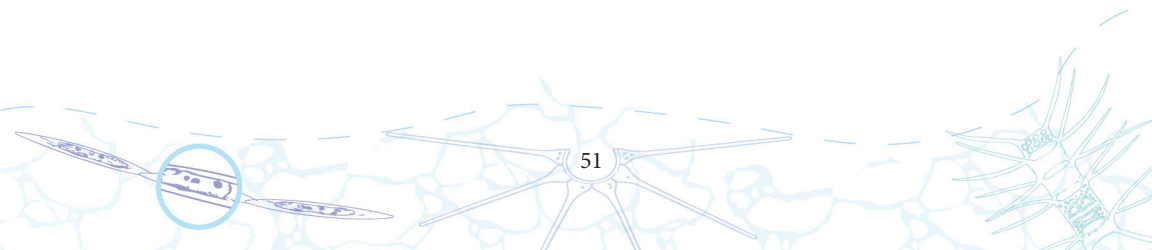
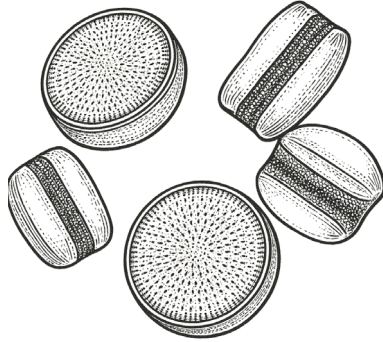


Figura 10



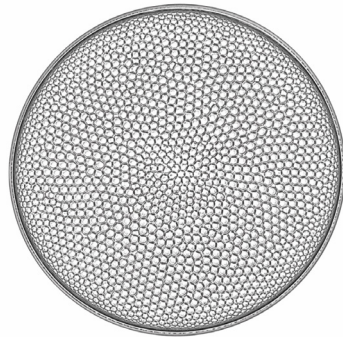
13



14



15



16

Nota. 13 y 14: *Coscinodiscus granii*. Vista de faja, que muestra el manto de la valva y las bandas de ancho desigual. 15 y 16: *Coscinodiscus radiatus*. Escala: 10 μ m

Orden Triceratales

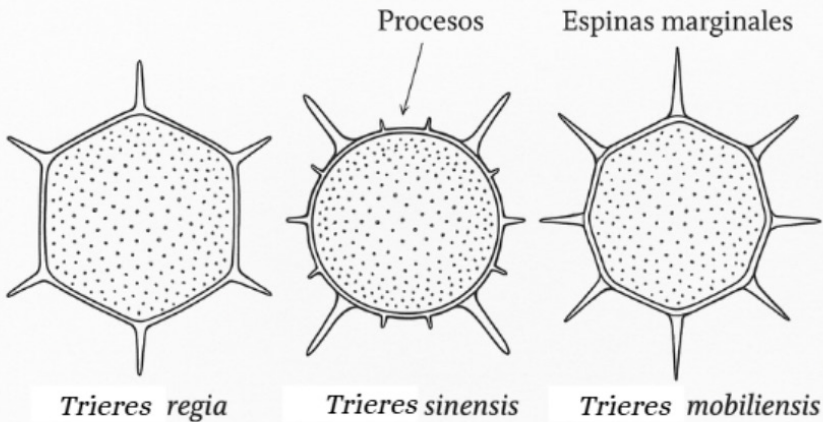
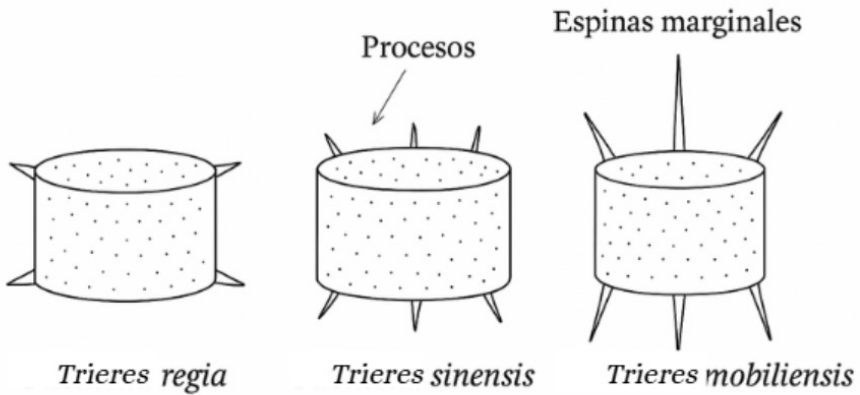
El orden *Triceratales* incluye diatomeas marinas centradas que se caracterizan por:

- Valvas radialmente simétricas, frecuentemente con procesos marginales (espinas o prolongaciones).
- Formación de colonias en cadenas, gracias a uniones por procesos o estructuras mucilaginosas.
- Células cilíndricas o poligonales en vista de faja.
- Presencia de areolas (perforaciones en la frústula) dispuestas radial o irregularmente.
- Géneros representativos: *Trieres*, *Triceratium*, *Odontella*, *Biddulphia*. Predominan en ambientes marinos y son frecuentes en muestras de plancton costero y oceánico.

Característica	<i>Trieres regia</i>	<i>Trieres sinensis</i>	<i>Trieres mobiliensis</i>
Forma de la célula	Cilíndrica robusta	Cilíndrica o ligeramente elíptica	Cilíndrica más delicada
Valvas (vista frontal)	Circular a poligonal	Circular	Circular a ovalada
Procesos marginales	Espinas cortas y gruesas	Espinas delgadas, moderadas	Procesos más alargados y finos
Conectividad colonial	Cadenas largas, bien unidas	Cadenas regulares	Cadenas más laxas o células solitarias
Manto valvar	Convexo y grueso	Levemente convexo	Plano o ligeramente curvo
Areolas y ornamentación	Areolas grandes, alineadas radialmente	Areolas finas, más densas	Areolas dispersas, menos visibles
Hábitat	Ambiente marino, zonas costeras	Ambiente marino, zonas templadas	Ambiente marino, aguas abiertas

Orden Triceratales

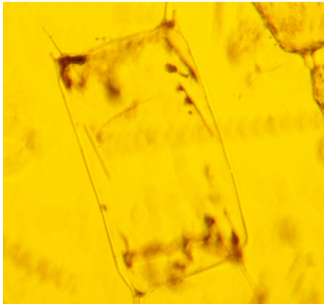
Vista de faja



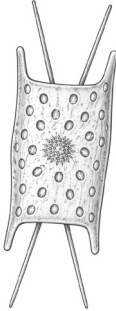
Las tres especies en la imagen tienen vista valvar, es decir, están observadas en vista valvar (como mirar la tapa de un cilindro). Esto se evidencia por sus formas circulares o poligonales y la disposición simétrica de las espinas marginales.

Orden Triceratales

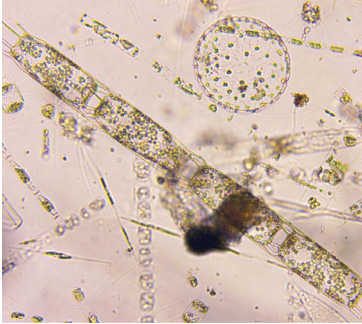
Figura 11



17



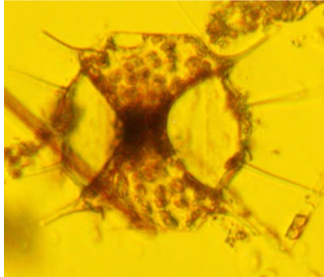
18



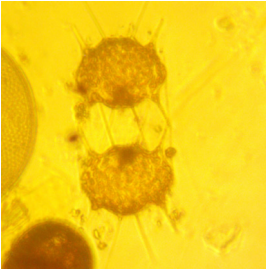
19



20



21



22

Nota. 17 y 18: *Triceres regia*. 19 y 20: *Triceres sinensis*. 21 y 22: *Triceres mobiliensis*. Escala: 10 µm

Orden Hemiaulales

El orden Hemiaulales pertenece a las diatomeas céntricas, aunque muchas de sus formas muestran características transicionales entre simetría radial y bilateral. Se caracteriza por:

- Células de morfología variable, desde formas falcadas a helicoidales.
- Frústulas con ornamentaciones y estructuras complejas, como espinas marginales, torsiones o pliegues.
- Organización colonial variada, incluyendo cadenas articuladas o helicoidales. Presencia de especies con torsión axial en el frústulo, poco común en diatomeas. Ambientes marinos planctónicos, muchas veces asociados a aguas templadas o tropicales.

Característica	<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	<i>Bellerochea malleus</i>	<i>Helicotheca tamesis</i>	<i>Hemiaulus</i> sp.
Forma de la célula	Ovalada, ligeramente comprimida	Alargada y curvada en forma de martillo	Helicoidal, con torsión evidente	Semilunar o falcada
Organización colonial	Solitarias o agrupaciones laxas	Cadenas largas, bien articuladas	Colonias helicoidales	Cadenas arqueadas o solitarias
Valvas (vista frontal)	Circular a subcuadrada	Ovalada a elíptica	Circular con torsión visible	Circular a elíptica con procesos marginales
Valvas (vista de faja)	Vista lateral plana y curva	Curva con extremos engrosados	Cilíndrica con espiral	Célula arqueada
Estructuras distintivas	Pliegues longitudinales en el manto	Valvas asimétricas y frústula martillada	Torsión helicoidal de la frústula	Espinas marginales y simetría bilateral
Hábitat común	Marino, zonas tropicales	Marino, aguas costeras	Marino, zonas abiertas	Marino, planctónico

