



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Estudio ecológico de los radiolarios
policistíneos del Holoceno tardío, en la
Cuenca de la Paz, Golfo de California.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

LAURA ELENA GÓMEZ LIZÁRRAGA

TUTOR

DRA. LIGIA L. PÉREZ CRUZ



2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con especial cariño a mis padres Josefina Lizárraga Moreno y Carlos E. Gómez de la Cruz, por la educación que me han brindado, por su apoyo y amor incondicional, por ser siempre mi ejemplo.

A mi hermana Karla por su cariño y sus consejos, por que siempre me impulsó y animó para la culminación de este trabajo.

A mi hermano Sergio por su alegría y entusiasmo, por quererme y apoyarme siempre.

AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial a la Dra. Ligia L. Pérez Cruz, por la dirección de esta tesis, por su enseñanza académica, dedicación, motivación, por permitirme formar parte del grupo de la nucleoteca, por la confianza que has depositado en mi, pero sobretodo por brindarme tu amistad.

A los revisores de esta tesis: Dra. Maria Luisa Machain Castillo, Dra. Adela Monreal Gómez, Dr. Frank Raúl Gío Argaez y a la Dra. María Antonieta Aladro Lubel por el tiempo dedicado, observaciones y comentarios para la mejora de este trabajo.

Al Dr. David A. Salas de León y a la tripulación que participó en la campaña oceanográfica DIPAL I a bordo del B/O "El Puma", por la colecta de las muestras utilizadas en el presente estudio.

Al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi por sus conocimientos, apoyo y motivación.

A la DGAPA PAPIIT-UNAM (Proyecto IN115206-2) por la beca otorgada para la realización de esta tesis.

A mis compañeros y amigos de la nucleoteca: Gladys, Paty, Marisol, Ángel, Malena, Ricardo y Arturo por convivir conmigo todo este tiempo, por su amistad y apoyo.

A mis amigos de la facultad Marisol, Fernando, Ana, Gerardo, Ale, Verónica, Memo, Gaby, Rosa, Nirani y todos los que faltan por nombrar, por todos los momentos compartidos, por su apoyo, comprensión, cariño, por siempre estar conmigo.

A todas las personas que colaboraron directa o indirectamente durante el desarrollo de este trabajo.

Hoja de datos del Jurado

1 Datos del alumno

Gómez
Lizárraga
Laura Elena
58-44-76-07
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
300195008

2 Datos del tutor

Dra.
Ligia Lucina
Pérez
Cruz

3 Datos del sinodal 1

Dr.
Frank Raúl
Gío
Argáez

4 Datos del sinodal 2

Dra.
María Antonieta
Aladro
Lubel

5 Datos del sinodal 3

Dra.
María Luisa
Machain
Castillo

6 Datos del sinodal 3

Dra.
María Adela
Monreal
Gómez

CONTENIDO

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
<u>LOS RADIOLARIOS</u>	2
Clasificación taxonómica	2
Origen y evolución	3
Organización celular	3
Complejo núcleoaxopodial	5
Nutrición	7
Reproducción	7
Longevidad	8
Sistema de flotación	8
Esqueleto	8
Pared del esqueleto	9
Espinas	10
Principales criterios de clasificación	11
Superorden Polycystina	11
Orden Spumellaria	11
Orden Nassellaria	12
Orden Entactinariaria	15
Orden Collodaria	16
Distribución y ecología	17
Distribución de los radiolarios en los sedimentos marinos y su aplicación en estudios paleoceanográficos.	18
<u>MARCO OCEANOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO</u>	19
Circulación general del Océano Pacífico Oriental	19
El Golfo de California	21
Climatología	21
Circulación termohalina	23
Masas de agua	24
Batimetría	25
Sedimentos	27
Sedimentos laminados	28
Cuenca de la Paz	29
<u>VARIABILIDAD CLIMÁTICA DEL HOLOCENO</u>	30
OBJETIVOS	32
MATERIALES Y MÉTODOS	33
Colecta de muestras	33
Corte y muestreo de la secuencia de sedimentos	33
Descripción de la secuencia sedimentaria	34
Muestreo	34
Tratamiento químico de las muestras	34
Preparación y montaje de los portaobjetos	35
Conteo y determinación taxonómica	35
Análisis estadístico	36
Datación con Plomo 210 (²¹⁰ Pb)	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
Descripción de la secuencia sedimentaria K47	38
Abundancias de radiolarios policistíneos	39
Marco cronológico: Datación con Plomo 210 (²¹⁰ Pb)	40
Interpretación paleoceanográfica a través del análisis de las asociaciones de radiolarios policistíneos	42
CONCLUSIONES	50
LITERATURA CITADA	52

ANEXOS

- ANEXO I. Lámina 1.
- ANEXO II. Listado faunístico de los taxa encontrados en la secuencia sedimentaria K47 en la cuenca de la Paz, Golfo de California, México.
- ANEXO III. Matriz de abundancia relativa utilizada en el análisis de factores.
- ANEXO IV. Resultado del análisis de factores, carga del factor, comunalidades y valor del factor.
- ANEXO V. Descripción de los taxa utilizados en el análisis de factores.

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1. Exceso de ^{210}Pb de los primeros 18 cm de la secuencia de sedimentos del núcleo K47 mostrando la edad aproximada (datos utilizados en el cálculo de la tasa de sedimentación).	41
Tabla 5.2. "Eigenvalues" obtenidos en el Análisis de Factores "modo Q".	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de un corte longitudinal del protoplasma celular de radiolarios policistíneos. Relación entre membrana capsular, membrana celular, endoplasma y ectoplasma. Modificado por De Wever et al. (1994).	4
Figura 1.2. Diferentes tipos de complejos nucleoaxopodiales. Modificado por De Wever et al. (1994, 2001).	6
Figura 1.3. Principales tipos de pared de radiolarios policistíneos. Tomado de De Wever et al. (2001).	9
Figura 1.4. Forma y estructura de las espinas principales de policistíneos. Tomada de Afanasieva (2007).	10
Figura 1.5. Morfología de la teca de un espumelario, estructuras básicas que lo componen. Modificado de Petrushevskaya (1971).	12
Figura 1.6. Teca de un naselario señalando las estructuras básicas, con particular detalle en la espícula inicial, estructura de collar y los poros asociados a la misma. Modificado de Petrushevskaya (1971), De Wever et al. (2001) y Benson (2005).	14
Figura 1.7. Morfología del esqueleto de un entactinario. Tomado de De Wever et al. (2001).	15
Figura 1.8. Morfología del esqueleto de un colodario colonial. Tomado de De Wever et al. (2001).	16
Figura 1.9 Rangos estratigráficos de las familias de radiolarios policistíneos encontradas en la secuencia de sedimentos K47. Redibujado de De Wever et al. (2001).	16
Figura 2.1. Sistemas de Corrientes. Tomado de Pérez-Cruz (2007).	20
Figura 2.2. Ubicación de los centros de presión atmosférica, la Zona de convergencia intertropical (ZCIT) y la dirección de los vientos mostrando su distribución en invierno y verano. Modificado de Goñi et al. (2006).	21

Figura 2.3.	Climatología anual del Golfo de California. Tomado de Pride et al. (1999).	23
Figura 2.4.	Batimetría del Golfo de California, principales cuencas y regiones. Tomado de Lavín & Marione (2003). Perfil batimétrico de las principales cuencas. Tomada de Pérez-Cruz (2008).	26
Figura 2.5.	Ubicación de la del núcleo K47, cuenca de la Paz, Golfo de California. Tomado de Pérez-Cruz (2007).	29
Figura 3.1.	Gráfica que muestra las temperaturas medias de superficie para el Hemisferio Norte durante del Holoceno, en ella se muestra el PCM y la PEH. Modificado de Dansgaard et al. (1969).	31
Figura 5.1.	Descripción litológica y radiografía de la secuencia de sedimentos K47.	38
Figura 5.2.	Abundancia relativa de los radiolarios policistíneos: Naselarios vs Espumelarios a lo largo de la secuencia sedimentaria.	39
Figura 5.3.	Correlación del decaimiento exponencial del exceso de ^{210}Pb vs la profundidad del sedimento superficial K47.	41
Figura 5.4.	Factores definidos para la Cuenca de la Paz con respecto a la profundidad de la columna sedimentaria y la edad estimada.	43
Figura 5.5.	Valores del factor de los taxa que definen el Factor 1.	44
Figura 5.6.	Valores del factor de los taxa que definen el Factor 2.	46
Figura 5.7.	Valores del factor de los taxa que definen el Factor 3.	47

RESUMEN

Con el fin de documentar la variabilidad oceanográfica y climática del Holoceno tardío en la Cuenca de la Paz ubicada al sur del Golfo de California, se obtuvo la secuencia de sedimentos laminados "K47" de 145 cm de longitud, a 830 m de profundidad.

A través de las dataciones por el método de ^{210}Pb , se estimó el modelo de edad y la tasa de sedimentación en la región, la cual es de 0.7 mm/año, por lo que la secuencia estudiada tiene un alcance de los últimos 1881 años.

Se realizó un estudio ecológico utilizando como *proxy* oceanográfico a los radiolarios policistíneos, estos son considerados como uno de los grupos de microfósiles marinos de mayor importancia en estudios paleoceanográficos y paleoecológicos.

Se identificaron 165 taxa en 30 intervalos cada 5 cm a lo largo de toda la secuencia. Mediante un análisis estadístico multivariado, análisis de factores "modo Q", se definieron las asociaciones de radiolarios y a través de la interpretación de sus afinidades ecológicas y de condiciones oceanográficas de la región se sugieren los siguientes escenarios oceánico y climático para el Holoceno tardío.

