



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**LOS SILICOFLAGELADOS DE LOS SEDIMENTOS
HOLOCÉNICOS DE LA CUENCA DEL CARMEN,
GOLFO DE CALIFORNIA Y SU RESPUESTA AL
CAMBIO CLIMÁTICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

LAURA ABIGAIL VERA ORTEGA



**DIRECTOR DE TESIS:
LIGIA LUCINA PÉREZ CRUZ
2014**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
Director General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

Los silicoflagelados de los sedimentos holocénicos de la Cuenca del Carmen, Golfo de California y su respuesta al cambio climático.

realizado por **Vera Ortega Laura Abigail** con número de cuenta **3-0419915-6** quien ha decidido titularse mediante la opción de **tesis** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Fís. Germán Luis Jaber Ferretis

Propietario Dra. María Adela Monreal Gómez

Propietario Dra. Ligia Lucina Pérez Cruz
Tutora

Suplente Dr. César Eduardo Flores Coto

Suplente Dr. Frank Raúl Gío Argáez

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "
Ciudad Universitaria, D. F., a 27 de noviembre de 2013
EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

MAG/mdm

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por darme la vida y permitirme vivirla a mi modo, por apoyarme en todo lo que hago y nunca dejarme sola. A mi mamá por su fuerza y por enseñarme que el amor puede transformar el mundo. A mi papá por enseñarme que no hay barreras que puedan detener nuestro camino cuando se tiene la voluntad de hacer las cosas.

A mi hermano por su nobleza y su apoyo incondicional, por demostrarme que a pesar de nuestras diferencias podemos construir un mundo juntos.

A mi familia por nunca dejarnos solos, a mis abuel@s Toño, Roma y Célida por sus enseñanzas y su sabio amor. A mi tío Neto por estar ahí siempre como un padre-amigo, a mis ti@s Reyna, Jorge, Elena, Carmen, Lupe, por su apoyo en diversas formas y estar siempre al pendiente de nosotros. A mis prim@s Paty, Jorge y Diego por inspirarme a buscar un mundo mejor para los que vienen.

A Ligia mi asesora, por su paciencia y apoyo, por permitirme trabajar en mi tiempo y espacio, y presentarme las maravillas de los sedimentos marinos y el pasado de los océanos.

A la tripulación del B/O “El Puma” por su apoyo en la colecta del núcleo, objeto de estudio, durante la campaña DIPAL IV.

A mis sinodales por dedicar un tiempo para leer mi tesis y confiar en mi trabajo. A la doctora Adela por su disponibilidad para aclarar mis dudas y su amabilidad.

A mis hermanitas del alma Cora, Itzel, Ana, Mari por acompañarme en este camino y enseñarme tantas cosas, sobre todo por su trabajo colectivo “el terreno” por ser un referente de comprensión, constancia, confianza, por todo lo que hemos vivido y lo que nos falta. A Isaac mi loco favorito, con el que he vivido tantos momentos fáciles y difíciles, mi compañero en el camino de la tesis y un excelente amigo.

A tod@s es@s biolog@s maravillos@s con los que me crucé en esta honorable Facultad de Ciencias, a Nuria, Ana y Niza mis compañeras desde primer semestre, esas las loquillas que decidieron irse al lado oscuro. A ese par de hermanitas tocayas que siempre llevan una enorme sonrisa en el rostro con la que me contagian su alegría Lau y Andrea, con las que compartí tantos bailes. A mi buen amigo de chisme, materias y estudio Daniel que estuvo ahí para escucharme, hacerme reír y ayúdame a estudiar cuando lo necesité. A esa Beti que no sé qué sería de mí si no hubiera conocido a tan agradable persona, tan trabajadora, fuerte y feliz. A tod@s es@s guerreros ambientales, mi grupo de ASA tan entusiasta y ese grupo de gente loca tan divertida Yolixtli de los que en verdad aprendí tantas cosas, sobretodo de los maestros Ramírez, Conrado y Edgar, polos opuestos con un objetivo común, que mejor forma de encontrar el equilibrio.

A esos maestros que nos hacen recordar por qué elegimos estudiar Biología, que nos enseñan a amar lo que hacemos y a los que nos hacen ver la importancia de cuestionarnos los modos de hacer y transmitir la ciencia: Juan Carlos Zamora, Mariana Fernández Álamo,

Susana Valencia, Alfonso José Vilchis Peluyera, Miguel Ángel Palomino, Lev Jardón, Alejandra Valero, Hilda Marcela Pérez, Irama Núñez.

A los que no son biólogos y también habitan Ciencias, Memo por acompañarme en tantas loqueras, por ser un excelente amigo. A toda esa gente maravillosa que trabaja en el comedor de la facultad donde pasé tan buenos tiempos, Mau (mi maestro bicicletero), Rosita, Rosa, Jaime, Chio, Abelardo, Omar, Ubaldo, Lupe...

Y claro que no puedo olvidar aquellos que son parte de este desenlace y escucharon mis prisas y frustraciones, con los que compartí este último año y ahora decido rodar parte de la vida, a l@s integrantes de Enchúlame la Bici.

A mi mama de nuevo y por toda mi vida, gracias.

A todos ustedes ahora y por lo que nos falta, gracias.

Este trabajo se realizó dentro del contexto del proyecto DGAPA-PAPIIT IN101012.

CONTENIDO

1. RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	7
3. OBJETIVOS	9
4. ANTECEDENTES	10
Golfo de California	10
Clima	11
Oceanografía	12
Productividad primaria	13
Distribución de sedimentos biogénicos	15
Silicoflagelados	16
Características generales	16
Ciclo de vida	18
Ecología y distribución geográfica	19
Estudios previos de silicoflagelados del golfo de California	20
Sistemática y Taxonomía	25
Variabilidad climática del Holoceno	34
5. MATERIAL Y MÉTODO	39
6. RESULTADOS	44
7. DISCUSIÓN	52
8. CONCLUSIONES	57
9. BIBLIOGRAFÍA	59
10. ANEXOS	63
1. Tablas de abundancias relativas	63
2. Placas de silicoflagelados de la secuencia DIPAL- C53	67

1. Resumen.

Se identificaron y cuantificaron las especies de silicoflagelados encontradas en la secuencia sedimentaria DIPAL IV-C53, la cual fue obtenida de la región occidental de la cuenca del Carmen, golfo de California, en la campaña oceanográfica DIPAL IV a bordo del B/O “El Puma, de la Universidad Nacional Autónoma de México. El modelo de edad previamente establecido indica que dicha secuencia abarca de ~1817 hasta ~2011 AD.

La secuencia fue submustrada cada 3 mm y se estudiaron en total 110 muestras continuas. Se identificaron 10 especies de silicoflagelados: *Dictyocha fibula* var. *robusta*, *D. messanensis* forma *messanensis*, *Octactis pulchra*, *D. epiodon*, *D. messanensis* forma *spinosa*, *D. californica*, *D. calida*, *D. perlaevis*, *D. pentagona*, *D. franshepardii*, *Distephanus speculum*, *D. speculum* f. *varians*.

A partir del conteo de especímenes se estimó la riqueza de las especies a lo largo del núcleo, que en promedio fue de 7, presentando los valores más altos en los últimos 40 años. Con base en las abundancias relativas de las especies de silicoflagelados se calculó la diversidad con el índice de Shanon-Wiener, observándose los valores más altos de ~1817 a 1930 AD; mientras que de ~1930 hasta ~2011 AD se aprecia una disminución muy evidente.

Se reconoce la alternancia de condiciones oceánicas en la región de estudio en escala decadal, con periodos en los que dominan aguas cálidas superficiales, y otros en donde la productividad primaria aumenta en la región de estudio.

A través del análisis de factores “Modo Q” se definieron dos factores, los cuales explican el 97.68 % de la varianza total de los datos. El factor 1 está caracterizado por la asociación de *D. messanensis* y *D. fibula* var. *robusta*, ambas con puntaje del factor de 1.28. Esta asociación sugiere la dominancia del Agua Tropical Superficial en la región de estudio, en particular durante los últimos 30 años. El factor 2 está definido por *O. pulchra*, con un puntaje del factor de 1.95, del cual sus mayores cargas sugieren periodos de alta productividad, sugiriendo una disminución significativa para los últimos veinte años.

Las tendencias y fluctuaciones de las variaciones del registro instrumental de la temperatura superficial del mar (TSM) en el golfo de California durante el siglo XX y el registro *proxy* son similares, por lo cual se puede decir que ciertas especies de silicoflagelados son una herramienta muy útil en la reconstrucción de la TSM.

2. Introducción

El trabajo que a continuación se presenta es parte de un proyecto del Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas del Instituto de Geofísica de la UNAM, del cual una de las líneas de investigación es el estudio paleoceanográfico de la región sur del golfo de California.

En el caso de los estudios paleoceanográficos, el análisis de los restos de organismos fitoplanctónicos preservados en los sedimentos permiten inferir cambios en las condiciones oceanográficas, tales como: masas de agua, circulación oceánica y productividad primaria, a diferentes escalas temporales (por ejemplo: decadales, centenarias y milenarias).

El golfo de California es un mar marginal localizado al noreste de México, entre la península de Baja California y el Continente. Actualmente presenta un clima monzónico caracterizado por una estacionalidad marcada con inviernos secos y fríos y veranos húmedos y cálidos. Durante el invierno predominan los vientos del noroeste produciendo surgencias del lado oriental del Golfo, mientras que en el verano los vientos predominantes son del sureste, los cuales son más débiles que los de invierno (Bordoni *et al.*, 2003; Parés-Sierra *et al.*, 2003).

Estas condiciones propician una alta productividad primaria sobre todo en el margen continental durante el invierno, lo que coloca al golfo de California como una de las zonas más productivas a nivel global. Cabe destacar que las costas de los estados de Sonora y Sinaloa provén al menos el 50 % de la producción pesquera de México, por lo cual los estudios oceanográficos en esta región son de gran importancia.

La productividad primaria está representada por la comunidad fitoplanctónica que habita la zona fótica, dentro de esta podemos encontrar el fitoplancton silíceo representado en su mayoría por diatomeas, las cuales representan alrededor del 95 % de estas comunidades, y en un porcentaje menor se encuentran los silicoflagelados, quienes representan cerca del 2 % (McCartney, en Blom *et al.*, 1995). Ambos se encuentran distribuidos en zonas de alta productividad, como lo es el golfo de California.

Los silicoflagelados son utilizados como indicadores (*proxy*¹) paleoceanográficos. Se ha propuesto que algunas especies pueden ser utilizadas como indicadores de temperatura y se han asociado también a masas de agua, sin embargo la biología y ecología de estas especies no ha sido muy estudiada y falta conocer por completo los factores que determinan su distribución.

En este trabajo se estudia el registro de los silicoflagelados en un núcleo colectado en el golfo de California, en la región occidental de la cuenca del Carmen, para explicar el comportamiento de los cambios ambientales en el golfo reflejados en los sedimentos de la Cuenca.

¹Un proxy es un indicador indirecto de condiciones ambientales, climáticas y oceanográficas. Estos se dividen en biológicos y no biológicos, entre los biológicos se incluye cualquier organismo o resto de organismos que permita realizar una inferencia de los eventos ocurridos en el pasado, entre los no biológicos se considera aquellos que no se derivan de un ser vivo como lo son los minerales.

3. Objetivos

General.

- Documentar la variabilidad climática de los últimos 200 años del Holoceno Tardío, en escala centenaria y multidecadal a partir del análisis de silicoflagelados de la secuencia sedimentaria C53 de la cuenca del Carmen, en el golfo de California.

Particulares.

- Analizar el registro de los silicoflagelados en la secuencia sedimentaria C53 basado en la riqueza, el índice de diversidad y en las abundancias relativas.
- Explicar con base en la ecología de las especies los cambios de los factores que afectan el clima de la región.
- Comparar los resultados obtenidos con registros climáticos existentes en el periodo de estudio.

4. Antecedentes

El golfo de California

El golfo de California es una cuenca oceánica semicerrada, alargada (aproximadamente de 1,000 Km) y estrecha (aproximadamente de 200 Km) (Fernández-Barajas *et al.*, 1994), que se localiza al NW de México entre la península de Baja California y la costa continental del país a la altura de los estados de Sonora y Sinaloa. Para explicar la dinámica del golfo, éste se ha dividido latitudinalmente en cuatro regiones: la región Norte (29.5- 32 °N), región de las Islas (28-29.5 °N), región Central (26-28 °N) y región Sur (23-26 °N) (Soto-Madrones *et al.*, 1999 y Parés-Sierra *et al.*, 2003) (Fig.4.1). En particular, la cuenca del Carmen se localiza en el límite norte de la región sur sobre los 26° N.

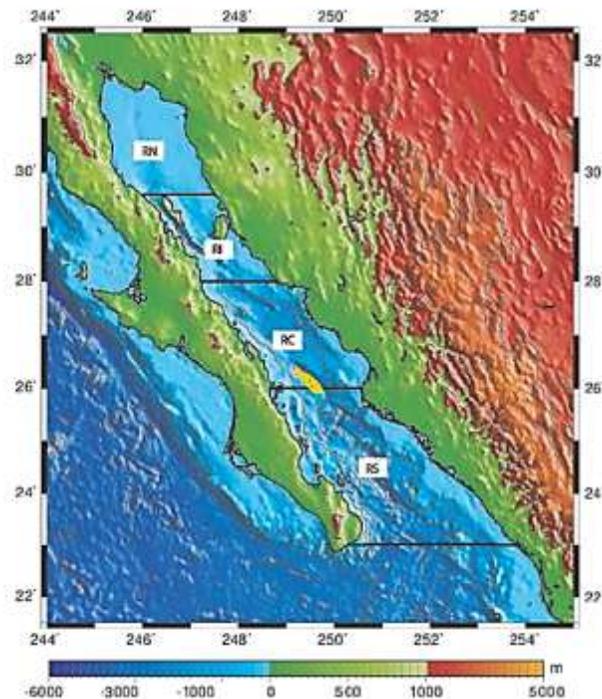


Figura 4.1. Mapa batimétrico del Golfo de California que muestra las diferentes regiones: Región norte (RN), región de las islas (RI), región central (RC), región sur (RS). Indicando con amarillo la localización de la Cuenca del Carmen. (Tomado de Parés-Sierra, 2003).

Clima

El clima del golfo de California es monzónico con una estacionalidad marcada, caracterizado por un modo de invierno-primavera (noviembre a marzo) seco y frío, y un modo de verano-otoño (abril a septiembre) cálido y húmedo. Tiene variación estacional en la intensidad y dirección de los vientos, temperatura superficial del mar y precipitación (Bordoni *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2007).

Durante el periodo de invierno vientos del NW dominan el golfo, con las mayores intensidades de diciembre a febrero alcanzando máximos de 12 m s^{-1} , disminuyendo en intensidad de marzo a abril. Durante el verano la dirección e intensidad de los vientos cambia, en general los vientos son más débiles con velocidades de $5 \text{ a } 10 \text{ m s}^{-1}$ (Bordoni *et al.*, 2003). Cabe destacar que la mayor diferencia estacional en el golfo se presenta en la región sur con un notable cambio en la dirección de los vientos (SE en verano), siendo las regiones norte y de las islas las que menos varían estacionalmente (Parés-Sierra *et al.*, 2003) (Fig. 4.2). El cambio en la intensidad y dirección de los vientos se debe al desplazamientos del Sistema de alta Presión del este del Pacífico Subtropical y la Zona de Convergencia Intertropical hacia el ecuador en invierno, y hacia el norte en verano (Douglas *et al.*, 2007).

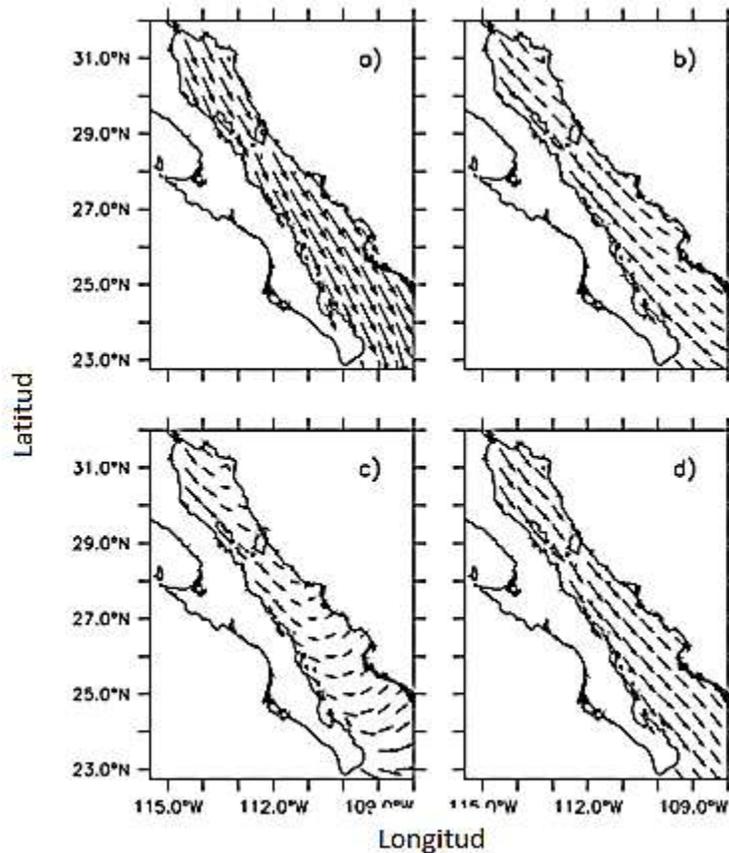


Figura 4.2. Patrón estacional de vientos en el Golfo de California, de diciembre-enero-febrero (a), marzo- abril- mayo (b), junio-julio-agosto (c) y septiembre-octubre-noviembre (d). (Tomado de Parés-Sierra *et al.*, 2003).