Orden Hemiaulales

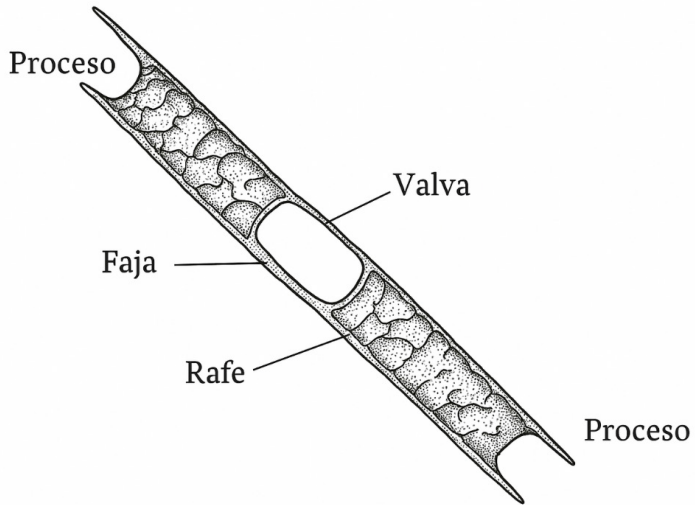
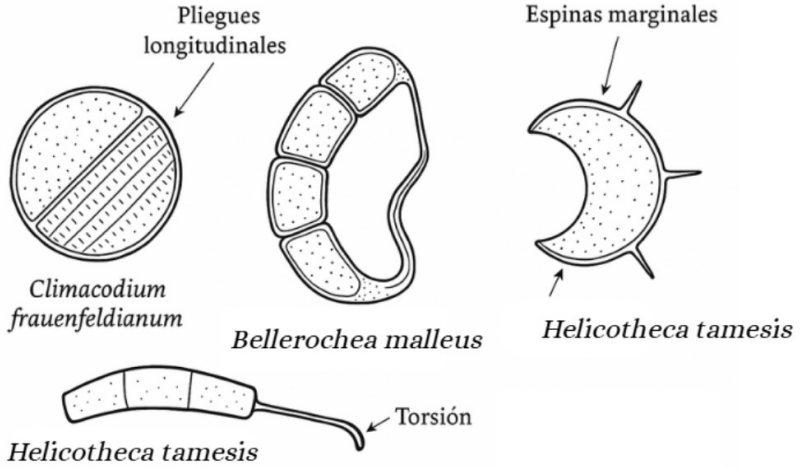
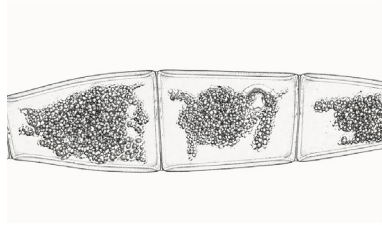


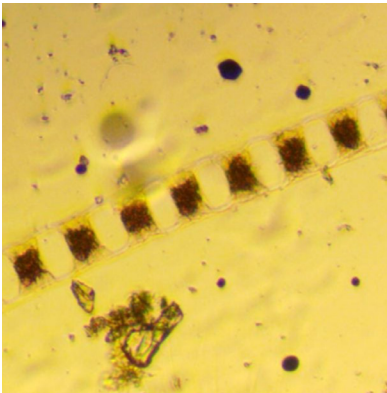
Figura 12



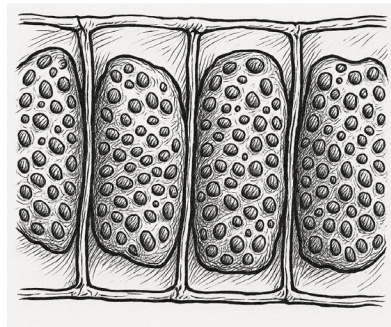
23



24



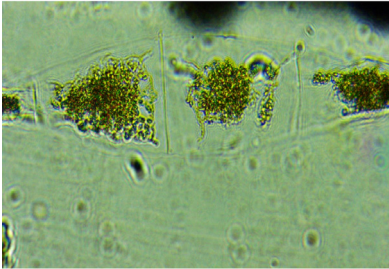
25



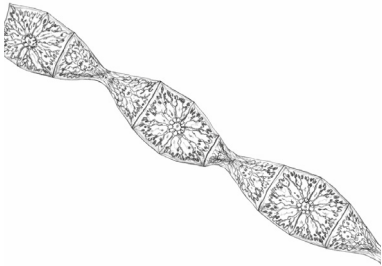
26

Nota. 23 y 24: *Climacodium frauenfeldianum*. 25 y 26: *Bellerochea malleus*. Escala: 10 μ m

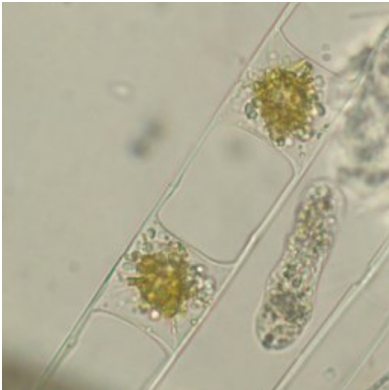
Figura 13



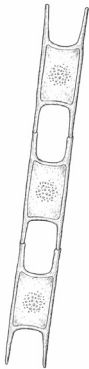
27



28

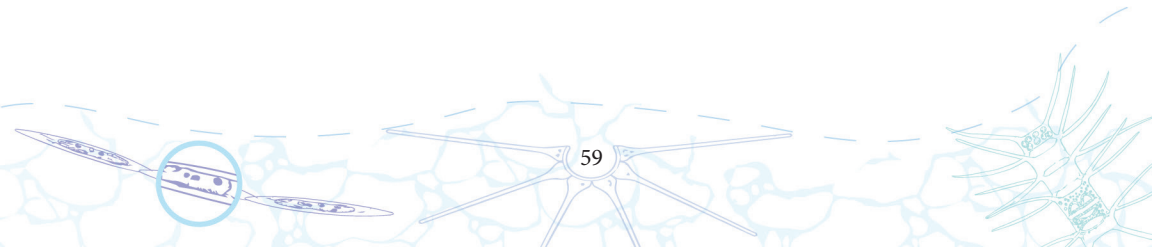


29



30

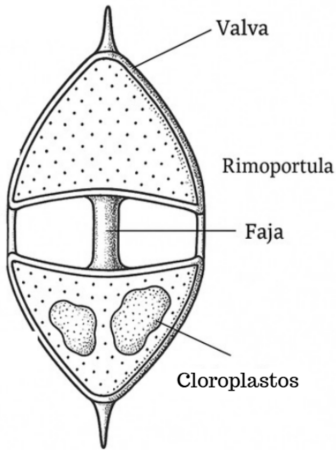
Nota. 27 y 28: *Helicotheca tamesis*. 29 y 30: *Hemiaulus* sp. Escala: 10 µm



Orden Lithodermiales

El orden Lithodermiales pertenece a las diatomeas céntricas y se caracteriza por:

- Valvas con simetría radial, a menudo con formas poligonales (triangulares, cuadradas o pentagonales).
- Frústulas silíceas con ornamentaciones complejas, incluyendo espinas marginales y procesos labiados.
- Células que pueden ser solitarias o formar colonias, unidas por estructuras silíceas o mucilaginosas.
- Presencia de rimoportulas (estructuras tubulares) en las valvas, utilizadas para la secreción de mucílago.
- Distribución marina, comúnmente encontradas en aguas costeras y oceánicas.



Valva: superficie superior e inferior de la frústula, con ornamentaciones radiales.

Faja: zona de unión entre las valvas, permitiendo la expansión celular.

Rimoportula: estructura tubular central en la valva, utilizada para la secreción de mucílago.

Espinas marginales: proyecciones en los bordes de las valvas, facilitando la formación de cadenas.

Cloroplastos: estructuras internas responsables de la fotosíntesis, con pigmentación amarilla-marrón.

Característica	Descripción
Forma celular	Prismática triangular o cilíndrica, con esquinas redondeadas
Tamaño	Longitud: 40–300 μm ; diámetro: 14–120 μm
Frústula	Silíceo, con valvas ornamentadas y procesos marginales
Rimoportula	Presente en el centro de cada valva, extendiéndose como un tubo hueco
Organización colonial	Células solitarias o formando cadenas mediante procesos marginales
Hábitat	Marino, cosmopolita, frecuente en aguas templadas y tropicales
Coloración	Amarillo-marrón debido a la presencia de fucoxantina en los cloroplastos

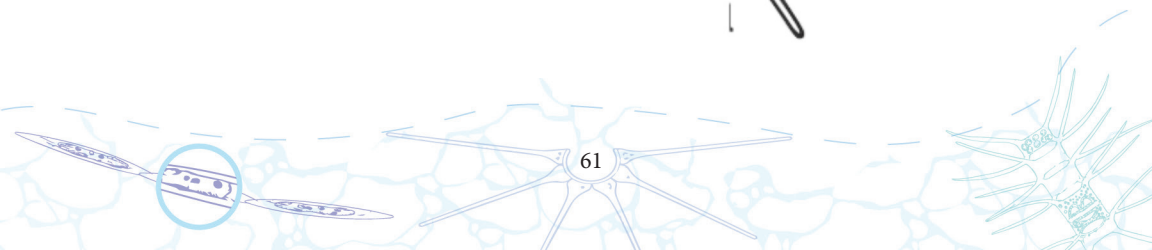
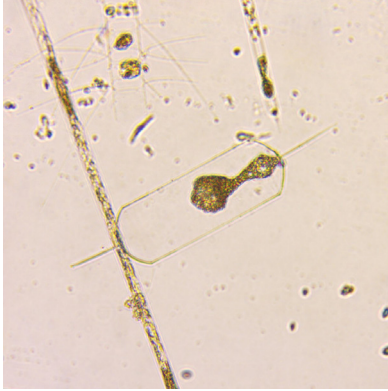
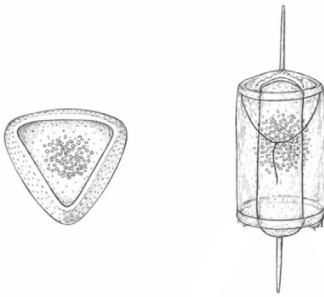
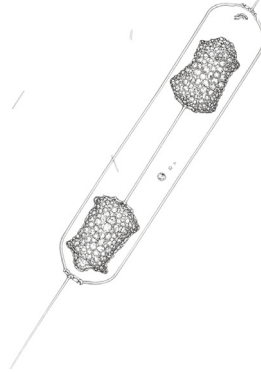


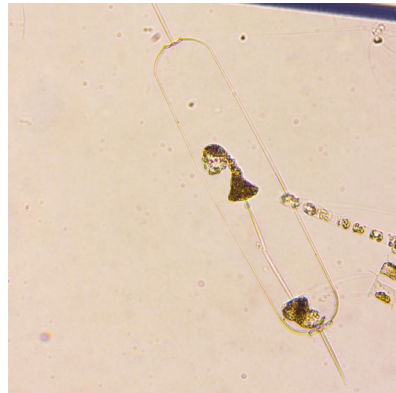
Figura 14



31



33



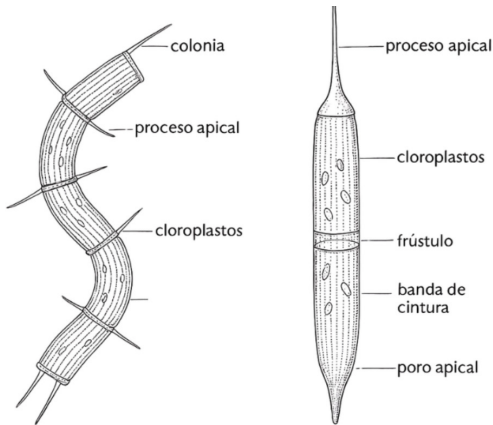
32

Nota. 31 y 33: *Ditylum brightwellii*; 32: vista valvar y una célula. Escala: 10 µm

Orden Rhizosoleniales

El orden Rhizosoleniales se distingue por tener diatomeas céntricas con morfología elongada, a menudo formando cadenas o filamentos. Son frecuentes en aguas marinas abiertas y costeras, y tienen un papel ecológico importante en floraciones.