Un clima relativamente más cálido y seco que el actual entre ~ 120 a 768 A. D. y una señal en 1222 A.D., definido por las especies *Clathrocircus stapedius*, *Lithomelissa thoracites* y *Arachnocorallium calvata*. Estas condiciones pudieron favorecer el proceso de evaporación de las aguas superficiales y la formación de una masa de agua con propiedades similares al Agua del Golfo de California (relativamente salina). En particular se sugiere que la señal de ~ 1222 años puede estar relacionada con el episodio climático conocido como el Período Cálido Medieval.

Entre ~ 833 a 1417 A.D. se infieren condiciones climáticas relativamente frías, en donde los procesos de surgencias fueron frecuentes y/o intensos en la cuenca, propiciados por una mayor intensificación de los vientos locales, promoviendo un aumento en la productividad biológica en la región y por consiguiente la dominancia de *Phortidium pylonium* grupo.

Para el período comprendido entre ~ 1547 a 1937 A.D. se tiene una dominancia de *Arachnocorallium calvata* y *Tetrapyle octacantha* grupo, las cuales presentan mayor afinidad a aguas cálidas y oligotróficas, sugieren un clima cálido-húmedo con una mayor permanencia del Agua Superficial Ecuatorial, posiblemente como resultado de una mayor frecuencia y/o intensidad de eventos de "El Niño".

INTRODUCCIÓN

La sedimentación de partículas de origen biogénico y litogénico en el fondo oceánico contiene información relativa a la dinámica oceánica y biológica en la superficie del mar, así como a los procesos climáticos. En particular, la contribución de los esqueletos de sílice de los radiolarios a los sedimentos del fondo se ha estimado que es menor del 10% (Takahashi & Honjo, 1981). Sin embargo, la abundancia de ópalo biogénico, tanto de las diatomeas y de los radiolarios en el piso oceánico se relaciona con los patrones de productividad, asimismo, las asociaciones de radiolarios encontradas en los sedimentos no son muy diferentes de la biocenosis en el plancton (de Wever, et al., 2001), por lo que se utilizan como un proxy oceanográfico.

Estudios previos basados en los cambios en la composición de la tanatocenosis de estos organismos se han llevado a cabo para reconstruir cambios oceanográficos, tales como: variaciones geográficas de los frentes oceanográficos, circulación de las aguas superficiales y subsuperficiales, cambios en la productividad, temperatura, salinidad, etcétera. Por lo que, a través del estudio de las asociaciones de radiolarios en una columna sedimentaria se pueden inferir patrones oceanográficos, tendencias climáticas y eventos secuenciales en diferentes resoluciones temporales (Pérez-Cruz & Caudillo-Bohorquez, 2006)

En algunas cuencas del Golfo de California es posible encontrar registros naturales geológicos, denominados de alta resolución (sedimentos laminados), los cuales son el resultado de la alta productividad en las aguas superficiales y de condiciones de oxígeno mínimo en las aguas de fondo, que inhiben su perturbación.

En la Cuenca de la Paz, localizada en la región suroccidental del Golfo se preservan este tipo de registros. En este estudio basado en el análisis de las asociaciones de radiolarios policistíneos y sus afinidades ecológicas de una secuencia de sedimentos laminados de la Cuenca de la Paz se sugieren escenarios climáticos y oceanográficos de los últimos 1881 años, en una resolución temporal centenaria.

LOS RADIOLARIOS

El tema que se aborda en el presente apartado es el de conocer la biología básica de los radiolarios, que abarca una síntesis de su organización celular, nutrición, reproducción, longevidad y, de manera particular, la morfología del esqueleto y las estructuras que lo componen, por ser éstas las características determinantes en la clasificación taxonómica de este grupo. Así mismo, se indica su distribución y ecología, por último, se resalta su importancia en estudios paleoceanográficos.

Los radiolarios son protozoarios de vida libre, marinos y holoplanctónicos, es decir que durante todo su ciclo de vida forman parte del plancton y se les considera dentro del microzooplancton, ya que su tamaño en promedio es de 50-300 μm . Se caracterizan por poseer un esqueleto compuesto por sílice opalino (Armstrong & Brasier, 2005; De Wever et al., 2001).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

De acuerdo a De Wever et al. (2001) la posición taxonómica de estos organismos es la siguiente:

REINO: Protista Haeckel, 1868

PHYLUM: Sarcodina Hertwig & Lesser, 1876

CLASE: Actinopoda Calkins, 1909

SUBCLASE: Radiolaria Müller, 1958

SUPERORDEN: Polycystina Ehrenberg, 1875, enmend. Riedel, 1967

ORDEN: Archaeospicularia Dumitrica, Caridroit & De Wever, 2000

Albaillellaria Deflandre, 1953

Latentifistularia Caridroit, De Wever & Dumitrica, 1999

Spumellaria Ehrenberg, 1875 enmend. De Wever et al., 2001

Nassellaria (Ehrenberg, 1875 enmend. De Wever et al., 2001

Entactinaria Kozur & Mostler, 1982

Collodaria Haeckel, 1881

Esta clasificación se basa en el principio de que el elemento del esqueleto que se desarrolla primero es la estructura más conservativa que se presenta durante la evolución y por lo tanto el nivel sistemático de familia y superfamilia esta determinado a partir de ella.

ORIGEN Y EVOLUCIÓN

El origen de los radiolarios es incierto. Nazarov (1973) y Petrushevskaya (1977)¹ basados en consideraciones relacionadas con la simetría de estos organismos, sugieren que el grupo podría derivar de protistas de hábitos bentónicos que en el curso de la evolución perdieron su vinculación con el fondo.

Estudios de la evolución del grupo indican que durante todo el Paleozoico la diversificación es moderada, en el Triásico se produce una expansión notable y de ahí en adelante la cantidad de familias nuevas que aparece está aproximadamente balanceada con las que se extinguen, de manera que la alta diversidad general se mantiene hasta el Holoceno (Boltovskoy & Pujana, 2008).

ORGANIZACIÓN CELULAR

La característica exclusiva de este grupo es la presencia de una cápsula central, la cual está rodeada por una membrana capsular firme pero elástica, perforada, pigmentada, compuesta de quitina y pseudoquitina, que divide el citoplasma en dos regiones (Fig. 1.1):

- 1) Endoplasma (citoplasma intracapsular). En el se sitúan organelos vitales: mitocondrias, aparato de Golgi (dictiosoma), vacuolas de diferente tamaño y composición química, uno o más núcleos y el axoplasto, el cual controla el crecimiento y movilidad de los axópodos (Fig. 1.2), y sus funciones son reproducción, respiración, anabolismo y catabolismo (Kling, 1978).
- 2) Ectoplasma (citoplasma extracapsular). Constituido por tres capas, las cuales se describen brevemente a continuación:
 - a) Sarcomatriz. Capa interna delgada que envuelve a la cápsula central. Es en esta zona donde se realiza la asimilación del material nutritivo.
 - b) Calima. Capa central compuesta de citoplasma gelatinoso, contiene vacuolas digestivas, alveolos con gases y en muchos casos algas simbiotes.
 - c) Sarcodictium. Capa externa que forma una malla sobre la superficie del calima que presenta abundantes filópodos los cuales son de gran importancia en la captura del alimento y en la eliminación de desechos metabólicos.

¹ Non vide, fide Boltovskoy & Pujana, 2008.

Las funciones del ectoplasma son flotabilidad, nutrición y eliminación de desechos (Kling, 1978; De Wever et al., 2001).

Ambas regiones están en continuidad estructural y fisiológica a través de los poros de la membrana capsular, fisuras capsulares y fúsulas (Fig. 1.1). Las fisuras capsulares son pequeños tubos por los cuales la parte cortical del endoplasma está en comunicación con el ectoplasma donde se forma la sarcomatriz. Las fúsulas son pequeños tubos por los cuales pasan los filamentos axiales de los axópodos (Anderson, 1983).

Los radiolarios poseen dos tipos principales de pseudópodos (Fig. 1.1):

- 1) Axópodos. Estructuras alargadas rígidas que se encuentran insertadas en el interior del axoplasto, atraviesan la membrana capsular y generalmente se extienden radialmente hacia el exterior.
- 2) Filópodos. Prolongaciones finas de la membrana celular del sarcodictium, son aproximadamente radiales y pueden anastomosarse (Kling, 1978).

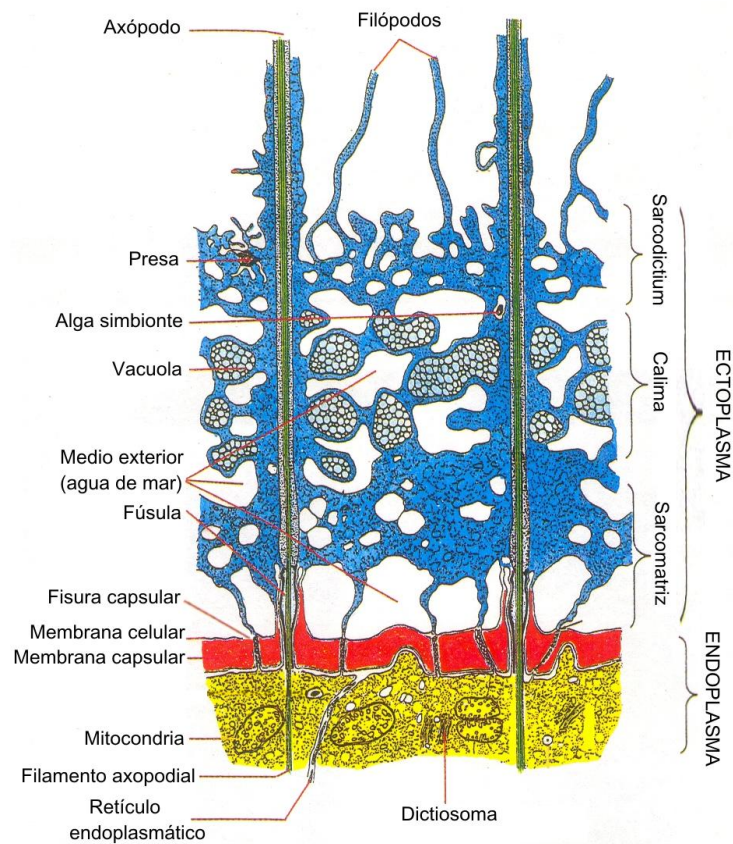


Fig. 1.1 Esquema de un corte longitudinal del citoplasma celular de radiolarios policistíneos. Relación entre membrana capsular, membrana celular, endoplasma y ectoplasma. Se muestran fúsulas, fisuras y pseudópodos. Modificado por De Wever et al. (1994).

