



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE CIENCIAS

**Análisis de pigmentos y diatomeas en sedimentos  
relacionados con las ventilas hidrotermales de la  
Cuenca de Guaymas, Golfo de California**

## T E S I S

Que para obtener el título de:

**B I O L O G A**

Presenta:

**Diana Belem Ramírez Ortega**

Director de tesis:

**Dr. Luis Arturo Soto González**

México D.F

2011





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.

## Hoja de datos del jurado

### 1. Datos del alumno

Ramírez  
Ortega  
Diana Belem  
56178981  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
30331439-2

### 2. Datos del tutor

Dr.  
Luis Arturo  
Soto  
González

### 3. Datos del sinodal 1

Dr.  
Javier  
Carmona  
Jiménez

### 4. Datos del sinodal 2

Dr.  
Alejandro  
Estradas  
Romero

### 5. Datos del sinodal 3

Dra.  
Ruth Esther  
Villanueva Estrada

### 6. Datos del sinodal 4

Dr.  
Francisco Eduardo  
Hernández  
Sandoval

### 7. Datos del trabajo escrito

Análisis de pigmentos y diatomeas en sedimentos relacionados con las ventilas hidrotermales de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California

## DEDICATORIA

Agradezco a todas las personas que me han enseñado, querido y apoyado a lo largo de mi formación. Gracias por su amor incondicional, enseñanzas y cuidados:

*A mi padre Salvador Ramírez,  
por representar para mí fortaleza,  
sabiduría y grandeza.  
Gracias por toda tu comprensión.*

*A mi madre María del Socorro Ortega,  
por ser un ejemplo de mujer y madre;  
tierna, cariñosa y, sobre todo, muy  
fuerte.*

*A mi hermana Liliana Ramírez (Lilo).  
Tengo la dicha de ser tu hermana.  
Gracias por tu apoyo incondicional y  
por tu inigualable amistad.*

*A mi hermano Salvador Ramírez (Salva),  
por estar conmigo en todo momento.  
Eres una gran persona y, pese a los  
regaños, me siento muy orgullosa de ti.*

*A mi novio Erick Castillo,  
por todo tu amor, apoyo y enseñanzas.  
Saber que en la vida puede encontrarse  
alguien como tú es increíble, yo he tenido  
esa fortuna. Te amo.*

*A mis abuelitos Raúl, Yolanda y  
Gumersinda, porque siempre me han  
apoyado, cuidado y querido.*

*A mis amigos Jazmín, Areli, Dulcecita,  
Alis, Fer, Alejandro, Ivette, Dani, Clau,  
Chris, Rafa, Daniel y Marce,  
porque han sido verdaderamente  
sinceros e incondicionales a lo largo de  
las diferentes etapas de mi vida.*

*A mis tíos y primos, por ser parte  
necesaria e importante de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

Con admiración y respeto, al Dr. Alejandro Estradas, por su ahínco sobre el tema, por su dedicado y minucioso asesoramiento para la realización de este trabajo. Agradezco sus enseñanzas y su apoyo, sin su ayuda no hubiera sido posible.

Al Dr. Luis Soto, por darme la oportunidad de trabajar con este tema brindándome las herramientas y los medios necesarios para llevar al éxito este proyecto.

Al Dr. Alejandro Estradas, Dr. Luis Soto Dr. Javier Carmona, Dra. Ruth Esther Villanueva y Dr. Francisco Hernández por colaborar en el mejoramiento del presente trabajo y formar parte de mi comité tutorial.

Al Dr. Francisco Hernández del laboratorio de Pigmentos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR, S.C.) en La Paz, Baja California Sur, por la realización del análisis de los pigmentos, por su ayuda incondicional y por sus valiosas observaciones en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Sergio Licea Durán, responsable del laboratorio de Fitoplancton y Productividad Primaria del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, por las facilidades y el espacio físico en el laboratorio para efectuar el análisis de las muestras de fitoplancton y para la realización del escrito.

A todos los miembros del laboratorio de Fitoplancton y Productividad Primaria del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM:

A la M. en C. Ruth Luna, técnica del laboratorio, y M. en C. Ma. Eugenia Zamudio por su disposición a brindarme su ayuda, orientarme y por hacerme sentir cómoda dentro del laboratorio. Al Lic. en Hidrobiología Jesús Soto Cadena, que, además de todo el apoyo académico, me brindo una gran amistad.

Al Biol. Carlos Illescas Monterroso, técnico del laboratorio de Ecología del Bentos, por su apoyo técnico y la disposición de material en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Pablo Rojas Lara por el apoyo total en la elaboración de los análisis estadísticos de los resultados de este trabajo.

# ÍNDICE

<b>Resumen</b> .....	1
<b>Introducción</b> .....	2
<b>Antecedentes</b> .....	5
Justificación del trabajo.....	8
<b>Objetivos</b> .....	9
Objetivo general .....	9
Objetivos particulares.....	9
<b>Área de estudio</b> .....	10
<b>Material y Métodos</b> .....	12
Trabajo en campo .....	12
Trabajo de laboratorio .....	14
Análisis de pigmentos .....	14
Extracción y cuantificación de pigmentos.....	14
Cuantificación de pigmentos .....	16
Análisis de Diatomeas.....	16
Análisis estadístico.....	17
Prueba de Xi cuadrada ( $X^2$ ).....	17
Análisis de varianza en bloques al azar.....	17
Prueba de comparación de medias múltiple de Tukey .....	18
Análisis de biodiversidad .....	18
Índice de similitud de Jaccard .....	18
<b>Resultados</b> .....	19
Análisis cualitativo y cuantitativo de pigmentos.....	19

Análisis estadístico para pigmentos .....	21
Prueba de Xi cuadrada ( $X^2$ ).....	21
Análisis de varianza en bloques al azar (ANDEVA) .....	23
Prueba de comparación de medias múltiple de Tukey .....	24
Fitoplancton.....	26
Diatomeas.....	26
Silicoflagelados .....	28
Análisis de biodiversidad .....	29
Índice de similitud de Jaccard .....	29
<b>Discusión</b> .....	31
Pigmentos.....	31
Fitoplancton.....	36
<b>Conclusiones</b> .....	39
<b>Literatura citada</b> .....	40
<b>Anexos</b> .....	50
Anexo 1 .....	50
Anexo 2 .....	51
<b>Láminas</b> .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la Cuenca de Guaymas .....	10
Figura 2. Localización espacial de los núcleos de sedimentos analizados, colectados durante la campaña AT 15-38. N3 (4457-N3), N10 (4459-10), N1	

	(4460-1), N11 (4460-11).....	12
Figura 3.	Cromatógrafo de líquidos de alta resolución (modelo 1100, Hewlett Packard).....	15
Figura 4.	Cromatograma (lecturas a 440 y 667 nm) indicando pigmentos identificados y estándares de comparación. Pigmentos: 1.- Feoforbide- <i>a</i> , 2.- Prasincoxantina, 3.- Diadinoxantina, 4.- Alloxantina, 5.- Zeaxantina, 6.- Clorofila- <i>a</i> , 7.- Feofitina- <i>a</i> 8.- $\beta$ -caroteno. (Abajo) Espectros de absorción de los picos máximos en un rango de 250 a 750 nm.....	20
Figura 5.	Porcentaje de cada pigmento en todos los núcleos con concentraciones en ng/g.....	22
Figura 6.	Porcentaje de pigmentos por núcleo con concentraciones en ng/g.....	23
Figura 7.	Dendograma para las áreas de Oil Town (4460-1 y 4460-11) y Great Pagoda (4459-10).....	30

### ÍNDICE DE TABLAS 1

Tabla 1	Relación de muestras de sedimento obtenidas por el DSRV-ALVIN en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California en Octubre del 2008 (Crucero AT 15-38).....	13
Tabla 2	Programación de los solvente.....	15
Tabla 3	Tiempos de retención y concentración de los pigmentos registrados en los núcleos obtenidos en el sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas. La concentración se expresa en ng/g.....	19
Tabla 4	Pigmentos registrados por área y por núcleo.....	21
Tabla 5	Valores de $X^2$ , que rechaza $H_0$ , demostrando que el tipo de pigmento no es independiente del núcleo. Nota: Conteos de las celdas $<5$ .....	21
Tabla 6	Resultados de las diferencias estadísticas significativas entre pigmentos y núcleos, además entre ellos mismos.....	23

Tabla 7	Prueba de Tukey para mostrar la homogeneidad entre los núcleos 4457-3, 4459-10 y 4460-1, y la diferencia estadística significativa del núcleo 4460-11. Concentración ng/gr.....	24
Tabla 8	Concentración promedio de cada pigmento ng/gr, la prueba de F y la de comparación de medidas múltiples de Turkey muestra que la diferencia entre los promedios de cada núcleo está dentro de los límites establecidos de la prueba.....	25
Tabla 9	Matriz de distancia (índice de similitud de Jaccard) en los datos de ausencia-presencia de las muestras de sedimento pertenecientes al área de Oil Town y Great Pagoda.....	30

## Resumen

En Octubre del 2008 se realizo la campaña oceanográfica AT 15-38 a bordo del B/O Atlantis. Se muestrearon sedimentos superficiales en el área de ventilas hidrotermales localizadas en la Cuenca de Guaymas. El objetivo de este estudio fue determinar la composición cualitativa y cuantitativa de los pigmentos en sedimentos superficiales además de establecer la composición taxonómica de diatomeas presentes en cuatro núcleos provenientes de los sitios de Oil Town (4457-3 y 4459-10) y Great Pagoda (4460-1 y 4460-11). Las muestras fueron congeladas a  $-70^{\circ}\text{C}$  hasta el momento de su procesamiento. Para la determinación de pigmentos se utilizó la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Eficacia (por sus siglas en ingles HPLC). Se registraron nueve pigmentos: Clorofila-*a*, Feofitina-*a*, Feoforbide-*a*, Pirofoeofitina-*a*,  $\beta$ -caroteno, Alloxantina, Zeaxantina, Diadinoxantina y Prasinoxantina. Con un promedio de concentración (ng/g) de 208.436 (4460-1), 1145.474 (4460-11), 101.991 (4457-3) y 206.549 (4459-10), siendo el valor máximo el núcleo 4460-11 de Great Pagoda y el mínimo el 4457-3 de Oil Town. Los análisis estadísticos demostraron que el tipo de pigmento depende de donde se colecto el núcleo. Además, que existen diferencias significativas entre los núcleos pero que no hay esta diferencia en la concentración entre pigmentos y de acuerdo con la prueba de Tukey el núcleo 4460-11 diferente en comparación con los otros tres. En el análisis de diatomeas, se registrarón 38 taxas de este grupo y cinco silicoflagelados. Del total de diatomeas, 30 pertenecen al grupo de las Coscinodiscophyceae, cinco a las Bacillariophyceae y solo tres presentes de Fragilariophyceae. La prueba de Índice de similitud de Jaccard comprobó una mayor afinidad entre los núcleos 4460-1 y 4460-11 con respecto al núcleo 4459-10. Con este trabajo se puede suponer que todos los pigmentos registrados tienen un origen bacteriano y no fitopláctico y que todos los organismos encontrados son producto de la sedimentación y no tienen su origen en el área.

## Introducción

El Golfo de California se caracteriza por presentar una zona de flujo de calor inusualmente alto debido a las corrientes de convección en la cámara magmática que asciende por debajo de esta región (centro de dispersión) a través de la Dorsal del Pacífico Oriental (Von Damm, *et al.*, 1985). Estos mecanismos de propagación de la corteza en la parte central del golfo de California asociado con la intensa dinámica de la tectónica del lugar, dan origen a un sistema hidrotermal en la depresión sur de la Cuenca de Guaymas. Este sistema hidrotermal incluye depósitos en forma de montículos, espinas, estructuras tipo pagoda y altas columnas distribuidas sobre un terreno cubierto de sedimentos finos (De la Lanza-Espino y Soto, 1999). Esta cubierta sedimentaria, rica en materia orgánica que tiene un grosor de alrededor de 400 metros, está compuesta de material silíceo de origen biogénico, especialmente de diatomeas (a veces más del 50 %) y sedimentos terrígenos ricos en plagioclastos (Einsele *et al.*, 1980), además del precipitado originado de los fluidos hidrotermales que son ricos en elementos biogénicos como son el nitrógeno (N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>3</sub>) y el fosforo (P-OP<sub>4</sub>) y metales pesados (Dando *et al.*, 1999).

Por otro lado, el Golfo de California es considerado uno de los más grandes ecosistemas marinos de mayor productividad y diversidad biológica del mundo debido a la variedad de procesos físicos que transportan aguas subsuperficiales ricas en nutrientes hacia la zona eufótica (Lara-Lara *et al.*, 2007). Los sedimentos en el Golfo de California contienen altas concentraciones de carbono (Von Damm, 1985). En la zona central ocurren procesos de mezcla por marea y surgencias estacionales durante invierno y primavera, y en las costas de la Península de Baja California se presentan surgencias en el verano (Badán-Dangón *et al.*, 1985). Estos procesos producen en el golfo una excepcional productividad fitoplanctónica (Zeitzschel, 1969),

El fitoplancton (*phyto*=planta; *planktos*=errantes) está constituido por células que flotan en ambientes acuáticos, que utilizan luz y nutrientes inorgánicos disueltos para desarrollarse (Jeffrey y Vest, 1997). Estos organismos (unicelulares, filamentosos y/o formadores de cadenas) presentan diversidad en tamaños, formas y contenido pigmentario (De Vooy, 1979). El estudio del fitoplancton es importante en el ambiente marino, en

virtud de su carácter fotosintético que se refleja en la producción primaria, la que se estima que produce a nivel mundial alrededor de  $43.5 \times 10^{15}$  g C año<sup>-1</sup> (De Vooy, 1979). Uno de los grupos taxonómicos más importante que componen a la comunidad del fitoplancton son las diatomeas, que es el grupo taxonómico dominante en el océano.

Las diatomeas son organismos unicelulares que pertenecen al grupo de las algas pardo-doradas, cuyo nombre científico es Bacillariophyta. Son las más abundantes y diversas en todos los ambientes (Round, *et al.*, 1989) y son responsables de por lo menos del 20% de la producción primaria total producida por las plantas de la biósfera (Werner, 1977). La principal característica en relación con otros grupos de algas, es la silificación de su pared celular (frústula), la cual consta de tres partes: epivalva, hipovalva y cingulo (Round, *et al.*, 1989). Además poseen cloroplastos de color marrón-dorado que varían en número y forma pero con una estructura similar. Están rodeados de cuatro membranas que presentan tres tilacoides cuyo arreglo es en bandas de tres rodeados por una cinta. Los pigmentos característicos que presentan son: Clorofila-*a*, *c*<sub>1</sub> y *c*<sub>2</sub> y carotenoides (Fucoxantina, Diadinoxantina, Diatoxantina y β-caroteno). En un porcentaje pequeño llegan a presentar Clorofila *c*<sub>3</sub> que suele sustituir a la *c*<sub>1</sub> (solo en pocas especies) (Stauber y Jeffrey, 1988).

Una característica distintiva de la comunidad planctónica es que una parte de las poblaciones de la comunidad se elimina por sedimentación. La densidad del agua de mar es de 1.02 a 1.03 g/ml. La densidad de los organismos planctónicos es ordinariamente de 1.1 g/ml. En promedio los organismos pasivos se hunden de 1.5 a 5 metros en 24 horas (Margalef y Vives, 1972). En el caso de las diatomeas, los frústulos se sedimentan por gravedad cuando la célula es digerida o cuando muere. En el Golfo de California, la tasa de sedimentación es de 6 a 270 cm/10<sup>3</sup> años y en su mayoría son desechos terrígeno y desechos pelágicos (Lonsdale, 1980; Álvarez-Arellano y Molina-Cruz, 1984). En la Cuenca de Guaymas la tasa de sedimentación es mayor a 1m/10<sup>3</sup> años (Lonsdale, *et al.*, 1980), siendo la tasa de sedimentación más alta dentro del Golfo de California (De la Lanza-Espino y Soto, 1999).