Oceanografía

Dentro del golfo de California se han descrito diferentes masas de agua, cuya permanencia, espesor y extensión en esta región varía de acuerdo con la estacionalidad. Lavín *et al.* (2009), describe estas masas de agua, cuyas características se mencionan a continuación: el Agua del Golfo de California (AGC) formada por la convección de los vientos al norte del Golfo, con salinidades de 34.9-35.35 y temperaturas de 14-29 °C, encontrándose a profundidades de 0-180 m; el Agua Tropical Superficial Evaporada (ATSe) con salinidades de 34.9-35.1 y temperaturas de 28-30 °C, de 0-40 m de profundidad; el Agua Tropical

Superficial (ATS) proveniente del pacífico Tropical, con salinidad de 34.5-34.9 y temperaturas de 18-30 °C, de 0-120 m de profundidad; el Agua del Mínimo de Salinidad Somera (AMSS) relacionada con la entrada de la Corriente de California, aunque se sugiere que esta se forma por la mezcla de dicha corriente y el ATS, con salinidad de 34.1-34.5 y temperaturas de 16-25 °C, de 10-110 m de profundidad; el Agua Subsuperficial Subtropical (AssSt) con salinidades de 34.5-34.9 y temperaturas de 24.9-26.7, entre los 50-480 m de profundidad; y el Agua Intermedia del Pacífico (AIP), con salinidad de 34.5-34.8 y temperaturas de 4-9 °C, con profundidades mayores a los 400 m.

Los balances de salinidad y temperatura en las masas de agua dentro del golfo dependen también de su interacción con el océano Pacífico (Lavín *et al.*, 2009) de manera estacional y por anomalías climáticas. Durante el invierno las aguas tropicales llegan solo hasta la región de la boca del golfo, mientras que en verano pueden llegar hasta las islas Tiburón y Ángel de la guarda (Fernández-Barajas *et al.*, 1994). Anomalías en la distribución de las masas de agua se deben a la acción de eventos no estacionales como El Niño principalmente (Fernández-Barajas *et al.*, 1994; Lavín *et al.*, 1997; Herguera *et al.*, 2003; Ripa y Marinone, 1989; Pérez-Cruz y Molina Cruz, 1988).

Productividad primaria

Los patrones de flujo de plancton observados en el golfo son respuesta a los forzamientos estacionales hidrográfico-climáticos que ocurren en esta región. Los procesos a mesoescala dentro del golfo se forman por el movimiento y encuentro de las diferentes masas de agua, observándose giros. En particular, durante agosto de 1992 se registró la presencia de tres giros a lo largo del golfo desde la isla Tiburón hasta la boca: uno ciclónico en la cuenca de

Guaymas, uno anticiclónico en la cuenca del Carmen y otro ciclónico en la cuenca Farallón (Fernández-Barajas *et al.*, 1994). Los giros anticiclónicos son encontrados hacia el sur en octubre, enero, febrero y marzo cubriendo la cuenca de Carmen y Farallón (Figuroa *et al.*, 2003). Estos giros pueden provocar afloramientos de nutrientes, debido a que propician condiciones de mezcla.

El flujo de vientos del NW durante el invierno produce surgencias en el margen continental del golfo, lo que mejora el ascenso de nutrientes y provoca la alta productividad primaria. En las cuencas Carmen y Guaymas se han registrado tasas de productividad $> 1 \text{ gC} / \text{m}^2 / \text{día}$ y pueden exceder $4 \text{ gC} / \text{m}^2 / \text{día}$, por lo que el golfo se sitúa entre las áreas más productivas a nivel global. Los vientos de verano y otoño son más difusos, por lo que la productividad disminuye en la región oriental del golfo de California, en esta época las aguas superficiales son cálidas y altamente estratificadas (Thunell *et al.*, 1996). Del lado occidental del golfo se ha observado mayor productividad durante el verano, se ha propuesto que esto se debe a condiciones de mezcla generadas por giros ciclónicos, sin embargo la productividad en estas áreas no supera la productividad en invierno en el margen continental (Douglas *et al.*, 2007) (Fig. 4.3).

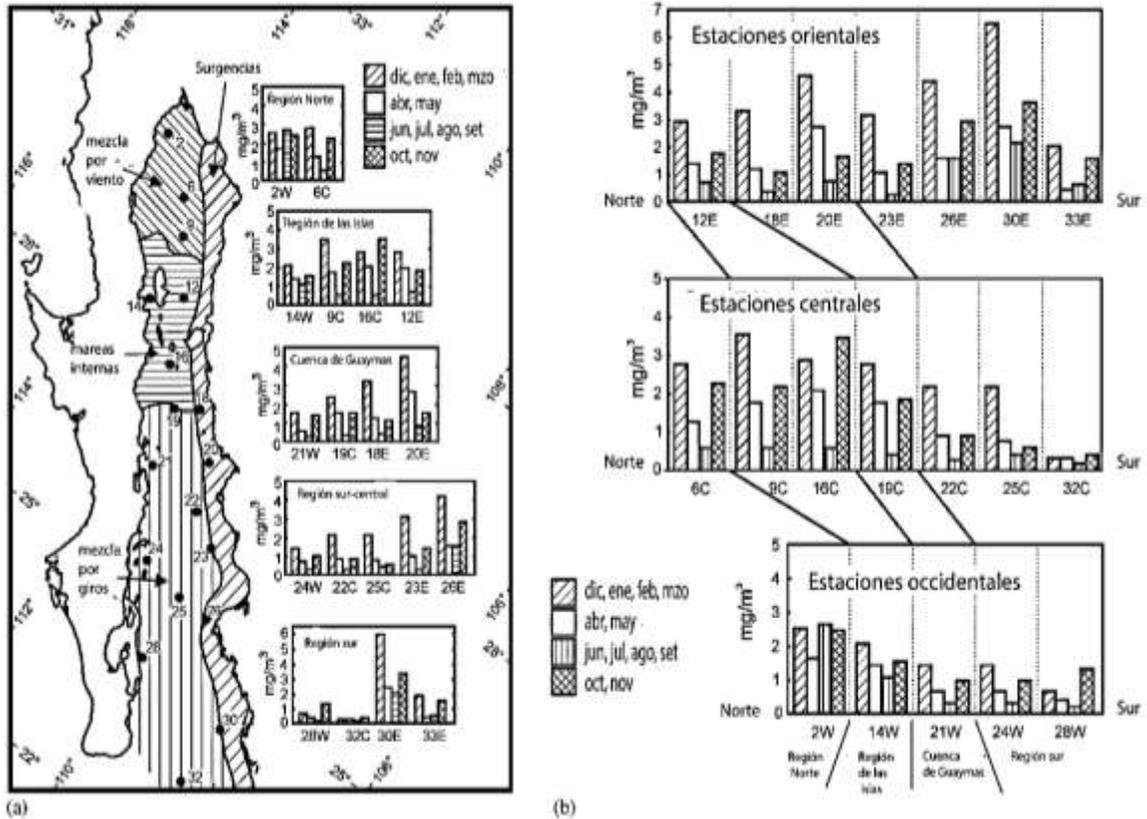


Figura 4.3. a) Mapa del golfo de california que muestra las diferentes regiones latitudinales y su gradiente de productividad este oeste, a lo largo del año. b) Gráficas donde se observa el gradiente de productividad norte sur- en estaciones centrales, orientales y occidentales, a lo largo del año (Tomado de Douglas *et al.* 2007).

Distribución de sedimentos biogénicos

Sedimentos de sílice biogénico son acumulados debajo de áreas de alta productividad primaria. Estas se localizan alrededor de las grandes islas, el centro del golfo, el margen este del talud y en correspondencia a las áreas de fuerte turbulencia y mezcla, y surgencias costeras de invierno a lo largo del margen continental. Se ha sugerido que los procesos a mesoescala tales como giros, chorros y meandros, producen que los restos planctónicos y de materia orgánica originados por surgencias costeras en el este del golfo sean arrastrados hacia el lado oeste, depositándose en esta región y siendo un testimonio de lo que ocurre en el lado este durante los meses de invierno (Douglas *et al.*, 2007) (Fig. 4.4).

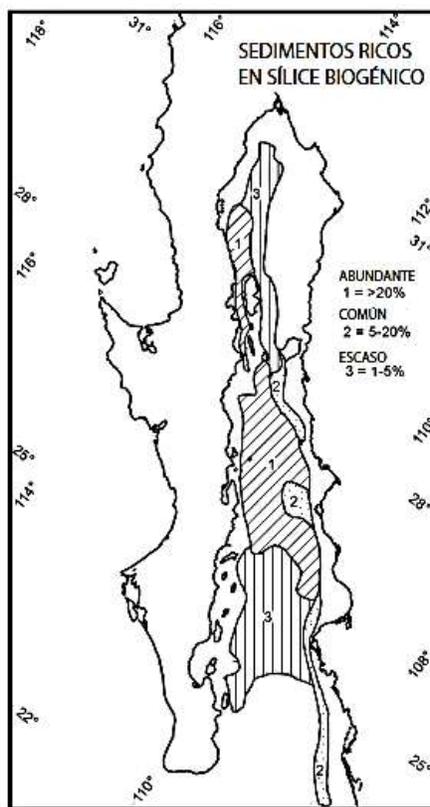


Figura 4.4. Distribución de sedimentos con sílice biogénico (diatomeas, radiolarios y silicoflagelados) en el golfo de California (Tomado de Douglas *et al.*, 2007).

Los silicoflagelados

Características generales

Los silicoflagelados son algas pertenecientes a la división Heterocontophyta clase Dictyophyceae orden Dictyocales, un grupo cosmopolita de algas marinas flageladas. Estas algas pardo-doradas son caracterizadas por tentáculos o rizopodios en células vegetativas básicamente ameboides, las cuales son relativamente raras entre las algas, siendo restringidas a Dictyophyceae y Xantophyceae (Lee, 2008).

Cada célula contiene numerosos cloroplastos con clorofila *a* y *c*, carotenos y otros pigmentos, su característica principal es la presencia de un esqueleto de barras de sílice huecas fuera del protoplasma (Fig. 4.5). El esqueleto puede ser un simple anillo, una elipse, o un triángulo (Lee, 2008) la morfología del esqueleto es utilizado como carácter específico (Sandgren *et al.*, 1995).

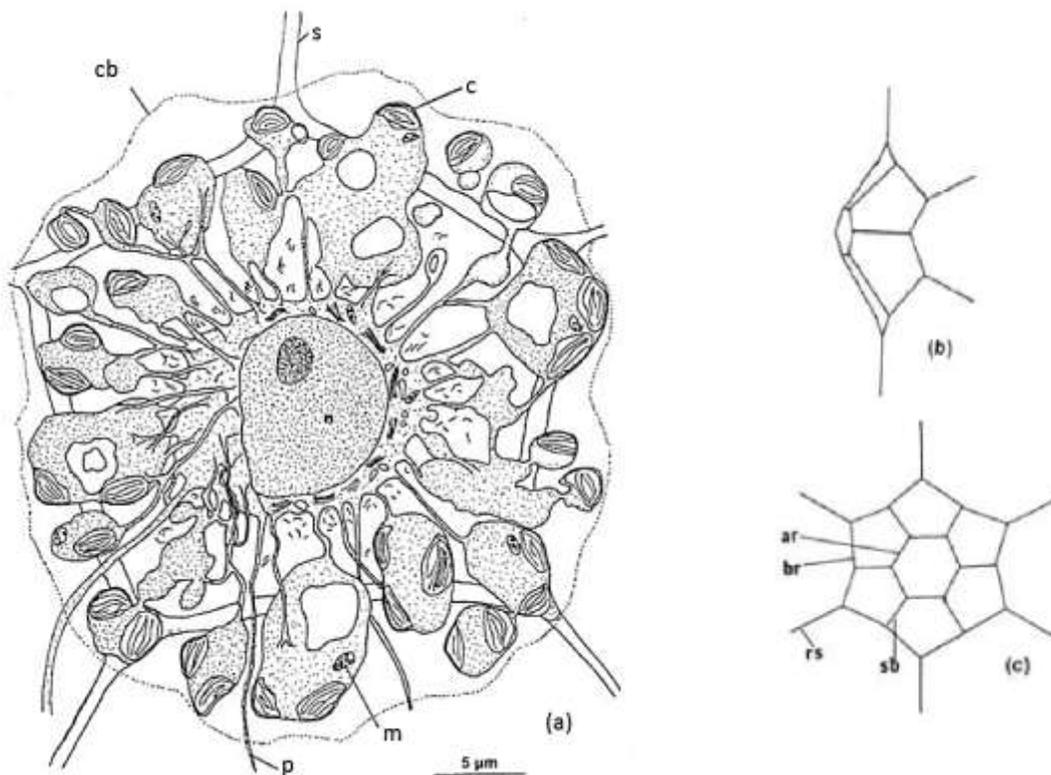


Figura 4.5. (a) Dibujo de la estructura de *Dictyocha fibula*; (b, c) Vista frontal y lateral del esqueleto; (ar) Anillo apical; (br) anillo apical; (c) cloroplasto; (cb) membrana celular; (m) mitocondria; (n) núcleo; (p) pseudópodo; (rs) espina radial; (s) esqueleto de sílice; (sb) barras de soporte (Tomado de Lee, 2008).

La taxonomía de los silicoflagelados está basada en su morfología, el número de lados del anillo basal, la presencia de puente o anillo apical, el número de ventanas, la presencia de espinas, entre otras. Sin embargo, se ha sugerido que para realizar un mejor análisis taxonómico de estas especies es necesario tomar otros factores en cuenta, debido a que de una misma línea celular pueden surgir variedades morfológicas (Van Valkenburg y Norris, 1970).

Ciclo de vida

Se conocen diferentes estados celulares en el ciclo de vida algunas especies de silicoflagelados (*Dictyocha fibula* y *D. speculum*). Estos estados son biflagelados (confirmado sólo para *D. speculum*) con un largo y piloso flagelo anterior y un segundo flagelo muy corto. El ciclo de vida comprende al menos tres estados morfológicos: un estado uninucleado que presenta esqueleto, un estado desnudo uninucleado, un estado desnudo multinucleado de hasta 500 µm de diámetro, y un estado ameboide multinucleado (Sandgren *et al.*, 1995) (Fig. 4.6).

Se han registrado esqueletos dobles interpretados en algunas ocasiones como cigotos pero la fusión celular no se ha observado; sin embargo, se refiere a estos esqueletos dobles más certeramente como células en división. Es desconocida la presencia de quistes para este grupo. Se han hecho intentos para completar el ciclo de vida en el laboratorio pero estos intentos han fallado (Sandgren *et al.*, 1995).

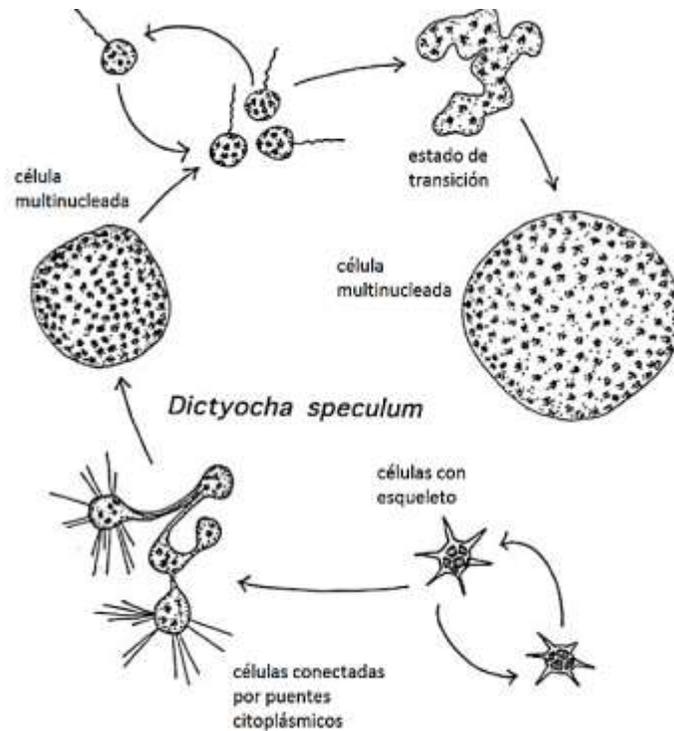


Figura 4.6. Estados de crecimiento de *Dictyocha speculum* (Tomado de Lee, 2008).

Ecología y distribución geográfica

En la actualidad los silicoflagelados constituyen una parte importante del fitoplancton en aguas frías (Lee, 2008). Están ubicados en la mayoría de los océanos del mundo, incluyendo ambientes neríticos y pelágicos, y es sabido que se encuentran de manera más abundante en aguas eutróficas. El tamaño de sus células comúnmente va de 20 a 80 μm de diámetro por lo que son clasificados como microplancton.

Aunque los esqueletos de silicoflagelados constituyen relativamente un pequeño componente de los sedimentos marinos, muchos científicos los han utilizado para bioestratigrafía en muchas partes del océano, especialmente donde los fósiles calcáreos

están ausentes. El registro fósil de esqueletos de silicoflagelados es conocido desde el Cretácico Tardío (Takahashi, 1991).