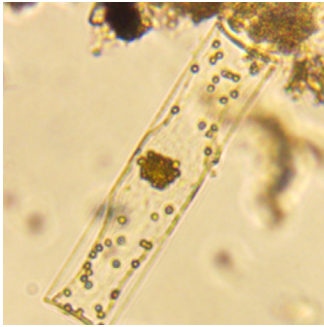
Característica	Descripción
Simetría	Radial o levemente birradial (a veces asimétrica en vista valvar)
Frústula	Cilíndrico o alargado, frecuentemente con prolongaciones tubulares
Valvas	Tubulares, con polos agudos o redondeados; ornamentadas con líneas finas
Setas o proceso apicales	Comunes; pueden conectar células en cadenas (aunque menos rígidas que en Chaetocerotales)
Rafé	Ausente
Cloroplastos	Generalmente numerosos, pequeños y dorados
Colonias	Algunas especies forman cadenas rectas o curvas, unidas por procesos marginales o apicales



Guinardia striata

Sundstroemia setigera

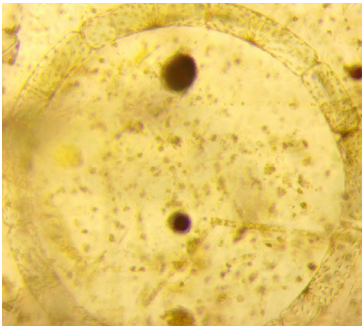
Figura 15



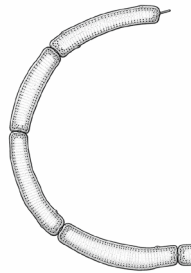
34



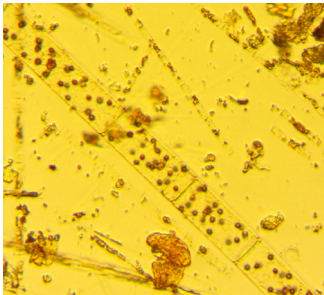
35



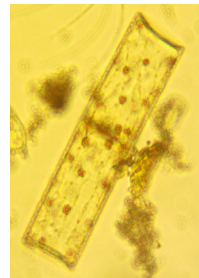
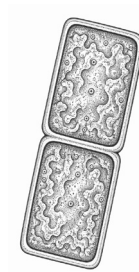
36



37



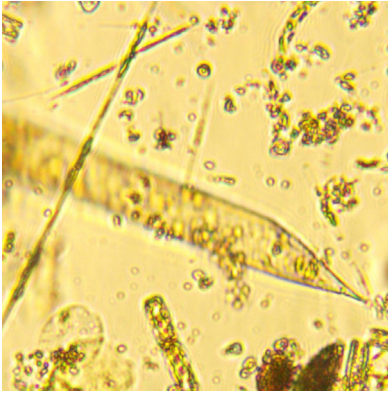
38



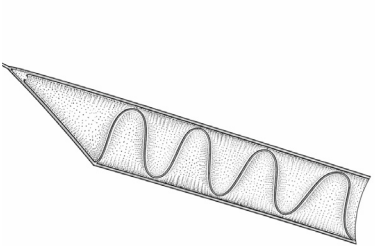
39

Nota. 34 y 35: *Guinardia flaccida*. 36 y 37: *Guinardia striata*. 38 y 39: *Guinardia delicatula*. Escala: 10 μ m

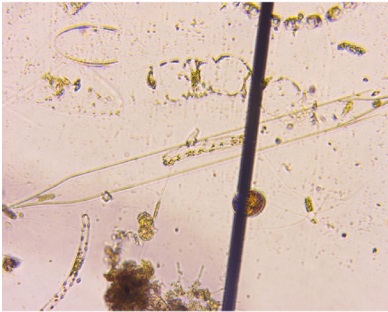
Figura 16



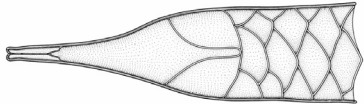
40



41



42



43

Nota. 40 y 41: *Sundstroemia clevei* (Grunow) Hasle & Syvertsen. 42 y 43: *Sundstroemia bergonii* (Peragallo) Hasle & Syvertsen. Escala: 10 µm

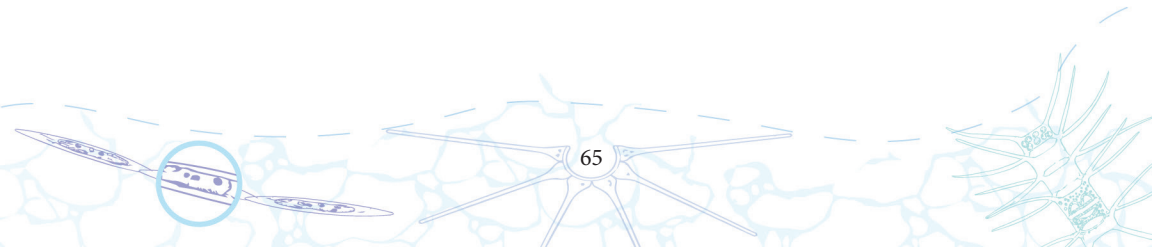
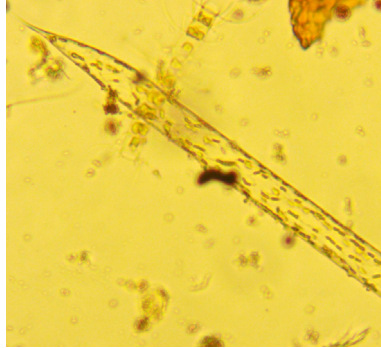


Figura 17



44



45



46

Nota. 44-46: *Rhizosolenia imbricata*. Escala: 10 μ m

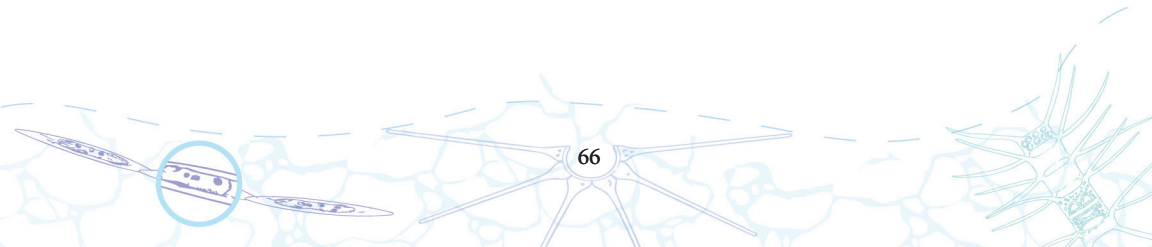
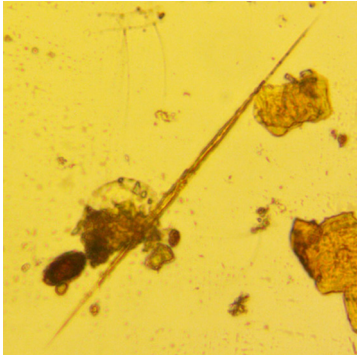
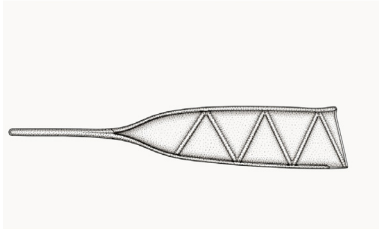


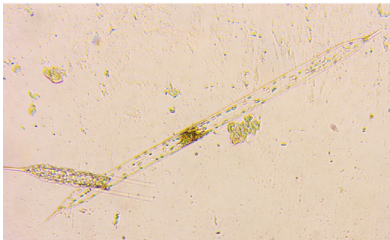
Figura 18



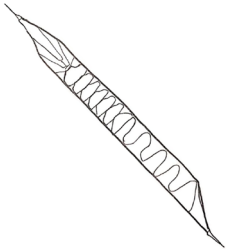
47



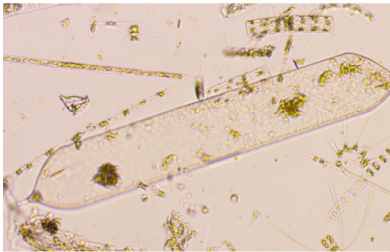
48



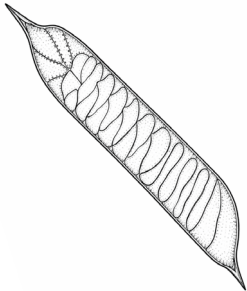
49



50



51



53

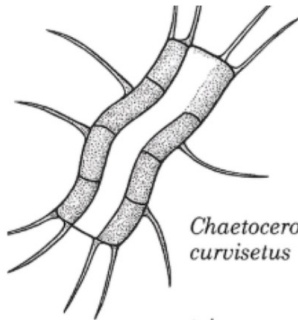


52

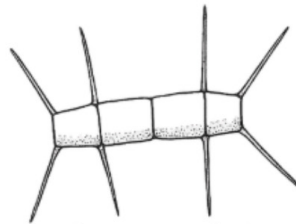
Nota. 47 y 48: *Sundstroemia setigera*. 49-50: *Rhizosolenia styliformis*. 51-53: *Rhizosolenia crassa*.
Escala: 10 µm

Orden Chaetocerotales

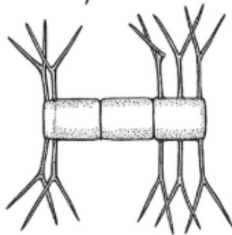
Estructura	Descripción
Cadenas celulares	Las células se disponen formando cadenas lineales o helicoidales, unidas por prolongaciones especiales.
Frústula	Pared silíceo con ornamentación visible, las valvas generalmente son isopolares.
Valvas	Vista valvar circular a rectangular, con espinas (setas) prominentes que emergen radialmente o lateralmente
Setas (espinas silíceas)	Prolongaciones rígidas de las valvas, solitarias o pares, que ayudan en la flotación y en mantener distancia entre células.
Rafé	Ausente
Cloroplastos	Placas pardas o verdes amarronadas, en general de 2 por célula, dispuestos lateralmente.
Organización colonial	Se presentan comúnmente en cadenas, algunas muy largas, con variaciones en la disposición de las setas según la especie.