COMPLEJO NÚCLEOAXOPODIAL

Hollande & Enjument (1960)² realizaron estudios basados en detalles estructurales de la célula viva, principalmente en la relación entre el tamaño y forma del núcleo comparado con el axoplasto y el patrón de distribución de los axópodos y proponen una sistema de nomenclatura que definen los siguientes tipos de complejos núcleoaxopodiales: periaxoplastidios, centroaxoplastios y criptoaxoplastidios, por su parte Cachon & Cachon (1968)³ comparan la posición del axoplasto con respecto a la espícula inicial⁴ y definen dos formas: proaxoplastidios y apoaxoplastidios. Estos complejos se explican a continuación (Fig. 1.2).

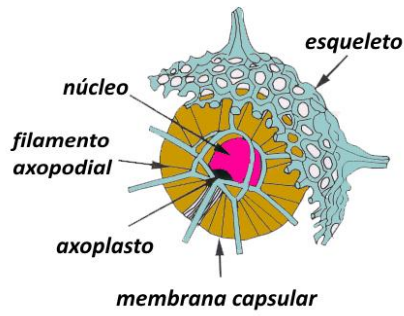
- a) Periaxoplastidios. Poseen un enorme axoplasto el cual se encuentra parcialmente encerrado por un núcleo generalmente hemiesférico, numerosos canales finos penetran el nucleoplasma y contienen los axópodos que emergen del axoplasto.
- b) Centroaxoplastios. Presentan un axoplasto completamente rodeado por el núcleo, los axópodos radiales atraviesan el núcleo, el endoplasma y la pared capsular a través de fúsculas.
- c) Criptoaxoplastidios. Poseen axoplastos reducidos ubicados en la base de los axópodos, estos se distribuyen sobre el núcleo en toda su superficie o de manera localizada.
- d) Proaxoplastidios. Axoplasto localizado cerca de la barra media de la espícula inicial.
- e) Apoaxoplastidios. La barra media de la espícula inicial se encuentra alejada del axoplasto, pero cerca del área polar (área aproximadamente circular que concentra las fúsculas que se encuentran en la pared de la cápsula central).

² Non vide, fide De Wever et al., 2001.

³ Non vide, fide De Wever et al., 2001.

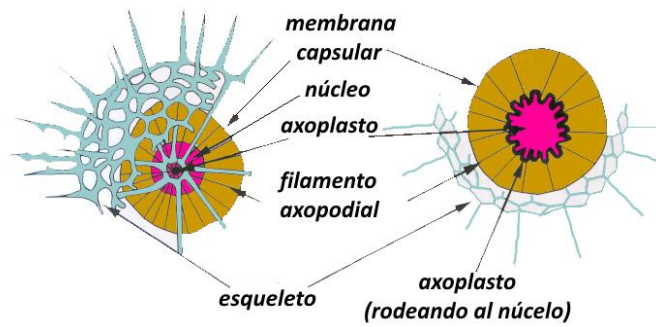
⁴ La espícula inicial es la estructura básica del orden Nassellaria está definida por la asociación de una barra media y de 6-8 espinas principales.

A) ENTACTINARIA



Periaxoplastidio

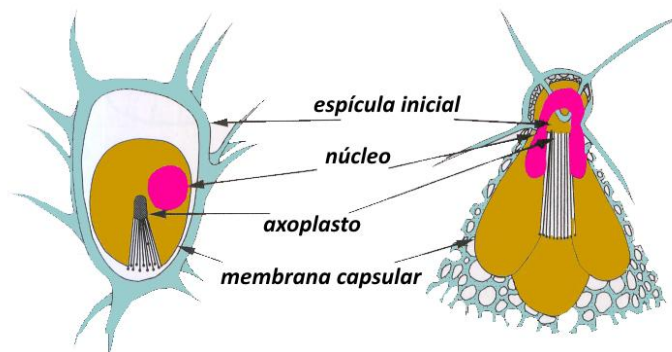
B) SPUMELLARIA



Centroaxoplastidio

Criptoaxoplastidio

C) NASSELLARIA



Apoaxoplastidio

Proaxoplastidio

Fig. 1.2 Diferentes tipos de complejos nucleoxopodiales encontrados en A) entactinarios, B) espumelarios y C) nasselarios. Modificado por De Wever et al. (1994, 2001).

NUTRICIÓN

Los radiolarios son omnívoros, se alimentan de una gran variedad de organismos. Los mecanismos de captura dependen de la habilidad para atrapar e inmovilizar a la presa mediante el uso de los axópodos y del tamaño de esta última, se ha observado que el límite máximo de longitud de la presa es de ~1 cm. Las partículas de comida son digeridas por vacuolas dentro del calima y los nutrientes pasan a través de la cápsula central perforada hacia el endoplasma (Anderson, 1983)

Una porción significativa de radiolarios poseen simbioses, los dinoflagelados son el grupo más común con una densidad que va de decenas a miles por individuo. Los simbioses se encuentran embebidos en el citoplasma de las vacuolas. También se pueden encontrar algas comensales asociadas a la red de pseudópodos (De Wevere, et al., 2001).

Los radiolarios que se distribuyen en regiones superficiales se alimentan de diatomeas y otros protozoarios y pueden establecer relación simbiótica con algas que les proveen energía, de tal manera que los radiolarios pueden estar por periodos relativamente largos sin una aparente nutrición externa, mientras que se tenga luz disponible que sustente al simbiote, el cual se encuentra en un medio protegido brindado por el radiolario, esta relación se establece de manera temprana durante su ontogenia. Los radiolarios que se encuentran en las capas más profundas se alimentan de bacterias y materia orgánica en suspensión (De Wever, et al., 2001; Armstrong & Brasier, 2005).

REPRODUCCIÓN

Se cree que los radiolarios poseen un ciclo reproductivo que alterna una fase asexual y otra sexual (aún no definida). La fase asexual dada por el proceso de fisión binaria tiene lugar desde el núcleo hasta el ectoplasma, durante esta división una de las células conserva el antiguo esqueleto, mientras que la otra forma uno nuevo. La fase sexual propuesta implicaría la división del núcleo en numerosos isogametos que darán lugar a nuevos individuos tras la fecundación (Arz, 2004). Los radiolarios se hunden durante la reproducción como consecuencia de la pérdida de alveolos (Kling, 1978).

LONGEVIDAD

La longevidad estimada para varias especies de radiolarios es de un par de semanas o algo más de un mes (Boltovskoy & Pujana, 2008), la cual ha sido calculada indirectamente de dos formas: 1) mediante la extrapolación del tiempo de sobrevivencia que es altamente dependiente del tamaño del organismo al tiempo de captura de individuos juveniles estudiados en laboratorio y 2) a través de la determinación del tiempo de residencia de las poblaciones naturales en comunidades planctónicas, aunque ninguno de estos métodos representa con exactitud dicho parámetro, actualmente son los mejores medios disponibles que se tienen ya que no ha sido posible obtener generaciones sucesivas de radiolarios en condiciones de laboratorio (De Wever et al., 2001).

SISTEMA DE FLOTACIÓN

El sistema de flotación de los radiolarios está constituido por los glóbulos de grasa y alveolos de gas que regulan el balance de CO₂ en el citoplasma, auxiliado por los pseudópodos que aumentan el área de superficie (Kling, 1978). La resistencia a la fricción se incrementa por el desarrollo de largos y rígidos axópodos que surgen de las espinas. Los esqueletos perforados ayudan a reducir el peso del organismo. La forma de los radiolarios es una adaptación al modo de vida planctónico, los esqueletos esféricos o discoïdales favorecen la flotabilidad y los alargadas parecen ser adaptaciones para áreas de corrientes ascendentes (Armstrong & Brasier, 2005).

ESQUELETO

Casi toda la masa celular de un radiolario está protegida dentro de un esqueleto interno (endoesqueleto) constituido por sílice amorfo (SiO₂), el cual se encuentra rodeado por citoplasma suave denominado citocalima que evita el contacto directo de las partes duras con el agua de mar, por lo tanto el esqueleto de organismos vivos no está sujeto a la disolución (Anderson, 1983).

Los radiolarios presentan gran variedad morfológica de esqueletos. El esqueleto está típicamente construido por una red de elementos silíceos de los cuales hay dos tipos fundamentales (Fig. 1.5): 1) las barras que son elementos alargados conectados en ambos extremos y 2) las espinas que son elementos conectados en un sólo extremo (Kling, 1978).

PARED DEL ESQUELETO

Los principales tipos de estructura de pared del esqueleto son: reticulada, esponjosa y perforada (Kling, 1978) (Fig1.3).