Los pigmentos contenidos en sedimentos marinos han sido estudiados desde hace varios años (Palmer y Baker, 1978; Kowalewska, 2004), éstos pueden ser útiles para evaluar las

comunidades fototróficas ya que la variedad de factores que incrementan la carga de nutrientes modifican la presión del pastoreo y la acidificación (Reuss, 2005). En una secuencia sedimentaria, los pigmentos que se encuentran en la capa del fondo son similares a los de la capa superficial. La diferencia está en el primer centímetro de la capa sedimentaria superficial, estos cambios se deben a: 1) la tasa de sedimentación, 2) la descomposición de pigmentos en el agua (que dependen de condiciones ambientales) y 3) la producción primaria; aunque la relación entre el fitoplancton y los procesos de sedimentación de pigmentos no están relacionados (Kowalewska, 2005).

## Antecedentes

Las ventilas hidrotermales de mar profundo, han sido objeto de diversos estudios desde su descubrimiento en las Islas Galápagos en 1977 (Von Damm 1990). En general, estas investigaciones se han enfocado principalmente al estudio de la ecología del lugar (Jannasch, 1984; Grassle, 1985; Van Dover, 2000), la geología (Lilley *et al.*, 2003), la geoquímica (Von Damm, 1990 y Kallmeyer y Boetius, 2004) y biogeografía (Tunnicliffe, 1988). Tarasov *et al.* (2005) con base en un criterio faunístico, dividieron los sistemas hidrotermales en dos tipos: profundos y someros. Los autores observaron que el cambio brusco de la fauna obligada a un tipo de sistema hidrotermal se da a los 200 metros de profundidad, este cambio coincide con el cambio de ebullición del agua de mar, el límite entre la plataforma y el talud continental, y con las diferencias en la estructura y composición de las comunidades de organismos.

Las primeras publicaciones relacionadas a los sedimentos en la Cuenca de Guaymas fueron sobre los depósitos que se encuentran próximos a las ventilas hidrotermales. Entre los primeros trabajos, figura el de Lonsdale *et al.* (1980) donde establecen a las diatomeas como la principal fuente de silicio y magnesio en los sedimentos, además de funcionar para la formación de depósitos de silicio. Barron *et al.*, (2004, 2005), realizaron estudios paleoceanográficos de la Cuenca de Guaymas basándose en la presencia y cantidad de diatomeas, silicoflagelados y sedimentos biogénicos.

La geoquímica de los sedimentos de la Cuenca de Guaymas también ha sido ampliamente estudiada. Von Damm *et al.* (1985) trabajaron la química del fluido hidrotermal, tomando en cuenta la formación y composición de los sedimentos, para considerarlo como un sitio de alojamiento masivo de compuestos y minerales. Bazylnski *et al.* (1988), analizaron los hidrocarburos presentes en los sedimentos, relacionando sus resultados con factores fisicoquímicos y microbianos, para entender la química de las fuentes formadoras de petróleo en la zona. Mientras que Bazylnski *et al.* (1989) identificaron hexadecano y naftaleno en hidrocarburos producidos por la actividad microbiana de los sedimentos. De la Lanza-Espino y Soto (1999), analizaron los sedimentos de cuatro sitios activos y de sus alrededores. Observaron que hay una alteración

producida por los procesos geoquímicos del lugar, dando diferencias en las características de los sedimentos conforme se alejan de los sitios de salida hidrotermal, causando una heterogeneidad espacial.

Por otro lado, los pigmentos<sup>1</sup> en sedimentos de la Cuenca de Guaymas han sido poco estudiados. Baker y Louda (1982), se enfocaron en la diagénesis y la geoquímica de los pigmentos tetrapirrólicos, tetraterpenos y pirroles.

En general, se han realizado estudios sobre producción, degradación y sedimentación de pigmentos tanto en columna de agua como en sedimentos en otro tipo de ambientes (Nelson; 1993; Guerrero *et al.*, 1988; Bianchi, 2000). Palmer y Baker (1978) aislaron porfirinas en sedimentos de aguas profundas en parte del Mar Negro hasta las costas al este de África, concluyendo que estos pigmentos se localizan en zonas ricas en materia orgánica terrestre. Carpenter *et al.*, (1986) estudiaron simultáneamente los procesos de producción, degradación y sedimentación de la Clorofila-*a* durante la estratificación en tres lagos de Michigan, el lago Paul, Peter y Tuesday, compararon con la comunidad fitopláctica comprobando que hay mayor cantidad del pigmento en la columna de agua y que la sedimentación de los pigmentos se incrementa con la cantidad de copépodos, ya que son herbívoros de mayor tamaño, el hundimiento de sus heces es más rápido impidiendo la fotodegradación. Estos autores destacaron que la tasa de sedimentación de productos de degradación de la Clorofila-*a* no se incrementa con la producción primaria. Por otro lado, Furlong y Carpenter (1987) analizaron la concentración y la degradación de pigmentos a diferentes profundidades en la columna de agua en Dabob Bay, Washington; observaron que la mayoría de los feopigmentos<sup>2</sup> no se concentran en la parte superior de los sedimentos, y que el pigmento dominante es el feoforbides pero al igual que lo demás feopigmentos, éstos disminuyen con la profundidad.

La distribución vertical de los pigmentos a lo largo de la columna de agua y la importancia de la luz en su formación y conservación, han sido ampliamente estudiadas

---

<sup>1</sup> Pigmento: Cualquier sustancia que produce coloración en la célula.

<sup>2</sup> Feopigmentos: Pigmentos no fotosintéticos, productos de la degradación de la clorofila, que puede formarse durante o después del florecimiento del fitoplancton marino (Herbland, 1988).

(Lorenzen, 1967; Gieskes *et al.*, 1978; SooHoo y Kiefer, 1982 a y b). Yentsch, (1965) realizó en la India y el Océano Atlántico los perfiles verticales de la Clorofila-*a* y Feofitina, observando las características que los diferencian de acuerdo con la profundidad, encontrando con el perfil vertical de estos pigmentos las características diferenciales que pueden relacionarse con la cantidad de luz Cullen (1982) midió el máximo de profundidad que la Clorofila-*a* puede alcanzar antes de empezar su degradación y lo relacionó con la biomasa del fitoplancton, involucrando la hidrografía, el crecimiento y la adaptación que tiene el fitoplancton con la formación de los pigmentos. Un estudio parecido lo realizó Herbland (1988) que midió a grandes profundidades (380m) la concentración de pigmentos y feopigmentos, explicando la presencia y abundancia de éstos, principalmente de la Clorofila-*a* y productos de su degradación como la Feofitina y la Feoforbide.

La cualificación de pigmentos en sedimentos marinos mediante la técnica de HPLC ha sido utilizada por varios autores. Kowalewska, (1994, 1995, 1996, 2005) y Szymczak-Zyla y Kowalewska (2007), ha registrado una relación entre pigmentos, factores físico-químicos y el fitoplancton vivo, además en procesos de senescencia<sup>3</sup> formada en la columna de agua. También se ha utilizado esta técnica para la medición de clorofila y así evaluar la eutrofización, principalmente en el mar Báltico y como bioindicadores ambientales midiendo la Clorofila-*a*. Bianchi, *et al.*, (1993), determinaron la tasa de sedimentación en el Río Hudson mediante ésta técnica y concluyendo que la concentración de los pigmentos decrece conforme aumenta la profundidad. Pinturier-Geiss *et al.* (2001) analizaron lípidos y pigmentos contenidos en sedimentos en la Cuenca Occidental de Crozet con el fin de estimar la fuente de materia orgánica y su grado de conservación, encontrando altas concentraciones de lípidos y Clorofila-*a*, lo cual asociaron con el crecimiento de células vegetativas enquistadas aún vivas. No tuvieron registro de diatomeas, pero concluyeron que la Clorofila-*a* se preserva mejor que los lípidos en grandes profundidades. Stoń y Kowalewska (2002) relacionaron los pigmentos con las comunidades de fitoplancton en sedimentos y columna de agua, concluyendo que la Clorofila-*a* puede utilizarse como biomarcador de fitoplancton.

---

<sup>3</sup> El cambio gradual e intrínseco en un organismo que conduce a un riesgo creciente de vulnerabilidad, pérdida de vigor, enfermedad y muerte.

## **Justificación del trabajo**

En general, los procesos químicos y los biológicos en el área de ventilas hidrotermales profundas en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California (Lonsdale *et al.* 1980; Von Damm *et al.* 1985; Bazylinski *et al.* 1988; De la Lanza-Espino y Soto 1999) han sido estudiados constantemente, sin embargo de los procesos de pigmentación y los organismos responsables son poco conocidos, pero importantes por llevar a cabo el proceso de fotosíntesis.

## **Hipótesis**

La presencia de pigmentos en los sedimentos de las ventilas hidrotermales son el resultado de la sedimentación de la zona eufótica y/o procesos fotosintéticos anoxigénicos (bacterias).

# Objetivos

## Objetivo general

Determinar si en sedimentos superficiales procedentes de dos sitios hidrotermales profundos con diferentes características físicas de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California, existe la presencia de pigmentos, y si éstos tienen un origen fitopláctico.

## Objetivos particulares

- Realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de los pigmentos en sedimentos superficiales de dos sitios hidrotermales de la Cuenca de Guaymas, mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC).
- Establecer la composición taxonómica de las diatomeas identificadas en los sedimentos superficiales de dos sitios hidrotermales de la Cuenca de Guaymas.

## Área de estudio

El Golfo de California, también llamado Mar de Cortés o Mar Bermejo, es un mar marginal localizado en la región noroccidental de México. Separa la Península de Baja California de la porción continental y es considerado como la única cuenca de evaporación importante en el Océano Pacífico. Se extiende en dirección noroeste-sureste con una longitud aproximada de 1500 km y de 100 a 200 km de ancho (Johnson *et al.*, 1983). Está situado en un ambiente caracterizado por grandes cambios de temperatura, tanto diurna como estacional, baja humedad, alta evaporación e intensa radiación solar. Además de ésta marcada variabilidad temporal, las condiciones oceanográficas y meteorológicas cambian considerablemente de un lugar a otro (Solís, 1998). La corteza oceánica del Golfo de California está formada por nueve cuencas (Einsele *et al.*, 1980; Gieskes *et al.* 1982), entre ellas la Cuenca de Guaymas.

La Cuenca de Guaymas se localiza en la parte central del Golfo de California entre los paralelos  $27^{\circ} 00' 35''$  y  $27^{\circ} 00' 50''$  N y  $111^{\circ} 24' 15''$  y  $111^{\circ} 24' 40''$  W (De la Lanza-Espino y Soto, 1999). Es una cuenca semicerrada formada por dos depresiones, una al Norte y la otra al Sur. Estas depresiones se encuentran separadas por una falla de 20 km de largo y de 3 a 5 km de ancho a una profundidad de 2000 a 2030 m con temperaturas de  $2.8^{\circ}\text{C}$  en el fondo (Byrne y Emery, 1960; Simoneit y Lonsdale, 1982; Simoneit *et al.*, 1979) (Fig. 1).



Figura 1. Localización geográfica de la Cuenca de Guaymas.

El sitio se distingue por tener una alta tasa de sedimentación. Los sedimentos se depositan rápidamente con una velocidad mayor a 1m/1000 años y se forman de detritus terrígeno y desechos pelágicos (Lonsdale, 1980). Von Damm *et al.* (1985) determinaron que las proporciones en la composición de los sedimentos son principalmente diatomeas, radiolarios y silicoflagelados (30-50 %), minerales detríticos de arcilla (30-45 %), fósiles y algunos foraminíferos (10-15 %), feldespatos (4-15 %), cuarzos (3-10 %), minerales pesados (1-3 %) y carbón orgánico (2-4 %).

La característica más distintiva de la Cuenca de Guaymas es la actividad hidrotermal presente en el área formada por la intensa dinámica tectónica. El área abarca 75 km de longitud en los que se pueden encontrar depósitos minerales en forma de montículo, agujas, pagodas y pilares. La combinación mineralógica asociada a estas aguas intersticiales es clorita, epidota, albita y cuarzo (Lonsdale *et al.*, 1980). Las emanaciones hidrotermales pueden alcanzar temperaturas de 315 °C, son producidas por la interacción entre el agua caliente y la corteza oceánica, en algunos sitios como lo es en la Cuenca de Guaymas, estos procesos tienen un mayor impacto en la mineralogía y en la química de los sulfuros. Von Damm (1990) reportó algunos de los elementos químicos presentes, Li, Na, K, Rb, NH<sub>4</sub>, Be, Ca, Sr, Mn, Fe, en pocas cantidades Ba, SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, As, Cl, Al, Co, Cu, Zn, Ag, Cd, Pb y en algunos sitios Se, Br, B. Estas descargas generan y transportan grandes concentraciones de sulfuros e hidrocarburos aromáticos, como son el benceno y el tolueno, aunque también se encuentran etilbenceno y en menor cantidad el xileno (Simoneit *et al.*, 1985, Thunell *et al.*, 1994; De la Lanza-Espino y Soto, 1999). Estas áreas se convierten en lugares únicos y de gran importancia para el estudio de este compuesto en aguas profundas debido a la filtración natural del petróleo (Bazylinski, *et al.*, 1989).

La presencia de carbón orgánico permite que exista productividad biológica en el sitio a pesar de ser una zona de condiciones extremas. La conjugación entre sulfuros e hidrocarburos provenientes de las descargas hidrotermales, aportan la energía necesaria para el desarrollo de una gran variedad de organismos, entre ellos los quimiosintéticos que habitan alrededor de estas manifestaciones. Algunos de los organismos más representativos de la zona son; el molusco bivalvo *Caliptogena pacifica* Dall, 1891, el gusano *Riftia pachytila* Jones, 1980, almejas *Vesicomysidae* Dall y Simpson, 1901 y grandes tapetes bacterianos de *Beggiatoa* Trevisan, 1842, (Grassle, 1985).

## Material y Métodos

### Trabajo en campo

Por invitación del Instituto Oceanográfico Woods Hole (WHOI) a la campaña AT 15-38, se realizó un muestreo en el mes de octubre del 2008 a bordo del B/O Atlantis. El buque está equipado con el mini sumergible “Alvin”, mediante el cual se efectuaron los muestreos de sedimentos en el área de ventilas hidrotermales localizadas en la Cuenca de Guaymas (Fig. 2).

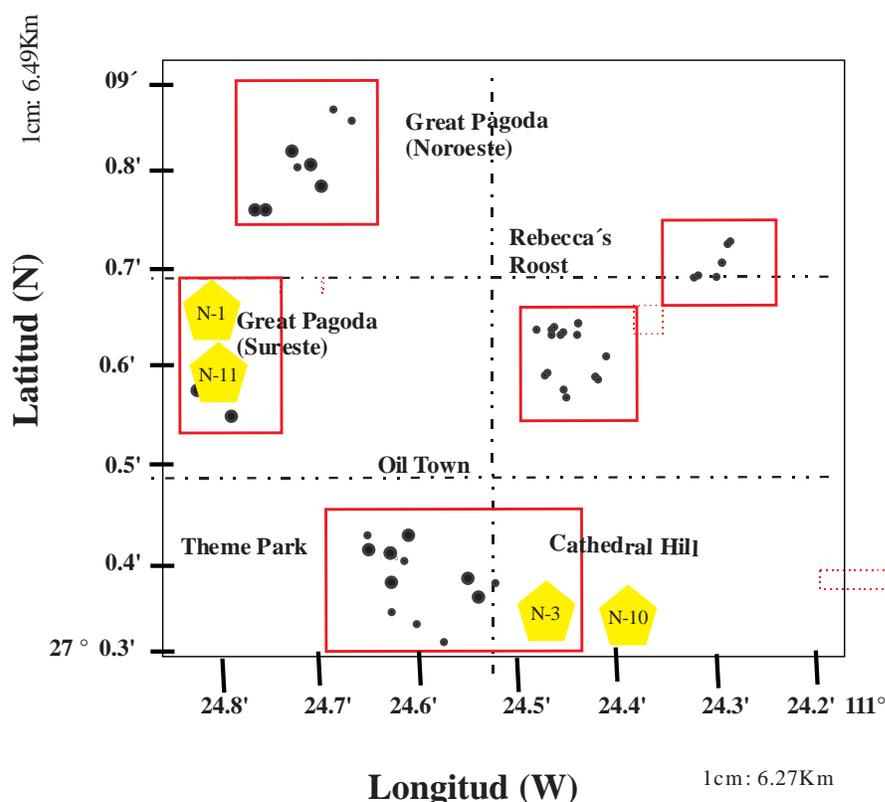


Figura. 2. Localización espacial de los núcleos de sedimentos analizados, colectados durante la campaña AT 15-38. N3 (4457-N3), N10 (4459-10), N1 (4460-1), N11 (4460-11).