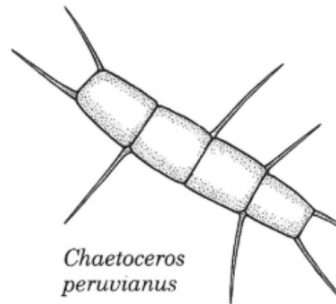
Chaetoceros curvisetus



Chaetoceros danicus



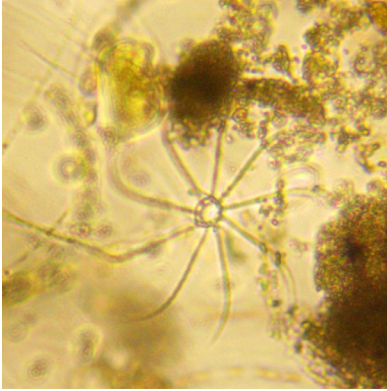
Bacteriastrum furcatum



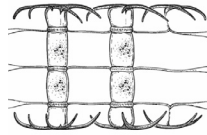
Chaetoceros peruvianus

Especie	Forma de la célula	Disposición en cadenas	Setas (espinas)	Cloroplastos	Notas distintivas
<i>Bacteriastrium furcatum</i>	Cilíndrica	Cadenas rectas	Setas en pares opuestos, largas y ramificadas	2 por célula	Ramificaciones visibles en setas
<i>Bacteriastrium elongatum</i>	Alargada y delgada	Cadenas rectas	Setas finas, muy largas, no ramificadas	2 laterales	Células más estrechas que <i>B. furcatum</i>
<i>Chaetoceros danicus</i>	Corta, rectangular	Cadenas laxas	Setas sin conexión entre células	1-2 laterales	Setas separadas, no conectivas
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	Alargada, curva	Cadenas helicoidales	Setas largas y curvas hacia adelante	2 laterales	Cadenas con forma de espiral
<i>Chaetoceros decipiens</i>	Rectangular	Cadenas rectas	Setas conectadas, divergentes	2 grandes	Conexiones entre setas visiblemente robustas
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	Ancha, alargada	Cadenas rectas	Setas rectas y fuertes	2 laterales	Valvas con ornamentación densa
<i>Chaetoceros affinis</i>	Rectangular	Cadenas rectas	Setas divergentes, no ramificadas	1-2 pequeños	Setas emergen en ángulo agudo
<i>Chaetoceros aequatorialis</i>	Corta, compacta	Cadenas muy rectas y densas	Setas cortas y gruesas	Variable	Común en zonas tropicales
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	Alargada, fusiforme	Cadenas laxas, a veces en zigzag	Setas muy largas y delicadas	2 alargados	Uno de los más grandes, común en aguas templadas

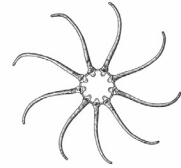
Figura 19



54



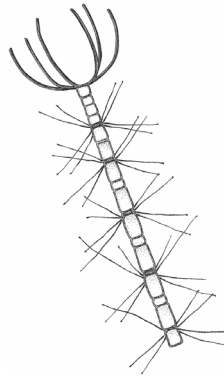
55



56



57



58

Nota. 54 y 56: *Bacteriastrium furcatum*: vista terminal. 57 y 58: *Bacteriastrium elongatum*. Escala: 10 μ m

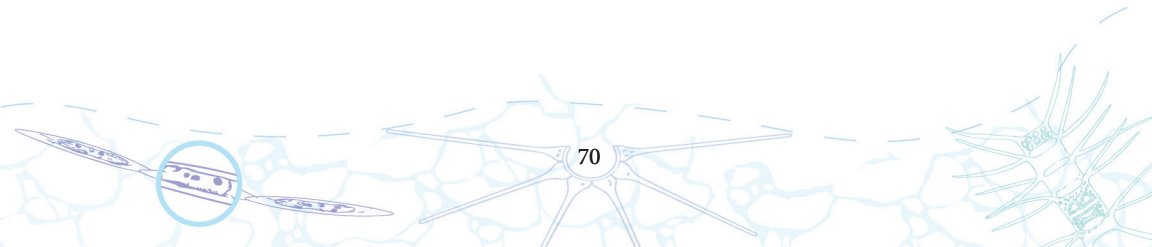
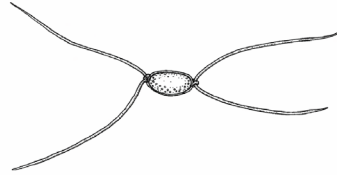


Figura 20



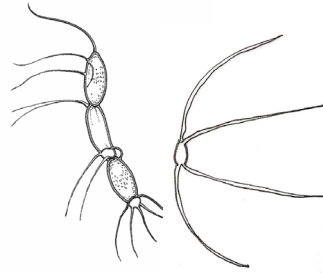
59



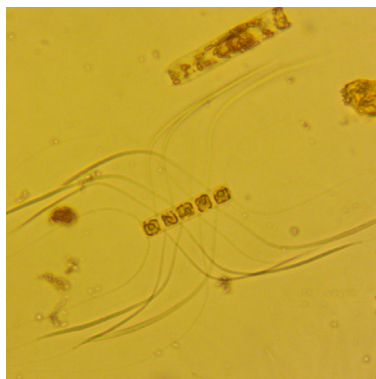
60



61



62



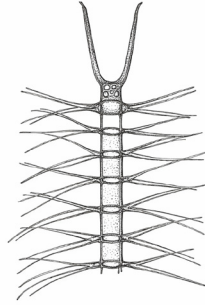
63

Nota. 59 y 60: *Chaetoceros danicus*. 61 y 62: *Chaetoceros curvisetus* (vista general y vista valvar).
63: *Chaetoceros diversus*. Escala: 10 μ m

Figura 21



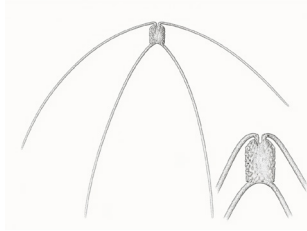
64



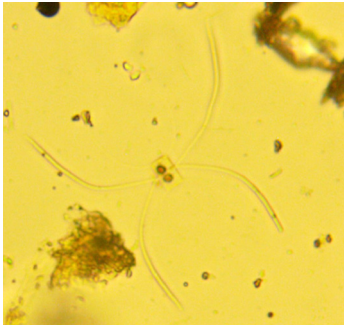
65



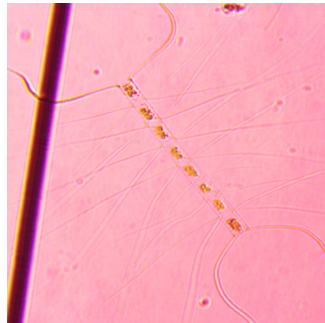
66



67



68



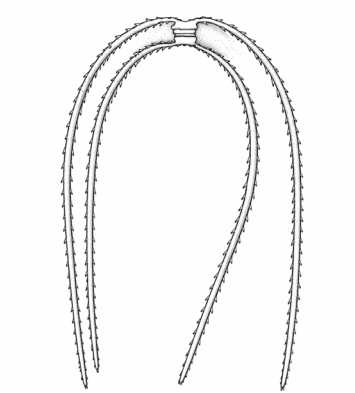
69

Nota. 64 y 65: *Chaetoceros decipiens*. 66 y 67: *Chaetoceros peruvianus*. 68 y 69: *Chaetoceros affinis*.
Escala: 10 μ m