- a) Pared reticulada. Consiste en una red de barras que forma poros muy próximos. La forma básica de los poros es hexagonal pero el depósito al interior de los poros produce un contorno redondeado. La forma y distribución de los poros son consistentes en una especie y son utilizados para determinación taxonómica.
- b) Pared esponjosa. Entramado de barras relativamente delgadas entrelazadas en una red tridimensional, no se reconoce un patrón claramente definido de poros.
- c) Pared perforada. Pared compacta y uniforme con poros espaciados. Probablemente responde a una estructura similar a las anteriores en la que el crecimiento de la barra ha ido cerrando los poros por precipitación de sílice sobre ellas.

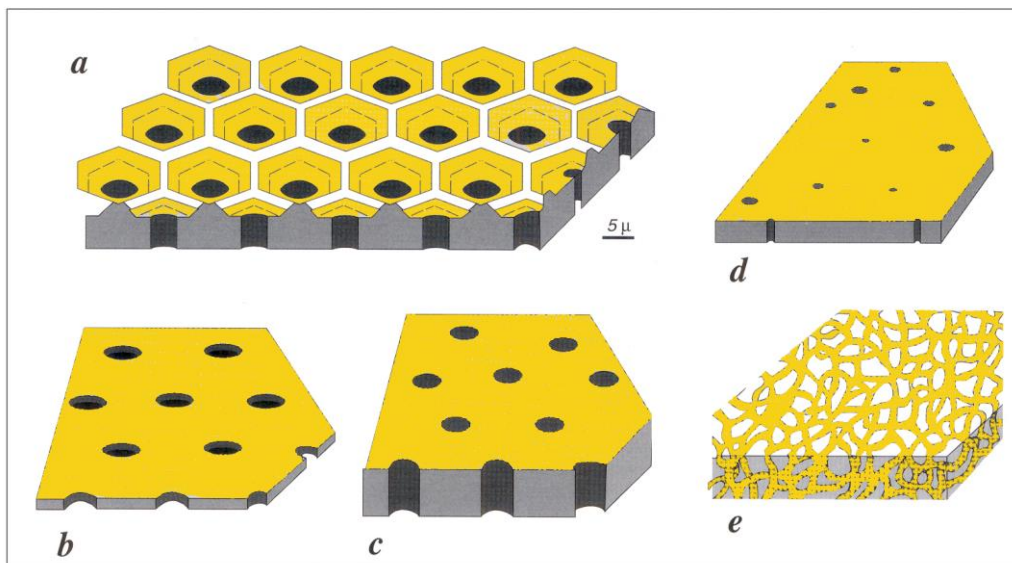


Fig. 1.3 Principales tipos de pared de radiolarios policistíneos. Diferentes tipos de pared reticulada representadas con poros de tamaño similar en cada caso (a, b y c) el tamaño de poro puede ser mayor o menor en comparación con la pared perforada (d). Se esquematiza el marco poligonal de los poros (a), se representan tecas con pared delgada (b) pared gruesa (c) y pared esponjosa (e). Tomado de De Wever et al. (2001).

ESPINAS

Los radiolarios presentan espinas externas de muy diversas formas, las cuales están funcionalmente conectadas con los axópodos, ayudando al soporte de los mismos (Afanasieva, 2007). Las espinas principales son aquellas que se originan en la teca interna y se proyectan más allá de la teca externa, las espinas secundarias o accesorias se forman en los nodos o puntos de intersección de las barras que forman los poros y se encuentran en la superficie de la teca externa y las barras que soportan y conectan a las tecas entre sí se denominan barras radiales internas (Fig. 1.5).

Las espinas pueden ser huecas (con canal interno) o sólidas, comúnmente la mayoría de las espinas de los radiolarios son sólidas, individuales y rectas, sin embargo las espinas curvas, anastomosadas y con formas intrincadas pueden encontrarse (Afanasieva, 2007).

Principales tipos de espinas radiales (Afanasieva, 2007) (Fig. 1.4):

- Espinass con forma de varilla. Son largas, delgadas y su sección transversal es circular.
- Espinass cónicas. Son fuertes, robustas, pueden ser rectas o curvas.
- Espinass trirradiadas. Consisten en tres láminas fusionadas a lo largo de un eje. La sección transversal puede ser trilobulada, en forma de Y o en forma de espiral.

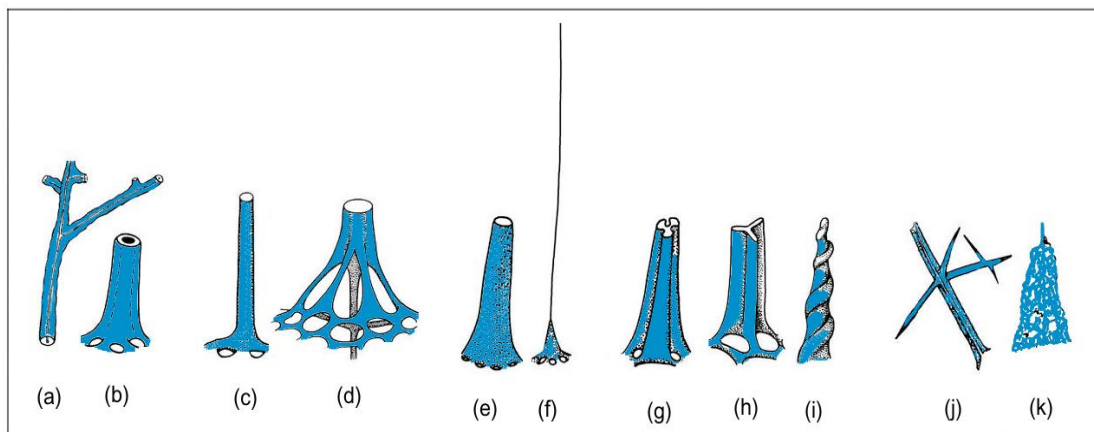


Fig. 1.4 Forma y estructura de las espinas principales de radiolarios: (a, b) espinas huecas, (a) espina subcilíndrica con ramas irregulares, (b) espina tubular, (c, d) espinas con forma de varilla, (d) espina con forma de varilla reforzada con soportes basales, (e, f) espinas cónicas (f) espina cónica con terminación en forma de pelo, (g, h, i) espinas trirradiadas (g) trilobulada, (h) en forma de Y, (i) con forma de espiral, (j) espina con apófisis, (k) espina cubierta por sobrecrecimiento de tejido esquelético de la teca externa. Tomada de Afanasieva (2007).

PRINCIPALES CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN

De acuerdo a De Weber et al. (2001) los principales criterios considerados en la clasificación taxonómica de los radiolarios son los siguientes.

- a) Presencia o ausencia de una espícula inicial.
- b) Relación entre la espícula inicial y la teca interna.
- c) Morfología de la teca interna.
- d) Patrón de crecimiento del esqueleto.
- e) Número de tecas, cámaras o segmentos.
- f) Números de espinas o brazos.
- g) Presencia de apertura o piloma.

A continuación se describen de manera breve el superorden Polycystina y los órdenes Spumellaria, Nassellaria, Entactinaria y Collodaria, los cuales son de gran interés por incluir a los taxa identificados y estudiados en este trabajo.

SUPERORDEN POLYCYSTINA

Poseen membrana capsular multiperforada y un esqueleto exclusivamente compuesto por ópalo, pueden o no presentar espícula inicial, los patrones de crecimiento del esqueleto se observan en forma de tecas, cámaras o segmentos, la simbiosis con algas es frecuente. Alcance stratigráfico: Cámbrico al Holoceno, tienen un buen registro a lo largo de todo el Fanerozoico (Arz, 2004; De Wever et al., 2001).

ORDEN SPUMELLARIA

Formas generalmente solitarias, se caracterizan por la ausencia de espícula inicial, presentan cápsula central simple perforada por numerosos poros finos. Algunos espumelarios esféricos poseen complejos centroaxoplastios y criptoaxoplastidios. Presentan simetría radial (Arz, 2004; De Wever et al., 2001). Poseen tecas reticuladas, perforadas o esponjosas cuyo crecimiento es hacia el exterior a partir de un centro común (crecimiento centrífugo). El crecimiento regular en todas las direcciones produce tecas esféricas o subesféricas, mientras que el crecimiento irregular resulta en tecas elipsoidales y discoidales (Benson, 2005).

Comúnmente el sistema de disposición de tecas es concéntrico (la teca interna puede ser referida como medular y la teca externa como cortical si estas están bien diferenciadas). Las tecas están soportadas por barras radiales internas que nunca penetran la teca medular interna, también presentan espinas principales y secundarias (Fig. 1.5).

La naturaleza de la retícula de cada teca es descrita por la forma, tamaño, número y arreglo de los poros, así como el contorno de los mismos (generalmente hexagonal). Algunos organismos pueden presentar estructuras secundarias como tecas externas adicionales o una pared delgada, manto o velo que rodean una porción o toda la teca (Benson, 2005). Alcance estratigráfico: Pérmico Superior al Holoceno (Fig. 1.9).

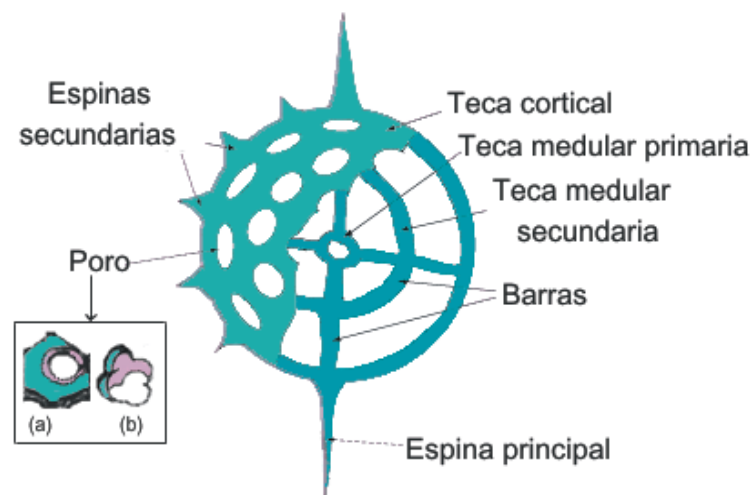


Fig. 1.5 Morfología del esqueleto de un espumelario, estructuras básicas que lo componen, los poros pueden presentar diversas formas; poros con marco poligonal (a), con forma de roseta (b). Modificado de Petrushevskaya (1971).