El mini submarino realizó cinco inmersiones (2000 a 2300m de profundidad) de las cuales se tomaron muestras de sedimento mediante nucleadores (31.17cm<sup>3</sup>) operados por el brazo robótico del sumergible. De todos los núcleos obtenidos, se submuestraron cuatro para realizar el análisis de pigmentos y composición taxonómica de diatomeas (Tabla 1).

Para realizar el análisis de pigmentos, se tomaron aproximadamente 5g de sedimento superficial de cada núcleo (4457-3, 4459-10, 4460-1 y 4460-11) y se depositaron en frascos ámbar con una capacidad de 5ml, se etiquetaron y se mantuvieron en congelación a -70°C, para evitar la descomposición pigmentaria. Para el análisis de diatomeas se submuestrearon 10g del primer centímetro de la superficie del sedimento contenido en el nucleador (4459-10, 4460-1 y 4460-11) se etiquetaron y almacenaron a -70°C para evitar la descomposición por acción bacteriana. Las características ambientales de la zona donde se tomaron los núcleos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla1. Relación de muestras de sedimento obtenidas por el sumergible Alvin en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California en Octubre del 2008 (Crucero AT 15-38).**

Inmersión	Núcleo	Localidad	Ubicación		Descripción
4457	N-3	Oil Town	x: 2783 Lat: 27°00.7039N	y: 1300 Long: 111°24.3179W	Tapete bacteriano de color blanco y naranja. Temperatura de ambiente de 30°C a 20cm de profundidad
4459	N-10	Oil Town	x: 2783 Lat: 27°00.7039N	y: 1300 Long: 111°24.3179W	200-300° C, altas concentraciones de petróleo, aceite y gas. La matriz externa con crecimiento bacteriano, Parche de <i>Beggiatoa</i> con presencia de petróleo.
4460	N-1	Great Pagoda	x:2187 Lat:27°00.67636	y: 1526 Long: 11°24.416833	Tapete bacteriano de color naranja, temperatura de 19.2 a 71°C, a 6cm de profundidad
4460	N-11	Great Pagoda.	x:2187 Lat:27°00.67636	y: 1526 Long: 11°24.416833	Color verde olivo con negro, contenido de minerales, presencia de <i>Beggiatoa</i> , tapete bacteriano color amarillo. De 5°C a 16°C, a 6cm de profundidad

## **Trabajo de laboratorio**

### **Análisis de pigmentos**

El análisis de pigmentos se realizó en el Laboratorio de Pigmentos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR, S.C.) en La Paz, Baja California Sur.

### **Extracción y cuantificación de pigmentos**

Para la extracción de los pigmentos contenidos en los núcleos, se pesaron 0.5 gr de sedimento y se sometieron a extracción con 4 ml de acetona grado HPLC al 100%. Las muestras se dejaron reposar por 24 h a -20 °C, cubiertas con papel aluminio para protegerlas de la luz. Posteriormente se centrifugaron a 4000 rpm 15 min a 5 °C. El extracto se filtró a través de una membrana de fibra de vidrio de 0.45 µm de diámetro de poro. El volumen se recuperó en viales Eppendorf de 2 ml, se almacenaron a -20 °C y se extrajeron 20 µl para inyectarlos en el cromatógrafo de líquidos de alta eficiencia (modelo 1100, Hewlett Packard) (Fig. 3).

Para separar los pigmentos, se siguió el método propuesto por Vidussi *et al.* (1996). Utilizando una fase móvil mezclando dos soluciones:

- Solución A: Metanol grado HPLC mezclado con acetato de amonio acuoso 1 N para formar una mezcla 70:30 v/v.
- Solución B: Metanol grado HPLC.

La fase estacionaria utilizada fue una columna Hypersil C8, de 10 cm de longitud, de 0.45 cm de diámetro y rellena de partículas de sílice de 5 µm.

El equipo HPLC se configuró y se equilibro con la solución A, con un flujo de 1mL min<sup>-1</sup>. Los solventes se programaron de a cuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2. Programación de los solvente

Minuto	% Solvente A	% Solvente B
0	75	25
1	50	50
15	0	100
18.5	0	100
19	75	25

El sistema de cromatografía utilizado cuenta con un desgacificador, detector de arreglo de diodos con un rango de longitud de onda de 190-900 nm y capacidad para determinar 5 longitudes de onda fijas, una bomba cuaternaria y un automuestreador con capacidad para 100 muestras.



**Figura 3. Cromatógrafo de líquidos de alta resolución (modelo 1100, Hewlett Packard)**

La identificación de los pigmentos se realizó tomando en cuenta dos criterios: 1) comparando los tiempos de retención de los picos de la muestra con los de los estándares puros y 2) por comparación de los espectros de absorción de la muestra problema con los de la biblioteca generada de los estándares. La mayoría de los pigmentos observados *in situ* se reportan en un cromatograma.

## **Cuantificación de pigmentos**

Para cuantificar los pigmentos se prepara la curva de calibración (Anexo 1) para cada uno, esto se hizo inyectando varias concentraciones de los estándares (entre 3-10 ng/microlitro). La concentración de cada pigmento se calcula integrando el área bajo la curva la cual es proporcional a la concentración de los estándares inyectados. Este procedimiento se realizó para cada uno de los pigmentos.

## **Análisis de Diatomeas**

El análisis taxonómico de las muestras de sedimento se realizó en el Laboratorio de Fitoplancton y Productividad del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM utilizando un fotomicroscopio óptico Zeiss. La determinación de los organismos se realizó con base en las descripciones existentes en la literatura especializada para este grupo (Peragallo y Peragallo, 1908; Cupp, 1943; Cleve-Euler, 1951, 1953; Hendey, 1964; Simonsen, 1974; Moreno *et al.*, 1996; Hasle y Syversten, 1997; Round *et al.*, 1989).

El procesamiento que se le dio a las muestras de sedimentos para su análisis cualitativo del contenido de diatomeas, fue el siguiente: las muestras se colocaron en un vaso de precipitado y se eliminó la materia orgánica mediante la oxidación de ésta con peróxido de hidrógeno al 10%. El vaso se colocó sobre una plancha caliente (60° C) hasta que la materia orgánica se eliminó (hasta que dejó de efervescer). El material se lavó tres veces con agua destilada dejando reposar la muestra durante 24 horas entre cada lavada.

Una vez removido el material sedimentario, a las muestras se les agregó una solución de etanol al 70%, hasta cubrir la muestra para su posterior identificación.

Las muestras fueron leídas en fresco, se realizaron tantas replicas como fueron necesarias para encontrar el mayor número de células diferentes.

## **Análisis estadístico**

### **Prueba de Xi cuadrada ( $X^2$ )**

El estadístico de prueba Xi cuadrada ( $X^2$ ), demuestra si el tipo de pigmentos depende o no del núcleo donde se extrajo la muestra (Montgomery y Runger, 1996). Las hipótesis planteadas son:

Ho: El tipo de pigmentos es independiente del núcleo

Ha: El tipo de pigmentos no es independiente del núcleo

*Hipótesis nula*= El tipo de pigmento depende del núcleo donde se colecto la muestra, por lo tanto existe gran diferencia entre los pigmentos de cada núcleo. Sí  $P \leq 0.01$ , con un nivel de confianza del 99%.

*Hipótesis alterna*= El tipo de pigmento no depende del núcleo donde se colecto la muestra, por lo tanto no existe gran diferencia entre los pigmentos de cada núcleo. Sí  $P \leq 0.01$ , con un nivel de confianza del 99%.

### **Análisis de varianza en bloques al azar**

La prueba de ANDEVA sirve para mostrar la existencia de diferencias estadísticas significativas con una  $p \leq 0.05$  entre la concentración de pigmentos (ng/g) y núcleos. Además de demostrar si existen diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones de estos pigmentos (Montgomery y Runger, 1996). Las hipótesis planteadas fueron:

Ho: La concentración entre pigmentos no tiene diferencia significativas, si no es casi igual.

Ha: Al menos la concentración de un pigmento es diferente.

*Hipótesis nula*= No existe diferencia significativa en la concentración entre pigmentos, sin ser relevante el núcleo donde fue colectada la muestra con una ( $p \leq 0.05$ ).

*Hipótesis alterna*= Existe diferencia significativa en la concentración entre pigmentos siendo relevante el núcleo donde fue colectada la muestra con una ( $p \leq 0.05$ ).

### **Prueba de comparación de medias múltiple de Tukey**

La prueba de comparación de medias múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), busca demostrar si existen diferencias estadísticas significativas en la concentración promedio de los pigmentos. (Montgomery y Runger, 1996).

### **Análisis de biodiversidad**

#### **Índice de similitud de Jaccard**

Para determinar si existe o no diferencia significativa entre los taxa de cada núcleo, se compararon entre sí aplicando el índice de similitud de Jaccard (J), el cual se basa en la presencia o ausencia de las especies (Magurran, 1988).

## Resultados

### Análisis cualitativo y cuantitativo de pigmentos

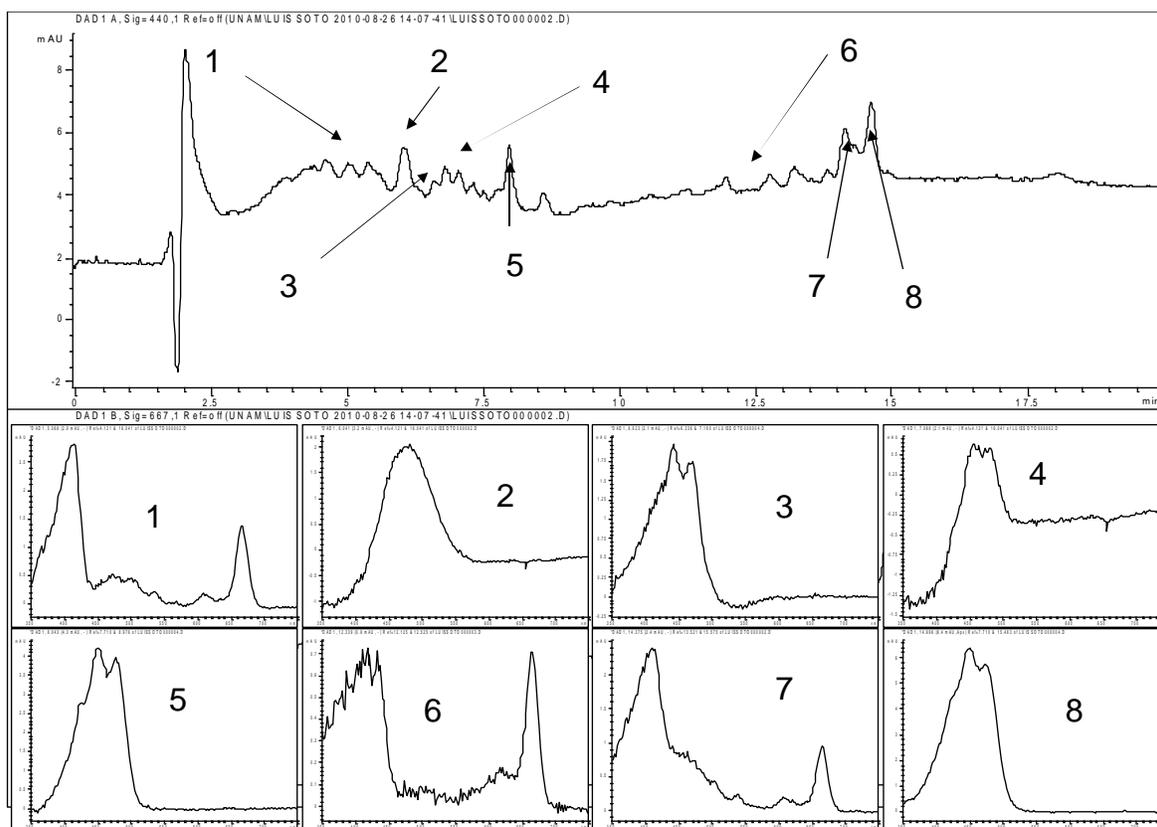
El análisis de pigmentos realizado mediante la técnica de HPLC a los cuatro núcleos que se obtuvieron en las dos zonas de estudio, registró la presencia de nueve pigmentos cuyas concentraciones se muestran en la (Tabla 3). Seis de estos pigmentos son fotosintéticos (pigmentos que se pueden encontrar en el fitoplancton y que tienen poder de retención en la energía lumínica para utilizarla en la fotosíntesis (Balech, 1977) y fueron: Diadinoxantina, Alloxantina, Zeaxantina, Prasinoxantina, Clorofila-*a* y  $\beta$ -Caroteno (Fig.4). Los otros tres pigmentos (producto de la degradación de la Clorofila-*a*) fueron: Feofitina *a*, Feofoforbide *a* y Pirrofeofitina *a* (Fig. 4).

**Tabla 3. Tiempos de retención y concentración de los pigmentos registrados en los núcleos obtenidos en el sistema hidrotermal de la Cuenca de Guaymas. La concentración se expresa en ng/g.**

PIGMENTOS	TIEMPO DE RETENCIÓN	NÚCLEO	NÚCLEO	NÚCLEO	NÚCLEO
		4460-1	4460-11	4457-3	4459-10
		GREAT PAGODA		OIL TOWN	
Feofoforbide - <i>a</i>	5.018	277.215	2774.821	61.818	364.230
Prasinoxantina	6.033	819.506	1865.52	212.623	311.828
Diadinoxantina	6.872	141.444	NP	26.989	NP
Alloxantina	7.048	NP	NP	7.743	NP
Zeaxantina	7.977	197.269	323.836	98.733	221.221
Clorofila - <i>a</i>	12.312	NP	298.276	NP	87.492
Feofitina- <i>a</i>	13.309	NP	618.470	NP	455.092
Pirrofeofitina	14.223	NP	3514.259	169.402	NP
$\beta$ -Caroteno	14.741	440.492	914.092	340.619	419.078
<b>TOTAL</b>		<b>1875.925</b>	<b>10308.805</b>	<b>917.926</b>	<b>1858.941</b>

En general en los cuatro núcleos, los pigmentos con mayor abundancia fueron Pirrofeofitina (24.62 %), Feofoforbide *a* (23.25 %), Prasinoxantina (21.46 %),  $\beta$ -Caroteno (14.13%), Feofitina *a* (7.17%) y Zeaxantina (5.62%) los menos abundantes fueron

Alloxantina (0.05%), Diadinoxantina (1.12%), Clorofila-*a* (2.57%). El núcleo que tuvo mayor diversidad pigmentaria fue el 4460-11 y el que tuvo menor concentración de pigmentos fue el núcleo 4457-3. Los núcleos 4460-1 y 4459-10 tuvieron proporciones semejantes (Fig.5 y 6).



**Figura 4. (Arriba) Cromatograma (lecturas a 440 y 667 nm) indicando pigmentos identificados y estándares de comparación. Pigmentos: 1.- Feoforbide-*a*, 2.- Prasincoxantina, 3.- Diadinoxantina, 4.- Alloxantina, 5.- Zeaxantina, 6.- Clorofila-*a*, 7.- Feofitina-*a* 8.-  $\beta$ -caroteno. (Abajo) Espectros de absorción de los picos en un rango de 250 a 750 nm.**

Los pigmentos Feoforbide-*a*, Prasincoxantina, Zeaxantina y el  $\beta$ -Caroteno, se registraron en todos los núcleos. Solo en el núcleo 11 se registró la presencia de la Alloxantina. La Diadinoxantina se registró en los núcleos uno y tres, mientras que la Clorofila-*a* y la Feofitina-*a* solo se encontró en los núcleos 10 y 11. La Pirofeofitina se registró en los núcleos 3 y 11 (Tabla 4). Del total de los nueve pigmentos analizados en los núcleos, solo se registraron siete como máximo en los núcleos 3 y 11 (Tabla 4).