Estudios previos de silicoflagelados en el golfo de California

Dentro del golfo de California, Murray y Schrader (1983) Schrader *et al.* (1986), Pérez-Cruz y Molina-Cruz (1988), Hernández y Bravo (2001), Barron *et al.* (2004), Barron y Bukry (2007 a), Álvarez-Gómez y Martínez-López (2010), han colectado, identificado y/o descrito las especies de silicoflagelados presentes en esta región tanto en sedimentos como en columna de agua. Dentro de estas descripciones se encuentran *Octactis pulchra*, *Dictyocha messanensis* forma *messanensis*, *Dictyocha messanensis* forma *spinosa*, *Dictyocha epidon*, *Dictyocha fibula* var *robusta*, *Dictyocha calida*, *Dictyocha californica*, *Dictyocha franshepardii*, *Dictyocha perlaevis* y *Distephanus speculum* (Tabla 4.1)

Tabla 4.1. Especies de silicoflagelados encontradas en el Golfo de California, mencionando algunas sinonimias.

Especie	Sinonimias
<i>Dictyocha fibula</i> var. <i>robusta</i> Schrader. Schrader et al. (1986)	<i>Dictyocha perlaevis</i> Barron <i>et al.</i> , 2004- Barron y Bukry,2007
<i>Dictyocha messanensis</i> forma <i>messanensis</i> Haeckel. Poelchau, 1976.	<i>Dictyocha messanensis</i> Murray y Schrader, 1983- Schrader,1986. <i>Dictyocha stapedia</i> Barron <i>et al.</i> , 2004- Barron y Bukry,2007.
<i>Octactis pulchra</i> Schiller. Bukry y Foster, 1973. -Poelchau, 1976. - Bukry, 1980. -Murray y Schrader, 1983.	<i>Distephanus pulchra</i> Takahashi, 1991
<i>Dictyocha epidon</i> Ehrenberg. -Poelchau, 1976. -Murray y Schrader, 1983.	<i>Dictyocha mandrai</i> Schrader <i>et al.</i> , 1986. <i>Dictyocha aculeata</i> Barron <i>et al.</i> , 2004- Barron y Bukry, 2007.
<i>Dictyocha messanensis</i> forma <i>spinosa</i> Lemmermann. Poelchau, 1976.	<i>Dictyocha stapedia aspinosa</i> Barron <i>et al.</i> , 2004- Barron y Bukry,2007.
<i>Dictyocha californica</i> Schrader. Schrader et al., 1986.	<i>Dictyocha perlaevis</i> Barron <i>et al.</i> , 2004- Barron y Bukry,2007
<i>Dictyocha calida</i> Poelchau. Poelchau, 1976.	<i>Dictyocha calida ampliata</i> Barron <i>et al.</i> , 2004- Barron y Bukry, 2007
<i>Dictyocha perlaevis</i> Freguelli. Freguelli, 1951	-
<i>Dictyocha franshepardii</i> Bukry. Bukry, 2007.	<i>Dictyocha</i> sp. 2 Murray y Schrader, 1983
<i>Distephanus speculum</i> Ehrenberg.	-

Estas mismas especies también han sido observadas en otras regiones del Océano Pacífico y del Atlántico (Poelchau, 1976; Takahashi, 1991; Takahashi y Blackwelder, 1992; Onodera y Takahashi, 2005; Barron y Bukry, 2007 b). En la Tabla 4.2 se muestran las regiones en donde éstas se han encontrado en la columna de agua, en trampas de sedimento y en los sedimentos superficiales.

Tabla 4.2. Referencia de trabajos realizados en el golfo de California, Océano Pacífico y Atlántico en que se reportan las especies identificadas en este estudio.

	Autor	Zona de estudio	Tipo de muestra	Periodo de estudio
Golfo de California	Murray y Schrader, 1983.	Costa occidental de la península de Baja California y dentro del golfo por debajo de los 29°N	Sedimentos superficiales.	De octubre a diciembre de 1980
	Schrader <i>et al.</i> , 1986.	Costa occidental de la península de Baja California y dentro del golfo por debajo de los 30°N	Columna de agua 2 m debajo de la superficie y sedimentos superficiales.	Mayo y Junio de 1982
	Perez-Cruz y Molina-Cruz, 1988.		Columna de agua superficial.	Niño 1983
	Hernandez y Bravo, 2001.		Columna de agua superficial.	-
	Barronet <i>al.</i> , 2004.	Cuenca de Guaymas	Núcleo (secuencia sedimentaria).	Últimos 1500 años
	Barron y Bukry, 2007 a.	Guaymas, Carmen y Pescadero	Núcleos (secuencias sedimentarias)	Últimos 2000 años
	Álvarez-Gómez y Martínez-López, 2010.	Cuenca Alfonso, bahía de la Paz	Columna de agua superficial y trampa de sedimentos.	Enero 2002 a diciembre de 2003
Océano Pacífico o Atlántico	Poelchau, 1976.	Este del Pacífico Norte	Sedimentos superficiales	-
	Takahashi, 1991.	Centro del mar de Sagaso, Atlántico tropical, Sureste de Hawaii en el Centro del Pacífico Norte y la cuenca de Panamá en el pacífico Tropical.	Columna de agua superficial, trampas de sedimentos.	-
	Takahashi y Blackwelder, 1992.	Noreste del atlántico	Columna de agua superficial.	Abril, mayo y junio de 1982
	Onodera y Takahashi, 2005.	Noroeste del Pacífico Norte	Trampas de sedimentos.	Diciembre de 1997 a mayo del 2000
	<i>Barron y Bukry, 2007 b.</i>	Costa de Norte América. Región marina desde el sur de Oregon hasta el centro del Costa de California	Núcleos (secuencias sedimentarias)	Últimos 12,000 años

Dictyocha fibula var. *robusta* se ha encontrado en la boca del golfo y su abundancia decrece hacia el norte, está asociada a regiones tropicales y subtropicales (Murray y Schrader, 1983); sin embargo, Schrader *et al.*, (1986) consideran que es una especie perteneciente al golfo la cual aumenta en abundancia cuando *Octactis pulchra* decrece, por esta razón se considera un indicador de la disminución de la productividad primaria dentro del golfo. Los rangos de salinidad y temperatura en que se encuentran en mayor abundancia (>50 %) son de 22-26 °C y salinidad de 35-35.5 (Schrader *et al.*, 1986).

Octactis pulchra es una especie asociada con alta productividad primaria (Takahashi, 1991, Takahashi y Blackwelder, 1992; Murray y Schrader, 1983; Schrader *et al.*, 1986). Asimismo, se ha reportado una correspondencia positiva entre la abundancia de esta especie y la presencia de sílice biogénico (Barron *et al.*, 2004). *O. pulchra* es la especie más abundante en la parte sur-central del golfo, sobre los 26°N, donde presenta su mayor abundancia (Murray y Schrader, 1983); también se presenta con gran abundancia en la boca del golfo y en la región central entre los 29 y 30°N (Schrader *et al.*, 1986). Es dependiente de temperatura pero no muestra dependencia por salinidad encontrándose en abundancias >90 % entre los 15-18 °C y salinidades de 34 a 35 (Schrader *et al.*, 1986). En regiones tropicales, su flujo parece incrementar con el incremento en el flujo de carbono orgánico (Takahashi, 1991).

Dictyocha messanensis forma *messanensis* es una especie cosmopolita (Poelchau, 1976). Es una especie muy abundante fuera del golfo de California, mientras que dentro se ha registrado en los sedimentos de ambos márgenes de la región central, sobre los 27 ° 30 ´ N (Schrader *et al.*, 1986), sur y boca del golfo (Murray y Schrader, 1983) en donde se ha

documentado que la abundancia relativa de *D. messanensis* forma *messanensis* aumenta cuando la abundancia relativa de *O. pulchra* disminuye (Schrader *et al.*, 1986; Barron y Bukry, 2007), mientras que en el noroeste del Pacífico norte se encontró que en general sus mayores abundancias coincidían con disminución en la abundancia de *Dictyocha epiodon* (Onodera y Takahashi, 2005). *D. messanensis* forma *messanensis* está asociada a condiciones oligotróficas, es dependiente de temperatura y salinidad encontrándose con abundancias >50 % entre 22-26 °C y salinidades alrededor de 34. En el golfo de California se observó que su distribución alcanzó la zona central y el norte del golfo debido a la incursión de agua cálida durante el evento de “El Niño”, lo que confirma su estrecha asociación con aguas cálidas tropicales (Pérez-Cruz y Molina-Cruz, 1988).

Dictyocha epiodon se encuentra a lo largo de la costa oeste de Norte América en asociación con la corriente de California, restringida a altas latitudes en el Pacífico (Poelchau, 1976). Habita aguas relativamente frías; se sugiere que esta especie requiere menos luz y cantidad de nutrientes que otras especies de silicoflagelados (Takahashi y Blackwelder, 1992). Su distribución se extiende a la boca del golfo para final de noviembre (Murray y Schrader, 1983). La intrusión de *D. epiodon* en aguas superficiales del Pacífico oriental puede ser un indicador del movimiento de la frontera entre la Corriente de California y el ATS (Murray y Schrader, 1983). *D. epiodon* junto con *D. calida* y *D. californica*, pueden encontrarse al norte del golfo ocasionalmente, cuando prevalecen las condiciones oceanográficas que permiten el desplazamiento hacia el norte de aguas tropicales y ecuatoriales (Schrader *et al.*, 1986).

Dictyocha messanensis forma *spinosa* es una especie de aguas cálidas (Takahashi y Blackwelder, 1992), presenta una amplia variedad morfológica dependiente de factores

ambientales; a pesar de la similitud con *D. messanensis* forma *messanensis*, se han encontrado diferencias en tamaños, *D. messanensis* forma *spinosa* llega a tener un diámetro basal de 45 a 79 % mayor que *D. messanensis* forma *messanensis* (Takahashi, 1991). Ambas especies han sido relacionadas por la presencia simultánea el Pacífico Norte (Takahashi, 1991) y en la Cuenca Alfonso en la Bahía de la Paz (Álvarez-Gómez, 2007), por lo que se ha sugerido que pueden tener requerimientos de nutrientes similares, sin embargo la magnitud de los flujos entre ambas especies es diferente, siendo *D. messanensis* forma *spinosa* menos abundante.

Dictyocha californica es un silicoflagelado dominante cerca de la boca del golfo en el lado continental y está presente sólo en menores cantidades en otras áreas (Murray y Schrader, 1983). Tiene una distribución similar a *D. fibula* var. *robusta*. Una pequeña población aislada con abundancias máximas encima del 3 % se encuentra a lo largo del Pacífico del lado de la península de Baja California; dentro del golfo de California esta especie no se ha encontrado por arriba de los 28 ° de latitud N (Schrader *et al.*, 1986).

Dictyocha calida está asociada con el agua de la Contracorriente Ecuatorial (Poelchau, 1976). Es muy abundante en la boca del golfo y disminuye de forma importante en las aguas que se extienden más allá de 26 °N dentro del golfo. Esta especie está presente en el océano Pacífico del lado de la península de Baja California hasta 24 °N, correspondiente a la isoterma 24 °C (Murray y Schrader, 1983).

Sistemática y taxonomía.

Dictyocha fibula var. *robusta*. Schrader

Dictyocha fibula var. *robusta*. Schrader *et al.* (1986)

Dictyocha perlaevis. Freguenlli, 1951.

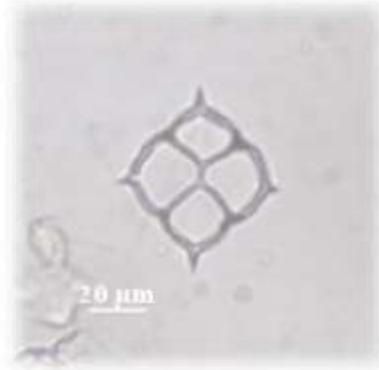


Fig. 4.7. *Dictyocha fibula* var. *robusta*. Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Taxón bien caracterizado, el cual tiene un esqueleto muy robusto, subcircular a generalmente elíptico en forma (dimensiones: 65-76 µm de largo, 56-62 µm de ancho). El esqueleto se observa grueso y simétrico. Las espinas radiales son largas en el mayor de los ejes, y las otras son reducidas. El anillo basal está constreñido a la unión de las barras laterales y laterales; las barras basales están suavemente curvadas. Las ventanas cercanas al puente apical son más largas que las ortogonales al puente, las cuales tienen una forma más romboide. Las barras laterales y el puente apical son tan delicadas como las barras basales. El puente apical es paralelo o ligeramente oblicuo y no muestra una espina apical conspicua. Las espinas de apoyo son inconspicuas o ausentes (Hernandez& Bravo, 2001).

Dictyocha messanensis forma *messanensis* Haeckel

Dictyocha messanensis forma *messanensis* Haeckel.- Poelchau, 1976.

Dictyocha messanensis Haeckel.- Murray y Schrader, 1983.

Dictyocha stapedia stapedia Haeckel.- Bukry, 1976.

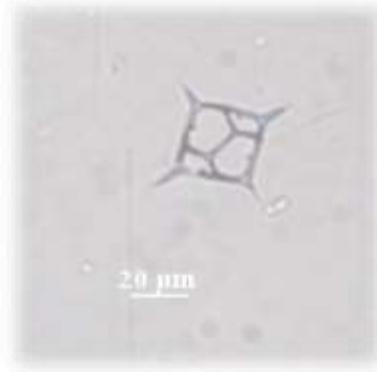


Fig. 4.8. *Dictyocha messanensis* forma *messanensis*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Anillo basal rómbico, elongado longitudinalmente con espinas radiales cuya longitud es de menos de la mitad del diámetro del anillo basal. Las espinas radiales en posiciones polares son siempre más largas que las de las posiciones ecuatoriales. La barra apical está alineada en posición longitudinal, de aproximadamente la tercera parte del diámetro del anillo basal y convexa con una espina apical. Con superficie lisa. El diámetro del anillo basal es de 15-29 μ .

Octactis pulchra Schiller

Mesocena octogona Ehrenberg, 1843.

Mesocena heptagona Ehrenberg, 1843 .

Distephanus octogonus (Ehrenberg). –Dumitrica, 1972.

Distephanus octonarius Deflandre. –Ling, 1973.

Octactis pulchra Schiler. –Bukry y Foster, 1973. –Poelchau, 1976. –Bukry, 1980. –Murray y Schrader, 1983.

Distephanus pulchra (Schiler). –Ling y Takahashi, 1985.

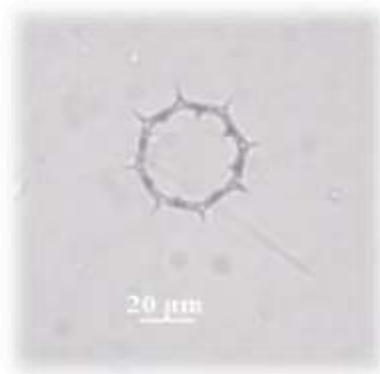


Fig. 4.9. *Octactis pulchra*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Estos especímenes tienen un esqueleto casi circular o ligeramente elíptico (anillo basal octagonal) con usualmente ocho espinas radiales (se han encontrado especímenes con siete o nueve espinas) variables en longitud (38-52 μm en diámetro) (Hernández& Bravo, 2001). Las espinas radiales pueden ser ligeramente largas. No tiene espinas de soporte. El anillo apical es muy delicado, casi tan ancho como el anillo basal, ocasionalmente con espinas apicales. Este es soportado por ocho cortas, casi verticales barras laterales que se originan del anillo basal entre las espinas radiales. Frecuentemente el anillo apical está incompleto o ausente, probablemente debido a que se rompe. El diámetro mayor del anillo basal es de 19 a 38 μ (Poelchau, 1976).

Dictyocha epiodon Ehrenberg

Dictyocha epiodon Ehrenberg. –Poelchau, 1976. –Murray y Schrader, 1983.

Dictyocha fibula var. *aculeata* Lemmermann, 1901. –Ling, 1970.

Dictyocha aculeata (Lemmermann). –Dumitrica, 1972.

Dictyocha mandrai Ling, 1977.

Dictyocha aculeate aculeata (Lemmermann). Bukry, 1980.



Fig. 4.10. *Dictyocha epidon*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

El anillo basal es subcuadrado, de rómbico a octogonal, y tiene cuatro espinas radiales grandes y cuatro más pequeñas dispuestas de manera alternada. Las cuatro espinas de soporte están siempre hacia la izquierda (contrario a las manecillas del reloj) de las espinas radiales. El aparato apical está girado ligeramente en contra de las manecillas del reloj con respecto al eje mayor formando un ángulo de aproximadamente 16° . La espina apical siempre se presenta y las espinas accesorias de las barras laterales son comunes.

El número de espinas radiales cortas puede variar de dos a 9. La longitud de las espinas radiales varía pero son usualmente más cortas que en *D. messanensis*. Ocasionalmente hay formas pentagonales y más raramente formas triangulares (Poelchau, 1976).

Dictyocha messanensis forma *spinosa* Lemmermann.

Dictyocha messanensis forma *spinosa* Lemmermann. Poelchau, 1976.

Dictyocha messanensis Haeckel, 1861, 1862. –Dumitrica, 1972. –Ling, 1977. –Murray y Schrader, 1983.

Dictyocha fibula var. *messanensis* (Haeckel). –Ling, 1970.

Dictyocha fibula var. *messanensis* forma *spinosa* Lemmermann, 1908.