ORDEN NASSELLARIA

Formas solitarias, poseen una cápsula central con poros concentrados en un área. Pueden poseer complejos proaxoplastidios y apoaxoplastidios. Presencia de espícula inicial (estructura básica) la cual está definida por una barra media (BM), espinas unipareadas: apical (A), dorsal (D), ventral (V) y axial (Ax) esta última es más delgada que las otras espinas y puede o no presentarse y espinas pares: lateral primaria (L) y lateral secundaria (I) denominada secundaria porque no se presenta universalmente en todos los naselarios. (Benson, 2005; Arz, 2004; De Wever, 2001). Cachon & Cachon (1968)⁵ encontraron que la espícula inicial es el primer elemento estructural del esqueleto de naselarios en formarse durante el crecimiento de la célula y su organización determina la arquitectura de la teca (Fig. 1.6).

El esqueleto comúnmente tiene formas alargadas o cónicas, las cuales pueden dividirse por constricciones transversales que dan lugar a cámaras o segmentos a lo largo de un eje (Fig. 1.6). Generalmente estos segmentos son: el céfalis (ovoide, elipsoidal ó subesférico, contiene la espícula inicial, además envuelve la cápsula central), el tórax (formaacampanada, piramidal, cónica ó cilíndrica, en muchas especies tiene asociada las espinas lateral y dorsal), y el abdomen (forma cilíndrica puede presentar segmentos postabdominales), el último segmento generalmente está abierto distalmente mediante la boca (Arz, 2004; De Wever et al., 2001; Benson, 2005).

En la mayoría de los naselarios las espinas dorsal, vertical, lateral primaria y lateral secundaria (si se presenta) y los arcos relacionados forman una estructura denominada anillo basal o más comúnmente conocido como estructura de collar porque la barra media bisecta este anillo localizado en el nivel de la constricción denominada cuello entre el céfalis y el tórax (Benson, 2005). En algunas especies de naselarios esta estructura no siempre es reconocible, sin embargo en aquellas en donde las estructuras que comprenden al collar son visibles, se pueden reconocer como costillas continuas en la pared cefálica o se puede dar el caso en el que las espinas principales que emergen de la barra media penetren la pared del céfalis y/o tórax y por lo tanto no se presentan costillas que definan el collar (Benson, 2005; De Wever et al., 2001). Por la dificultad que se tiene para reconocer la estructura de collar en todas las especies de naselarios, Popofsky (1913)⁶ nombró los poros que se forman entre la unión de la barra media y las espinas principales que definen el collar.

⁵ Non vide, fide De Wever et al., 2001.

⁶ Non vide, fide Benson 2005.

Para poder observar los poros es necesario tener una vista apical o basal de los organismos (Fig. 1.6).

Cuando las barras media y vertical bisectan el collar se observan seis poros basales representados por tres pares de poros, cada miembro del par son del mismo tamaño y de forma similar y son los siguientes: Los poros cardinales (Cd) son definidos por la barra media, lateral primaria y lateral secundaria, los poros cervicales (Cv) definidos por las barras vertical y lateral primaria (AV) y los poros yugulares (Y) definidos por las barras dorsal y lateral secundaria, como la barra lateral secundaria no está siempre presente, los poros yugulares son secundarios (Benson, 2005). La forma básica de los naselarios puede estar altamente modificada y presentar esqueletos que están reducidos a simples anillos y espinas ramificadas. Alcance estratigráfico: Triásico Inferior al Holoceno (Fig. 1.9).

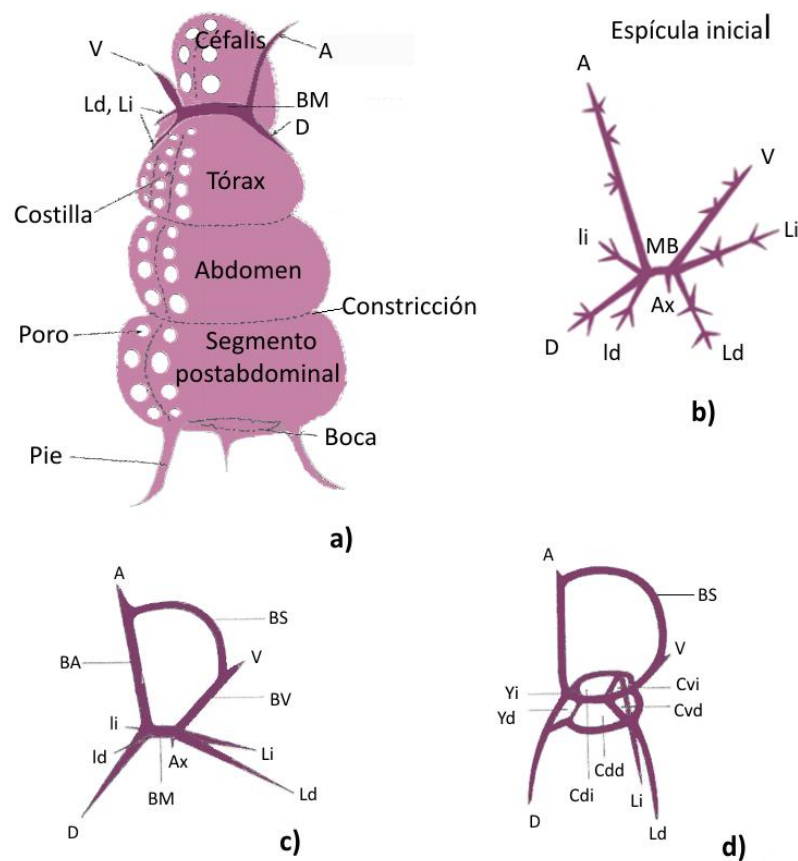


Fig. 1.6 Teca de un naselario señalando las estructuras básicas (a), con particular detalle en la espícula inicial (b): BM = barra media, A = espina apical, D = espina dorsal, V = espina ventral, Ld y Li = espina lateral primaria derecha e izquierda, Id y li = espina lateral secundaria derecha e izquierda, Ax = espina axial. Se muestra la unión de la BA= barra apical con la BV= barra vertical, mediante la BS= barra superior o también llamado anillo sagital (c). Estructura de collar y los poros asociados a la misma, (d) ALAd y ALAi = arco lateral apical derecho e izquierdo, Cdd y Cdi = poros cardinales derecho e izquierdo, Cvd y Cvi = poros cervicales derecho e izquierdo y Yd y Yi = poros yugulares derecho e izquierdo. Modificado de Petrushevskaya (1971), De Wever et al. (2001) y Benson (2005).

ORDEN ENTACTINARIA

Radiolarios solitarios, con un esqueleto formado por una espícula inicial que presenta un número variable de espinas las cuales surgen de los extremos o región central de la barra media. Las espinas pueden ser o no iguales y estar dispuestas en diversos patrones, usualmente se separan en grupos apicales y basales. Presenta una o varias tecas concéntricas de pared reticulada o esponjosa, la espícula ubicada en el interior de la cápsula central, está incluida en la teca medular primaria (Fig. 1.7) (De Wever et al., 2001).

La morfología del esqueleto de los entactinarios es muy similar al de los espumelarios y sólo difiere de éstos por la presencia de la espícula inicial, la cual los relaciona con los naselarios que a diferencia de los primeros presentan una espícula inicial caracterizada por un arreglo especial de las espinas (De Wever et al., 2001).

La espícula inicial puede estar conectada por un sistema de arcos y puede llegar a ser tan diversa y compleja que en algunos casos esta fusionada con la teca medular primaria lo que dificulta su reconocimiento. En tales casos se incluye en el grupo de los entactinarios todos los radiolarios con forma de espumelarios caracterizados por tener una teca medular primaria heteropolar en donde se puede reconocer en un polo una barra inicial y generalmente cuatro barras originadas en sus extremos terminales (De Wever et al., 2001). Algunos entactinarios poseen el complejo núcleoaxopodial de tipo periaxoplastidio (Fig. 1.2). Alcance estratigráfico: Paleozoico al Holoceno (Fig. 1.9).

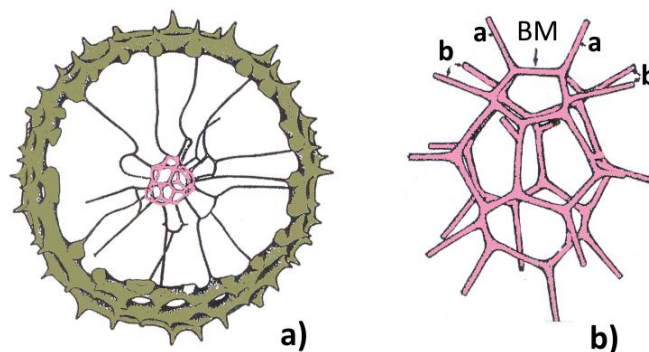


Fig. 1.7 Morfología del esqueleto de un entactinario (a) con detalle de la teca medular y la espícula inicial que la conforma (b) BM = barra media, a = espina apical y b = espina basal) Tomado de De Wever et al. (2001).