**Tabla 4. Pigmentos registrados por área y por núcleo**

PIGMENTOS	GREAT PAGODA		OIL TOWN	
	NÚCLEO 1	NÚCLEO 11	NÚCLEO 3	NÚCLEO 10
Feoforbide - <i>a</i>	+	+	+	+
Prasinoxantina	+	+	+	+
Diadinoxantina	+	-	+	-
Alloxantina	-	-	+	-
Zeaxantina	+	+	+	+
Clorofila- <i>a</i>	-	+	-	+
Feofitina - <i>a</i>	-	+	-	+
Pirrofeofitina- <i>a</i>	-	+	+	-
$\beta$ -Caroteno	+	+	+	+
Total	5	7	7	6

(+) Presencia del pigmento en un núcleo del área; - Ausencia del pigmento

### **Análisis estadístico para pigmentos**

#### **Prueba de Xi cuadrada ( $X^2$ )**

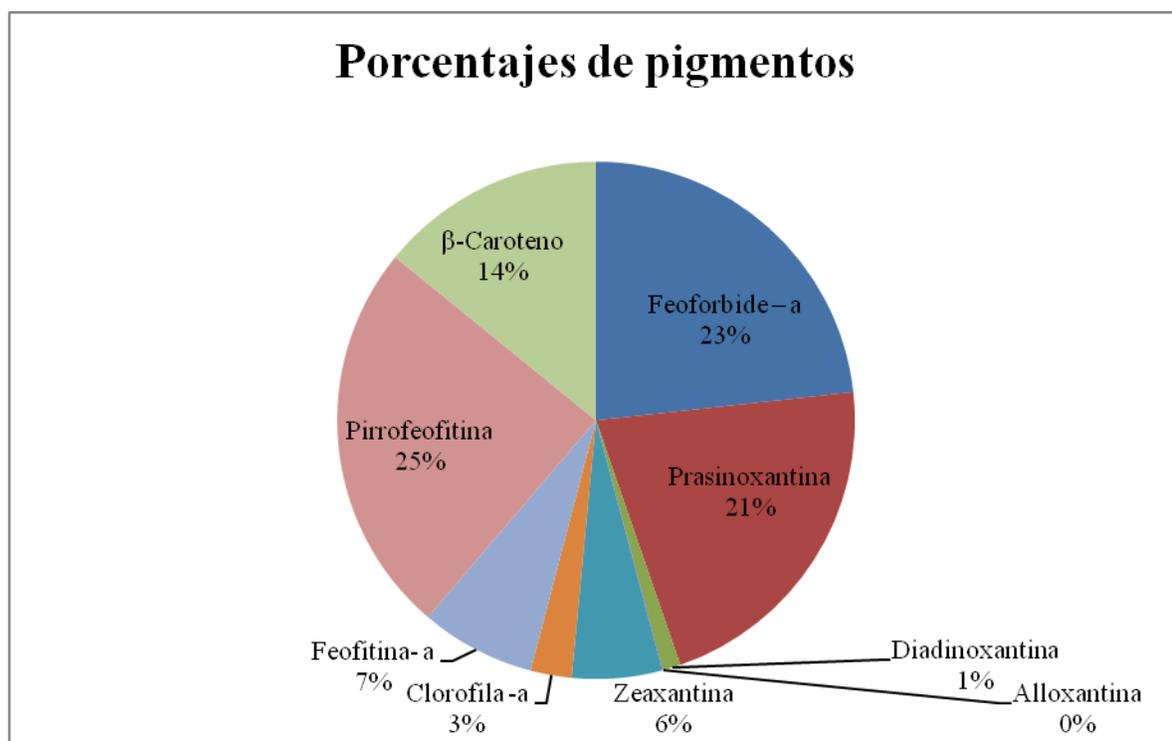
El estadístico de prueba Xi cuadrada ( $X^2$ ) demostró que el tipo de pigmento si depende del núcleo donde se extrajo la muestra. Por lo tanto se rechaza  $H_0$  (Tabla 5).

**Tabla 5. Valores de  $X^2$ , que rechaza  $H_0$ , demostrando que el tipo de pigmento no es independiente del núcleo. Nota: Conteos de las celdas <5**

Prueba de $X^2$		
Ji cuadrada ( $X^2$ )	Df	P-Valor
5247	24	0.0000

Para la prueba de  $X^2$  se realizó una hipótesis que determinara si se acepta o se rechaza la idea de que las clasificaciones de núcleos y pigmentos son independientes. Dado

que el valor P es inferior a 0.01, podemos rechazar la hipótesis de que los núcleos y los pigmentos son independientes con un nivel de confianza del 99%. Por lo tanto, los pigmentos observados para un caso particular se relacionan con los núcleos.



**Figura 5. Porcentaje de cada pigmento en todos los núcleos con concentraciones en ng/g.**

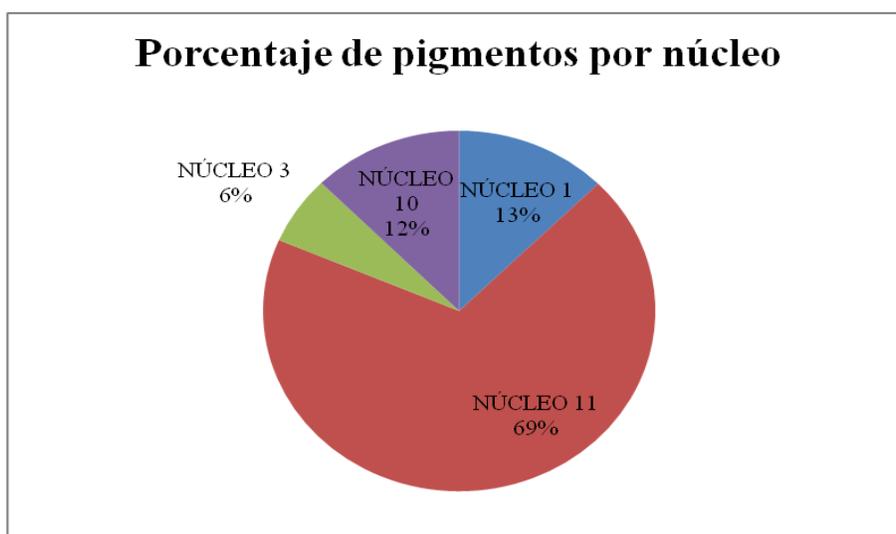


Figura 6. Porcentaje de pigmentos por núcleo con concentraciones en ng/g.

#### Análisis de varianza en bloques al azar (ANDEVA)

El análisis de ANDEVA demostró que existen diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la concentración de pigmentos entre los núcleos ( $F^* = 5.31$ ). Sin embargo las diferencias en concentraciones registradas en los cuatro núcleos no son estadísticamente significativas ( $F = 1.36$  NS) (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de las diferencias estadísticas significativas entre pigmentos y núcleos, además entre ellos mismos.

<b>Análisis de varianza para vresp- Tipo III Suma de cuadrados</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado medio	F-relación	P-valor
Efectos principales					
A: Tratamiento	4.4002E6	8	550025.0	1.36	0.2653
B: Repeticiones	6.45918E6	3	2.15306E6	5.31	0.0060
Residual	9.73882E6	24	405784.0		
Total (Corregido)	2.05982E7	35			
<b>Todo F:relación se basa en el residuo del cuadrado medio del error</b>					

## Prueba de comparación de medias múltiple de Tukey

La prueba de comparación de medias múltiple de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), muestra que los núcleos 4457-3, 4459-10 y 4460-1 no tienen diferencias estadísticas significativas, porque tienen la misma concentración promedio de pigmentos. Pero difieren del núcleo 11, ya que es el que presentó mayor concentración promedio de pigmentos (Tabla 7 y 8).

**Tabla 7. Prueba de Tukey para mostrar la homogeneidad entre los núcleos 4457-3, 4459-10 y 4460-1, y la diferencia estadística significativa del núcleo 4460-11. Concentración en ng/gr**

<b>Prueba de rangos múltiples</b>				
Método: 95.0 por ciento Turkey HSD				
Repetición	Cuenta	LS Media	Grupos homogéneos	
Núcleo 3	9	101.992	X	
Núcleo 10	9	206.549	X	
Núcleo 1	9	208.436	X	
Núcleo 11	9	1145.47	X	
Contraste			Diferencia	+/- Limite
Núcleo 1	Núcleo 10		1.88722	828.595
Núcleo 1	Núcleo 11		*-937.039	828.595
Núcleo 1	Núcleo 3		106.444	828.595
Núcleo 10	Núcleo 11		*-938.926	828.595
Núcleo 10	Núcleo 3		104.557	828.595
Núcleo 11	Núcleo 3		*1043.48	828.595

**\*Denota una estadística significativa**

**Tabla 8. Concentración promedio de cada pigmento (ng/gr), la prueba de F y la de comparación de medidas múltiples de Turkey muestra que la diferencia entre los promedios de cada núcleo está dentro de los límites establecidos de la prueba.**

<b>Tabla de los mínimos cuadrados medios con 95.0 porcentaje de coeficiente de intervalos</b>					
Nivel	Cuenta	Medida	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Media del tratamiento	36	415.613			
Alloxantina	4	1.93575	318.506	-655.301	659.301
Diadinoxantina	4	42.1082	318.506	-615.257	699.474
Pirrofeofitina	4	920.915	318.506	263.55	1578.28
Prasinoxantina	4	802.369	318.506	145.004	1459.73
Zeaxantina	4	210.265	318.506	-447.101	867.63
$\beta$ -Caroteno	4	528.57	318.506	-128.795	1185.94
Clorofila -a	4	96.442	318.506	-560.923	753.807
Feofitina- a	4	268.391	318.506	-388.975	925.756
Feoforbide-a	4	869.521	318.506	212.156	1526.89
Repetición					
Núcleo 1	9	208.436	212.337	-229.807	646.68
Núcleo 10	9	206.549	212.337	-231.695	644.793
Núcleo 11	9	1145.47	212.337	707.231	1583.72
Núcleo 3	9	101.992	212.337	-336.252	540.235

## Fitoplancton

En general, el análisis cualitativo de diatomeas en los sedimentos recolectados en el área de estudio indicó la presencia de 43 taxa (entre especies, variedades y formas), las cuales se mencionan en la siguiente lista de especies:

### Diatomeas

#### División **BACILLARIOPHYTA**

##### Clase **COSCINODISCOPHYCEAE**

THALASSIOSIROPHYCIDAE (Round & Crawford, subclase.)

THALASSIOSIRALES (Glezer Makarova 1986)

Thalassiosiraceae (Lebour 1930)

*Thalassiosira* (Cleve, 1873)

*Thalassiosira anguste-lineata* (Fryxell y Hasle, 1977)

*Thalassiosira decipiens* (Jørgensen, 1905)

*Thalassiosira eccentrica* (Cleve, 1903)

*Thalassiosira leptopus* (Fryxell y Hasle, 1977)

*Thalassiosira lineata* (Jousé, 1968)

*Thalassiosira oestrupii* (Proschkina-Lavrenk, 1960)

*Thalassiosira pacifica* (Gran y Angst, 1931)

*Thalassiosira simonsenii* (Hasle y Fryxell, 1977)

Stephanodiscaeae (Glezer & Makarova 1986)

*Cyclotella* (Brébisson, 1838)

*Cyclotella meneghiniana* (Kützing, 1844)

*Cyclotella striata* (Grunow, 1880)

*Cyclotella stylonum* (Brightwell, 1860)

*Cyclotella* sp.1

COSCINODISCOPHYCIDAE (Round & Crawford, subclase.)

MELOSIRALES (Crawford, ord.)

Stephanopyxidaceae (Nikolaev)

*Stephanopyxis* (Ehrenberg, 1845)

*Stephanopyxis palmeriana* (Gran y Yendo, 1913)

COSCINODISCALES (Round & Crawford, ord.)

Coscinodiscaceae (Kützing 1844)

*Coscinodiscus* (Ehrenberg, 1839)

*Coscinodiscus asteromphalus* (Ehrenberg, 1844)

*Coscinodiscus centralis* (Ehrenberg, 1838)

*Coscinodiscus curvatulus* (Grunow, 1878)

*Coscinodiscus gigas* (Ehrenberg, 1841)

*Coscinodiscus granii* (Gough, 1905)  
*Coscinodiscus marginatus* (Ehrenberg, 1841)  
*Coscinodiscus radiatus* (Ehrenberg, 1839)  
*Coscinodiscus radiatus* var.2 (Licea-Durán, 1974)  
*Coscinodiscus* sp1

Hemidiscaceae (Hendy 1938 emend Simonsen 1975)

*Azpeitia* (M.Peragallo)

*Azpeitia nodulifera* (M. Peragallo, 1912)

Heliopeltaceae (H. L. Smith 1872)

*Actinoptychus* (Ehrenberg, 1843)

*Actinoptychus aster* (Brun, 1892)

*Actinoptychus campanulifer* (Schimidt, 1875)

*Actinoptychus senarius* (Ehrenberg, 1843)

*Actinoptychus vulgaris* (Schuman, 1867)

ASTEROLAMPRALES (Round & Crawford, ord.)

Asterolampraceae (H. L. Smith 1872)

*Asteromphalus* (Ehrenberg, 1844)

*Asteromphalus arachne* (Ralfs, 1861)

*Asteromphalus flabellatus* (Greville, 1859)

*Asteromphalus heptactis* (Ralfs, 1861)

#### Clase **FRAGILARIOPHYCEAE**

FRAGILARIOPHYCIDAE (Round, subclasse.)

THALASSIONEMATALES (Round, ord.)

Thalassionemataceae (Round, fam.)

*Thalassionema* (Hustedt, 1932)

*Thalassionema nitzschioides* (Mereschkowsky, 1902)

*Thalassionema nitzschioides* var. *Lanceolata* (Peragallo y Peragallo, 1901)

*Thalassionema nitzschioides* var.1 (Moreno-Ruiz, 1995)

*Thalassionema nitzschioides* var.2 (Moreno-Ruiz, 1995)

#### Clase **BACILLARIOPHYCEAE**

BACILLARIOPHYCIDAE (Haeckel, 1878)

NAVIVULALES (Bessey, 1907 *sensu emend.*)

Sellaphorineae (D.G. Mann, subord. nov.)

Sellaphoraneae (Mereschkowsky, 1902)

*Sellaphora* (Mereschkowsky, 1902)

*Sellaphora pupula* var. *rectangularis* (Czarnecki, 1994)

Pinnulariaceae (D.G. Mann, subord.)

*Pinnularia* (Ehrenberg, 1843)

*Pinnularia* sp.

BACILLARIALES (Hendey 1937 *sensu emend.*)

Bacillariaceae (Ehrenberg 1831)

*Fragilariopsis* (Hustedt, 1913)

*Fragilariopsis doliolus* (Medlin y Sims, 1993)

*Nitzschia* (Hassall, 1845)

*Nitzschia bicapitata* (Cleve, 1900)

*Pseudo-nitzschia* (H.Peragallo in H. & M. Peragallo, 1900)

*Pseudo-nitzschia seriata* (H.Peragallo, 1908)

## **Silicoflagelados**

En la división Chrysophyceae se encontraron cinco especies.