Fig. 4.11. *Dictyocha messanensis* forma *spinosa*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

El anillo basal es cuadrado o ligeramente rómbico; las barras basales son rectas o ligeramente convexas. Las espinas radiales se encuentran ligeramente a la izquierda, y miden casi la mitad del diámetro del anillo basal. Las espinas de soporte se encuentran a la izquierda de las espinas radiales. La barra apical tiene una espina que es relativamente larga y girada un poco en sentido contrario a las manecillas del reloj con respecto al eje mayor. Las barras laterales tienen muy frecuentemente espinas accesorias, de ahí el nombre *spinosa*. La medida promedio del anillo basal es de 31 a 36 μ raramente menor a 28 μ , comúnmente más grande. (Poelchau, 1976). La forma de este organismo está muy relacionada con *D. messanensis* pero puede distinguirse fácilmente por su mayor tamaño y la presencia de espinas accesorias en las barras laterales.

Dictyocha calida Poelchau

Dictyocha calida Poelchau, 1976. –Murray y Schrader, 1983.

Dictyocha calida calida Poelchau. –Bukry, 1980.

Dictyocha calida ampliata Bukry, 1980.

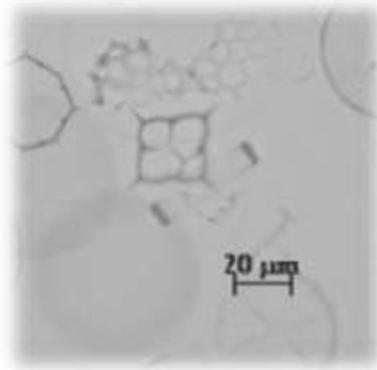


Fig. 4.12. *Dictyocha calida*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Estos especímenes tienen esqueletos silicios de forma romboide o sub-cuadrada, con cuatro espina radiales de igual longitud: la apariencia general es bastante simétrica. Las barras basales están ligeramente curvadas formando ventanas basales redondeadas. El puente apical y las barras laterales son más delicadas comparadas con las barras basales, el puente apical no presenta espina apical y es exactamente paralelo al eje mayor de simetría. Tiene espinas de soporte cerca de la unión de las barras basales y laterales. La longitud de las espinas radiales es en promedio la tercera parte del diámetro del anillo basal. La apariencia general es delicada y simétrica (Poelchau, 1976)

Dictyocha californica Schrader

Dictyocha californica Schrader *et al.*, 1986.

Dictyocha perlaevis Freguenlli, Bukry, 2007.

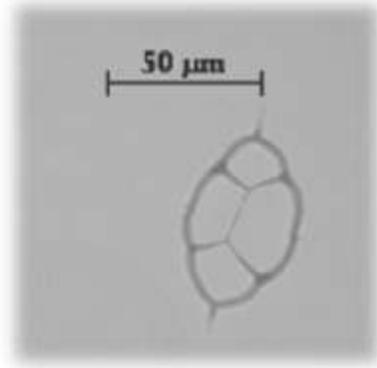


Fig. 4.13. *Dictyocha californica*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Ejes largos con forma elíptica, el eje mayor presenta espinas radiales más largas que las del eje menor. Las barras basales están ligeramente curvadas y las laterales son más rectas. Las ventanas que están a los extremos del eje longitudinal son más pequeñas que las otras y con forma rómbica. El eje longitudinal está entre 60-80 µ y el ecuatorial de 48-55 µ. Estructura apical ligeramente más delicada que el anillo basal y el puente apical es ligeramente oblicua al eje longitudinal.

Dictyocha franshepardii Bukry.

Dictyocha franshepardii Bukry, 2007.

Dictyocha sp. 2 Murray y Schrader, 1983.

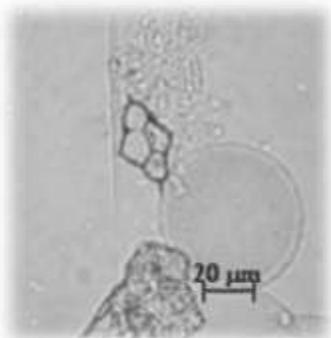


Fig. 4.14. *Dictyocha franshepardii*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Es de tamaño moderado con un eje mayor pronunciado. Presenta espinas de eje mayor moderadas y espinas cortas en el eje menor. Ligeramente asimétrica en proporciones. La barra apical puede estar ligeramente desplazada en cuanto al eje mayor. Se observa esimetría en cuanto a proporciones del diámetro de las ventanas de ambos ejes. Las ventanas del eje mayor suelen ser mas redondeadas que las del eje menor. Presenta textura nodular en las superficies apicales y texturas suaves en superficies de la barra apical.

Es distinguida de otras especies por tener asimetría única. Especialmente distinguida por la forma ovalo alargado del anillo basal, ventanas mayores desiguales y unoines asimétricas.

Diámetro menor a 34 μ (en promedio 29 μ m) y diámetro mayor de 44 a 57 μ m (en promedio 48 μ m) (Barron y Bukry, 2007).

Dictyocha perlaevis Freguenlli.

Dictyocha perlaevis Frenguelli, 1951

Dictyocha fibula Ehrenberg, Bukry y Foster, 1973.

Dictyocha fibula perlaevis (Frenguelli) Bukry 1975.

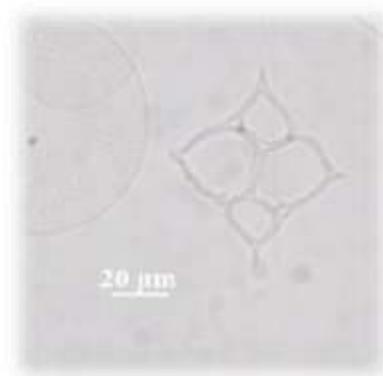


Fig. 4.15. *Dictyocha perlaevis*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Distinguida por cuatro lóbulos pronunciados en el anillo basal. Tiene una barra apical simple, soportada por cuatro barras laterales que se originan en el cuerpo basal de cada lóbulo. Barra apical paralela al eje menor del anillo basal. Más robusta que *D. calida*, como dos veces del tamaño de esta con espinas radiales relativamente cortas. Carece de espinas de soporte. (Poelchau, 1976).

Distephanus speculum Ehrenberg.

Distephanus speculum (Ehrenberg) Haeckel forma *pseudofibula* Schulz, 1928, Loeblich *et al.*, 1968.

Dictyocha pseudofibula(Schulz) Tsumura var. *complexa* Tsumura 1963, Loeblich *et al.*, 1968.

Dictyocha pseudofibula (Schulz) Tsumura, 1963, Bukry y Foster, 1963.

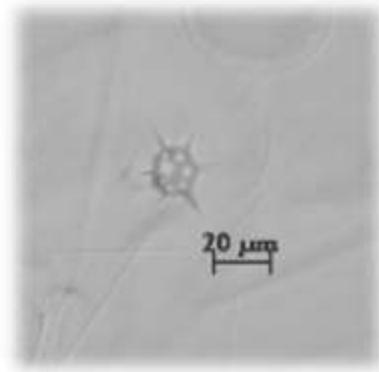


Fig. 4.16. *Distephanus speculum*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Esta especie tiene un anillo basal hexagonal con espinas radiales en cada ángulo. De cada barra del anillo basal se originan barras de soporte para el anillo apical. Tiene una estructura apical con seis aberturas que pueden varían en forma y tamaño. Presenta espinas accesorias en el anillo basal.

Una variedad morfológica de esta especie es *Distephanus speculum* f. *varians* Grand y Baarund 1935, la cual fue encontrada en este trabajo, cuya estructura apical tiene seis ventanas de tamaño irregular.

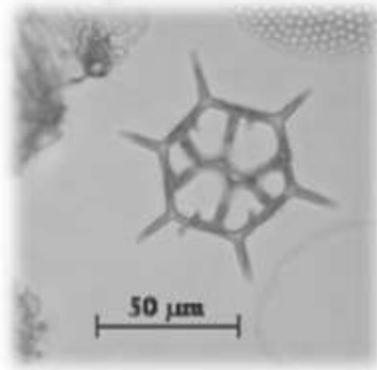


Fig. 4.17. *Distephanus speculum* f. *varians*, Secuencia sedimentaria DIPAL IV C53.

Variabilidad climática del Holoceno

El clima es un sistema complejo regulado por diversos factores los cuales son conocidos como mecanismos de forzamiento, estos pueden ser tanto internos como externos. Los mecanismos de forzamiento externo son aquellos que no pertenecen a la dinámica interna de la Tierra, como lo es la actividad solar o variaciones en la órbita terrestre; mientras que los mecanismos de forzamiento interno son componentes de la dinámica del planeta, entre estos se encuentra la composición de la atmósfera, la actividad volcánica, de los vientos y la dinámica oceánica. Estos mecanismos de forzamiento interaccionan entre ellos formando complejos sistemas de retroalimentación (positiva o negativa), los cuales pueden variar si alguno de los componentes del sistema varía, provocando cambios en el sistema climático. Dichos cambios pueden ser a nivel global o regional, y su duración y extensión depende de la interacción y magnitud de los diferentes mecanismos de forzamiento.

A continuación se mencionan los cambios climáticos más significativos del Holoceno y sus posibles causas, haciendo principal énfasis en el último milenio debido al alcance de la secuencia sedimentaria C53.

El Holoceno comenzó hace aproximadamente 11,500 años con el final del Younger Dryas. Durante esta época la temperatura promedio se ha mantenido entre los 14 y 15 °C con variaciones promedio de 1 a 2 °C, exceptuando un enfriamiento brusco ocurrido hace unos 8,200 años. Durante el último milenio se han presentado dos periodos de variación climática muy importantes, el Periodo Cálido Medieval (PCM) de 700 a 1300 AD, con un clima más cálido que el actual; y la Pequeña Edad de Hielo (PEH) que abarca de 1350 hasta la primera mitad del siglo XIX, con bajas temperaturas (Uriarte, 2010).

Se ha sugerido que los mecanismos de forzamiento que han influido de mayor manera en los cambios del último milenio son la actividad solar y el vulcanismo. Cinco mínimos solares han sido identificados en los últimos 1000 años, conocidos como el mínimo de Oort (1040-1080 AD) y Wolf (1280-1350 AD) durante el PCM con un periodo intermedio de alta actividad solar que duró aproximadamente 200 años; y los mínimos de Sporer (1460-1550 AD), Maunder (1645-1715 AD) y Dalton (1790-1820 AD) los cuales ocurren durante la PEH (Steinhilber y Beer, 2011) (Figura 4.18).

La ocurrencia simultánea de la PEH con un grupo de grandes mínimos solares y el PCM con largos periodos de alta actividad solar son evidencia de la fuerte influencia del sol. Sin embargo, la actividad volcánica también jugó un papel muy importante. Durante la PEH fuertes erupciones volcánicas ocurrieron al tiempo de los mínimos solares teniendo un

efecto de enfriamiento, mientras que un patrón inverso es encontrado en el PCM donde hubo poca actividad volcánica (Gao *et. al.*, 2008) (Figura 4.19).

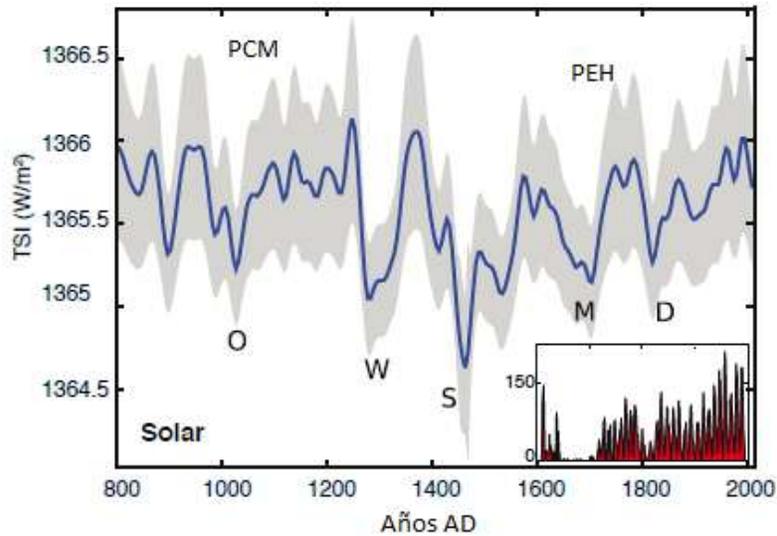


Figura 4.18. Radiación total solar en los pasados 1200 años, donde se muestra el periodo cálido medieval (PCM) y la pequeña edad de hielo (PEH), además los intervalos de mínimos solares, O=Oort, W=Wolf, S=Sporer, M=Maunder, D=Dalton (Steinhilber y Beer, 2011).

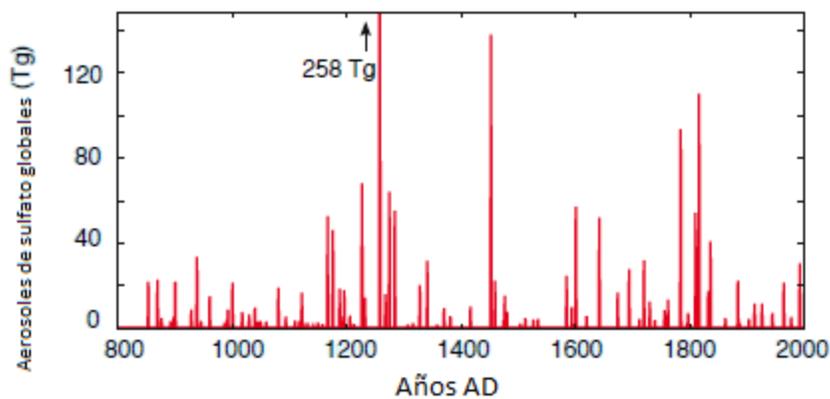


Figura 4.19. B) Inyección global a la estratósfera de aerosoles de sulfato originados por actividad volcánica en teragramos (Tg). (Tomado de Gao *et. al.*, 2008).

Se ha sugerido que los cambios en el clima en estos periodos se manifiestan de manera distinta dependiendo de la región (Mann, 2007). La variabilidad climática regional también es fuertemente influenciada por eventos climáticos, los cuales intervienen a gran escala en la circulación atmosférica, tales como el Niño/ Oscilación del sur (ENSO) o la Oscilación

Decadal del Pacífico (PDO). Se sugiere que El Niño puede ser un componente importante de forzamiento climático durante los últimos mil años (Rutherford *et al.*, 2005)

El uso de modelos de simulación océano-atmósfera en regiones tropicales para estudiar la respuesta de El Niño al forzamiento solar y volcánico indican que hay una tendencia de El Niño en respuesta a forzamientos radiativos negativos (después de la explosión de volcanes tropicales o decremento en la radiación solar) y una tendencia de La Niña en respuesta a mecanismos de forzamiento positivo (incremento en la radiación del sol). Por lo que el Pacífico Tropical parece tener condiciones de La Niña predominantes durante el PCM y cálidas tipo El Niño durante la PEH, esto implica que los cambios en la temperatura superficial en esta región pueden estar compensando los cambios de temperatura extra tropical (donde estos periodos fueron cálidos o fríos respectivamente), reduciendo la amplitud de los cambios de temperatura global o de hemisferio (Mann, 2007).

Para el golfo de California reconstrucciones de la temperatura superficial del mar (TSM) utilizando alquenona en sedimentos de la cuenca de Guaymas, sugieren un aumento de 1 a 2 °C en los últimos 300 años asociados con el final de la PEH. En esta región se muestra un incremento de 1 °C de 1750 a 1800 AD, con un decremento de igual magnitud entre 1950 y 2000 AD. Se sugiere que estos cambios en temperatura están asociados a la posición de la Zona de Convergencia Intertropical debido a la influencia de la actividad solar (Goñi *et al.* 2006).

En estudios en sedimentos del golfo de California (cuencas de Guaymas, Carmen y Pescadero) para los últimos 1500 años, se asocia la actividad solar a las variaciones de productividad primaria, donde los cambios más evidentes se registran en la boca del golfo. Registrando un decremento en la productividad primaria para el PCM exceptuando un

periodo de mínimo de temperatura en 1050 AD y otro para los últimos 100-200 años, mostrando asociaciones de silicoflagelados similares a la del PCM (Barron y Bukry, 2007a).

Estudios con diferentes proxy y modelos climáticos confirman un aumento en la temperatura para finales del siglo XX, principalmente en el hemisferio norte. Este drástico aumento en la temperatura muestra dos periodos muy evidentes, uno al inicio del Siglo XX y otro de 1970 hasta la actualidad. A pesar del cambio de temperatura nivel global durante los últimos dos milenios, es a finales del último siglo en donde se registran los mayores cambios de temperatura de 6 a 9 °C (Mann y Jones, 2004) (Figura 4.20).

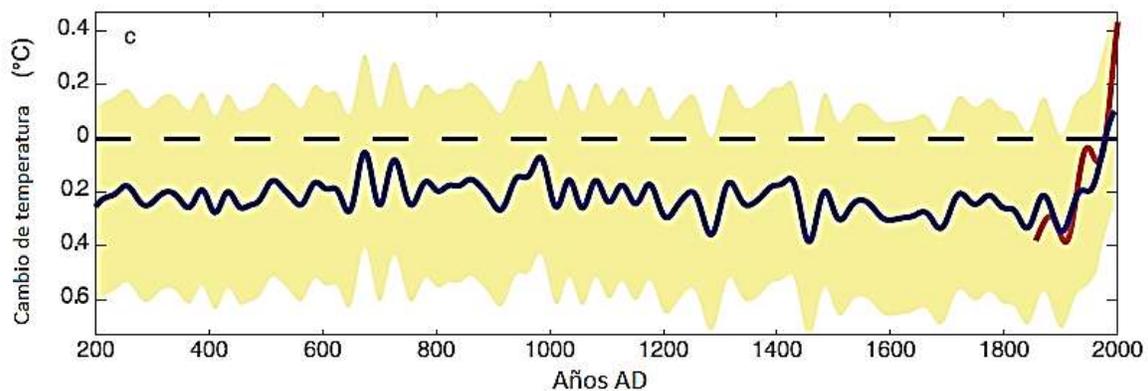


Figura 4.20. Temperatura media global anual para los últimos dos milenios obtenida de reconstrucciones paleoclimáticas. (Jones y Mann 2004).