DISTRIBUCIÓN Y ECOLOGÍA

Los radiolarios se encuentran en todos los océanos, en todas las zonas climáticas, en capas superficiales y a grandes profundidades de la columna de agua. Su distribución geográfica está directamente relacionada con la circulación oceánica, masas de agua, patrones latitudinales y batimétricos, su abundancia y distribución varían estacionalmente en relación a su tolerancia a las condiciones cambiantes del medio. La mayor diversidad y abundancia de especies ocurre en los trópicos y decrece gradualmente hacia los polos. El Océano Pacífico es el más rico en radiolarios (Renz, 1976; Kling, 1978; Armstrong & Brasier, 2005).

Los espumelarios generalmente son superficiales y están más estrechamente relacionados con parámetros hidrográficos específicos por lo que muestran estrictos patrones de distribución biogeográfica, dominan la zona fótica hasta poco menos de 200 m de profundidad.

Los naselarios generalmente viven en regiones más profundas y presentan una mayor distribución cosmopolita en los océanos mundiales, dominan hasta profundidades próximas a los 2000 m (Casey, 1971b; Abelman & Gowing, 1997; Armstrong & Brasier, 2005).

En términos generales, la máxima concentración de radiolarios se sitúa entre los 25 y 50 m y en torno a los 200-300 m de profundidad, en ambientes más profundos el número de organismos decrece drásticamente, aunque se ha comprobado la presencia de algunos naselarios viviendo en profundidades cercanas a los 4000 m (Arz, 2004).

Se ha observado que los radiolarios presentan movimientos verticales como respuesta a cambios de temperatura o agitación mecánica en el ambiente. Por su parte, la regulación del balance de CO₂ en los alveolos, debida a las fluctuaciones diurnas en la actividad fotosintética de las algas simbiotas, causa migraciones verticales de los radiolarios de 200-350 m (Kling, 1978).

DISTRIBUCIÓN DE LOS RADIOLARIOS EN LOS SEDIMENTOS MARINOS Y SU APLICACIÓN EN ESTUDIOS PALEOCEANOGRÁFICOS.

Después de su muerte los radiolarios suspendidos en la columna de agua comienzan a sedimentarse, dado que las aguas normalmente están subsaturadas de sílice y que el ópalo de los esqueletos no es estable, inmediatamente comienza el proceso de disolución.

Se calcula que menos del 10 % de los radiolarios son preservados en el registro fósil (Takahashi & Honjo, 1981). Sin embargo, dada la abundancia de microorganismos con esqueletos silíceos y debido a que la disolución de ópalo no depende de la temperatura ni de la presión (a diferencia del carbonato de calcio de foraminíferos, cocolitofóridos y pterópodos), hay amplios sectores del fondo marino dónde sólo se encuentran microfósiles silíceos: diatomeas, silicoflagelados y radiolarios (Boltovskoy & Pujana, 2008), esto hace posible que se conserven en los sedimentos.

Su estudio en el registro sedimentario hace que los radiolarios policistíneos sean utilizados como *proxy* en reconstrucciones oceanográficas. Un *proxy* es un indicador indirecto o paleosensor de las condiciones oceanográficas y/o climáticas del planeta. Por su naturaleza puede ser micropaleontológico, geoquímico, magnético e isotópico (Cronin, 1999).

Debido a que reflejan las condiciones hidrográficas tanto de la estructura vertical como horizontal de los océanos y al ser muy sensibles a los cambios climáticos, han sido considerados por varios autores como indicadores de masas de agua específicas, de zonas de surgencias, de profundidad, paleoclima y paleotemperatura (Abelmann & Gowing, 1997; Boltovskoy, 1987, 1991, 1994, 1998; Kling, 1978; 1979; Molina-Cruz, et al., 1997; 1999; Pérez-Cruz, 2006; Takahashi, 1991).

MARCO OCEANOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el presente apartado se describe la dinámica oceánica y la climatología del Océano Pacífico Oriental y en particular del Golfo de California.

CIRCULACIÓN GENERAL DEL OCEÁNO PACÍFICO ORIENTAL

La circulación general del Océano Pacífico Oriental se divide en 1) la circulación del Océano Pacífico Nororiental que está representada por el Sistema de la Corriente de California y, 2) en la circulación del Océano Pacífico Trópico Oriental, que comprende el Sistema Ecuatorial y la Corriente Costera de Costa Rica. En conjunto, éstas influyen en la distribución de las masas de agua que se encuentran en el Golfo de California así como los frentes termohalinos que se generan en la boca del mismo (Fig. 2.1).

El Sistema de la Corriente de California está constituido por la Corriente de California (CC) y la Contracorriente de California (CCC). La primera forma el brazo oriental del gran giro anticiclónico del Pacífico, y fluye de manera superficial hacia el Ecuador siguiendo aproximadamente la forma de la costa norteamericana, comprende desde la isla Vancouver hasta el extremo sur de la Península de Baja California. Transporta principalmente agua subártica con alto contenido de oxígeno disuelto, baja temperatura y salinidad; la segunda es una corriente subsuperficial, que fluye hacia el norte transportando agua subtropical con bajo contenido de oxígeno, alta temperatura y salinidad, es más intensa y está concentrada hacia la costa oeste de Norteamérica y en ciertas épocas del año llega hasta la superficie (Hickey, 1979; Parés-Sierra et al., 1997).

Las variaciones locales, temporales y en la profundidad de la CCC han hecho que aparezca designada con diferentes nombres como: Corriente de Davison, si ocurre al norte de Punta Concepción, Contracorriente del Sur de California o giro semipermanente de la Bahía de California, inmediato al sur de Punta Concepción y, Corriente Submarina cuando ésta no llega hasta la superficie (Parés-Sierra et al., 1997).

El Sistema Ecuatorial (SE) está constituido principalmente por la Corriente Norecuatorial (CNE) centrada en los 10° N; la Corriente Sudecuatorial (CSE), situada en el ecuador (ambas con dirección este-oeste), entre ellas y aproximadamente a los 5° N se encuentra la Contracorriente Ecuatorial (CCE) con dirección oeste-este, la cual se caracteriza por dividirse en dos ramas que fluyen entre dos giros con sentido de

rotación opuestos, la rama del giro anticiclónico se dirige al sur para reunirse con la CSE y la rama del giro ciclónico conocido como el Domo de Costa Rica (región de alta importancia por su alta productividad biológica) da lugar a la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) (Badan, 1997).

La CCCR inicia en la cuenca de Panamá y continúa hacia el norte a lo largo de las costas de Centroamérica y México donde se le conoce como Corriente Mexicana, al llegar a la península de Baja California confluye con la Corriente de California y conjuntamente con ella gira para realimentar al sistema ecuatorial (Badan, 1997).

Los Sistemas de Corrientes de la circulación del Pacífico Nororiental y la del Pacífico Trópico Oriental presentan cambios estacionales en la posición latitudinal e intensidad en función de los grandes sistemas atmosféricos (Fig. 2.1).

En primavera la CC presenta su máxima extensión hacia el sur favorecida por los vientos del norte (dando lugar al desarrollo de surgencias en las costas de Oregon, California y Baja California), hay una retracción correspondiente por parte del SE y la CCCR, la zona de confluencia se desplaza hacia el sur de Cabo Corrientes a una latitud que aún no ha sido definida, por el contrario en verano la CC se debilita con el viento del sur lo que permite que la CCC sea más intensa y alcance su máxima velocidad, el SE y la CCCR presentan una mayor intensidad, la zona de confluencia se encuentra frente a Cabo San Lázaro, Baja California Sur (Hickey, 1979; Badan, 1997).

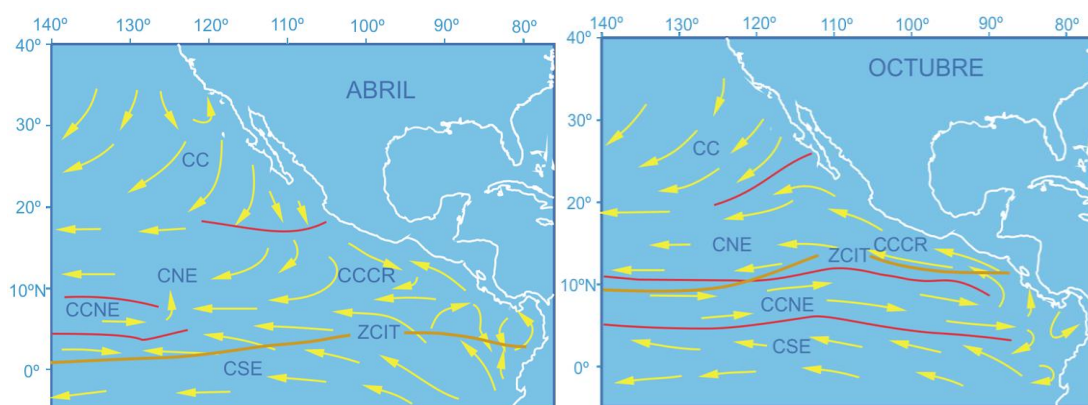


Fig. 2.1 Sistemas de Corrientes: Corriente de California (CC), Corriente Norecuatorial (CNE), Contra Corriente Norecuatorial (CCNE), Corriente Surecuatorial (CSE), Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) y Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en primavera y verano. Tomado de Pérez-Cruz (2007).

EL GOLFO DE CALIFORNIA

El Golfo de California se localiza al noroeste de México entre los 23° - 32° N y 107°-117° W está limitado por dos regiones áridas: la Península de Baja California al occidente y los estados de Sonora y Sinaloa al oriente. Tiene una longitud aproximada de 1,400 km y una anchura promedio de 100-150 km. En su región sur está en comunicación abierta con el Océano Pacífico (Roden & Groves, 1959). Es una cuenca evaporítica, geológicamente joven ya que inició su formación alrededor de los últimos cuatro millones de años (Curry et al., 1982).