División **CHRYSOPHYCEAE**

Clase **HETEROKONTOPHYTA** (P.C.Silva, 1980)

DICTYOCHALES (Haeckel, 1894)

Dictyochaceae (Lemmermann, 1901)

*Dictyocha* (Ehrenberg, 1837)

*Dictyocha calida* (Poelchau, 1976)

*Dictyocha californica* (Schrader et Murray, 1985)

*Dictyocha fibula* (Ehrenberg, 1930)

*Dictyocha fibula* var. *Robusta* (Schrader et Murray, 1985)

*Dictyocha octonaria* (Gemeinhardt, 1930)

De estos taxos, 38 fueron diatomeas (30 centrales y ocho penales) y cinco silicoflageladas, y están incluidas en 14 géneros. De las 43 especies, se registraron cinco bentónicas y 33 planctónicas. De acuerdo a la clasificación de Round *et al.* (1990) en este trabajo se recolectaron 30 especies de diatomeas centrales que pertenecen a las Coscinodiscophyceae., De las diatomeas penales rafide se obtuvieron el total de cinco de Bacillariophyceae y de las penadas arafide pertenecientes a las Fragilariophyceae fueron tres especies. Así mismo de acuerdo con Hernández y Bravo. (2001), las cinco especies de Silicoflageladas pertenecen a las Dictyochycae (Anexo 2).

El género más representativo fue el de *Coscinodiscus* con nueve especies seguido del de *Thalassiosira* con ocho especies, mientras que en el de *Actinoptychus* y el de

*Cyclotella* se registraron cuatro especies para cada uno. Los géneros de *Asteromphalus* y *Thalassionema* tuvieron tres especies cada uno. Los géneros *Azpeitia*, *Fragilariopsis*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Pseudonitzschia*, *Sellaphora* y *Stephanopyxis* estuvieron representados solo por una especie cada uno de ellos.

En el núcleo 4459-10 (Great Pagoda) se registró un total de 32 taxa, que representaron el 74.4 % del total de las especies analizadas en este estudio, de las cuales 22 son Coscinodiscophyceae, tres son Fragilariophyceae, dos Bacillariophyceae y cinco Silicoflagelados. Para el área de Oil Town, en el núcleo 4460-1 se registro un total de 24 taxa (58.1%) repartidas en 19 Coscinodiscophyceae, una Fragilariophyceae, una Bacillariophyceae y tres Silicoflagelados; en el núcleo 4460-11 se registraron 25 taxa (58.8%) repartidas en 17 Coscinodiscophyceae, cinco Bacillariophyceae y tres Silicoflagelados respectivamente, según la clasificación propuesta por Round *et al.* (1990). Ambas áreas de muestreo presentaron 14 taxa en común. El área de Oil Town presentó ocho taxa en común con Great Pagoda (cuatro taxa del núcleo 1 y cuatro del núcleo 11). Entre estos dos núcleos solo hubo una similitud en dos taxa. Las especies únicas encontradas en el núcleo 4460-1 fueron cuatro, *Azpeitia nodulifera*, *Coscinodiscus granii*, *Cyclotella meneghiniana* y *Thalassiosira simonsenii*, para el 4460-11 fueron cinco: *Asteromphalus heptactis*, *Nitzschia bicapitata*, *Pseudonitzschia seriata*, *Sellaphora popula* var. *rectangularis* y *Thalassiosira oestrupii*. Y para el núcleo 4459-10 fueron 10: *Actinoptychus vulgaris*, *Coscinodiscus* sp1., *Cyclotella striata*, *Cyclotella* sp.1, *Dictyocha fibula*, *Dictyocha fibula* var. *Robusta*, *Stephanopyxis palmeriana*, *Thalassionema nitzschioides* var 1, *Thalassionema nitzschioides* var *lancelota* y *Thalassiosira decipiens*,

## **Análisis de biodiversidad**

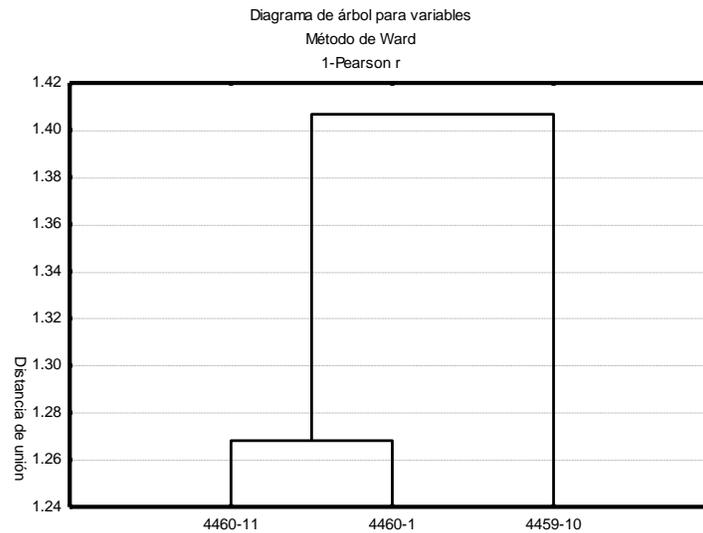
### **Índice de similitud de Jaccard**

Con base en los datos registrados de ausencia y presencia de las especies en cada una de las zonas muestreadas, los valores que se obtuvieron mediante el índice de similitud

de Jaccard mostraron que existe poca afinidad entre los puntos muestreados (Tabla 9). Sin embargo, a pesar de la baja afinidad entre los núcleos 4460-1 y 4460-11 presentan una ligera similitud (Fig. 7).

**Tabla 9. Matriz de distancia (índice de similitud de Jaccard) en los datos de ausencia-presencia de las muestras de sedimento pertenecientes al área de Oil Town y Great Pagoda.**

Caso	Archivo matricial de entrada		
	4459-10	4460-1	4460-11
4459-10	1.000	-.330	-.414
4460-1	-.330	1.000	-.268
4460-11	-.414	-.268	1.000



**Figura 7. Dendrograma para las áreas de Oil Town (4460-1 y 4460-11) y Great Pagoda (4459-10).**

### Pigmentos

Los pigmentos fotosintéticos juegan un papel muy importante en la producción primaria, la Clorofila-*a* ha sido especialmente investigada por ser el más común y mejor indicador químico de biomasa en fitoplancton, en tanto que otros pigmentos fotosintéticos se consideran como secundarios o accesorios (Herblan, 1988), ya que son pigmentos fotoprotectores o adaptaciones en paredes celulares o fisiológicas. También es conocido que la Clorofila-*a* requiere de luz para sustentarse, a pesar de que los sitios hidrotermales de mar profundo se localizan en la zona afótica, se registro Clorofila-*a* en dos núcleos, el 4459-10 y 4460-11, fue el tercer pigmento menos localizado con una concentración del 2.57% de acuerdo con los resultados de la prueba de  $X^2$ , aunque son sitios separados espacialmente. Ambos núcleos (4459-10 y 4460-11) presentaron grandes tapetes bacterianos con sedimentos color verde oscuro, lo cual es indicativo de la posible presencia de este pigmento o algunos de sus derivados (Feofitia-*a*, Feoforbide-*a* o Pirrofeofitina-*a*), es importante mencionar estas características, ya que de acuerdo con Jannasch y Mottl (1985) y Van Dover (2000) las ventilas hidrotermales de mar profundo se consideran sitios capaces de producir fotosíntesis sin depender de la energía solar, si no mediante un proceso geotérmico resultado de las bacterias expuesta a altas temperaturas, lo cual se lleva a cabo por medio de sulfuros y otros compuestos de reducción emitidos en los fluidos hidrotermales que funcionan como fuente de energía para la producción primaria de las bacterias. Según Van Dover, (2000) el flujo de fotones que se emiten a altas temperaturas por los fluidos hidrotermales es el apoyo para las bacterias fotosintéticas facultativas productoras de bacterioclorofila u otros sistemas de pigmentos, por medio de un potencial de adaptación fotoquímica explotado a bajos niveles de luz. Esto da la posibilidad de que las ventilas hidrotermales de mar profundo de funcionar como alberges de poblaciones fototróficas. También explica que la oxidación del sulfuro es la fuente de energía para la producción primaria mediada por microorganismos. El sulfuro se oxida por intervención del oxígeno molecular que hay en el agua de mar alrededor de la ventilas y es el producto último de la fotosíntesis. Por lo tanto considera que los sitios de ventilas hidrotermales son

independientes de la energía solar para proporcionar un medio de oxido-reducción, ya que son capaces de tener un proceso de rendimiento de energía propio.

La distribución vertical de los feopigmentos en el océano se interpreta por el balance entre los procesos de producción primaria y la fotooxidación, lo cual coincide en las zonas costeras y superficiales (Herblan, 1988) pero la zona profunda no ha sido bien estudiada. La existencia de Clorofila-*a* muestra características que se pueden relacionar con la presencia y cantidad de luz, las variables de temperaturas o por una mezcla de características ya antes mencionadas. La Clorofila-*a* está expuesta a sufrir cambios bruscos en la zona de ventilas hidrotermales, lo cual activa un proceso de descomposición que da como resultado la formación de diferentes feopigmentos (Herblan, 1988), como los registrados en las muestras obtenidas en el área de estudio (Feofitina-*a*, Feoforbide-*a* y Pirofeofitina-*a*), lo cual corrobora la presencia de Clorofila-*a* a estas profundidades. La Clorofila-*a* comienza su degradación a un promedio de temperatura de 80 a 120°C dependiendo de las condiciones ambientales. Sin embargo, se caracteriza por ser poco termoestable en comparación con otras Clorofilas como la *b* o la *c* (Gupte *et al.* 1963, Van Loey *et al.* 1998), lo cual indica que su degradación es rápida debido a que es extremadamente sensible, en condiciones como las presentes en el sitio donde se realizó este estudio.

La Feofitina-*a*, es el resultado del calentamiento de la Clorofila-*a* lo que produce que pierda un magnesio (Schwartz y Von Elbe 1983, Herblan 1988), y cambie el color verde característico de la Clorofila-*a* por un color pardo oliváceo. La presencia de este pigmento se registró en los mismos núcleos que la Clorofila-*a* (4459-C10 y 4460-C11), pero en una concentración mayor teniendo el 23.25% de abundancia mientras que la Clorofila-*a* solo registró un 2.57%. De acuerdo con Yentsch, (1965) en relación con la profundidad, cantidad de luz y temperatura ambiente, las fracciones presentes de Clorofila-*a* decrecen a medida que aumenta la Feofitina-*a*.

Otro pigmento que es producto de la degradación de la Clorofila-*a* es la Pirofeofitina-*a*, el cual se forma a partir de la descomposición de la Feofitina-*a* (Herblan, 1988). Según Schwartz y Von Elbe (1983), su degradación comienza de los 116 a los 126°C de temperatura. El proceso de formación de este pigmento se debe a la pérdida de un

grupo carboxilo en la Feofitina-*a*, y la razón es la presencia constante y el aumento del calor. Estos mismos autores denominan a la Pirrofeofitina-*a* como el producto final en la degradación de la Clorofila-*a*. Para este estudio, se registró este pigmento en el núcleo 4460-11 al igual que la Clorofila-*a* y la Feofitona-*a* con una abundancia del 23.49 %, y en el núcleo 4457-3 con una abundancia del 1.13 % pero con la ausencia de la Clororila-*a* y la Feofitina-*a*. A pesar de que se registro una temperatura de 30°C a 20cm de profundidad en el núcleo 4457-3, la bitácora proporcionada por el ALVIN indica que en general la zona de Oil Town presenta una temperatura de 230°C y por lo expuesto con anterioridad, se puede explicar la ausencia de los dos pigmentos y la baja concentración de la Pirrofeofitina en el núcleo.

La Feoforbide-*a* se puede formar directamente de la Clorofila-*a* debido a la pérdida de un fitol formándose Clorofilide, para posteriormente perder un magnesio (Gupte *et al.* 1963; Heaton y Marangoni, 1996). La otra posible vía de formación, es la acumulación de Feofitina-*a* (Heaton *et al.* 1996). La presencia de este pigmento en todas las muestras de nuestro interés obtenidas en el área de estudio puede deberse a las características ambientales de la zona, ya que Heaton *et al.* (1996) mencionan que la degradación de Clorofila-*a* para formar Feoforbide-*a* se inicia por factores extremos como el estrés, las condiciones de luz, cambios de temperatura, o la combinación de estos factores. El ambiente de origen de los pigmentos está sometido a gran estrés provocando que existan las condiciones adecuadas para la formación de Feoforbide-*a*, por lo cual se justifica su presencia en un 23.25% siendo el segundo pigmento de mayor abundancia. Otro proceso de degradación de la Clorofila-*a* también se debe a el proceso digestivo de algunos gasterópodos como sucede con *Littorina littorea* (Abele-Oeschger y Theede, 1991), por lo que no se puede descartar que los productos de degradación encontrados en el área de estudio se deban a procesos digestivos de gasterópodos asociados a éstas ventilas hidrotermales, a pesar de no existir trabajo alguno que lo corrobore.

Los procesos de distribución vertical de los feopigmentos en el océano no están descartados. Kalle (1938) demostró que a veces el agua de mar contiene pigmentos solubles, afirmando que estos pigmentos son representativos del metabolismo del fitoplancton. Sin embargo, los estudios realizados hasta ahora (Yentsch, 1959; Yentsch y

Ryther, 1965; SooHoo y Kiefer, 1982 a y b; Cullen, 1982; Vernet y Lorenzen, 1987; Herblan, 1988), no revelan si estos pigmentos logran llegar a sedimentarse en las zonas de las ventilas hidrotermales de mar profundo y si resisten las condiciones ambientales que en ellas se presentan sin alterar su estructura, aspecto que no fue considerado en el presente trabajo.

Van Dover (2000) menciona que diversos organismos que habitan en sitios hidrotermales tienen la necesidad de incluir pigmentos del tipo carotenoide en su dieta, pero que son incapaces de sintetizarlos. Negre-Sadargues *et al.* (2000) mencionan que estos pigmentos los obtienen de las bacterias, hongos o plantas. Por ejemplo De Bevoise *et al.* (1990) en su estudio con el cangrejo *Bythograea thermydron* sugieren que los carotenoides encontrados en los huevos de esta especie son producidos *in situ* por las bacterias presentes y no son derivados del fitodetritus como se creía. En el presente estudio, de los nueve pigmentos registrados, cinco fueron del grupo de los carotenoides:  $\beta$ -Caroteno, Prasinoxantina, Zeaxantina, Alloxantina y Diadinoxantina.

El  $\beta$ -caroteno se encuentra en casi todas las algas excepto en Cryptophytas y Rhodophytas, y es producido por gran cantidad de bacterias (Jeffrey & Vest 1997). Su color es amarillo, naranja o rojo y es el carotenoide más abundante en la naturaleza (Britton, 1995). Negre-Sadargues *et al.* (2000) y De-Bevoise *et al.* (1990), mencionan a este pigmento como uno de los responsables de la coloración de algunos crustáceos presentes en los sitios hidrotermales como *Bythograea thermydron* y *Rimicaris exoculata*, especies de gran abundancia en otros sitios hidrotermales con los presentes en la Dorsal del Atlántico. *R. exoculata* es considerada como uno de los principales consumidores primarios en los ecosistemas profundos, en su estómago contiene residuos minerales y algunas bacterias, estas bacterias quimioautótrofas viven cercanas al flujo caliente y representan parte importante de la red trófica de dicho entorno, además de ser una fuente importante de alimentación para las especies del sitio (Van Dover, 1995). En los estudios de Negre -Sadargues *et al.* (2000) describen la existencia de bacterias filamentosas producidas en el aparato bucal de *R. exoculata*, lo cual refuerza la idea de que los carotenoides son formados por microorganismos epibiontes, que se albergan en los crustáceos. Este pigmento ( $\beta$ -caroteno) se presentó en todos los núcleos muestreados en el área de estudio,

donde pudo observarse grandes tapetes bacterianos de colores amarillos, naranjas y rojos, lo cual explica su presencia.