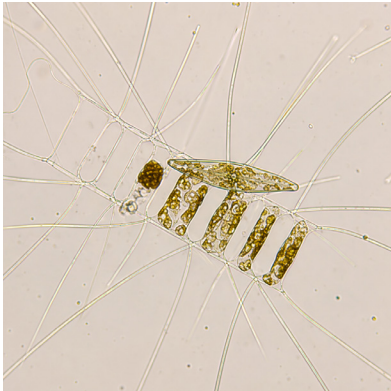
Figura 22



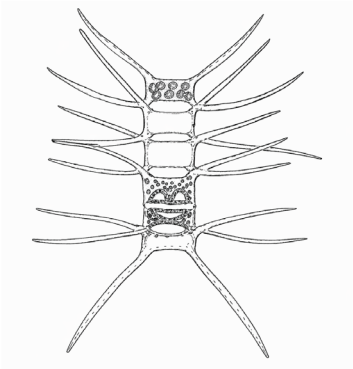
70



71

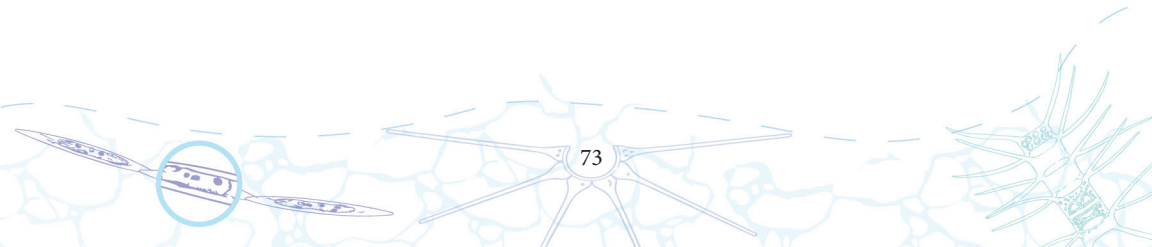


72



73

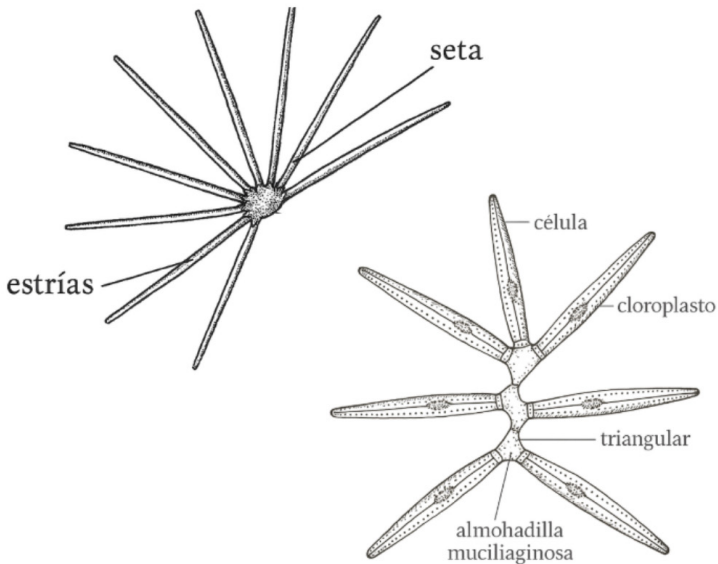
Nota. 70 y 71: *Chaetoceros aequatorialis*. 72-73: *Chaetoceros lorenzianus*. Escala: 10 µm



Orden Fragilarias

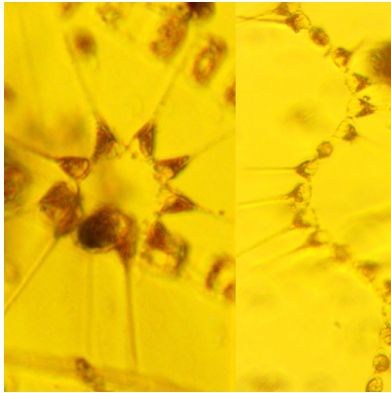
Morfología de *Asterionellopsis glacialis*

- Forma y tamaño
Células: Alargadas y estrechas, con una base triangular distintiva.
Dimensiones: Longitud de 30 a 150 μm
- Frústula
Composición: Pared celular silíceo (frústula) con ornamentación marginal visible como costillas.
Valvas: Isopolares, lineales, con extremos redondeados.
- Organización colonial
Las células se conectan en cadenas en zigzag mediante almohadillas muciliginosas en los extremos.
- Cloroplastos
Número y ubicación: Pequeños, numerosos y dispersos a lo largo de la célula.

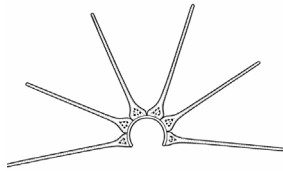


Asterionellopsis glacialis

Figura 23

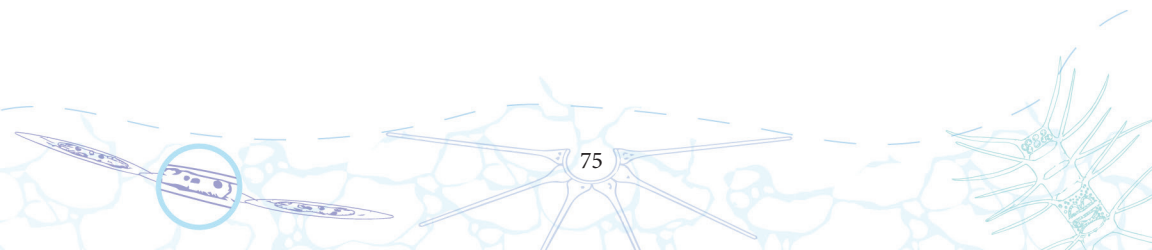


74



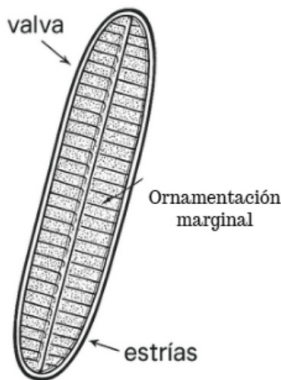
75

Nota. 74 y 75: *Asterionellopsis glacialis*. Escala: 10 μm

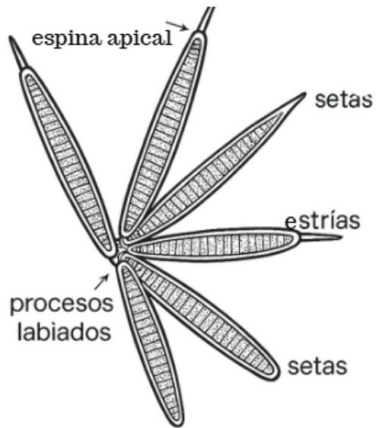


Orden Thalassionematales

Característica	<i>T. nitzschioides</i>	<i>T. frauenfeldii</i>
Forma celular	Rectangular alargada con extremos redondeados o ligeramente curvados	Rectangular o casi cuadrada, más compacta
Disposición colonial	Cadenas rectas o en zigzag	Cadenas rectas, con conexiones en ángulo
Conexión entre células	Almohadillas mucilaginosas	Similar, pero con alineación más rígida
Valvas	Isopolares, con ornamentación marginal visible	Isopolares, menos ornamentadas
Cloroplastos	Pequeños, dispersos a lo largo de la célula	Más concentrados hacia el centro
Tamaño promedio	10–110 μm de largo, 2–4 μm de ancho	15–70 μm de largo, más cortas y robustas
Rafé	Ausente	Ausente

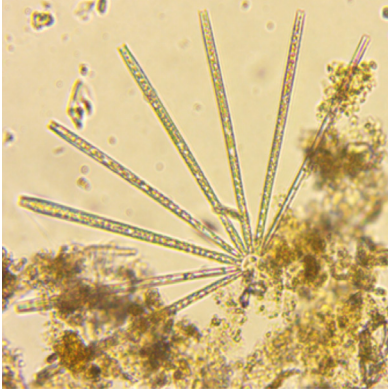


Thalassionema nitzschioides

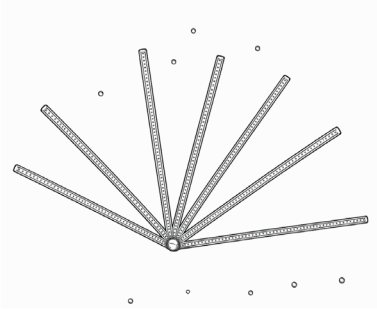


Thalassionema frauenfeldii

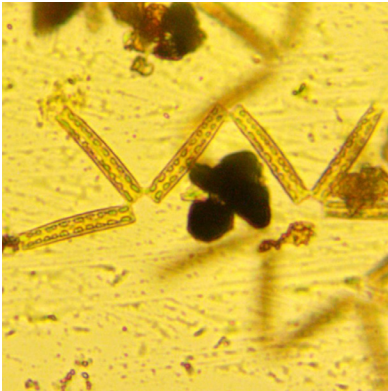
Figura 24



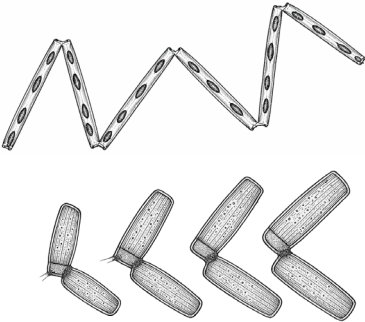
76



77

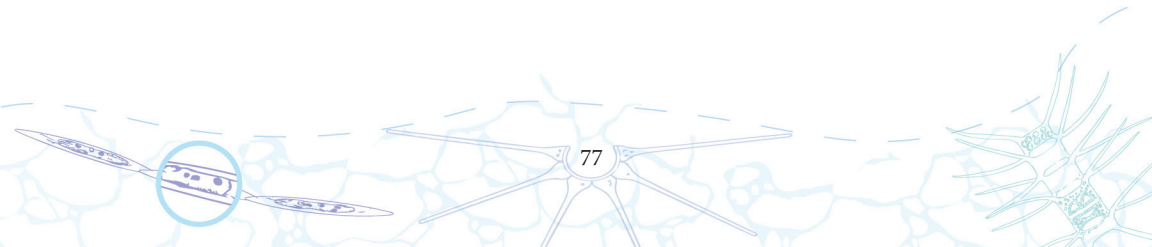


78



79

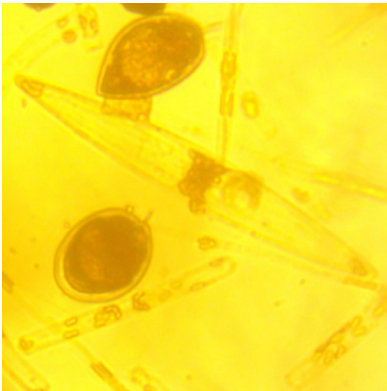
Nota. 76 y 77: *Thalassionema frauenfeldii*. 78 y 79: *Thalassionema nitzschioides*. Escala: 10 µm