Diversos autores proponen que la actividad antropocéntrica es un mecanismo de forzamiento con gran influencia en este calentamiento, principalmente por la liberación de gases de efecto invernadero y la modificación de ecosistemas (Andronova y Shlesinger, 2000; Jones *et al.*, 1999; Mann y Jones, 2004; Pérez Cruz, *et al.* 2010)

5. Material y Método

Secuencia sedimentaria.

En este trabajo el análisis de silicoflagelados en sedimentos se realizó a partir de la secuencia sedimentaria C53 obtenida previamente en el crucero oceanográfico “Dinámica Oceanográfica y Paleoceanografía” (DIPAL) IV, en 2011, utilizando un nucleador de caja tipo Reinck. La descripción de esta secuencia se realizó por Hernández (tesis en proceso, 2013). El marco cronológico se estableció con base a mediciones de ^{210}Pb asumiendo el modelo “Tasa Constante de Aporte” descrito por Goldberg (1963). La tasa de sedimentación estimada fue de 1.7 mm/año (Pérez-Cruz, 2013), abarcando de 1817 a 2011 AD.

La descripción de la secuencia sedimentaria DIPAL IV-C53 (Fig. 1) se realizó tomando en consideración sus características, tales como: estructura, tipo de sedimentos, composición y color. Éste último se basó en la tabla de colores de Munsell (1995).

La secuencia sedimentaria DIPAL IV-C53B tuvo una longitud de 34.5 cm. Se caracteriza por la presencia de sedimentos limo-arenosos y limo-arcillosos.

Esta secuencia se caracteriza por una estructura laminada bien definida, en donde se alternan láminas oscuras y claras, caracterizadas por sedimentos terrígenos y biogénicos, respectivamente. Los sedimentos biogénicos están caracterizados principalmente por restos de organismos silíceos como: diatomeas, radiolarios y silicoflagelados, aunque en algunos intervalos los foraminíferos son abundantes.

El espesor de las láminas va de milimétricas a sub-milimétricas, por lo cual en algunos casos se requirió del uso de una lupa (10X) para poderlas distinguir. Cabe

mencionar, que por lo general las láminas oscuras son de mayor espesor en relación con las láminas claras.

A partir de los cambios en el espesor de las láminas y del tipo de sedimentos, la secuencia se dividió en cuatro secciones:

- Intervalo 1 (de 34.5 a 23 cm) ~ 1814 - 1879 AD.

Este intervalo se caracteriza por la presencia de láminas oscuras de relativamente mayor espesor que las claras. El límite entre las láminas claras/oscuras no es evidente, se observa una graduación, mientras que el cambio entre lámina oscura/clara está bien definido.

- Intervalo 2 (de 23 a 16 cm) ~ 1879 – 1920 AD.

Se caracteriza por presentar una estructura laminada en donde el espesor de las laminaciones varía de aproximadamente 2 a 0.5 mm.

- Intervalo 3 (de 16 a 6 cm) ~ 1920 – 1977 AD.

Este intervalo se caracteriza por presentar laminaciones muy finas, no fáciles de observar a simple vista, por lo que se utilizó una lupa. En algunos segmentos de este intervalo fue posible apreciar testas de foraminíferos. El sedimento es principalmente limoso.

- Intervalo 4 (de 6 a 0 cm). ~ 1977 – 2011 AD.

Se caracteriza por la presencia de limos y arenas que forman láminas alternadas de sedimentos oscuros y claros. En general, las láminas en esta sección presentan el mayor espesor de toda la secuencia. Una gran abundancia de foraminíferos se percibe a simple vista, sobre todo después de los primeros 3 cm.

Procesamiento de muestras, identificación y conteo.

La secuencia se muestreó cada 0.3 cm, obteniéndose 114 muestras, que fueron pesadas y procesadas químicamente para eliminar la materia orgánica y los carbonatos. Cada una de las muestras se colocó en un vaso de precipitados de 500 ml al que se le agregaron 100 ml de H₂O. Las muestras fueron colocadas en una plancha a 200° C, y se les agregaron 25 ml de HCl y 25 ml de H₂O₂. En algunos casos, debido a la gran cantidad de materia orgánica fue necesario adicionar mucho más H₂O₂ (hasta 400 ml), con lo cual el tiempo en que se llevó la reacción se extendió (en promedio 10 h).

Después del procesamiento químico, cada una de las muestras fue lavada con agua corriente en un tamiz de 25 µm de apertura, hasta disgregar el sedimento y eliminar las partículas menores a 25 µm. El tiempo de lavado variaba de 15 a 30 minutos dependiendo de la muestra, las cuales al terminar el procedimiento se guardaban en un frasco rotulado, para posteriormente ser montadas.

El proceso de montaje se realizó en cajas Petri debido a la pequeña cantidad de muestra y el tiempo de sedimentación de los silicoflagelados. Para esto se rotularon dos portaobjetos por intervalo, que fueron colocados en el fondo de la caja Petri a la que se le agregaba la muestra procesada y con ayuda de una piseta con agua se distribuía de manera homogénea. Cada caja se dejaba reposar durante 30 minutos y posteriormente se le retiraba el agua por medio de capilaridad. Las láminas ya con la muestra se secaron en un horno a 40 °C.

Cada muestra se fijó utilizando como medio de montaje Entelan. Al finalizar el procesamiento se procedió a hacer la diagnosis para poder comenzar con el conteo e identificación de silicoflagelados.

La identificación se realizó con ayuda de un microscopio óptico marca Carl Zeiss, modelo Axioscop 40 con objetivos Planapo. Contando mínimo 300 especímenes por intervalo, identificándolos a nivel de especie.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de riqueza y diversidad de especies en todos los intervalos a lo largo de la secuencia. La diversidad fue obtenida por medio del índice Shannon-Wiener a partir de la fórmula:

$$H = \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

Donde H es el índice de diversidad de Shannon-Wiener y P_i la abundancia relativa de cada especie en cada uno de los intervalos.

Para el analizar la distribución de las abundancias de especies de silicoflagelados a lo largo de la secuencia se realizó un análisis exploratorio, obteniendo máximos, mínimos y promedios de la abundancia relativa. Los datos de las especies con abundancias promedio mayores a 1%, fueron sometidas a un análisis estadístico multivariado (Análisis de Factores modo Q) utilizando el paquete estadístico STATISTICA 7.

El análisis multivariado es un conjunto de métodos estadísticos y matemáticos, destinados a describir e interpretar los datos que provienen de la observación de varias variables

estadísticas estudiadas conjuntamente (Cuadras, 2012). Para esto los datos se organizan en una matriz $n \times p$, siendo n el número de individuos y p el número de variables; en este caso p representa las especies identificadas y n sus abundancias en los diferentes intervalos. Para la obtención de los factores se empleó el método de Componentes Principales, los cuales son variables compuestas sin correlación entre ellas, que explican la mayor parte de la variabilidad.

Para relacionar las especies o asociaciones de silicoflagelados con los factores obtenidos se utilizó el valor de puntaje del factor (factor scores) para cada caso, donde el mayor valor absoluto del puntaje del factor determinó la especie que tuvo mayor influencia en cada factor.

6. Resultados

Se identificaron 10 especies de silicoflagelados en la secuencia sedimentaria C53, de las cuales, dos presentaron variaciones morfológicas (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Especies de silicoflagelados encontradas en la secuencia DIPAL IV C53.

<i>Dictyocha fibula</i> var. <i>robusta</i> Schrader, 1986.
<i>Dictyocha messanensis</i> forma <i>messanensis</i> Haeckel, 1887.
<i>Octactis pulchra</i> Schiller. 1921.
<i>Dictyocha epiodon</i> Ehrenberg, 1854.
<i>Dictyocha messanensis</i> forma <i>spinosa</i> Lemmermann. 1908.
<i>Dictyocha californica</i> Schrader, 1986.
<i>Dictyocha calida</i> Poelchau, 1976.
<i>Dictyocha perlaevis</i> Freguenlli, 1951.
<i>Dictyocha pentagona</i>
<i>Dictyocha franshepardii</i> Bukry, 2007.
<i>Distephanus speculum</i> Ehrenberg,
<i>Distephanus speculum</i> f. <i>varians</i> Grand y Baarund, 1935.

La abundancia relativa de estas especies varía a lo largo de la secuencia (Anexo 2). Las especies *D. fibula* var. *robusta*, *D. messanensis* forma *messanensis* y *O. pulchra* se presentaron en todos los intervalos siendo también las más abundantes, con una abundancia relativa promedio de 30.45, 30.27 y 28.61 % respectivamente (Tabla 6.2). *D. fibula* var. *robusta* es la especie más abundante de la secuencia, presentando valores máximos de abundancia relativa de 70%.

Cabe destacar que para la interpretación de este estudio y debido a la similitud en afinidades ecológicas como se verá más adelante, se sumaron las abundancias de las formas de *Dictyocha messanensis* forma *messanensis* y *Dictyocha messanensis* forma *spinosa*. Como resultado tenemos una abundancia promedio de 33.75 %. En este estudio nos referiremos a ambas formas como *D. messanensis*.

D. perlaevis, *D. pentagona*, *D. franshepardii*, *D. speculum*, *D. speculum* f. *varians*, tienen valores de abundancia relativa menores a 1 por lo que se considera que no son significativas en el análisis paleoclimático, sin embargo se tomaron en cuenta para los análisis de riqueza y diversidad.

Tabla 6.2. Abundancias relativas promedio por especie, mostrando también el valor máximo y mínimo a lo largo de la secuencia.

	Media %	Mínimo %	Máximo %
<i>Dictyocha fibula</i> var. <i>Robusta</i>	30.45	7.67	70.00
<i>Dictyocha messanensis</i> forma <i>messanensis</i>	30.27	11.00	51.99
<i>Octactis pulchra</i>	28.61	7.12	58.67
<i>Dictyocha epiodon</i>	3.77	0.00	28.25
<i>Dictyocha messanensis</i> forma <i>spinosa</i>	3.48	0.00	13.33
<i>Dictyocha californica</i>	1.78	0.00	16.18
<i>Dictyocha calida</i>	1.08	0.00	7.33
<i>Dictyocha perlaevis</i>	0.46	0.00	4.00
<i>Dictyocha pentagona</i>	0.06	0.00	0.98
<i>Dictyocha franshepardii</i>	0.03	0.00	0.66
<i>Distephanus speculum</i>	0.01	0.00	0.33
<i>Distephanus speculum</i> f. <i>varians</i>	0.01	0.00	0.33

Riqueza y diversidad

La riqueza promedio de silicoflagelados en la secuencia C53 fue de 7, con valores máximos de 9 especies por intervalo y mínimos de 4 especies. La diversidad promedio obtenida aplicando del índice de Shannon-Wiener fue de 1.3634, con un valor máximo de 1.70 correspondiente al año ~1924 y mínimo de 0.99 correspondiente al año ~2004. Las variaciones de riqueza y diversidad a lo largo de la secuencia se muestran en la Figura 6.1.

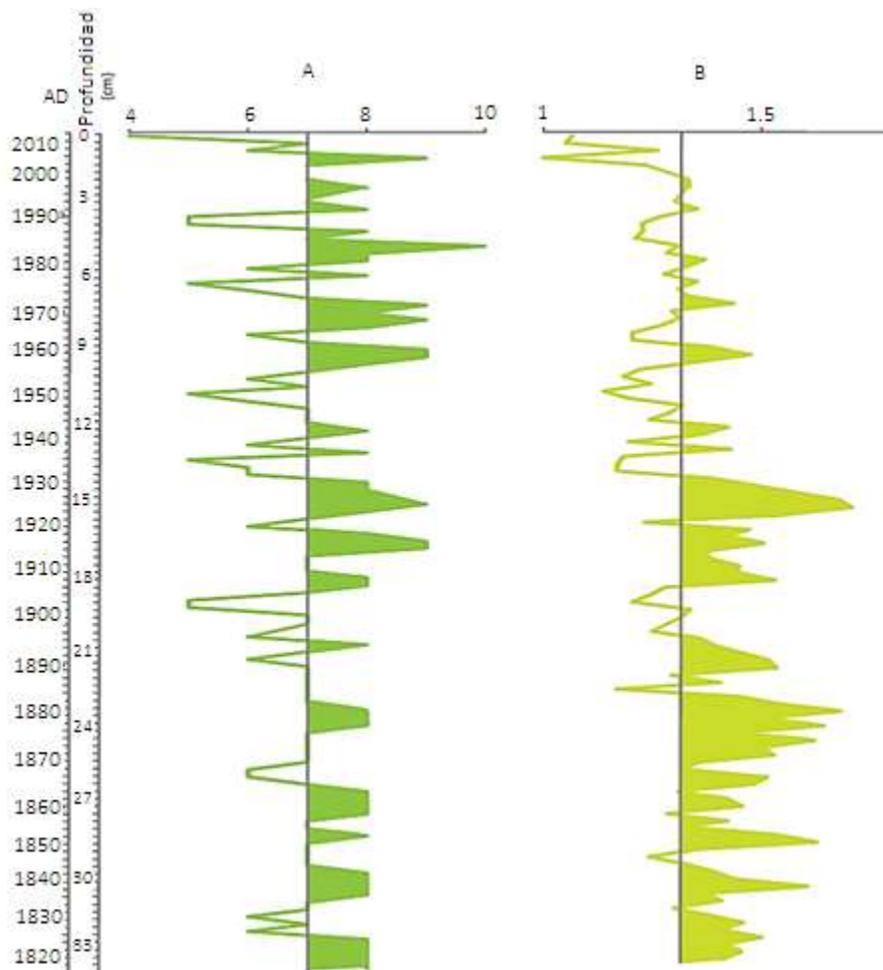


Figura 6.1. Riqueza (A) y diversidad (B) de especies de silicoflagelados del núcleo DIPAL IV C53.

Donde es posible observar que la diversidad se mantiene por encima de la media durante el periodo que comprende de ~1817 hasta ~1930, posteriormente disminuye notablemente teniendo sus valores más bajos de 2006 a 2011, en esta figura también es posible identificar los mayores valores de riqueza durante los últimos cuarenta años de la secuencia coincidiendo con el periodo en que la diversidad disminuye.

Análisis multivariado

Del Análisis de Factores se extrajeron dos factores que explican el 97.68 % de la varianza total de los datos. El Factor 1 tuvo un autovalor de 95.42 explicando el 86.74 % de la varianza total y el Factor 2 tuvo un autovalor de 12.02 representando el 10.93 % de la varianza total (Tabla 6.3).

Tabla 6.3. Valores de autovalor y porcentaje de varianza total para los tres factores obtenidos en el análisis multivariado.

	Autovalor	% de varianza total	Autovalor acumulado	% de varianza total acumulada
Factor 1	95.42	86.75	95.42	86.75
Factor 2	12.02	10.93	107.44	97.68

Los factores estuvieron caracterizados por las especies que mostraron un mayor puntaje (Tabla 6.4), así el Factor 1 está representado por *Dictyocha messanensis* (puntaje del factor 1.28) y *Dictyocha fibula* var. *robusta* (puntaje del factor 1.28), y el Factor 2 está caracterizado por *Octactis pulchra* (puntaje del factor de 1.95) (Fig. 6.2). Con base en las afinidades ecológicas de las especies características y con la oceanografía de la región, éstos se denominaron: Agua tropical superficial (ATS) (Factor 1) y Alta productividad (Factor 2).

Tabla 6.4. Puntaje del factor de las especies de silicoflagelados sometidas al análisis multivariado, para cada uno de los factores obtenidos.

Especie	Puntaje del factor	
	Factor 1	Factor 2
<i>Dictyocha fibula</i> var. <i>robusta</i>	1.28	-0.03
<i>Dictyocha messanensis</i> *	1.28	-0.03
<i>Octactis pulchra</i>	-0.58	1.95
<i>Dictyocha epiodon</i>	-0.52	-0.61
<i>Dictyocha californica</i>	-0.71	-0.61
<i>Dictyocha calida</i>	-0.74	-0.65

* *D. messanensis* incluye *Dictyocha messanensis* forma *messanensis* y *Dictyocha messanensis* forma *spinosa*.

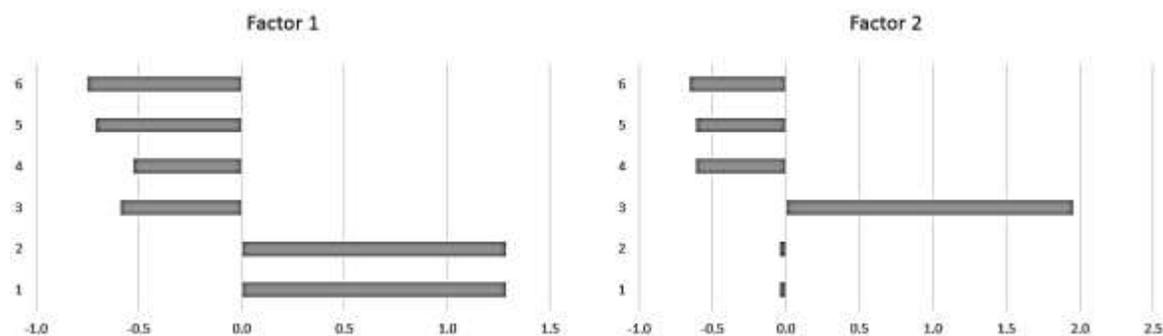


Figura 6.2. Representación gráfica de los puntajes del factor de cada uno de los factores extraídos del análisis multivariado. *D. fibula* var. *robusta* (1), *D. messanensis* (2), *O. pulchra* (3), *D. epiodon* (4), *D. californica* (5), *D. calida* (6).