La Alloxantina es un pigmento de color parecido a la combinación entre amarillo y naranja que pertenece al grupo de las xantofilas presente en las Cryptophytas, (Antajan y Gasparini, 2004). Este pigmento solo se registró en un núcleo (4457-3), y su abundancia fue de 0.05%, lo que es mínimo en comparación con los otros pigmentos. De acuerdo con Nelson (1993), la Alloxantina se degrada de una forma similar a la Feofitina-*a*, donde se ve afectada por las diferencias en la fuente de luz. Antajan y Gasparini (2004), reportaron la presencia de Alloxantina en el intestino de dos especie de copépodos *Temora longicornis* y *Centropages hamatus*, indicando que es producida por los tejidos de su cuerpo y no por el intestino, y tomando en cuenta la poca concentración que este pigmento mostró en el agua, podría dar los motivos para explicar su baja presencia. Las ventilas hidrotermales de la Cuenca de Guaymas cuenta con gran abundancia de crustáceos copépodos como *Isaacsicalanus paucisetus* (Van Dover, 2000), los cuales podrían ser la fauna causante de la producción de Alloxantina en el área de estudio, sin embargo no se puede descartar a las bacterias como interventoras en este proceso debido a su variedad y abundancia en la producción de pigmentos.

La Zeaxantina (pigmento liposoluble de color amarillo), la Diadinoxantina (pigmento de color amarillo, que probablemente se forma por la conversión del grupo alénico final de las neoxantinas) y la Prasincoxantina (pigmento de color rosa oscuro presente en las Prasinophyceae), son abundantes en los grupos del fitoplancton como: Bacillariophyta, Dinophyta, Prymnesiophyceae, Chrysophyceae y Raphidophyceae (Jeffrey y Vest 1997). Jeffrey y Vest (1997) mencionan que estos pigmentos pertenecen al grupo de las xantofilas y que se pueden encontrar de manera natural en bacterias, algas, plantas superiores o animales. Los sitios de donde fueron colectadas las muestras en este estudio, cuentan con las características adecuadas para facilitar la existencia de colonias bacterianas que podrían ser las responsables de la producción de estos pigmentos y ya que la diversidad bacteriana que existe en la Cuenca de Guaymas es muy abundante (Van Dover, 2000). De acuerdo con la literatura (Jørgensen, 1977; De Bevoise *et al.* 1990; Boetius y Felbeck, 1995; Biesiot y Perry, 1995; Łotocka, 2001), los pigmentos pueden ser

producidos por diversos consorcios bacterianos. Vidussi *et al.* (1996) mencionan que estos pigmentos también pueden provenir de las estructuras externas o tejidos internos de algunas especies de macrofauna como crustáceos o moluscos, o bien pueden deberse al efecto de dispersión por medio de pellets, como sucede en las especies que habitan en las zonas someras.

## **Fitoplancton**

De acuerdo con Thunell *et al.* (1994) los sedimentos en la Cuenca de Guaymas se caracterizan por estar constituidos principalmente de material biogénicos, es decir, sedimentos formados por organismos muertos, y que su sedimentación no es un proceso sencillo ya que son afectados en su descenso por factores como la temperatura, la presión y la descomposición por bacterias. También mencionan que los cambios en la productividad primaria en la superficie, asociados con los cambios estacionales son responsables de controlar el transporte vertical de las partículas hacia el fondo. El fitoplancton contribuye de manera importante en este proceso debido a su estructura de sílice (Barron, 2004), y debido a los factores arriba mencionados, no todos los grupos del fitoplancton logran sedimentarse en las profundidades a las que se encuentran los sitios hidrotermales. En este trabajo solo se registraron especies de dos grupos de fitoplancton, las Bacillariophyta (Diatomeas) y los Chrysophyceae (Silicoflagelados), lo que concuerda con el estudio realizado por Barron *et al.* (2005) para toda la Cuenca de Guaymas.

Las diatomeas son un grupo extenso, su estructura es muy fuerte y se conforma de un 96.5% de sílice amorfo, además pueden tener aluminio, magnesio, hierro y titanio, incluso incorporar del medio ácido ortosilícico. En las células vivas la frústula no se disuelve debido a que tiene componentes inorgánicos cubiertos por una capa a base de aminoácidos y azúcares (Siqueiros-Beltrones, 2002). Sin embargo aún perdiendo este recubrimiento su resistencia es tal que les permite llegar a formar parte de los sedimentos del mar profundo, siendo responsables de depósitos de gran extensión. En la Cuenca de Guaymas es tal su abundancia que a pesar de las altas temperaturas, dan gran riqueza de

nutrientes y aportan a los sedimentos de 3-4% de carbono orgánico (Van Dover, 2000). Además de tener una estructura resistente. Van Dover, (2000) menciona que la sedimentación de las diatomeas se ve favorecida al formar parte del material fecal de los copépodos como fitodetritus. Esto facilita su hundimiento y una mayor conservación espacial y temporal, acoplando perfectamente la producción entre la superficie y el fondo marino. Estos agregados se ubican en una tasa de 100-150 m d<sup>-1</sup>, invirtiendo un tiempo mínimo de tránsito vertical de 20 a 30 días para cumplir una distancia de 3000m de agua, lo cual puede variar dependiendo de la estación en la que se realizó el muestreo (Barron *et al.* 2005). Este trabajo se realizó en otoño, temporada donde según este mismo autor el flujo de sílice biogénicos es abundante y en su mayoría son diatomeas, además considera la zona como heterogénea, por lo cual se puede explicar la baja afinidad que existe entre los núcleos en general. Sin embargo, entre los núcleos 4460-1 y 4460-11 se registró una mayor similitud entre ellos al compararlos con el núcleo 4459-10 que se encuentra en un área lejana (Fig. 7).

De las 38 especies de diatomeas reportadas en este trabajo para la Cuenca de Guaymas, 30 de éstas fueron centrales y 8 penales. Estradas-Romero (2010) registró la abundancia de fitoplancton en dos sitios diferentes de ventilas hidrotermales someras, el área que analizó en ambas zonas se ubican cerca de la costa, teniendo una mayor cantidad de diatomeas penales que de centrales, lo cual es invertido en los resultados de este trabajo. Alves-de-Souza *et al.*, (2008) menciona que las diatomeas penales son más abundantes en zonas turbulentas o bentónicas como la costa y en zonas oceánicas predominan las diatomeas centrales. Esto puede indicar que la mayoría de las especies registradas en este estudio se sedimentaron de la columna de agua y no resultaron del arrastre producido por corrientes.

Los silicoflagelados representan una mínima cantidad del fitoplancton en comparación con las diatomeas. Su proporción puede llegar a cubrir solo el 2% del fitoplancton presente en un área (Murray y Schrader, 1983). En el presente estudio se registraron cinco especies de silicoflagelados en los sedimentos cercanos a las ventilas hidrotermales: *Dyctiocha calida*, *D. californica*, *D. fibula*, *D. fibula* var. *robusta* y *D. octonaria*. Estas especies han sido registradas para el Golfo de California por Hernández-

Becerril y Bravo-Sierra (2001). De acuerdo con Murrery y Schrader (1983) las especies de silicoflagelados encontradas en sedimento se relacionan con los cambios en las masas de agua. Estos autores reportaron que *D. calida* y *D. octonaria* fueron las especies más comunes en la columna de agua; estas mismas especies fueron las más abundantes en los sedimentos analizados en este estudio. A pesar de que Murrery y Schrader (1983) consideran a *D. californica* una especie poco frecuente, se encontró en los tres núcleos (4459-10, 4460-1 y 4460-11). Hernández-Becerril (2001) menciona que *D. fibula* y *D. fibula* var. *robusta* son consideradas poco comunes dentro del Golfo de California, lo cual se vio reflejado en el presente estudio ya que solamente se registraron en el núcleo (4459-10).

En este estudio se registró un total de 38 especies de diatomeas, de éstas, 32 están reportadas por Moreno, *et al.* (1996) para el Golfo de California: *Actinoptychus aster*, *A. campanulifer*, *A. senarius*, *A. vulgaris*, *Asteromphalus flabellatus*, *A. heptactis*, *Azpeitia nodulifera*, *Coscinodiscus asteromphalus*, *C. centralis*, *C. curvatulus*, *C. gigas*, *C. granii*, *C. marginatus*, *C. radiatus*, *C. radiatus* var.2, *Cyclotella meneghiniana*, *C. striata*, *C. stylorum*, *Fragilariopsis doliolus*, *Nitzschia bicapitata*, *Pseudonitzschia seriata*, *Sellaphora pupula* var. *rectangularis*, *Stephanopyxis palmeriana*, *Thalassionema nitzschioides* var. *lancelota*, *Thalassiosira anguste-lineata*, *T. decipiens*, *T. eccentrica*, *T. leptopus*, *T. lineata*, *T. oestrupii*, *T. pacifica* y *T. simonsenii*.

## Conclusiones

- Todos los pigmentos dependen del núcleo de donde fue extraída la muestra, por lo tanto si existe diferencia en las concentraciones de pigmentos entre núcleos.
- El núcleo donde hubo mayor cantidad de Clorofila-*a* y sus derivados (Feofitina-*a*, Feofoforbide-*a* y Pirrofeofitina-*a*) fue el 4460-11, esto corresponde a las características físicas del sedimentos que fue el color verde olivo con negro y la presencia de grandes tapetes bacterianos.
- Hubo mayor coincidencia de pigmentos en el núcleo 4459-10 y 4460-11, que a pesar de pertenecer a diferentes zonas, ambos sitios se caracterizaron por la presencia de *Beggiatoa*. Lo mismo sucedió en el núcleo 4457-3 y 4460-1, que siendo de diferente zona, en ambos sitios había grandes tapetes bacterianos de color naranja.
- El fitoplancton es resultado de la sedimentación pero se piensa que no participa en la producción de pigmentos, si no que estos podrían ser responsabilidad de las bacterias en conjunto con algunas alteraciones ambientales.

## Literatura citada

Abele-Oeschger, D. y H. Theede. 1991. Digestion of algal pigments by the common periwinkle *Littorina littorea* L. (Gastropoda). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 147: 177-184.

Álvarez-Arellano, A. y A. Molina-Cruz. 1984. Aspectos paleoceanográficos cuaternarios del Golfo de California, Evidenciados por conjuntos de radiolarios. *Anales del Instituto De Ciencias Del Mar y Limnología*, UNAM, 13 (2): 67-94.

Alves de Souza C., M.T. González y J.L. Iriarte. 2008. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile, *Journal of Plankton Research*, 30: 1233-1243.

Antajan E. y S. Gasparini. 2004. Assessment of Cryptophyceae ingestion by copepods using alloxanthin pigment a caution. *Marine Ecology Progress Series*, 274: 191-198.

Badan-Dangon, A, C.J. Koblinsky y T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8: 13-22.

Baker, E.W. y J.W. Louda. 1982. Geochemistry of tetrapyrrole, tetraterpenoid, and perylene pigments in sediments from the Gulf of California. Deep Sea Drilling Project Leg 64, Sites 474, 477, 479, and 481, and Scripps Institution of Oceanography Guayamas Basin survey cruise Leg 3, Sites 10G and 18G. *In*: Curray, J.R., Moore, D.G. *et al.* (Eds.), Initial reports of the Deep Sea Drilling Project. Vol. LXIV, Part 2. US Govt. Printing Office, Washington DC. 789–814.

Balech, E. 1977. Introducción al fitoplancton marino. Universidad de Buenos Aires (Ed). Argentina, 211.

Barron, J.A., D. Bukry y J.L. Bischoff. 2004. High resolution paleoceanography of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 15,000 years. *Marine Micropaleontology*, 50 (3–4): 185– 207.

Barron, J.A., D. Bukry y W.E. Dean. 2005. Paleooceanographic history of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the past 15,000 years, based on diatoms, silicoflagellates, and biogenic sediments. *Marine Micropaleontology*, 56: 81–102.

Bazylnski, D.A., J.W. Farrington, y H.W. Jannasch. 1988. Hydrocarbons in surface sediments from a Guaymas Basin hydrothermal vent site. *Organic Geochemistry*, 12: 547-558.

Bazylnski, D. A., C. O. Wirsen, y H. W. Jannasch. 1989. Microbial utilization of naturally occurring hydrocarbons at the Guaymas Basin hydrothermal vent site. *Applied and Environmental Microbiology*, 55: 2832-2836.

Bianchi, T.S., J.E. Dibb y S. Findlay. 1993a. Early diagenesis of plant pigments in Hudson River sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36: 517–527.

Bianchi TS, B. Johansson y R. Elmgren. 2000. Breakdown of phytoplankton pigments in Baltic sediments: effects of anoxia and loss of deposit-feeding macrofauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* . 251:161–183.

Biesiot, P.M. y H. M. Perry. 1995. Biochemical composition of the deep-sea red crab *Chaceon quinquedens* (Geryonidae): Organic reserves of developing embryos and adults. *Marine Biology*, 124: 407-416.

Boetius A, y H. Felbeck. 1995. Digestive enzymes in marine invertebrates from hydrothermal vents and other reducing environments. *Marine Biology*, 122(1): 105-113.

Britton G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *FASEB J*, 9:1551–8.

Byrne, J. V. y K. O. Emery. 1960. Sediments in the Gulf of California. *Geological Society of America Bulletin*, 71:983-1010.

Carpenter, S.R., M.M. Elser, J.J. Elser. 1986. Chlorophyll production, degradation and sedimentation: implication for paleolimnology. *Limnology and Oceanography*. 31: 112–124.

Cleve-Euler, A. 1951. Die diatomeen von Schweden und Finnland. Kungl Svenka Vetenskapsakademis Handlingar. Stockholm. Fjärde Serien. Band 2. N:o1.

Cleve-Euler, A. 1953. Die diatomeen von Schweden und Finnland. Kunge Svenka Vetenskapsakademis Handlingar. Stockholm. Fjärde Serien. Band 4, No. 1.

Cullen, J.J. 1982. The Deep chlorophyll Maximum: comparing vertical profiles of chlorophyll-*a*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39: 791 – 803.

Cupp, E. E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*. University of California, 5(1):1-237.

Dando, P. R., D. Stüben y S. P. Varnavas. 1999. Hydrothermalism in the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, 44: 333-367.

De Bevoise, A.E., J. J Childress y N. W. Withers. 1990. Carotenoids indicate differences in diet of the hydrothermal vent crab *Bythograea thermydron* (*Brachyura*). *Marine Biology*, 105: 109-115.

De la lanza-Espino, G. y L. A. Soto. 1999. Sedimentary geochemistry of hydrothermal vents in Guaymas Basin, Gulf California, Mexico. *Applied Geochemistry*, 14: 499-510.

De Vooy, C. G. 1979. Primary production in aquatic environments. *In: The global carbon cycle*. B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe y P. Ketner (Eds.). SCOPE, 13: John Wiley and Sons. Chichester. UK, 259-9292.

Einsele, G., J. M. Gieskes, J. Curray, D. M. Moore, E. Aguayo, M. P. Abury, D. Fornary, J. Guerrero, M. Kaster, K. Kelts, M. Lyle, Y. Matoba, A. Molina-Cruz, J. Niemitz, J. Rueda, A. Saunders, H. Schrader, B. Simoneti y V. Vacquier. 1980. Intrusion of basaltic sills into highly porous sediments, and resulting hydrothermal activity. *Nature*, 238: 441-445.

Estradas-Romero A. 2010. Efectos de la geoquímica en los microorganismos en ventilas hidrotermales. *Tesis de doctorado*. Universidad Nacional Autónoma de México. 155pp.

Furlong, E.T. y R. Carpenter. 1987. Pigment preservation and remineralization in oxic coastal marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52: 87–99.

Gieskes, W.W.C., G.W. Kraay y S.B. Tijssen. 1978. Chlorophylls and their degradation products in the deep pigment maximum layer of the tropical North Atlantic. *Netherlands Journal of Sea Research*, 12: 195 - 204.

Gieskes J. M., M. Kastner, G. Einsele, K. Kelts y J. Niemitz J. 1982b. Hydrothermal activity in the Guaymas Basin. Gulf of California: a synthesis. *In* Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. 64. J. R. y. CURRAY, D. G. Moore *et al.* (Eds.). Washington. 1159-1168.

Grassle, J. F. 1985. Hydrothermal vent animals: distribution and biology. *Science*, 229: 713-717.