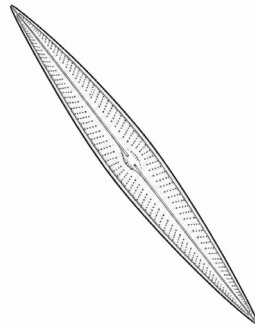
Orden Naviculales

Característica	<i>Haslea</i>	<i>Pleurosigma</i>
Simetría	Bilateral	Bilateral
Forma general de la célula	Elíptica o lanceolada con extremos redondeados	Alargada, en forma de S (sigmoidea)
Rafé	Presente, recto y bien definido	Presente, sigmoideo (curvado en forma de S)
Valva	Ligeramente convexa, simétrica	Curvada en ambas direcciones
Estrías	Finas, paralelas, uniformes	Finas, sigmoideas, ligeramente diagonales
Cloroplastos	Dos cloroplastos en forma de placas, marginales	Alargados, en forma de cintas laterales
Coloración característica	Algunas especies presentan coloración azulada	Amarillo-dorado típico de diatomeas
Ambiente	Marino y estuarino	Marino y estuarino

Figura 25



80



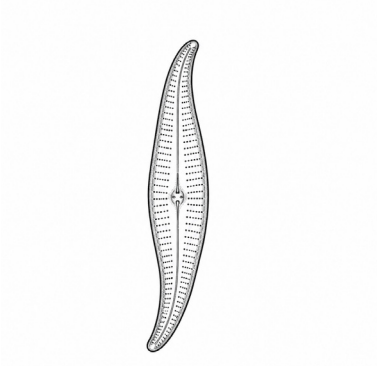
81

Nota. 80 y 81: *Haslea* sp. Escala: 10 µm

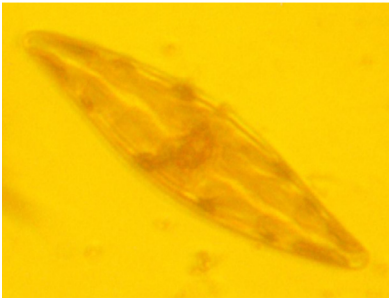
Figura 26



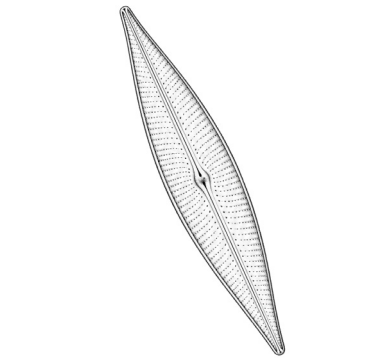
82



83

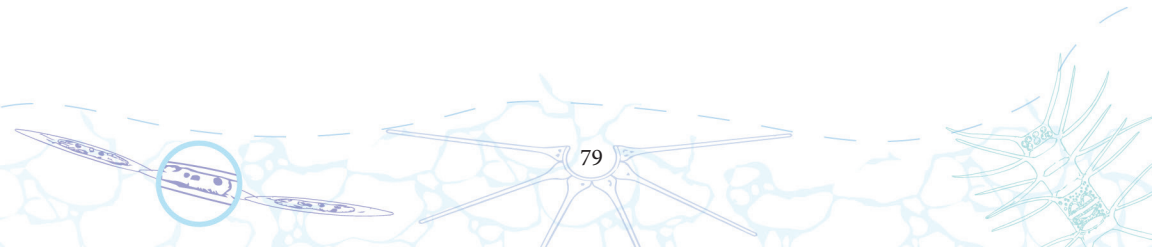


84



85

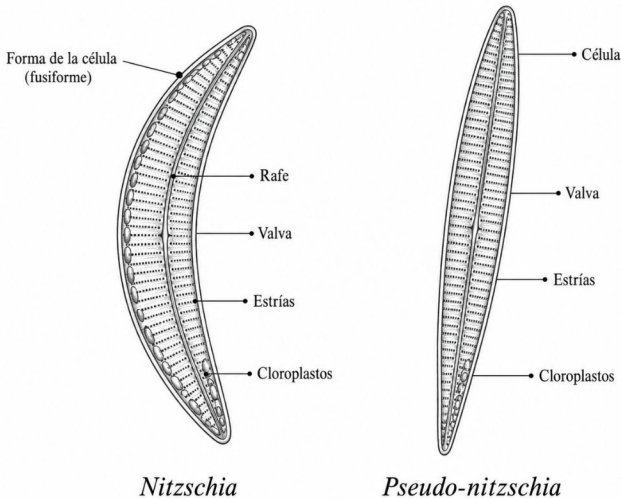
Nota. 82 y 83; *Pleurosigma angulatum*. 84 y 85: *Pleurosigma directum*. Escala: 10 µm



Orden Bacillariales

Características	<i>Nitzschia</i>	<i>Pseudonitzschia</i>
Simetría	Bilateral	Bilateral
Forma general de la célula	Fuselada (forma de hoz), curvada	Lanceolada recta o levemente curvada
Rafé	Presente, excéntrico	Presente, central o excéntrico
Valva	Recta o curvada con extremos puntiagudos	Valvas simétricas, estrechas, extremos puntiagudos
Estrías	Transapicales, más espaciadas	Transapicales, finas y densas
Cloroplastos	Alargados, en bandas longitudinales	Discretos, alineados cerca de la valva
Agrupación celular	Solitaria o en fascículos (en forma de abanico)	Cadenas rectas, a veces en zig- zag
Ambiente	Marino y dulceacuícola	Mayormente marino, frecuente en floraciones

Comparación anatómica del Orden Bacillariales



Nitzschia

Pseudo-nitzschia

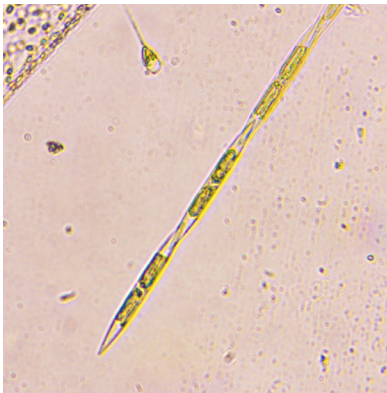
Figura 27



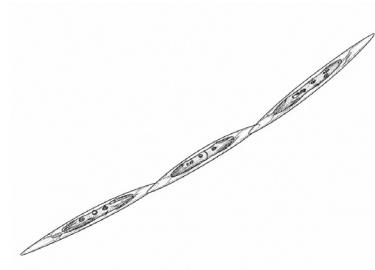
86



87



88



89

Nota. 86: *Nitzschia longissima*. 87: *Cylindrotheca closterium*. 87: *Pseudo-nitzschia* sp. Escala: 10 µm

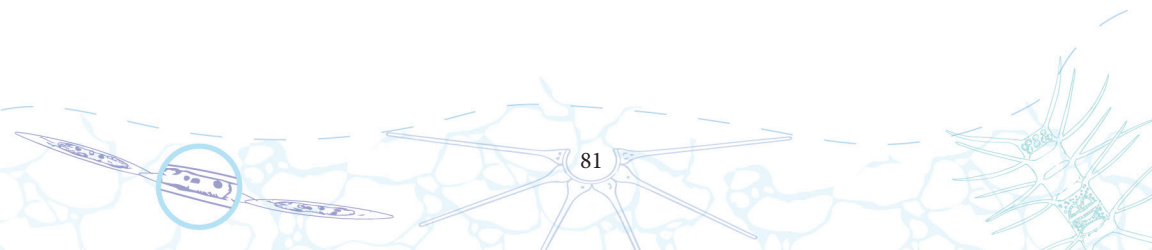


Figura 28

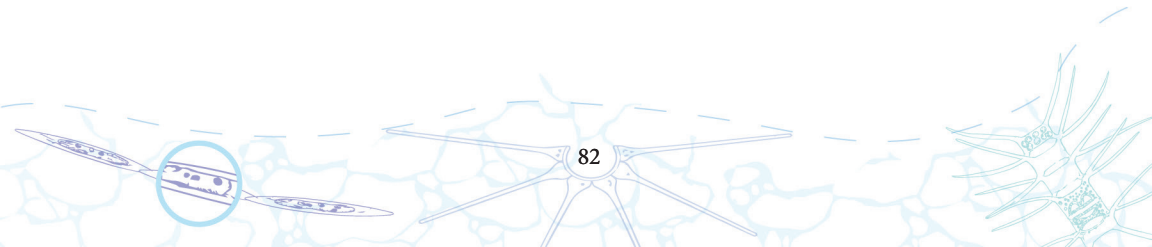


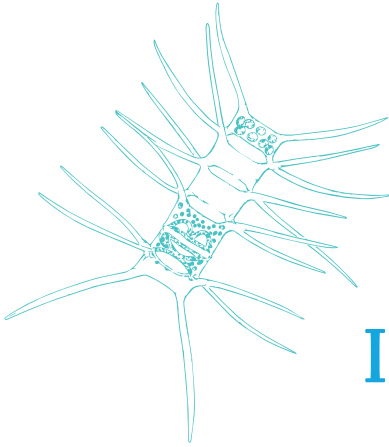
90



91

Nota. 90-91: *Gyrosigma* spp. Escala: 10 μ m





IV. Referencias

Las diatomeas han sido descritas como pequeñas arquitectas de la naturaleza, capaces de construir delicadas “casas de vidrio” a partir de la sílice disuelta en el agua. Estas estructuras, conocidas como frústulas, no solo protegen a la célula, sino que también revelan patrones simétricos y formas ornamentadas que hacen de cada especie una expresión microscópica de precisión, belleza y funcionalidad ecológica (Lake Champlain Committee, 2025).

Armbrust, E.V. (2009). The life of diatoms in the world's oceans. *Nature*, 459(7244), 185-192. <https://doi.org/10.1038/nature08057>

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. <https://doi.org/10.3390/su10030869>

Bates, S. S., Bird, C. J., Boyd, R. K., de Freitas, A. S.W., Falk, M., Foxall, R.A., Hanic, L.A., Jamieson, W. D., McCulloch, A.W., Odense, P., Quilliam, M.A., Sim, P. G., Thibault, P., Walter, J.A., & Wright, J. L. C. (1988). *Investigations on the source of domoic acid responsible for the outbreak of amnesic shellfish poisoning (ASP) in eastern Prince Edward Island*. Atlantic Research Laboratory Technical Report 57, NRCC 29086. National Research Council, Canada.