Para analizar la distribución de estos factores a lo largo de la secuencia, fueron utilizados los valores de carga del factor (Tabla 6.5) de los cuales se toman como significativos aquellos que son mayores a 0.7. Su distribución en sentido estratigráfico se puede observar en la Figura 6.3.

Tabla 6.5. Valores de las cargas de los factores a lo largo de la secuencia DIPAL IV-C53, remarcando con negritas aquellos valores iguales o mayores 0.7.

Profundidad	Factor 1	Factor 2
0	0.95103	0.29980
0.3	0.98204	0.17370
0.6	0.98330	0.16720
0.9	0.99301	0.08816
1.2	0.96981	0.23526
1.8	0.93774	0.34246
2.1	0.88501	0.46319
2.7	0.88338	0.46655
3	0.84714	0.52822
3.3	0.93593	0.34647
3.6	0.90251	0.42247
3.9	0.90922	0.40850
4.2	0.69354	0.71647
4.5	0.05244	0.99613
4.8	0.61944	0.77978
5.1	0.59341	0.80240
5.4	0.77927	0.62539
5.7	0.09000	0.99585
6	0.36272	0.93175
6.3	0.69825	0.71376
6.6	0.61187	0.79014
6.9	0.60592	0.79522
7.2	0.67751	0.73391
7.5	0.67493	0.73351
7.8	0.65059	0.75730
8.1	0.80002	0.59680
8.4	0.86489	0.49517
8.7	0.91480	0.39746
9	0.72440	0.68583
9.3	0.88883	0.45081
9.6	0.91544	0.39429
9.9	0.86118	0.50665
10.2	0.66120	0.74756
10.5	0.51376	0.85654
10.8	0.58389	0.80974
11.1	0.44308	0.89633
11.4	0.54694	0.83696

Continuación tabla 6.5

Profundidad	Factor 1	Factor 2
11.7	0.91602	0.39555
12	0.82427	0.56552
12.3	0.79661	0.60380
12.6	0.72978	0.68224
12.9	0.38604	0.91844
13.2	0.72709	0.68581
13.5	0.69686	0.71549
13.8	0.19587	0.98001
14.1	0.38370	0.92141
14.4	0.53280	0.84492
15	0.78474	0.61635
15.3	0.82856	0.55248
15.6	0.56119	0.82699
15.9	0.62352	0.78133
16.2	0.65317	0.75664
16.5	0.69038	0.72043
16.8	0.47013	0.88225
17.1	0.62020	0.78382
17.4	0.59341	0.80079
17.7	0.46663	0.87910
18	0.32588	0.94334
18.3	0.53658	0.84096
18.6	0.96771	0.24986
18.9	0.92615	0.37683
19.2	0.91022	0.41380
19.5	0.68936	0.72427
19.8	0.81926	0.57310
20.4	0.51337	0.85490
20.7	0.48302	0.87453
21	0.22098	0.97521
21.3	0.49054	0.87142
21.6	0.29442	0.94912
21.9	0.35947	0.91754
22.2	0.58649	0.80260
22.5	0.81960	0.57046
22.8	-0.17345	0.98385
23.1	0.64678	0.66391

Profundidad	Factor 1	Factor 2
23.4	0.86229	0.46602
23.7	0.51969	0.83320
24	0.57372	0.80423
24.3	0.60992	0.73427
24.6	0.88762	0.45909
24.9	0.66804	0.60246
25.2	0.76843	0.60346
25.5	0.70534	0.47396
25.8	0.91653	0.15952
26.1	0.89046	0.07963
26.4	0.81876	0.49698
26.7	0.90361	0.42369
27	0.04671	0.99857
27.3	0.72664	0.68605
27.6	0.53227	0.84563
27.9	0.40305	0.91510
28.2	0.67680	0.73517
28.5	0.87771	0.47727
28.8	0.83349	0.39517
29.1	0.86488	0.40098
29.4	0.94312	0.32823
29.7	0.97703	0.20008
30	0.92955	0.32865
30.3	0.95445	0.25535
30.6	0.74086	0.64557
30.9	0.78875	0.58467
31.2	0.76341	0.63815
31.5	0.54465	0.79119
31.8	0.83013	0.03191
32.1	0.58091	0.77981
32.4	0.58540	0.79745
32.7	0.74572	0.65522
33	0.90570	0.38584
33.3	0.17177	0.97689
33.6	0.58578	0.77257
33.9	-0.04349	0.98357

En la Figura 6.3 se muestra la distribución en sentido estratigráfico de las cargas de los factores. Se observan en bandas amarillas aquellos periodos que se caracterizan por la permanencia del ATS en la región de estudio y en bandas blancas aquellos periodos en que hay condiciones de alta productividad.

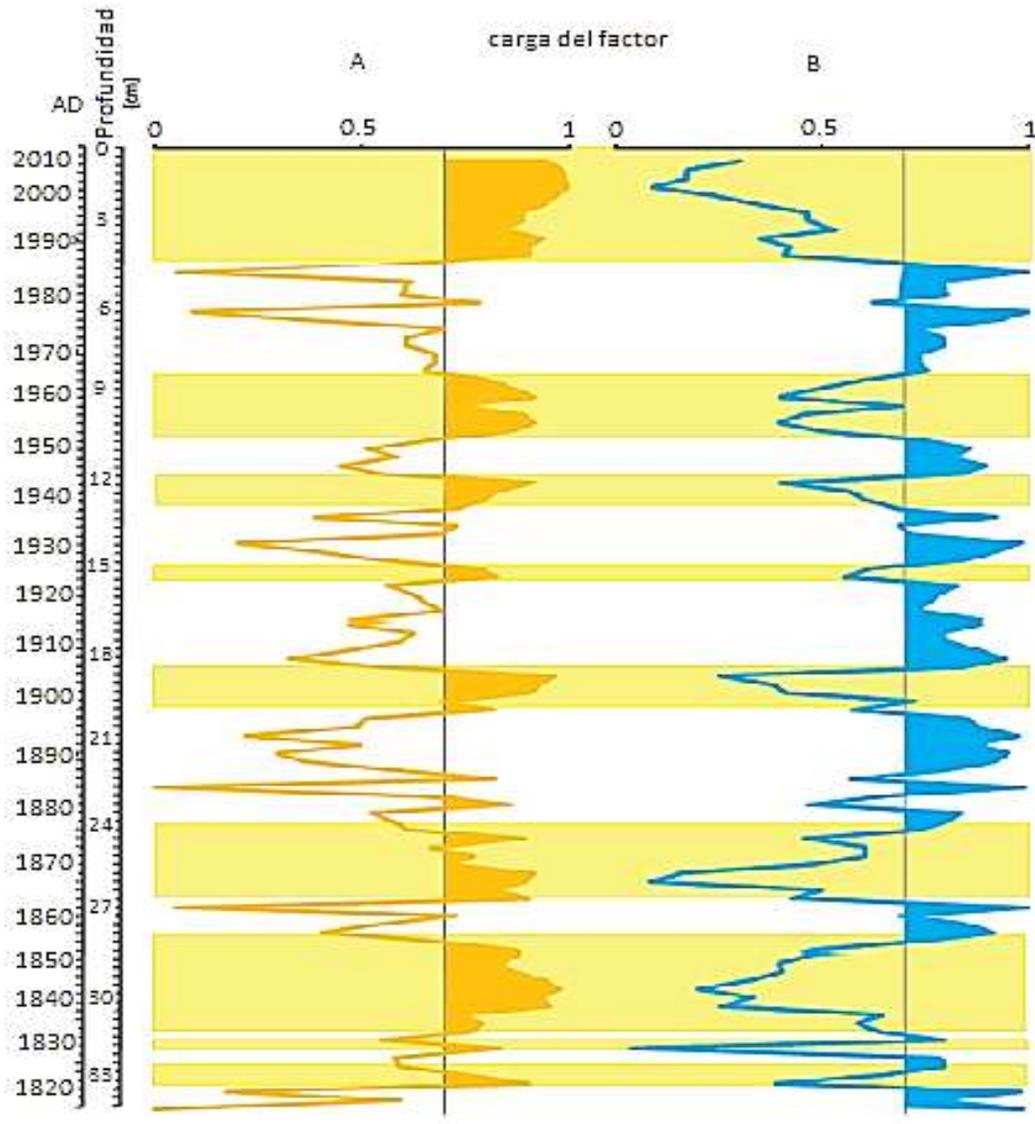


Figura 6.3. Distribución de los valores de la carga del factor a lo largo del tiempo. A) Agua Tropical Superficial y B) Alta productividad

7. Discusión

Riqueza y diversidad vs condiciones ambientales.

Para analizar los valores de riqueza y diversidad² de silicoflagelados en la región de estudio hay que tomar en cuenta las condiciones ambientales que determinan su distribución, remarcando que la presencia de las diferentes especies depende de diferentes rangos de salinidad y temperatura, así como los cambios en la productividad, razón por la cual se tiende a asociar a las especies de silicoflagelados a masas de agua.

En la dinámica estacional de la cuenca del Carmen tenemos la presencia de dos masas de aguas superficiales: el ATS (en verano-otoño) y el AGC (en invierno-primavera). La dinámica en invierno promueve la alta productividad del lado oriental del golfo; sin embargo, como se menciona en los antecedentes, es posible que debido al gradiente este oeste (Douglas *et al.*, 2007), esta productividad se refleje del lado occidental del golfo en el área de estudio. En particular, *O. pulchra* es característica de aguas ricas en nutrientes por lo cual se presenta en gran abundancia durante el invierno (Schrader *et al.*, 1986). Durante el verano el ATS se desplaza hacia el interior del golfo lo que propicia la dominancia de *D. messanensis* y en menor abundancia otras especies que se encuentran en la boca del golfo, como lo son *D. calida*, *D. californica*, *D. epiodon*. También es importante mencionar que aunque *D. fibula* var. *robusta* no muestra un patrón estacional, es una especie perteneciente al golfo indicadora de baja productividad, cuya abundancia aumenta cuando la abundancia de *O. pulchra* disminuye (Schrader *et al.*, 1986).

²La riqueza es el número de especies que se encuentran en un área determinada en un mismo tiempo. La diversidad es una forma de medir la relación entre la riqueza y la abundancia de cada una de las especies presentes, siendo los valores de diversidad más altos los valores que representan un mayor equilibrio entre las abundancias de las especies que se encuentran en la comunidad estudiada.

Como puede verse, la dinámica mencionada anteriormente propicia un recambio estacional no sólo de masas de agua, sino también de especies de silicoflagelados en el área de estudio.

Dentro de este trabajo, cada muestra representa aproximadamente 2 años, por lo que en aquellas muestras en donde los valores de diversidad fueron altos se infiere que prevalecieron condiciones climáticas normales (es decir, que la estacionalidad no fue afectada por anomalías climáticas interanuales, tales como el ENOS o la ODP) ya que en ese tiempo todas las especies que llegan a habitar esta región del golfo estacionalmente se han podido distribuir en el patrón estacional normal.

Las tres especies más abundantes de la secuencia fueron *Dictyocha fibula* var. *robusta*, *Dictyocha messanensis* y *Octactis pulchra*, con abundancias promedio cercanas al 30 %, sobrepasando por mucho las abundancias de las otras especies de silicoflagelados cuyas abundancias relativas van desde 0.01 hasta 3.77, razón por la cual se les considera como especies dominantes³, las cuales tendrán mayor influencia en los valores de diversidad a lo largo de la secuencia, ya que sus abundancias relativas son las más representativas en todos los intervalos.

Los valores de mayor diversidad se presentan desde ~1817 hasta ~1930 AD, lo cual puede indicar una distribución estacional relativamente equitativa de las especies dominantes, y un patrón estacional normal para este periodo. Aquellos periodos en que la diversidad es baja pueden relacionarse con el aumento en la abundancia de alguna de las especies

³Una especie dominante es aquella cuya abundancia dentro de la población es mayor a cualquiera de las otras especies, mientras mayor es la dominancia dentro de una comunidad menor es la diversidad.

dominantes, lo cual se puede corroborar comparando las abundancias relativas para esos periodos, como es el año ~2004 AD donde se tiene el mínimo en diversidad y el mayor porcentaje de *D. fibula* var. *robusta*. En el periodo de ~1930 a 2011 AD se observa un decremento en la diversidad llegando a los valores más bajos para los últimos diez años.

Cuando se comparan los valores de riqueza con los de diversidad observamos que las mayores fluctuaciones de riqueza se dan en el periodo donde decrece la diversidad, siendo también este intervalo donde se tienen los valores más altos de riqueza. Esto puede indicar condiciones estacionales poco estables que no permiten el florecimiento de las poblaciones de silicoflagelados, también se puede esperar que este aumento en la riqueza se deba a la entrada del ATS, ya que esta lleva al interior del golfo especies del pacífico tropical y otras que habitan la boca del golfo.

Asociaciones de silicoflagelados y su interpretación oceanográfica

Se sugiere, con base en las asociaciones de silicoflagelados en cada uno de los factores, la alternancia de condiciones en la dinámica oceanográfica de la región. La primera asociación (Factor 1), representado por *Dictyocha messanensis* y *Dictyocha fibula* var. *robusta*, sugiere una mayor permanencia del ATS en la región de estudio y condiciones oligotróficas, en particular en los siguientes intervalos: ~1822-1826, 1829-1831, 1833-1850, 1858-1872, 1898-1906, 1924-1927, 1939-1946, 1954-1965, 1989-2011 AD.

Por otro lado, la segunda asociación (Factor 2) representada por *Octactis pulchra*, sugiere una alta productividad, la cual se presenta en los siguientes periodos: ~1817-1822, 1826-

1829, 1831-1833, 1850-1858, 1872-1898, 1906-1924, 1927-1939, 1946-1954, 1965-1989 AD.

Las condiciones en donde ocurre el ATS dentro del golfo de California, se presentan en la actualidad durante el verano, propiciando el debilitamiento de la mezcla de aguas superficiales y estratificación en la columna de agua, por lo tanto condiciones oligotróficas. Presentándose aguas cálidas, de baja salinidad que muestran una TSM más alta con respecto a las condiciones en invierno

Las variaciones en la TSM en el golfo de California han sido documentadas en diversos trabajos. En un estudio realizado por Robinson *et al.* (2012), se registraron en la cuenca de Guaymas anomalías positivas en la TSM durante los años 1997-1998 y 2000-2012, indicando una tendencia al calentamiento para la región central del golfo. Este aumento en la temperatura coincide con el comportamiento de la asociación que indica la permanencia del ATS y oligotrofia para este periodo.

Del mismo modo, Lluch-Belda *et al.* (2009) hacen una estimación de las anomalías (positivas y negativas) promedio en la TSM para el periodo de 1900 a 2000, las cuales han sido comparadas con la distribución de las asociaciones de silicoflagelados obtenidas en este estudio, observándose una relación entre las anomalías positivas y la presencia de aguas cálidas, y anomalías negativas y alta productividad (Figura 7.1).

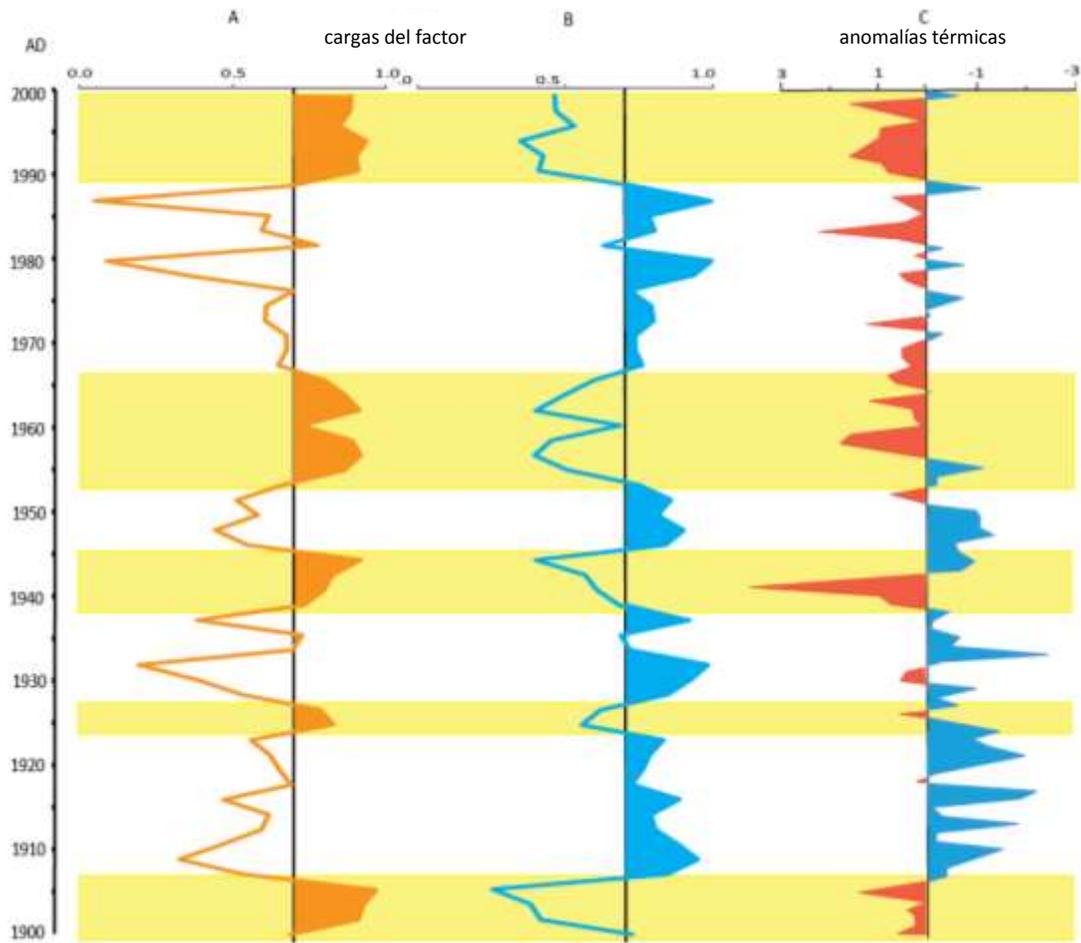


Figura 7.1. Comparación la distribución de las asociaciones de silicoflagelados ATS (A) y Alta productividad (B) con las anomalías en la TSM* (C) durante el siglo XX. *Tomado de Lluh-Belda *et al.* (2009).