Guerrero, F., V. Rodríguez, B. Bautista y F. Jiménez-Gómez. 1988. Procesos de formación y pérdida de feopigmentos en sistemas pelágicos: evaluación en condiciones de laboratorio. *Investigación Pesquera*, 52: 437-449.

Gupte, S. M., H. M. El-Bisi y F. J. Francis. 1963. Kinetics of thermal degradation of chlorophyll in spinach puree. *Journal of Food Science*, 29: 379-382.

Heaton, J. W. y Marangoni, A. G. 1996. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Science & Technology*, 7: 8-15.

Hasle, G. R. y E. E. Syversten. 1997. Marine Diatoms. *In*: Thomas, R. C. (Ed.). *In*: Identifying marine phytoplankton (Ed.). Academic Press, Inc. New York. 5-385.

Herbland, A. 1988. The deep phaeopigment maximum In the ocean: reality or illusion? *In*: Rothschild, B. J. (Ed.). *Toward a theory on biological-physical interactions in the world ocean*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam, 157-172.

Hendey, N. I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal water. *In*: Part V: Bacillariophyceae (Diatoms). Fisheries Investigations Series IV. Her Majesty's Stationery Office, London, 317 pp.

Hernández-Becerril, D. U., Bravo-Sierra, E. 2001. Planktonic silicoflagellates (Dictyochophyceae) from the Mexican Pacific. *Botanica Marina*, 44: 417–423.

Jannasch, H. W. 1984. Chemosynthesis: The Nutritional Basis for Life at Deep-Sea Vents. *Oceanus, Woods Hole Oceanographic Institution*, 27: 72-78.

Jannasch, H. W. y M. J. Mottl. 1985. Geomicrobiology of Deep-Sea Hydrothermal Vents. *Science*, 229:717-725.

Jeffrey, S. W. y M. Vest. 1997. Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures. In: S.W. Jeffrey, R.F.C. Mantoura, and S.W. Wright (Eds.), *Phytoplankton Pigments in Oceanography*, UNESCO, Paris, 37-84.

Johnson, N. M., C. B. Officer, N. D. Opdyke, G. D. Woodard, P. K. Zeitler, y E. H. Lindsay. 1983. Rates of late Cenezoic tectonism in the Vallecito-Fish Creek basin, western Imperial Valley, California, *Geology*, 11: 664–667.

Jørgensen, B. B. 1977. Distribution of colorless sulfur bacteria (*Beggiatoa* spp.) in a coastal marine sediment. *Marine Biology*, 41:19-28.

Kallmeyer, J. y A. Boetius. 2004. Effects of temperature and pressure on sulfate reduction and anaerobic oxidation of methane in hydrothermal sediments of Guaymas Basin. *Applied and Environmental Microbiology*. 70:1231–1233.

Kalle K. 1938. Zum problem der Mureswasseffarbe. *Arb. d. Hydrogr. emd Mar. Meteor*, Bd, 66: 1-13.

Kowalewska, G.1994. Steryl chlorin esters in sediments of the southern Baltic Sea. *Netherland Journal of Aquatic Ecology*, 28: 149–156.

Kowalewska, G. 1995. A HPLC method of determination of chlorophylls c in samples of the marine environment. *Chemia Analityczna*. Warsaw, 40: 697–704.

Kowalewska, G., A. Witkowski, B. Toma. 1996. Chlorophylls c in bottom sediments as markers of diatom biomass in the southern Baltic Sea. *Oceanologia*, 38 (2): 227–249.

Kowalewska, G. 2005. Algal pigments in sediments as a measure of eutrophication in the Baltic environment. *Quaternary International*, 130: 141-151.

Lara-Lara, J. R., J. García-Pámanes y C. Bazán-Guzmán. 2007. Flujo vertical de materia orgánica particulada en la región central del Golfo de California. *In: B. Hernández y G. Gaxiola (Eds). Carbono en ecosistemas acuáticos de México. SEMARNAT/ INE /CICESE. . 383-395.*

Lilley, M.D. D.A. Butterfield, J.E. Lupton y E.J. Olson. 2003. Magmatic events can produce rapid changes in hydrothermal vent chemistry. *Nature*, 422: 878-881.

Lonsdale, P. J., J. L. Bischoff, V. M. Burns, M. Kastner, y R. E. Sweeney. 1980. A high-temperature thermal deposit on the seabed at a Gulf of California spreading center. *Earth and Planetary Science Letters*, 49: 8-20.

Lorenzen, C.J. 1967. Vertical distribution of chlorophyll and phaeopigments: Baja California. *Deep Sea Research*, 14: 735-745.

Lotocka M. y E. Styczynska-Jurewicz. 2001. Astaxanthin, canthaxanthin and astaxanthin esters in the copepod *Acartiabifilosa* (Copepoda, Calanoida) during ontogenetic development. *Oceanologia*, 43:487-497.

Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Price University Press, N.J. 178.

Margalef, R. y F. Vives. 1972. La vida suspendida en las algas. *In: Cinés, N Y R Margalef In: Ecología marina. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. (Eds.). Dosset S. A. 493-562.*

Montgomery, D.C. y Runger, G. C. 1996. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. (1ra.Eds.) Mc Graw Hill. pp787.

Moreno, J.L., S. Licea y H. Santoyo. 1996. Diatomeas del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur, SEP-FOMES, PROMARCO, México. 273.

Murray, D. y H. J. Schrader. 1983. Distribution of silicoflagellates in plankton samples from the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 7: 517-539.

Nègre-Sadargues G., R. Castillo, M. Segonzac. 2000. Carotenoid pigments and trophic behaviour of deep-sea shrimps (Crustacea, Decapoda, Alvinocarididae) from a hydrothermal area of the Mid-Atlantic Ridge. *Comparative Biochemistry and Physiology, part A-Molecular and Integrative Physiology*, 127(3): 293-300.

Nelson, J.R. 1993. Rates and possible mechanism of light-dependent degradation of pigments in detritus derived from phytoplankton. *Journal of Marine Research*, 51: 155–179.

Palmer, S. E., y E. W. Baker. 1978. Copper porphyrins in deep-sea sediments: a possible indicator of oxidized terrestrial organic matter. *Science*, 201: 49-51.

Peragallo, M. H. y M. Peragallo. 1908. Diatomées marines de France et des Districts maritimes voisins. A. Ashe y Co. Amsterdam Republique (Ed), 1965. 491.

Pinturier-Geiss, L., J. Laureillard, C. Riaux-Gobin, J. Fillaux, A. Saliot. 2001. Lipids and pigments in deep-sea surface sediments and interfacial particles from the Western Crozet Basin. *Marine Chemistry*, 75: 249–266.

Reuss, N. 2005. Sediment pigments as biomarkers of environmental change. Tesis de doctorado, Faculty of Science University of Copenhagen. 33pp.

Round, F E., R. M. Crawford y D. G. Mann. 1989. The diatom biology and morphology of genera. Cambridge University Press, Cambridge. 747.

Schwartz, S. y Von Elbe, J. H. 1983. Kinetics of Chlorophyll Degradation to Pyropheophytin in Vegetables. *Journal of Food Science*, 48: 1303-1306.

Simonsen, R. 1974. The diatom plankton of the Indian Ocean expedition of RV “Meteor” 1964-1965. *Meteor- Forschungsergebnisse, Reihe D.*, 19: 1-107.

Simoneit B. R. T., M. A. Mazurek, S. Brenner, P. T. Crisp y I. R. Kaplan. 1979. Organic geochemistry of recent sediments from Guaymas Basin, Gulf of California. *Deep Sea Research*, 26: 879-891.

Simoneit, B.R.T. y P. J. Lonsdale. 1982. Hydrothermal petroleum in mineralized mounds at the seabed of Guaymas Basin. *Nature*, 295: 198-202.

Simoneit, B.R.T. 1985. Hydrothermal petroleum: genesis, migration and deposition in Guaymas Basin, Gulf of California. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 22: 1919-1929.

Siqueiros-Beltrones D. A. 2002. Diatomeas Bentónicas de la Península de Baja California: Diversidad y Potencial Ecológico / David A. Siqueiros Beltrones. La Paz, B.C.S., México: Instituto Politécnico Nacional: Universidad Autónoma De Baja California Sur, 2002. VII, 109 P.: IL.; 27 CM.

Solís W. V. 1998. Atlas de anélidos poliquetos de la plataforma continental del Golfo de California, México, *Informe final del Proyecto B113*, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 326pp.

SooHoo, J. B. y D. A. Kiefer. 1982. Vertical distribution of pheopigments-a. A simple grazing and photooxidative scheme for small particles. *Deep Sea Research*, 29: 1539-1551.

SooHoo, J. B. y D. A. Kiefer. 1982. Vertical distribution of phaeopigments-b. Rates of production and kinetics of photooxidation. *Deep Sea Research*, 29: 1553-1563.

Stauber, J. L., S. W. Jeffrey. 1988. Photosynthetic pigments in fifty-one species of marine diatoms. *Journal Phycology*, 24: 158-172.

Stoń, J. y A. Kosakowska. 2002. Pigment composition in relation to phytoplankton community structure and nutrient content in the Baltic Sea. *Journal of Applied Phycology*, 14: 205–210.

Szymczak-Zyla M., G. Kowalewska. 2007. Chloropigments a in the Gulf of Gdansk (Baltic Sea) as markers of the state of this environment. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 512–528.

Tarasov, V.G., A. V. Gebruk, A. N. Mironov y L. I. Moskalev. 2005, Deep-sea and shallow-water hydrothermal vent communities: two different phenomena? *Chemical Geology*, 224, 5-39.

Thunell, R.C., Pride, C., Tappa, E., Muller-Karger, F. 1994. Varve formation in the Gulf of California: Insights from time series sediment trap and remote sensing. *Quaternary Science Reviews* ,12: 451-464.

Tunncliffe V. 1988. Biogeography and evolution of hydrothermal vent fauna in the eastern Pacific Ocean. *Proceedings of the Royal Society*, London Series B, 233: 347–66.

Van Dover, C. L. 1995. Ecology of Mid-Atlantic Ridge hydrothermal vents. In: Parson, L. M., C. L. Walker, D. R. Dixon (Eds.). Hydrothermal vents and processes. Geological Society. London. Special Publication, 87:257-294.

Van Dover, C. L. 2000. The ecology of deep-sea hydrothermal vents. Princeton University Press. 423.

Van Loey, A., V. Ooms, C. Weemaes, I. Van den Broek, L. Ludikhuyze, S. Indrawati, S. Denys, M. Hendrickx. 1998. “Thermal and Pressure-Temperature Degradation of Chlorophyll in Brócoli (*Brassica oleracea* L. italica). In Juice: a Kinetic Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 5289-5294.

Vernet, M. y C.J. Lorenzen. 1987. The presence of chlorophyll and the estimation of phaeopigments in marine phytoplankton, *Journal of plankton research*, 9: 255-265.

Vidussi, F., H. Claustre, J. Bustillos-Guzmán, C. Cailiau y J.C. Marty. 1996. A rapid method for the determination of phytoplankton pigments in natural waters including the separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *Journal of Plankton Research*, 18: 2377-2382.

Von Damm, K. L., J. M. Edmond, C. J. Measures y B. Grant. 1985. Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 2221-2237.

Von Damm, K. 1990. Seafloor hydrothermal activity: Black smoker chemistry and chimneys. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, 18:173-204.

Werner, D. 1977. Introduction with a note taxonomy. *In*: D. Werner (Ed.). The biology of diatoms. *Botanical Monographs*. Berkeley, 13: 1-18.

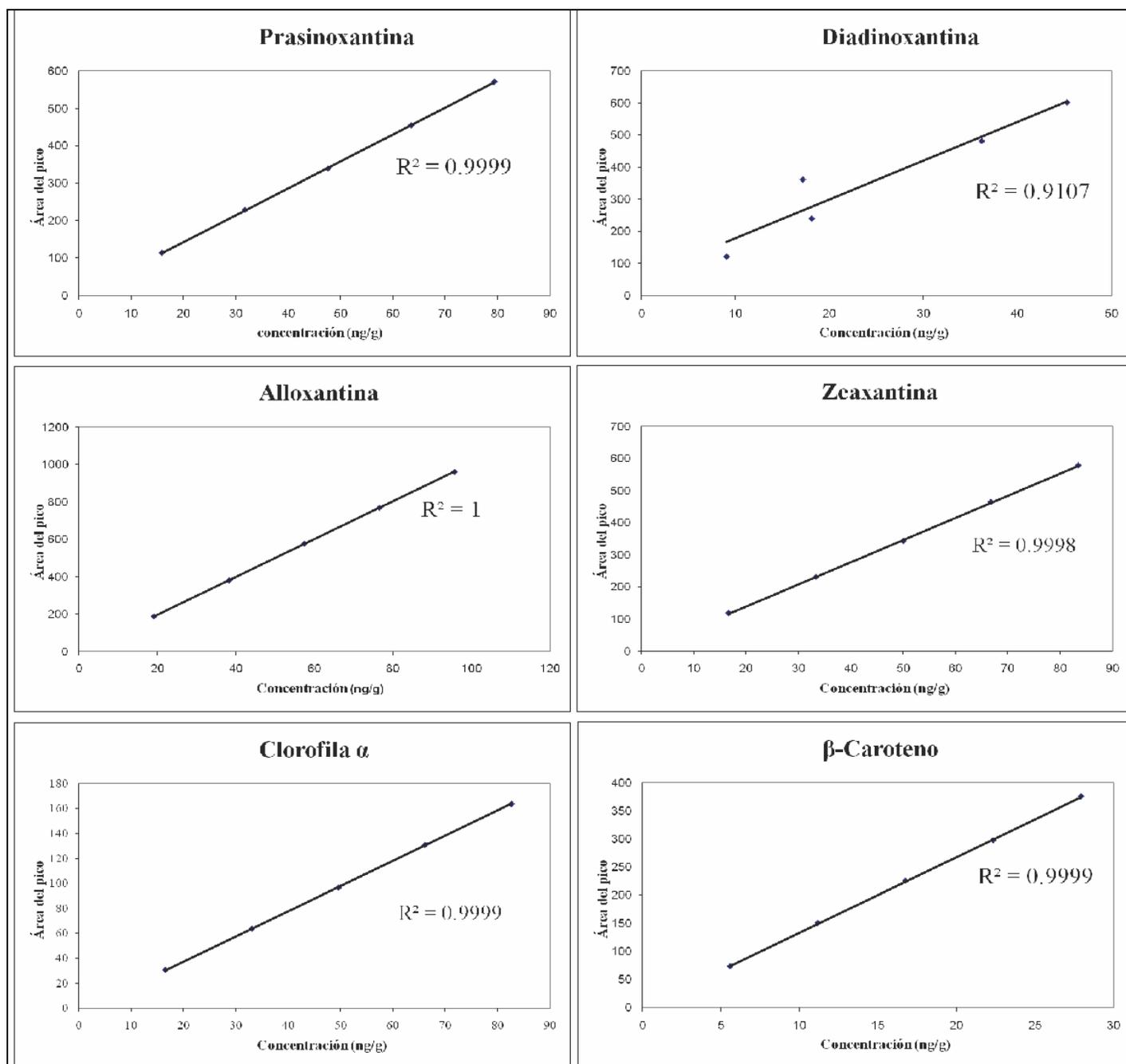
Yentsch C. S. y J. Rytner. 1959. Absorption curves of acetone extracts of deep water particulate matter. *Deep Sea Research*, 6: 72-74.

Yentsch, C.S.1965. Distribution of chlorophyll and phaeophytin in the open ocean. *Deep Sea Research*, 12: 653-666.

Zeitzschel, B.1969. Primary productivity in the Gulf of California. *Marine Biology*, 3: 201-207.

## Anexo 1

### Curvas de calibración, para la cuantificación de los pigmentos



## Anexo 2

### Lista taxonómica de diatomeas y silicoflagelados registradas en los sedimentos de ventilas hidrotermales en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California.