CLIMATOLOGÍA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

El clima del Golfo de California está principalmente influenciado por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), zona de baja presión donde se encuentran los vientos alisios del noreste y sureste (Trewartha & Horn, 1980), y por tres centros de presión atmosférica: el centro de alta presión del Pacífico Norte ubicado aproximadamente a los 30° N en el Océano Pacífico (McKnight, 1996), el centro de baja presión Aleutiana localizado próximo a las islas Aleutianas en el Océano Pacífico y el centro de baja presión continental situado al suroeste de Norteamérica, los cuales estacionalmente presentan reacomodos (migración latitudinal) y cambios en intensidad que definen los patrones de los vientos, la precipitación y la circulación superficial (Fig. 2.2).

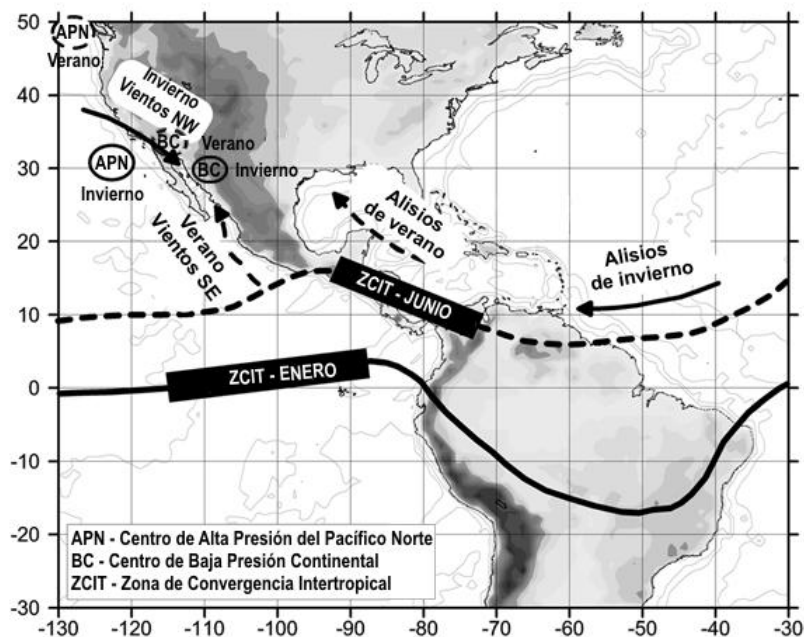


Fig. 2.2 Ubicación de los centros de presión atmosférica, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y la dirección de los vientos mostrando su distribución en invierno y verano. Modificado de Goñi et al. (2006).

De acuerdo con Álvarez-Borrego & Lara-Lara (1991), Bray & Robles (1991), Donegan & Schrader (1982), Hastings & Turner (1965), Hickey (1979), Lavin et al. (1997) y Parés Sierra et al. (1997).

En invierno y principios de primavera la velocidad máxima de los vientos alisios se ubica en su posición más al sur aproximadamente a 9° N, por lo que la ZCIT se encuentra muy cerca de Ecuador (Molina-Cruz & Martínez-López, 1994). En esta temporada las condiciones frías comienzan a propagarse hacia el sur, el patrón estable del centro de alta presión del Pacífico Norte decae, se debilita y migra hacia el sureste acercándose a la costa, el centro de baja presión Aleutiano se restablece y el centro de baja presión continental se debilita y migra al sureste, lo que da lugar a un viento dominante del noroeste (rapidez 8 a 12 m s⁻¹) que es frío y seco por provenir de la región continental de Norteamérica, induciendo el transporte de agua superficial al sur y generando surgencias a lo largo de la costa continental.

En verano y principios de otoño el dominio de los vientos alisios del noroeste se sitúa a los 18° N, la ZCIT se encuentra en su posición más al norte (Molina-Cruz & Martínez-López, 1994). El centro de alta presión del Pacífico Norte estable y semipermanente se fortalece migra hacia el mar en dirección norte y el centro de baja presión Aleutiana semipermanente se debilita progresivamente mientras que el centro de baja presión continental se acentúa por calentamiento y se ubica al norte del Golfo, como consecuencia los vientos provienen del sureste (rapidez promedio ~ 5 m s⁻¹), estos vientos húmedos y cálidos provenientes de la zona marítima tropical provocan precipitación en la costa oriental del Golfo y generan surgencias sobre la costa peninsular.

Este marcado ciclo estacional relacionado con los patrones de vientos (durante el invierno el viento sopla del noroeste y del sureste durante el verano) se denomina El Monzón Mexicano (Fig. 2.3) (Douglas et al., 1993; Lavín et al., 1997).

El Golfo de California presenta un clima más continental que oceánico debido a que las cadenas montañosas que se encuentran a ambas costas del golfo restringen el efecto termorregulador del Océano Pacífico (Roden, 1964).

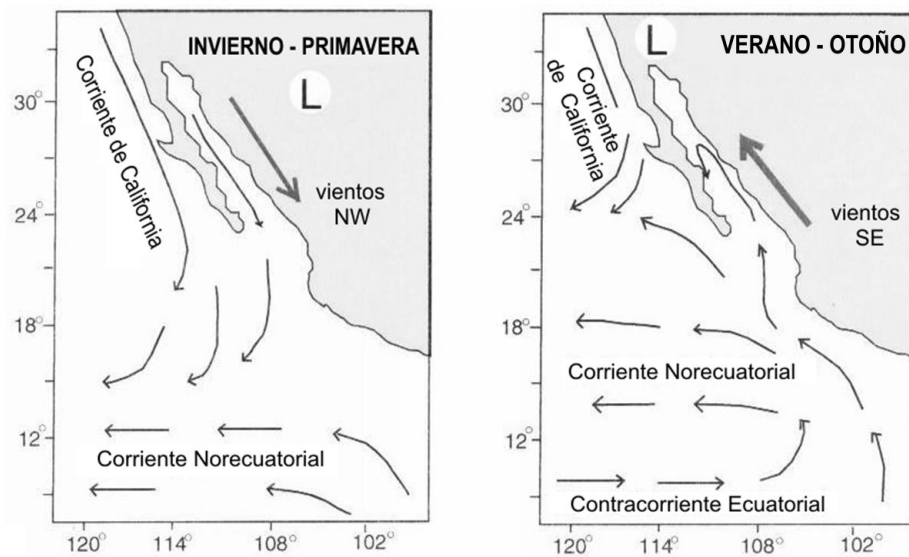


Fig. 2.3 Climatología anual del Golfo de California. En invierno-primavera las condiciones de surgencias coinciden con la intensificación de los vientos superficiales con dirección NW (flechas), se presenta un centro de baja presión atmosférico sobre la parte continental en el noreste y un giro ecuatorial débil. Las condiciones de verano son marcadas por un fuerte giro ecuatorial, un centro de baja presión atmosférico en la parte noroccidental y la dirección de los vientos en sentido inverso. Tomado de Pride et al. (1999).

La variabilidad interanual en el Golfo de California es dominada por efectos del fenómeno global denominado "El Niño" Oscilación Austral (ENSO por sus siglas en inglés) se presenta con recurrencia de 3-7 años, tiene origen en la zona ecuatorial del Océano Pacífico dando lugar a cambios que ocurren principalmente en los primeros 500 m de la columna de agua y son resultado de la advección de masas de aguas tropicales, afectan la temperatura y concentración de nutrientes. En el Golfo de California provoca una mayor intrusión del Agua Superficial Ecuatorial, los períodos de El Niño son generalmente marcados por el incremento de asociaciones de especies cuya distribución está limitada a aguas tropicales – subtropicales (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Bray & Robles, 1991).

CIRCULACIÓN TERMOHALINA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

La circulación termohalina en el Golfo de California está caracterizada por la salida de agua superficial cálida y salina a lo largo de la costa oeste y una entrada compensatoria de agua subsuperficial menos salina y más fría (entrada de nutrientes a la zona eufótica donde pueden ser utilizados por el fitoplacton) a lo largo de la costa este. Esta circulación presenta una variación estacional relacionada con los patrones de vientos, por lo que la entrada de nutrientes inorgánicos provenientes del Océano Pacífico al Golfo es más intensa durante invierno-primavera que en verano (Roden, 1964; Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Bray & Robles, 1991; Lavin et al., 1997).

MASAS DE AGUA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

La clasificación de las masas de agua del Golfo de California explicadas a continuación son las identificadas y descritas por Torres Orozco (1993)⁷ (Fig. 2.4).

Agua Profunda del Pacífico (APP) se encuentra a una profundidad que va del fondo hasta alrededor de 1200 m, delimitada por la isoterma de 4 °C. La salinidad aumenta hacia el fondo de 34.56 a 34.75 ups.

Agua Intermedia del Pacífico (AIP) esta masa de de agua se encuentra desde ~ 1200 m (isoterma 4 °C) hasta ~ 500 m (isoterma 9 °C). Presenta salinidad de 34.50 a 34.6 ups. La frontera inferior del AIP no presenta variaciones apreciables, pero la superior parece retraerse hacia el sur en verano y avanzar en el invierno.

Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt) se encuentra a ~500 m (isoterma 9 °C). El límite superior esta definido por las características de temperatura-salinidad ($S < 35$, $T < 18$ °C) y se encuentra aproximadamente a los 150 m de profundidad, esta masa de agua presenta una variación estacional con intrusión máxima en la parte norte del Golfo en otoño-invierno, mientras que en primavera-verano se retrae hacia la parte sur.