Aunque las anomalías térmicas no coinciden en todos los periodos con la distribución de las asociaciones de silicoflagelados, principalmente en el periodo de 1965-1989, se sugiere que la distribución de las asociaciones obtenidas en este estudio responde a los cambios en la TSM.

Conclusiones

A partir del análisis de las especies de silicoflagelados obtenidas de la secuencia DIPAL-IV C53 se sugiere para los últimos ~200 años fluctuaciones entre condiciones de alta productividad y una mayor permanencia del Agua Tropical Superficial en la región del estudio. Siendo evidente la tendencia a condiciones de menor productividad en los últimos 30 años y la intensificación y mayor frecuencia de “El Niño” para las últimas décadas.

Se identificaron 10 especies de silicoflagelados: *Dictyocha fibula* var. *robusta*, *Dictyocha messanensis* forma *messanensis*, *Octactis pulchra*, *Dictyocha epiodon*, *Dictyocha messanensis* forma *spinosa*, *Dictyocha californica*, *Dictyocha calida*, *Dictyocha perlaevis*, *Dictyocha pentagona*, *Dictyocha franshepardii*, *Distephanus speculum*, *Distephanus speculum* f. *varians*.

La diversidad de silicoflagelados tiende a decrecer hacia la actualidad, siendo el periodo ~1817-1930 AD el de mayor diversidad y el periodo de ~1930-2011 AD el que presenta los valores más bajos. Es en este último periodo donde se presentan las mayores fluctuaciones en riqueza.

Las asociaciones de silicoflagelados definidas en este estudio a partir de un análisis estadístico multivariado (Análisis de Factores “modo Q”) reflejan los cambios en las condiciones oceánicas de la región debido a las diferentes afinidades ecológicas de las especies que las conforman, siendo las especies *D. fibula* var. *robusta* y *D. messanensis* forma *messanensis* indicadoras de aguas cálidas y oligotróficas, sugiriendo condiciones oceánicas en donde se presentó una mayor incursión y/o permanencia del Agua Tropical

Superficial (ATS) y/o la ocurrencia de “El Niño”. En particular estas condiciones son conspicuas para las últimas tres décadas.

Por otra parte, los intervalos a lo largo del núcleo caracterizados por *Octactis pulchra*, indican un aumento en la productividad.

Las fluctuaciones del registro de las especies de silicoflagelados a lo largo de la secuencia sedimentaria muestran una tendencia similar al registro instrumental de la temperatura superficial del mar en el golfo de California, por lo que se concluye que algunas especies de silicoflagelados son una herramienta excelente para realizar reconstrucciones de temperatura superficial.

Bibliografía

Andronova, N. G. y M. E. Schlesinger. 2000. Causes of global temperature changes during the 19th and 20th centuries. *Geophysical Research Letters*, 27 (14): 2137-2140.

Álvarez-Gómez, I. G. 2007. Flujos de silicoflagelados en la Cuenca Alfonso, Bahía de la Paz, Golfo de California. Tesis Licenciatura. *Instituto Tecnológico de los Mochis*. Sinaloa. 95p.

Álvarez-Gómez, I. G. y A. Martínez-López. 2010. Silicoflagelados en sedimentación en la región suroccidental del Golfo de California. *CICIMAR Oceanides*, 25 (1):17-24.

Barron, J. A., D. Bukry y J. L. Bischoff. 2004. High resolution paleoceanography of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 1500 years. *Marine Micropaleontology*, 50: 185-207.

Barron, J. A. y D. Bukry. 2007a. Solar forcing of Gulf of California climate during the past 2000 Yr suggested by diatoms and silicoflagellates. *Marine Micropaleontology* 62:115-139.

Barron, J. A. y D. Bukry. 2007b. Development of the California Current during the past 12,000 yr based on diatoms and silicoflagellates. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 248: 313-338.

Bordoni, S., P. E. Ciesielski, R. H. Johnson, B. D. McNoldy, y B. Stevens. 2004. The low-level circulation of the North American Monsoon as revealed by QuikSCAT. *Geophysical Research Letters*, 31: L10109.

Cuadras C.M. 2012. Nuevos Métodos de Análisis Multivariante. CCM Editions, Barcelona. 304 p.

Douglas, R., O. Gonzales-Yajimovich, J. Ledesma Vazquez y F. Staines-Urias. 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Reviews* 26: 115-129.

Espinosa Carreón T. L. y E. Valdez Holguín. 2007. Variabilidad interanual de Clorofila en el Golfo de California. *Ecología aplicada* 6: 83-92.

Fernández Barajas, M. E., M. A. Monreal Gómez y A. Molina Cruz. 1994. Estructura termohalina y flujo geostrofico, en el Golfo de California, durante 1992. *Ciencias Marinas*, 20(2):267-286.

Figuerola, J. M., S. G. Marione y M. F. Lavín. 2003. Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics. A description of geostrophic gyres in the southern Gulf of California. *Kluwer Academic Publishers*. Netherlands. p. 237-255.

- Gao, C. C., A Robock y C. Amman. 2008. Volcanic forcing of climate over the past 1500 years: An improved ice core-based index for climate models. *Journal of geophysical Research-Atmospheres*, 113p.
- Goldberg, E.D. 1993. Geochronology with 210 Pb: Radioactive Dating. *Conference proceedings*, November 19-23. 1962 Athens, Viena. 121-131. 48.
- Goñi, M. A., R. C. Thunell, M. P. Woodworth, y F. E. Müller-Karger. 2006. Changes in wind-driven upwelling during the last three centuries: Inter-ocean teleconnections. *Geophysical Research Letters*, 33:L15604.
- Herguera J. C., G. Bernal-Francoy A. Molina-Cruz. 2003. Decadal surface ocean variability in the lower Gulf of California: Records for the past 300 years. *Geofísica Internacional*. 42 (3): 397-406
- Hernandez-Becerril, D.U. y E. Bravo-Sierra. 2001. Planktonic silicoflagellates (Dictyophyceae) from the Mexican Pacific Ocean. *Botánica Marina*, 44:417- 423.
- Hernández, O. 2013. Los radiolarios polycistinos de la Cuenca del Carmen, Golfo de California: Inferencias paleoambientales del Holoceno tardío. Tesis en proceso. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unam.
- Jones, P. D., M. New, D. E. Parker, S. Martin y G. Rigor. 1999. Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*. 37: 173-199.
- Lavín, M. F., Bier, E. y A. Badan, 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual. In Lavín M.F. (ed), *Contribuciones a la Oceanografía física en México*. Unión Geofísica Mexicana Monografía, 3: 141- 171.
- Lavín M.F., Castro, R. y E.J. Beier, 2009. SST thermoaline structure and circulation in the southern Gulf of California in June 2004 during the North American Monsoon experiment. *Journal of Geophysical Research-Oceans*. 114, C02024. (doi: 10.1029/ 2008JC005072).
- Lee, R. E. 2008. Phycology. Cambridge University Press. Cuarta edición. p. 359-354, 547 p.
- Lluch-Belda, D, P. Del Monte Luna y S. E. Lluch-Cota. 2009. 20th Century variability in gulf of California SST. *CalCOFI Rep*. 50: 147-154
- Mann, M. E. 2007. Climate Over the past two millennia. *Annu. Rev. Earth Planet*. 35: 111-36.
- Mann, M. E. y P. D. Jones. 2004. Climate over past millennia. *Reviews of Geophysics*. 42: 1-42.
- Murray D. y H. Schrader. 1983. Distribution of silicoflagellates in plankton and core top samples from the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 7:517-539.

- Onodera, J. y K. Takahashi. 2005. Silicoflagellate fluxes and environmental variations in the northwestern North Pacific during December 1997- May 200. *Deep-Sea Research*, 52: 371-388.
- Parés-Sierra, A., A. Mascarenhas, S.G. Marinone y R. Castro. 2003. Temporal and spatial variation of the surface winds in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters*, 30 (6): 1312.
- Pérez-Cruz, L. L. y A. C. Molina-Cruz. 1988. El niño 1983: Efecto sobre la distribución de los silicoflagelados del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 14 (3): 9-38.
- Pérez-Cruz, L., J. R. Garza-Pérez y X. Renán-Galindo. 2010. El legado de la humanidad a los océanos. En: Rodríguez, R y J. Martínez (eds). *Antropoceno: Relaciones Tierra Humanidad*. IYPE-UNAM: 72-84 (versión digital).
- Pérez-Cruz, 2013. Informe Anual del Proyecto DGAPA PAPIIT: “**IN101012** Reconstrucción de la variabilidad climática en el Pacífico Tropical (Golfo de California) durante el Holoceno Tardío”, 57 pp.
- Poelchau, H. S. 1976. Distribution of Holocene silicoflagellates in North Pacific sediments. *Micropaleontology*, 22(2): 164-193.
- Marinone, S.G. y P. Ripa. 1988. Geostrophic flow in the Guaymas Basin, central Gulf of California. *Cont. Shelf Res.*, 8: 159-166.
- Robinson, C. J., J.G. Gutiérrez, D.A. Salas de León. 2012. Jumbo squid (*Dosidicus gigas*) landings in the Gulf of California related to remotely sensed SST and concentrations of chlorophyll a (1998–2012). *Fisheries Research*, 137: 97– 103.
- Rutherford, S., M. E. Mann, T. J. Osborn, R. S. Bradley, K. R. Briffa, *et al.* 2005. Proxy based Northern Hemisphere surface temperature reconstructions: sensitivity to methodology, predictor network, target season and target domain. *Clim.* 18: 2308-129.
- Sandgren, G. D., J. P. Smal y J. Kristiansen. 1995. *Chrysophyte algae Ecology, phylogeny and development*. Cambridge University Press. 399 p.
- Schrader, H., N. Pisias y G. Cheng. 1986. Seasonal variation of silicoflagellates in phytoplankton and varved sediments in the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 10:207-233.
- Soto-Madrones, L., S.G. Marinone y A. Parés-Sierra. 1999. Time and spatial variability of sea surface temperature in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*. 25: 1-30.
- Steinhilber, F. y J. Beer. 2011. Solar activity – the past 1200 years. *Pages News*, 19 (1): 5-6.
- Takahashi, K. 1991. Silicoflagellates and Actiniscus: Vertical flux at Pacific and Atlantic sediment trap stations. *Ocean Biocoenosis Series* No.2.

Takahashi, K. y P. L. Blackwelder. 1992. The spatial distribution of silicoflagellates in the region of the Gulf Stream warm-core ring 82B: application to water mass tracer studies. *Deep-Sea Research*, 39 (1):S327-S346.

Thunell, R., C.Pride, P.Ziveri, F.Muller-Karger, C. Sancetta y D.Murray. 1996. Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *Journal of Plankton Research*, 8(11): 2017-2026.

Uriarte, A. 2010. Historia del clima en la Tierra.2ª edición impresa disponible en <http://www.elkar.com>. 310 p.

Van Valkenburg, S. D. y R. E. Norris. 1970. The growth and morphology of the silicoflagellate *Dictyocha fibula* Erenberg in culture. *Phycol.* 6: 48-54.

Anexo 1. Abundancia relativa

Abundancia relativa de las especies de silicoflagelados por intervalo en la secuencia DIPAL C53.

*Intervalos en que se contaron menos de 50 individuos.

Profundidad (cm)	<i>D. fibula</i> var. <i>robusta</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>messanensis</i>	<i>O. pulchra</i>	<i>D. epiodon</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>spinosa</i>	<i>D. californica</i>	<i>D. calida</i>	<i>D. perlaevis</i>	<i>D. pentagona</i>	<i>D. franshepardii</i>	<i>D. speculum</i>	<i>D. speculum</i> f. <i>varians</i>
0.3	54.67	15.33	22.67	0.00	3.33	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.6	62.67	17.00	16.33	0.33	3.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
0.9	55.67	17.67	14.00	0.33	8.33	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.2	70.00	13.67	11.00	0.33	2.67	0.33	0.67	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00
1.5	56.00	15.00	19.00	1.00	7.67	0.33	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.1	37.82	34.94	17.95	0.96	7.37	0.32	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
2.4	35.43	35.10	22.52	1.32	4.30	0.33	0.00	0.66	0.00	0.33	0.00	0.00
2.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	43.67	22.00	28.00	2.00	1.33	0.00	0.33	2.67	0.00	0.00	0.00	0.00
3.3	32.69	36.57	23.95	1.29	3.24	0.97	0.65	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
3.6	42.52	29.24	20.27	0.66	7.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.9	40.20	32.56	23.26	0.00	2.66	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.2	42.67	30.00	24.00	0.67	0.67	0.00	1.33	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00
4.5	25.91	43.52	27.57	0.33	0.66	1.33	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.8	9.63	48.84	32.23	3.32	2.99	0.66	0.66	0.66	0.33	0.66	0.00	0.00
5.1	17.88	51.99	21.85	3.97	2.98	0.00	0.66	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00
5.4	20.20	44.70	25.83	3.31	3.97	0.00	1.32	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00
5.7	35.29	26.80	31.37	2.61	2.94	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	12.00	36.67	40.00	0.33	10.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.00
6.3	18.99	34.81	36.08	1.58	7.91	0.32	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6.6	33.67	21.67	35.67	0.33	8.33	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
6.9	28.33	30.00	35.33	1.67	3.67	0.33	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7.2	28.20	27.21	35.41	3.93	2.30	0.98	0.66	0.00	0.98	0.00	0.00	0.33
7.5	25.91	40.53	28.57	1.00	1.99	1.00	0.33	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00
7.8	25.67	40.67	28.33	0.33	1.33	0.33	1.33	1.67	0.00	0.00	0.33	0.00
8.1	29.77	31.72	34.63	0.32	1.62	0.00	0.32	1.29	0.32	0.00	0.00	0.00
8.4	39.80	24.01	33.22	0.33	1.97	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00
8.7	47.37	15.46	32.24	0.33	2.96	0.33	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	39.00	30.67	21.33	0.67	6.00	0.33	0.67	1.00	0.00	0.33	0.00	0.00

Profundidad (cm)	<i>D. fibula</i> var. <i>robusta</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>messanensis</i>	<i>O. pulchra</i>	<i>D. epiodon</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>spinosa</i>	<i>D. californica</i>	<i>D. calida</i>	<i>D. perlaevis</i>	<i>D. pentagona</i>	<i>D. franshepardii</i>	<i>D. speculum</i>	<i>D. speculum</i> f. <i>Varians</i>
9.3	30.56	26.58	30.56	0.66	8.31	1.00	1.00	0.66	0.00	0.66	0.00	0.00
9.6	40.78	25.24	25.24	0.32	6.47	0.65	0.97	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
9.9	45.72	25.66	24.67	0.00	2.30	0.66	0.33	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00
10.2	46.51	16.94	32.56	2.66	0.66	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.5	31.68	29.04	35.97	0.66	0.66	1.32	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.8	27.67	30.33	41.00	0.33	0.00	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.1	26.49	36.42	34.77	0.00	0.99	0.66	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00
11.4	25.00	27.67	41.00	2.67	1.33	2.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11.7	26.49	31.13	37.09	1.66	2.98	0.33	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
12	50.33	15.67	27.33	1.00	4.00	0.00	0.67	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12.3	37.75	21.85	29.80	2.65	5.63	0.33	0.33	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00
12.6	38.00	20.00	32.33	2.67	6.33	0.00	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
12.9	40.56	14.24	40.25	1.24	3.41	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13.2	25.67	16.67	45.00	7.00	0.67	1.00	2.33	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00
13.5	33.11	31.79	33.11	1.66	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
13.8	36.04	23.70	38.31	0.65	0.97	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00
14.1	19.68	25.81	50.65	2.90	0.65	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14.4	20.33	35.00	36.00	4.00	1.33	0.67	2.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
14.7	23.48	30.72	33.04	1.74	7.25	2.03	1.45	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15.3	22.33	35.33	20.00	6.00	9.67	2.67	2.33	1.33	0.00	0.33	0.00	0.00
15.6	28.80	26.21	22.98	3.88	8.09	3.88	4.85	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
15.9	23.00	32.33	30.33	4.67	3.67	4.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.2	31.72	25.89	38.83	1.62	1.62	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16.5	26.97	31.25	30.92	3.95	1.97	3.29	1.32	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
16.8	28.20	33.77	30.16	1.64	1.31	2.30	1.64	0.00	0.33	0.66	0.00	0.00
17.1	20.78	35.39	31.49	4.22	1.62	3.57	1.95	0.32	0.65	0.00	0.00	0.00
17.4	27.33	31.33	33.33	3.67	1.33	2.67	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17.7	27.63	29.61	35.20	0.66	3.29	1.64	1.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	19.33	37.00	30.00	0.33	9.00	2.33	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.3	22.67	19.00	45.00	5.00	5.67	0.67	0.33	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00
18.6	23.26	29.90	32.23	5.65	5.32	2.66	0.66	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
18.9	50.33	23.18	18.87	3.97	2.32	0.33	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.2	46.00	23.67	24.33	4.33	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19.5	45.67	23.33	26.33	4.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
19.8	32.33	26.00	35.00	3.33	2.33	0.33	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00