Bates, S. S., Bird, C. J., de Freitas, A. S.W., Foxall, R., Gilgan, M., Hanic, L.A., Johnson, G. R., McCulloch, A.W., Odense, P., Pocklington, R., Quilliam, M.A., Sim, P.G., Smith, J. C., Subba Rao, D.V., Todd, E. C. D., Walter, J.A., & Wright, J. L. C. (1989). Pennate

diatom *Nitzschia pungens* as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish from eastern Prince Edward Island, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46, 1203-1215. <https://doi.org/10.1139/f89-156>

Bates, S. S., Douglas, D., Doucette, G. J., & Léger, C. (1995). Enhancement of domoic acid production by reintroducing bacteria to axenic cultures of the diatom *Pseudo-nitzschia multiseries*. *Natural Toxins*, 3, 428-435. <https://doi.org/10.1002/nt.2620030605>

Battarbee, R. W., Jones, V. J., Flower, R. J., Cameron, N. G., Bennion, H., Carvalho, L., & Juggins, S. (2001). Diatoms. En J. P. Smol, H. J. B. Birks & W. Last (Eds.), *Tracking environmental change using lake sediments* (vol. 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators; pp. 155-202). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/0-306-47668-1_8

Benoiston, A.-S., Ibarbalz, F. M., Bittner, L., Guidi, L., Jahn, O., Dutkiewicz, S., & Bowler, C. (2017). The evolution of diatoms and their biogeochemical functions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372, Artículo 20160397. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0397>

Blanco, S. (2011). *Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Valladolid, España. https://www.researchgate.net/publication/232571035_Guia_de_las_diatomeas_de_la_cuenca_del_Duero

Canizal, A. (2009). *Catálogo ilustrado de diatomeas dulceacuícolas mexicanas* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de México]. <http://repositorio.ciencias.unam.mx:8080/jspui/handle/11154/139763>

DeMaster, D. J. (1981). The supply and accumulation of silica in the marine environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45(10), 1715-1732. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(81\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(81)90006-5)

Dixit, S., & Van Cappellen, P. (2002). Surface chemistry and reactivity of biogenic silica. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(14), 2559-2568. <https://doi.org/> [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(02\)00854-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(02)00854-2)

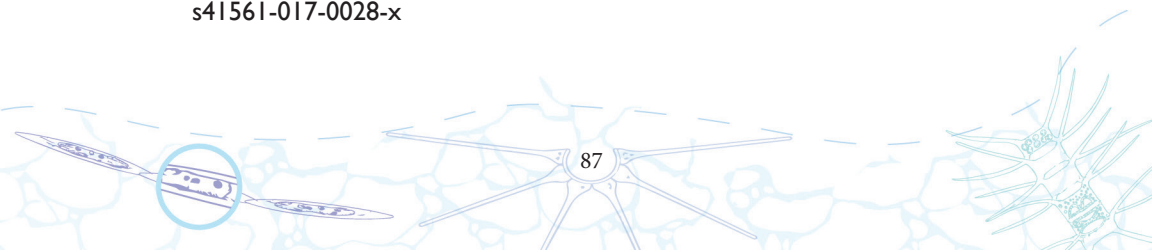
Du Buf, H., & Bayer, M. M. (2002). *Automatic diatom identification*. (Series in Machine Perception Artificial Intelligence, 51). World Scientific. <https://kt.ijs.si/DragiKocev/repos/AutomaticDiatomIdentification.pdf>

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. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>

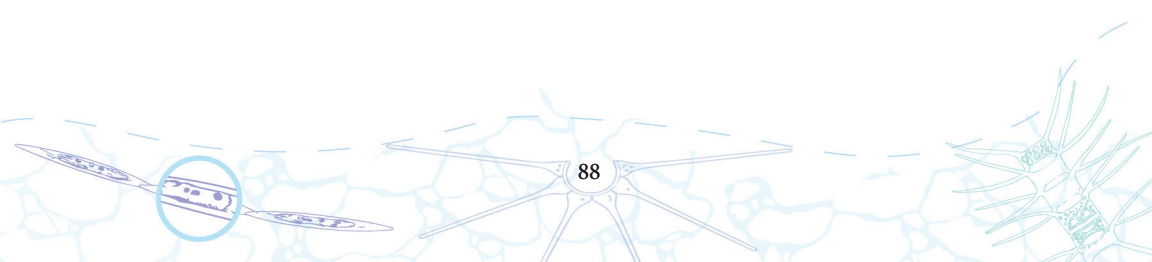
- Gaillardet, J., Dupré, B., Louvat, P., & Allègre, C. J. (1999). Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chemical Geology*, 159(1-4), 3-30. [https://doi.org/10.1016/s0009-2541\(99\)00031-5](https://doi.org/10.1016/s0009-2541(99)00031-5)
- Hasle, G. R., & Fryxell, G. (1995). Taxonomy of diatoms. En G. M. Hallegraeff, D. M. Anderson & A. D. Cembella (Eds.), *Manual of harmful marine microalgae* (IOC Manuals and Guides 33; pp. 339-364). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000136179>
- Hasle, G. R., & Syvertsen, E. E. (1996). Marine diatoms. En C. R. Tomas (Ed.), *Identifying marine diatoms and dinoflagellates* (pp. 5-385). Academic Press.
- Haeckel, E. (1904). *Kunstformen der Natur*. Verlag des Bibliographischen Instituts.
- Hustedt, F. (1930) *Bacillariophyta (Diatomeae)*, *Zweite Auflage*. En A. Pascher (Ed.), *Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas*. Heft 10. Verlag von Gustav Fisher.
- Iversen, M. H., & Plough, H. (2010). Ballast minerals and the sinking carbon flux in the ocean: carbon-specific respiration rates and sinking velocity of marine snow. *Biogeosciences*, 7(9), 2613-2624. <https://doi.org/10.5194/bg-7-2613-2010>
- Kocielek, P., & Hamsher, S. (2017). Diatoms: By, with and as endosymbionts. En M. Grube, J. Seckbach & L. Muggia (Eds.), *Algal and Cyanobacteria symbioses* (pp. 371-397). World Scientific Publishing Europe. https://doi.org/10.1142/9781786340580_0012
- Lee, R. E. (2008). *Phycology* (4th ed.) Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812897>
- Lora-Vilchis, M. C., López-Fuerte, F. O., & Pérez-Rojas, C. A. (2020). Algas de cristal; diatomeas. *Recursos Naturales y Sociedad*, 6(1), 25-42. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2020.06.06.01.0003>
- Mann, D. G. (1988). The nature of diatom species: Analyses of sympatric populations En F. E. Round (Ed.), *Proceedings of the 9th International Diatom Symposium* [Simposio]. O. Koeltz, Koenigstein, Bristol, Biopress.
- Mann, D. G., & Droop, S. J. M. (1996): Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hidrobiologia*, 336, 19-32. <https://doi.org/10.1007/BF00010816>
- Medlin, L., & Kaczmarska, I. (2004). Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia*, 43(3), 245-270. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-43-3-245.1>
- Okolodkov, Y. B., & Huerta-Quintanilla, D. A. (2018). Diatomeas bentónicas marinas. *Materia, Ciencia y Nanociencia*, 1 (2), 13-26. <https://www.uv.mx/veracruz/microna/files/2019/06/A2-Diatomeas-benticas-marinas1.pdf>

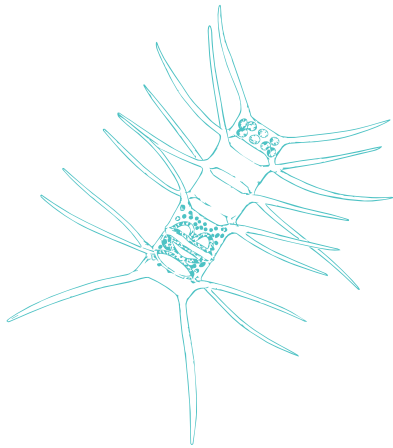
- Olenina, I., Hajdu, S., Edler, L., Andersson, A., Wasmund, N., Busch, S., Göbel, J., Gromisz, S., Huseby, S., Huttunen, M., Jaanus, A., Kokkonen, P., Ledaine, I., & Niemkiewicz, E. (2006). Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. *HELCOM: Baltic Sea Environment Proceedings*, 106, 1-144.
- Prescott, G. (1978). *How to know the freshwater algae* (3rd. ed.) University of Montana. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.5626>
- Quinteros, F. (2020, 15 de julio). Diatomeas: Las algas microscópicas y “pulmones” de la Tierra que debes conocer. *Ladera Sur (Empresa B certificada)*. <https://laderasur.com/articulo/diatomeas-las-microscopicas-algas-y-pulmones-de-la-tierra-que-debes-conocer/>
- Ricard, M. (1987). *Diatomophycées*. En A. Sournia (Ed.), *Atlas du phytoplancton marin* (Vol. 2). Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Riley, G.A. (1963). Organic aggregates in seawater and the dynamics of their formation and utilization. *Limnology and Oceanography*, 8, 372-381. <https://doi.org/10.4319/lo.1963.8.4.0372>
- Riley, G.A. (1970). Particulate matter in seawater. *Advances in Marine Biology*, 8, 1-118. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)60491-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)60491-5)
- Round, F.E., Crawford, R. M., & Mann, D. G. (1990) *The diatoms: Biology and morphology of the genera*. Cambridge University Press.
- Sar, A., Ferrario, M. E., & Requera, B. (2002). *Floraciones algales en el Cono Sur Americano*. Instituto Español de Oceanografía. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215417?posInSet=1&queryId=715b96dc-49fa-480c-bf93-185ebcf30fd4>
- Seckbach, J., & Kocielek, P. (Eds.). (2011). *Cellular origin, life in extreme habitats and astrobiology. The diatom world*. Springer Science & Business Media.
- Silver, M. (2015). Marine snow: A brief historical sketch. *ASLO*, 5, 5-10. <https://doi.org/10.1002/lob.10005>
- Silver, M.W., & Gowing, M. M. (1991). The “particle” flux: Origins and biological components. *Progress in Oceanography*, 26, 75-113. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(91\)90007-9](https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90007-9)
- Silver, M. W., Shanks, A. L., & Trent J. D. (1978). Marine snow: Microplankton habitat and source of small-scale patchiness in pelagic populations. *Science*, 201, 371-373. <https://doi.org/10.1126/science.201.4353.371>