BM= Bentónicas marinas; PM= Planctónicas marinas

Familia	Especies	Número de núcleo			Ambiente
		4459-10	4460-1	4460-11	
Heliopeltaceae	Actinoptychus aster	1	0	1	BM
Heliopeltaceae	Actinoptychus campanulifer	1	1	0	BM
Heliopeltaceae	Actinoptychus senarius	1	1	1	BM
Heliopeltaceae	Actinoptychus vulgaris	1	0	0	BM
Asterolampraceae	Asteromphalus arachne	1	0	1	PM
Asterolampraceae	Asteromphalus flabellatus	1	0	1	PM
Asterolampraceae	Asteromphalus heptactis	0	0	1	PM
Hemidiscaceae	Azpeitia nodulifera	0	1	0	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus asteromphalus	1	1	1	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus centralis	1	1	1	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus curvatulus	1	1	1	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus gigas	0	1	1	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus granii	0	1	0	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus marginatus	1	1	1	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus radiatus	1	1	0	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus radiatus var.2	1	1	1	PM
Coscinodiscaceae	Coscinodiscus sp1.	1	0	0	PM
Stephanodiscaeae	Cyclotella meneghiniana	0	1	0	PM
Stephanodiscaeae	Cyclotella striata	1	0	0	PM
Stephanodiscaeae	Cyclotella stylorum	1	1	1	PM
Stephanodiscaeae	Cyclotella sp.1	1	0	0	PM
Dictyochaceae	Dictyocha calida	1	1	1	
Dictyochaceae	Dictyocha californica	1	1	1	
Dictyochaceae	Dictyocha fibula	1	0	0	
Dictyochaceae	Dictyocha fibula var. Robusta	1	0	0	
Dictyochaceae	Dictyocha octonaria	1	1	1	
Bacillariaceae	Fragilariopsis doliolus	1	1	1	BM

**Anexo 1. Continuación. Lista taxonómica de diatomeas y silicoflagelados registradas en los sedimentos de ventilas hidrotermales en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California.**

**BM= Bentónicas marinas; PM= Planctónicas marinas**

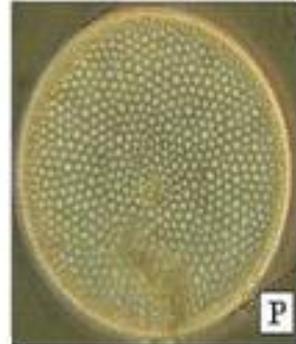
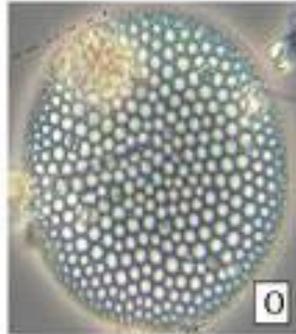
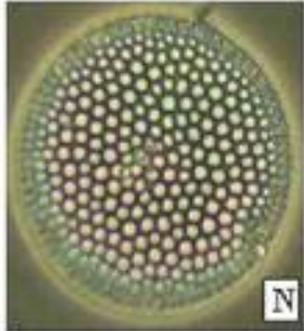
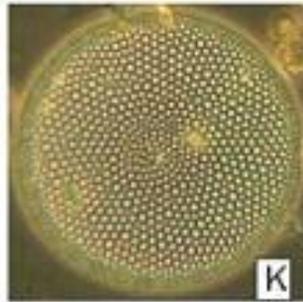
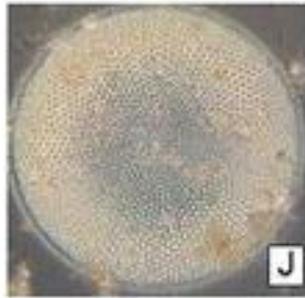
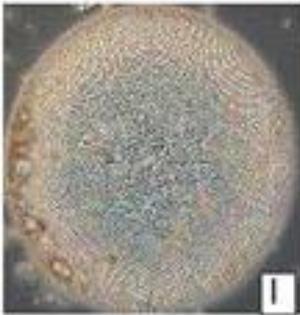
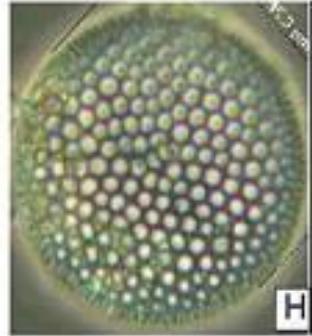
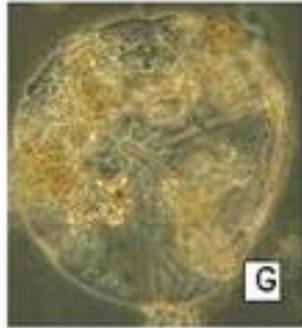
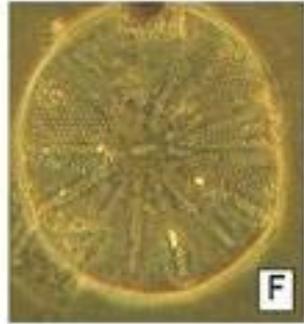
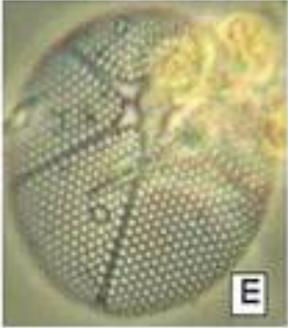
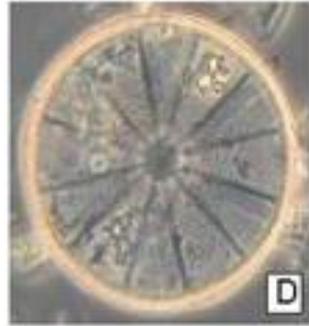
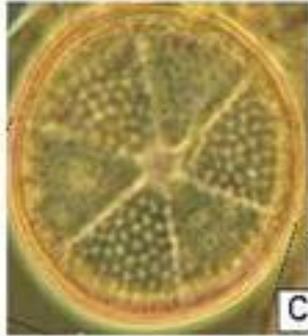
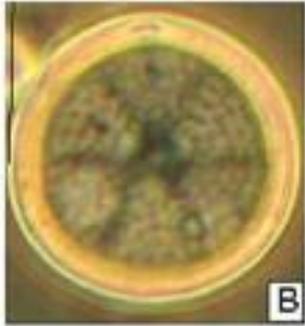
Familia	Especies	Número de núcleo			Ambiente
		4459-10	4460-1	4460-11	
Bacillariaceae	Nitzschia bicapitata	0	0	1	PM
Pinnulariaceae	Pinnularia sp.	1	0	1	PM
Bacillariaceae	Pseudonitzschia seriata	0	0	1	PM
Stephanopyxidaceae	Stephanopyxis palmeriana	1	0	0	PM
Thalassionemataceae	Thalassionema nitzschioides	0	1	0	PM
Thalassionemataceae	Thalassionema nitzschioides var 1	1	0	0	PM
Thalassionemataceae	Thalassionema nitzschioides var 2	1	1	0	PM
Thalassionemataceae	Thalassionema nitzschioides var Lancelota	1	0	0	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira anguste-lineata	1	1	1	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira decipiens	1	0	0	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira eccentrica	1	1	1	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira leptopus	1	1	1	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira lineata	1	1	0	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira oestrupii	0	0	1	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira pacifica	0	1	1	PM
Thalassiosiraceae	Thalassiosira simonsenii	0	1	0	PM

# **Láminas Fitoplancton**

**Diatomeas Centrales (Coscinodiscophyceae)**

**Escala:** 10-50µm: *B, D, E, H, N, O*; 50-100µm: *A, C, F, K, M, P*; 100-200µm: *G, I, J*;  
<200µm: *L*.

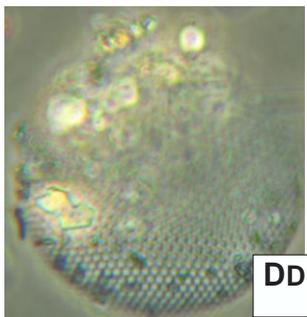
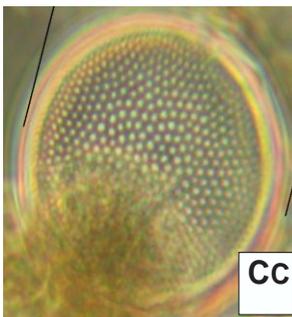
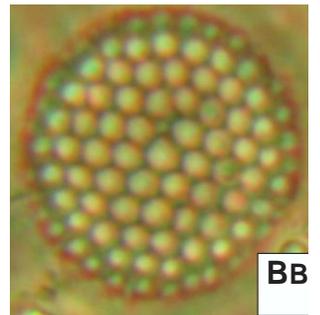
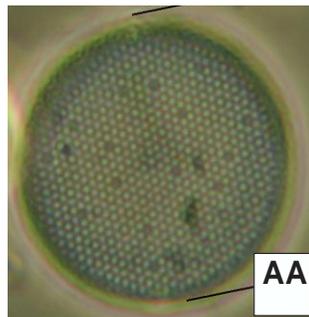
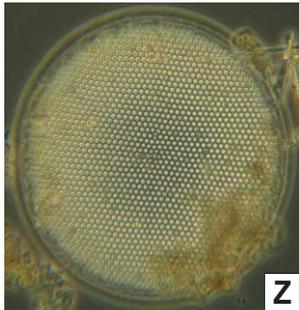
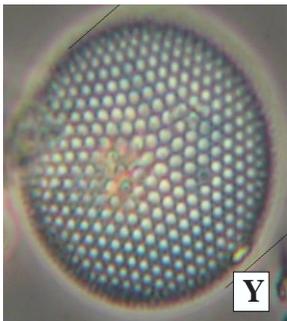
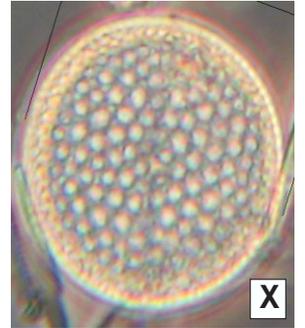
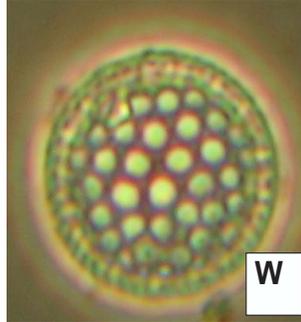
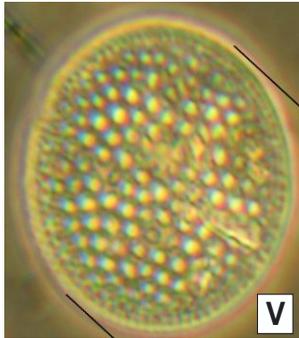
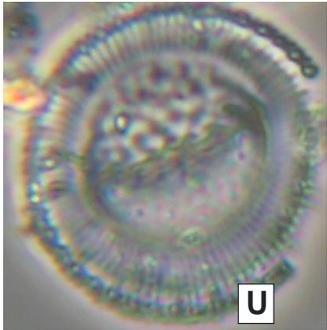
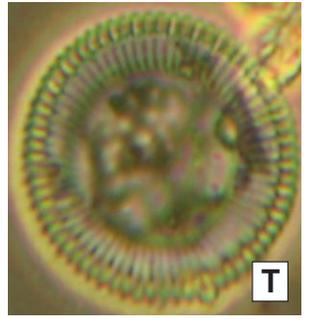
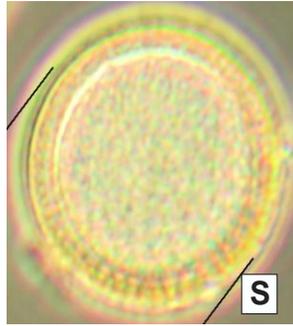
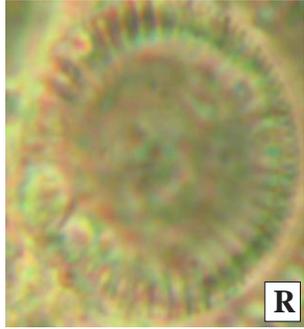
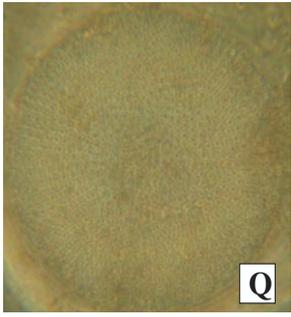
- A. Actinoptychus aster* Brun (1892)
- B. Actinoptychus campanulifer* Schimidt (1875)
- C. Actinoptychus senarius* Ehrenberg (1843)
- D. Actinoptychus vulgaris* Schuman (1867)
- E. Asteromphalus arachne* Ralfs (1861)
- F. Asteromphalus flabellatus* Greville (1859)
- G. Asteromphalus heptactis* Ralfs (1861)
- H. Azpeitia nodulifera* M. Peragallo (1912)
- I. Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg (1844)
- J. Coscinodiscus centralis* Ehrenberg (1838)
- K. Coscinodiscus curvatulus* Grunow (1878)
- L. Coscinodiscus gigas* Ehrenberg (1841)
- M. Coscinodiscus granii* Gough (1905)
- N. Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg (1841)
- O. Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg (1839)
- P. Coscinodiscus radiatus* var.2 Licea-Durán (1974)



**Diatomeas Centrales (Coscinodiscophyceae)**

**Escala:** 10-50µm: **R, S, T, U, V, W, X, Y, AA, BB, CC**; 50-100µm: **DD**; 100-200µm: **Q, Z**;  
<200µm:-.

- Q. Coscinodiscus sp1.* Ehrenberg (1838)
- R. Cyclotella meneghiniana* Kützing (1844)
- S. Cyclotella striata* Grunow (1880)
- T. Cyclotella stylorum* Brightwell (1860)
- U. Cyclotella sp.1* Kützing (1833)
- V. Stephanopyxis palmeriana* Gran y Yendo (1913)
- W. Thalassiosira anguste-lineata* Fryxell y Hasle (1977)
- X. Thalassiosira decipiens* Jørgensen (1905)
- Y. Thalassiosira eccentrica* Cleve (1903)
- Z. Thalassiosira leptopus* Fryxell y Hasle (1977)
- AA. Thalassiosira lineata* Jousé (1968)
- BB. Thalassiosira oestrupii* Proschkina-Lavrenk (1960)
- CC. Thalassiosira pacifica* Gran y Angst (1931)
- DD. Thalassiosira simonsenii* Hasle y Fryxell (1977)



**Diatomeas Penales (Bacillariophyceae y Fragilariophyceae)**

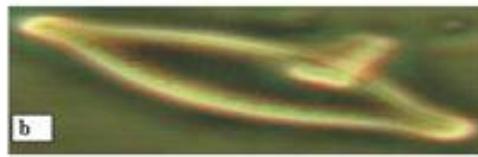
**Escala:** 10µm50µm: *b, c, e, f, h*; 50-100µm: *a, d, g, i*; 100-200µm:- ; <200µm:-.

**RAFIDE (Bacillariophyceae)**

- a. Fragilariopsis doliolus* Medlin y Sims (1993)
- b. Nitzschia bicapitata* Cleve (1900)
- c. Pinnularia* sp. Ehrenberg (1843)
- d. Pseudonitzschia seriata* Cleve (1883)
- e. Sellaphora pupula* var. *Rectangularis* Czarnecki (1994)

**ARAFIDE (Fragilariophyceae)**

- f. Thalassionema nitzschioides* Mereschkowsky (1902)
- g. Thalassionema nitzschioides* var. *1* Moreno-Ruiz (1995)
- h. Thalassionema nitzschioides* var. *2* Moreno-Ruiz (1995)
- i. Thalassionema nitzschioides* var. *Lancelota* Peragallo y Peragallo, 1901



**Silicoflageladas (Dictyochophyceae)**

**Escala:** 10-50µm: *A, C*; 50-100µm: *B, D, E*; 100-200µm:-; <200µm:-.

- A. Dictyocha calida* Poelchau (1976)
- B. Dictyocha californica* Schrader *et* Murray (1985)
- C. Dictyocha fibula* Ehrenberg (1930)
- D. Dictyocha fibula* var. *robusta* Schrader *et* Murray (1985)
- E. Dictyocha octonaria* Gemeinhardt (1930)