Profundidad (cm)	<i>D. fibula</i> var. <i>robusta</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>messanensis</i>	<i>O. pulchra</i>	<i>D. epiodon</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>spinosa</i>	<i>D. californica</i>	<i>D. calida</i>	<i>D. perlaevis</i>	<i>D. pentagona</i>	<i>D. franshepardii</i>	<i>D. speculum</i>	<i>D. speculum</i> f. <i>varians</i>
20.1	37.67	25.33	30.33	4.33	1.67	0.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
20.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.7	20.67	43.67	30.33	0.00	3.33	1.67	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	18.33	44.67	28.00	1.33	4.67	1.67	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
21.3	14.62	38.87	34.55	2.33	7.31	1.66	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21.6	20.67	31.33	31.67	2.00	13.33	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
21.9	17.16	35.31	32.67	3.30	3.30	2.64	5.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22.2	18.67	33.67	31.33	5.67	1.33	2.00	7.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22.5	21.67	43.03	27.86	5.88	0.31	0.93	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22.8	34.98	26.73	28.38	6.27	1.32	1.98	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
23.1	7.67	25.33	58.67	4.00	1.00	1.67	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23.4	22.26	37.21	23.92	13.62	0.66	1.66	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23.7	25.16	39.03	18.06	9.68	3.55	3.23	0.97	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00
24	19.67	30.33	26.67	9.33	7.67	3.33	2.67	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
24.3	23.00	32.00	30.00	7.67	5.67	0.67	0.33	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00
24.6	22.67	28.33	26.33	13.00	3.33	3.67	2.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24.9	34.77	31.13	22.85	5.96	2.65	1.99	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25.2	21.12	32.67	21.12	15.18	0.66	3.30	5.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25.5	30.46	25.50	27.48	11.92	1.66	2.65	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25.8	28.00	22.67	24.00	21.33	1.33	0.00	2.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
26.1	44.33	11.00	18.00	24.33	0.00	1.67	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26.4	43.49	12.06	14.92	28.25	0.00	0.95	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26.7	31.83	24.12	24.76	15.11	0.64	1.61	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	43.19	13.95	26.91	8.64	1.99	1.66	3.32	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
27.3	15.33	22.67	53.00	3.33	1.67	2.00	0.67	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00
27.6	34.00	22.67	34.00	2.00	3.67	1.33	0.33	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27.9	26.37	25.40	37.30	3.86	4.18	0.64	1.61	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
28.2	24.22	27.33	42.86	2.48	2.17	0.62	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28.5	24.45	38.24	26.96	3.76	3.76	2.51	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28.8	30.59	41.45	20.72	4.93	0.33	0.66	0.99	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00
29.1	32.78	21.19	22.52	18.87	1.32	0.66	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.4	32.00	20.33	22.00	16.67	1.33	3.67	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29.7	43.46	28.10	20.59	2.61	2.29	1.96	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	55.67	17.33	16.33	0.33	8.00	0.33	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.3	24.69	51.85	12.04	0.31	5.25	0.31	3.70	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00

Profundidad (cm)	<i>D. fibula</i> var. <i>robusta</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>messanensis</i>	<i>O. pulchra</i>	<i>D. epiodon</i>	<i>D. messanensis</i> forma <i>spinosa</i>	<i>D. californica</i>	<i>D. calida</i>	<i>D. perlaevis</i>	<i>D. pentagona</i>	<i>D. franshepardii</i>	<i>D. speculum</i>	<i>D. speculum</i> f. <i>varians</i>
30.6	31.46	44.04	13.25	0.99	0.99	4.97	2.98	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00
30.9	22.67	44.33	21.33	0.67	2.00	5.33	2.67	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31.2	23.03	38.16	19.74	2.30	5.59	6.58	4.28	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
31.5	30.46	33.44	27.81	0.66	3.97	3.31	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31.8	19.27	43.52	24.58	0.66	1.66	8.31	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32.1	23.95	49.51	7.12	0.00	2.59	16.18	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32.4	17.22	48.68	21.19	0.33	4.97	5.96	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32.7	18.60	40.20	23.59	1.00	12.29	4.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	24.59	42.30	23.28	0.66	3.93	3.61	0.98	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00
33.3	29.33	38.00	16.67	1.00	7.67	6.00	0.33	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33.6	14.38	38.24	35.29	1.31	4.25	5.56	0.65	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00
33.9	24.76	32.25	30.29	0.33	2.28	8.79	0.98	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00
34.2	10.67	36.33	39.00	1.67	2.67	8.33	1.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00

Anexo 2. Placas de silicoflagelados de la secuencia C53

Placa 1

- a - c *Dictyocha franshepardii*
- d *Dictyocha perlaevis* y *Dictyocha messanensis* forma *messanensis*
- e *Dictyocha messanensis* forma *spinosa*
- f – k *Dictyocha epiodon*
- l *Dictyocha pentagona*
- m *Distephanus speculum*
- n – s *Dictyocha californica*
- t *Dictyocha calida*

Placa 2

- a - f *Dictyocha calida*
- g – s *Dictyocha fibula* var. *robusta*
- t *Dictyocha perlaevis*

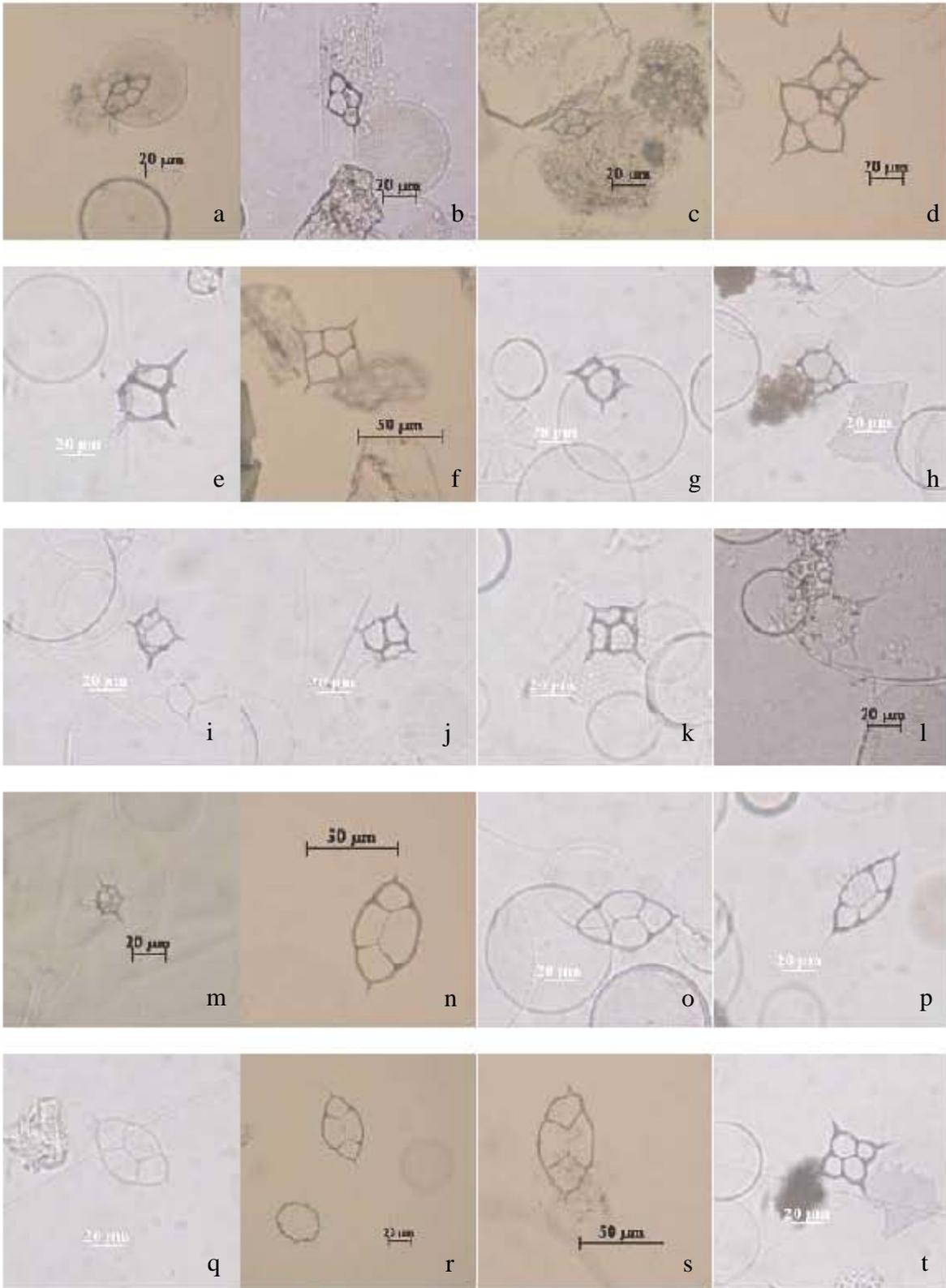
Placa 3

- a – b *Dictyocha perlaevis*
- c – e *Dictyocha pentagona*
- f – k *Octactis pulchra*
- l *Dictyocha messanensis* forma *messanensis*, *Dictyocha fibula* var. *robusta* y *Dictyocha californica*
- m-t *Dictyocha messanensis* forma *messanensis*

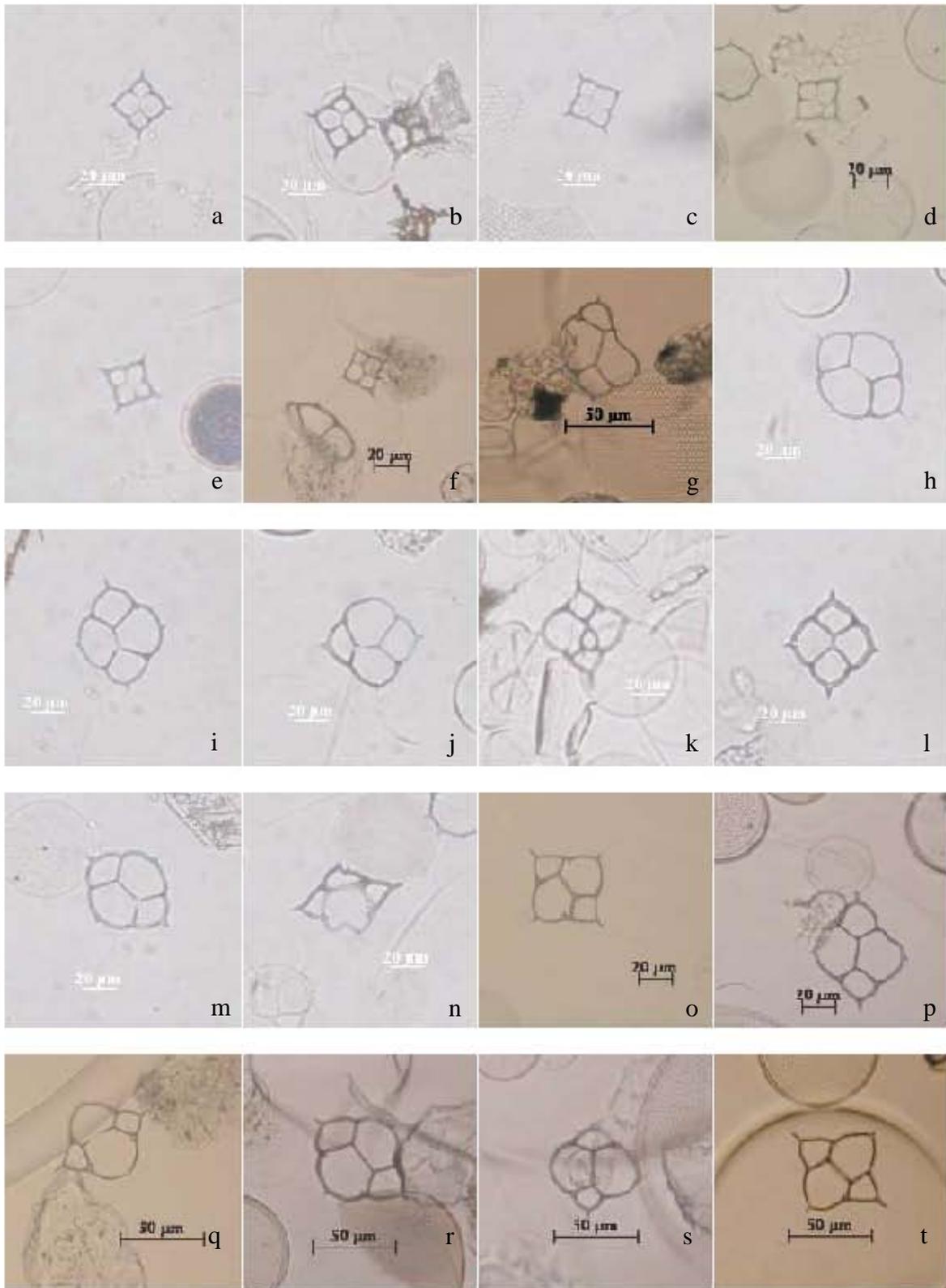
Placa 4

- a – b, d- e *Dictyocha messanensis* forma *messanensis*
- c *Dictyocha messanensis* forma *spinosa*
- f – h *Distephanus speculum* f. *varians*

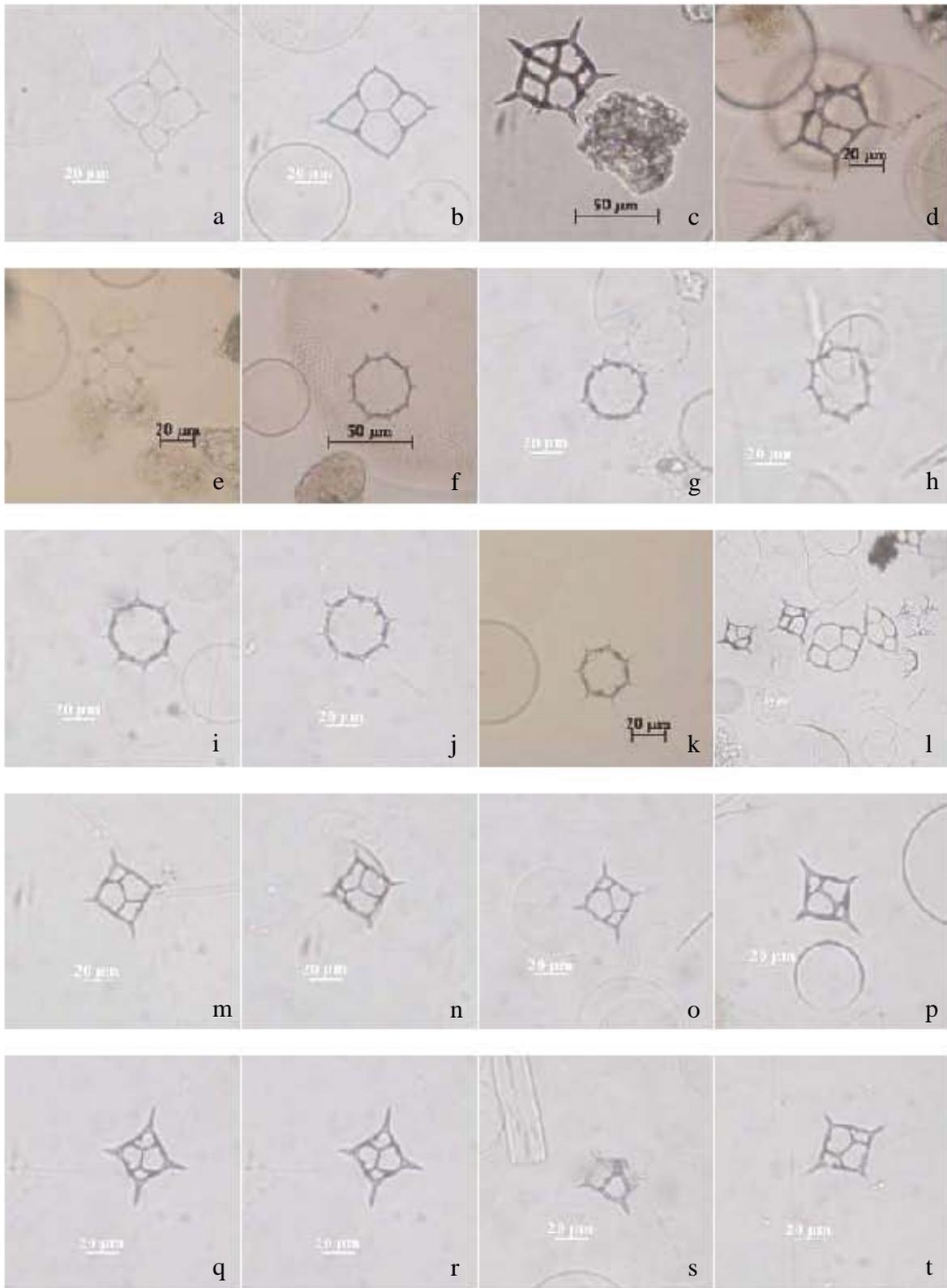
Placa 1



Placa 2



Placa 3



Placa 4