- Simonsen, R. (1979). The diatom system: Ideas on phylogeny. *Bacillaria*, 2, 9-71.
- Sournia, A. (Ed.). (1978). *Phytoplankton manual* (Monographs on Oceanographic Methodology, No. 6). UNESCO.
- Sournia, A. (1986). *Atlas du phytoplancton marin: Vol. 1. Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées*. Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Sournia, A. (1988). *Phaeocystis* (Prymnesiophyceae): How many species? *Nova Hedwigia*, 47, 211–217.
- Stoermer, E. F., & Smol, J. P. (Eds.). (1999). *The diatoms: Applications for the environmental and earth sciences*. Cambridge University Press. https://assets.cambridge.org/97805215/09961/excerpt/9780521509961_excerpt.pdf
- Subba Rao, D., Quilliam M., & Pocklington, R. (1988). Domoic acid—a neurotoxic amino acid produced by the marine diatom *Nitzschia pungens* in culture. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45, 2076-2079. <https://doi.org/10.1139/f88-241>
- Tait, R. & Dipper, F. (1998). Marine plankton. En *Elements of marine ecology* (4th ed., pp. 25-45). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-2088-8.X5000-8>
- Taylor, J. C., Harding, W. R., & Archibald, C. G. M. (2007). *An illustrated guide to some common diatom species from South Africa*. Report to the Water Research Commission. WRC Report TT 282/07. <https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT282-07.pdf>
- Todd, E. C. D. (1993). Domoic acid and amnesic shellfish poisoning – A review. *Journal of Food Protection*, 56(1), 69-83. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-56.1.69>
- Tomas, C. R. (Ed.). (1996). *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press.
- Tomas, C. R. (Ed.). (1997). *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press. https://www.academia.edu/31605783/IDENTIFYING_MARINE_PHYTOPLANKTON_Tomas_
- Tréguer, P., Bowler, C., Moriceau, B., Dutkiewicz, S., Gehlen, M., Aumont, O., Bittner, L., Dugdale, R., Finkel, Z., Ludicone, D., Jahn, O., Guidi, L., Lasbleiz, M., Leblanc, K., Levy, M., & Pondaven, P. (2017). Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. *Nature Geoscience*, 11, 27-37. <https://doi.org/10.1038/s41561-017-0028-x>

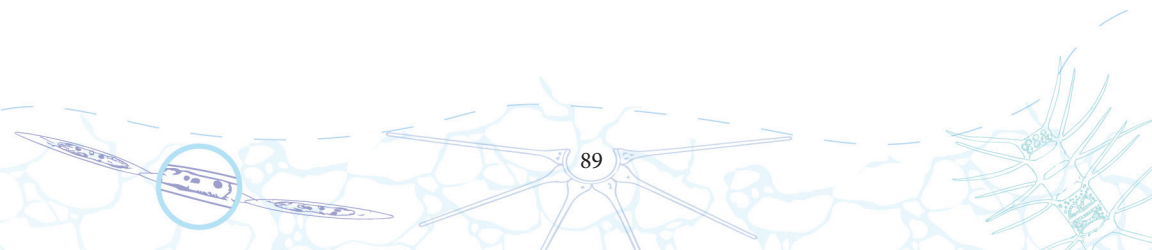


- Tréguer, P., & De La Rocha, C. (2013). The world ocean silica cycle. *Annual Review of Marine Science*, 5(1), 477-501. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-121211-172346>
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen*, 9(1), 1-38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>
- Van Cappellen, P. (2003). Biomineralization and global biochemical cycles. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 54(1), 357-381. <https://doi.org/10.2113/0540357>
- Zepeda-Gómez, C. (2019). *Bacillariophyta. Diatomeas*. Universidad Autónoma del Estado de México. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108074/secme-12956_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y





V. Autores





Dra. Karla Paz Cordón

Profesora e Investigadora del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala

Karla Paz Cordón es doctora del Programa de Doctorado Internacional en Agricultura y Medioambiente para el Desarrollo de la Universidad de Santiago de Compostela, España. Maestra en Ciencia Animal y epidemióloga veterinaria de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de USAC, es Licenciada en Acuicultura del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha realizado varios cursos a nivel de postgrado en plancton marino y toxinas acuáticas. Gracias al apoyo del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha participado en The IOC Training Course and Certification on Identification of Harmful Marine Algae, organizado por The Government of Denmark through the IOC Science and Communication Centre on Harmful Algae, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark. Karla Paz es docente universitaria con más de 15 años de experiencia en el Centro de Estudios del Mar y Acuicultura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde imparte los cursos de zoología acuática, biología general, ecología acuática y botánica acuática. Es coordinadora del estresor marino “Floraciones Algaes Nocivas y Toxinas Marinas” en la “Red de Investigación de Estresores Marinos – Costeros en Latinoamérica y el Caribe” (REMARCO), representante de Guatemala ante la Subcomisión para el Caribe y las Regiones Adyacentes de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO, miembro de la International Society for the Study Of Harmful Algae (ISSHA) y de la Organization for Women in Science for the Developing World (OWSD). Es la primera autora de los manuales “Guía de estudio para biología general” (2022) y “Guía de estudio de botánica acuática” (2025), y del “Catálogo de dinoflagelados planctónicos: Pacífico de Guatemala” (2024).



Dr. Yuri B. Okolodkov

Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías,
Universidad Veracruzana (ICIMAP-UV).
Boca del Río, Veracruz, México

Yuri B. Okolodkov es un destacado biólogo marino con más de cinco décadas (1973 – presente) de trayectoria Zoología de la Academia de Ciencias de la URSS y obtuvo su título Maestro en Biología por la Universidad Estatal de Leningrado en 1983, tras defender su tesis sobre zooplancton en el Estrecho de Bering. En 1987 alcanzó el grado de Doctor (PhD) con una tesis sobre el fitoplancton del Mar de Chukotka y en 2001 obtuvo el grado de Doctor del Estado (DSc) con la tesis sobre los dinoflagelados en los mares en el Ártico Euroasiático; ambos grados por el Instituto de Botánica Komarov de la Academia de Ciencias de la URSS/Rusia.

A lo largo de su carrera, ha participado en más de 20 expediciones científicas (cruceros oceanográficos y expediciones aéreas polares) en regiones como el Ártico, el Atlántico, el Pacífico y el Océano Antártico. Además, ha colaborado en prestigiosos laboratorios de investigación en diversos países y ha sido beneficiario de becas otorgadas por la Royal Society of London, el Consejo Nórdico de ministros, la UNESCO y la National Science Foundation de los Estados Unidos de América (NSF), entre otras instituciones internacionales. En 2000 fue galardonado con la medalla de servicio en el Antártico por NSF y fue elegido miembro correspondiente de la Academia de Pedro el Grande de la Ciencia y Artes de Rusia.

Desde 2005 se desempeña como investigador en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana, donde fundó el Laboratorio de Botánica Marina y Planctología, así como la colección de micro y macroalgas marinas de la institución. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México, habiendo alcanzado el Nivel I (2005-2014), el Nivel II (2015-2024) y el Nivel III a partir de 2026.

Su producción científica incluye la publicación de 140 artículos en revistas especializadas, 42 capítulos de libros y 5 informes técnicos. Entre las monografías más relevantes se encuentran “Atlas de la flora marina del sur de Spitsbergen” (1995), “Biogeografía marina” (2010), “Protista, parte 3: Guía en zoología” (2011; en 2016 fue premiado por la Sociedad de Naturalistas de San Petersburgo, Rusia) y “Guía taxonómica ilustrada de la Colección de Dinoflagelados Marinos (CODIMAR)” (2016). Es miembro de los comités editoriales de siete revistas científicas internacionales (México, Rusia, Ucrania, Irán, Suiza).



Dr. Fernando Cobo

Departamento de Zoología, Genética y Antropología Física. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela (USC), Galicia, España.

Fernando Cobo Gradín es Catedrático de Zoología del Departamento de Zoología, Genética y Antropología Física, de la Universidad de Santiago de Compostela (USC). Es fundador y presidente de la “Asociación Galega de Investigadores da Auga” (AGAIA) y fue el impulsor de la Estación de Hidrobiología “Encoro do Con” de la USC y su director durante 20 años.

Su investigación incluye diferentes aspectos de la Limnología: taxonomía y biología de insectos acuáticos, biología y ecología de peces continentales, con especial interés en las especies migradoras y problemas emergentes como las invasiones biológicas y la toxicidad y el control de cianobacterias de agua dulce.

Ha sido Investigador Principal de 14 proyectos de investigación de convocatorias competitivas autonómicas (6), nacionales (3), europeas (3) y americanas (2), sobre diferentes aspectos del campo de la Limnología y participó como investigador en 4 proyectos autonómicos, 3 nacionales y 5 europeos.

Como resultado de su actividad investigadora se derivaron 333 publicaciones, que se reparten de la siguiente manera: 89 publicaciones en revistas indexadas en el SCI, 58 en revistas con evaluación por pares (“peer review”), 43 libros completos, 94 capítulos de libros y 49 publicaciones en actas de Congresos.

Ha dirigido 13 tesis doctorales y medio centenar de trabajos de investigación tutelados (tesis de licenciatura, trabajos de fin de máster, etc.)

Es titular de una patente sobre un “Método de biorremediación de blooms de cianobacterias mediante el uso de deshechos de la industria maderera del eucalipto (*Eucalyptus* spp.) en aguas dulces” y un modelo de utilidad de una “Escala de peces modular, removible y reutilizable”.

Parte de su actividad curricular se centra en la gestión de la calidad relacionada con centros de investigación: Tiene formación como auditor de las normas ISO 9001 y 14001, huella hídrica e ISO 14046; evaluador del sello EFQM de excelencia europea (European Foundation for Quality Management) y en otros aspectos de la calidad como la norma ISO 17025.



El diseño y diagramación de este documento fue realizado en la Unidad de Publicaciones y Divulgación de la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La impresión se realizó en Kamale Imprenta, en junio de 2026, con un tiraje de 100 ejemplares en papel bond 75 g. Guatemala, C.A.



USAC
Educación Superior
pública y gratuita

DG Dirección General
de Investigación
Universidad de San Carlos de Guatemala



ISBN: 978-9929-620-67-4



9 789929 620674