Agua Superficial Ecuatorial (ASE) se encuentra por encima de los 150 m, la característica distintiva de esta masa de agua es su salinidad menor de 35 ups, con temperatura mayor a 18 °C. La extensión del ASE hacia el interior del Golfo tiene una clara señal estacional con su máxima intrusión en verano y la máxima retracción en invierno, cuando se le encuentra solamente cerca de la boca del Golfo.

Agua del Golfo de California (AGC) ocupa los 150 m superiores, tiene una salinidad mayor a 35 ups y temperatura mayor a 12 °C. Presenta un ciclo estacional que es complementario al del ASE. Esta masa de agua se distingue por su alta salinidad, existen dos propuestas que explican su origen: 1) proviene del ASE que al evaporarse aumenta su salinidad en la parte sur y 2) se le considera como ASsSt que ha sido transformada principalmente en la parte norte donde la evaporación es más intensa además de ser auxiliado por el mezclado vertical (surgencias). Puede ser que ambos mecanismos ocurran al mismo tiempo.

⁷ Non vide, fide Lavin et al., 1997.

BATÍMETRIA DEL GOLFO DE CALIFORNIA

El Golfo de California es dividido en diferentes regiones: La Boca, Zona Sur, Zona entre Islas (Archipiélago), Zona Norte y el Alto Golfo de acuerdo a Lavín et al., 1997. Esta división refleja principalmente la batimetría, la cual presenta un decremento relativamente gradual en la profundidad hacia el interior del Golfo (Fig. 2.4).

La Boca del Golfo, está limitada por las líneas que unen a Cabo San Lucas, B.C.S. - Cabo Corrientes; a Cabo San Lucas con El Dorado, Sin. y la línea de costa entre El Dorado - Cabo Corrientes, esta zona es muy profunda (~ 3000 m) incluye parte de la Cuenca Pescadero y la Cuenca Mazatlán, su principal característica hidrográfica es que en ella se encuentran en contacto con tres masas de agua que son el Agua de la Corriente de California (ACC), ASE y AGC lo cual genera frentes termohalinos.

Zona Sur del Golfo, esta región es la más extensa y abarca desde la línea Cabo San Lucas, B.C.S. - El Dorado, Sin., hasta los umbrales de las grandes islas. Esta zona contiene una serie de cuencas que están separadas una de otra por umbrales submarinos transversales cuya profundidad máxima disminuye hacia el interior del Golfo las cuales son: parte de la Cuenca Pescadero, Cuenca de la Paz, Cuenca Farallón, Cuenca del Carmen, Cuenca de Guaymas y Cuenca San Pedro Mártir. La plataforma continental del lado de la península es casi inexistente, mientras que del lado continental es de unos 30 km de ancho.

Zona entre Islas, este archipiélago contiene las islas más grandes de México (Tiburón y Ángel de la Guarda), contiene a la Cuenca San Esteban y la Cuenca Tiburón, se caracteriza por umbrales someros y canales angostos que comunican la parte norte y la parte sur del Golfo.

Zona Norte, abarca desde las grandes islas hasta la línea que va de San Felipe, B.C. - Puerto Peñasco, Son., su profundidad media es de ~ 200 m, las cuencas principales son: parte de la Cuenca Tiburón, Cuenca Delfín y Cuenca Wagner, la mayor parte del fondo marino puede clasificarse como parte de la plataforma continental.

El Alto Golfo, comprende el triángulo de ~ 70 km de lado con vértices en la desembocadura del Río Colorado en San Felipe y Puerto Peñasco, esta zona es muy somera su profundidad media es de ~ 15 m, esta sujeta a fuertes corrientes de marea.

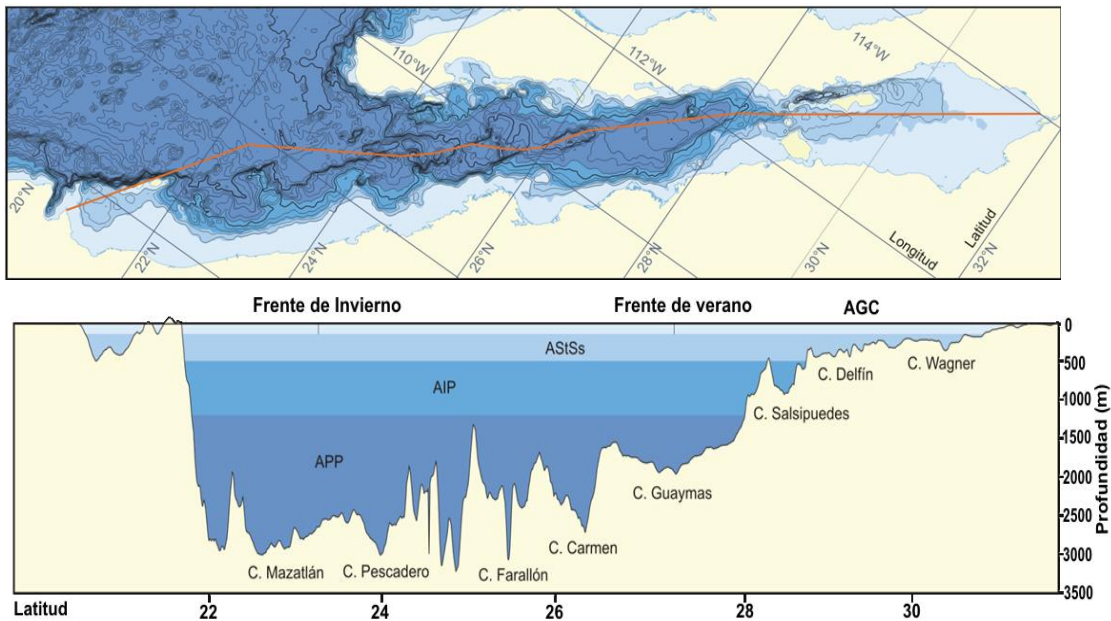
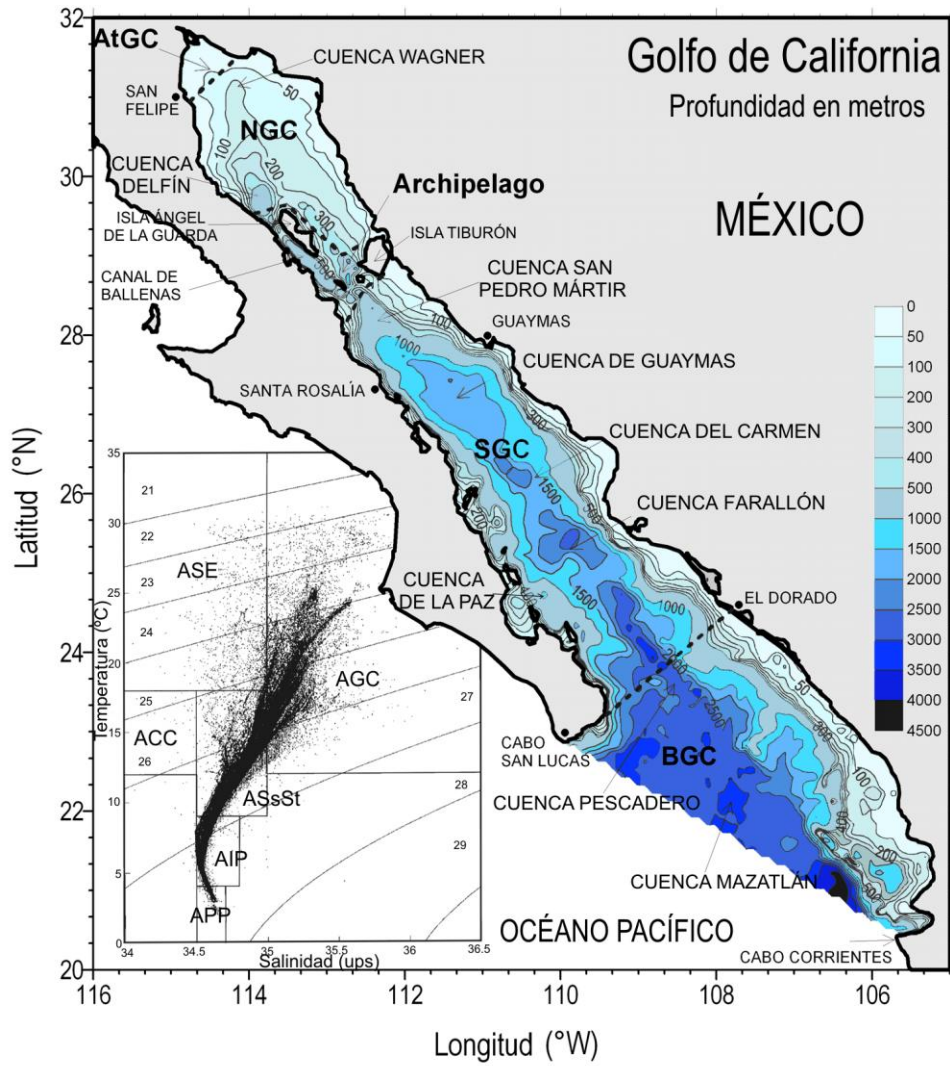


Fig. 2.4 Batimetría del Golfo de California, principales cuencas y regiones: Boca (BGC), Sur (SGC), Archipiélago, Norte (NGC) y Alto Golfo (AtGC). Se incluye diagrama de temperatura-salinidad (datos de 1939 a 1993) mostrando las masas de agua: APP, AIP, ASsSt, ASE, AGC y ACC. Tomado de Lavín & Marione, 2003. Perfil batimétrico de las principales cuencas del Golfo de California. Tomada de Pérez-Cruz (2008).

SEDIMENTOS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

El Golfo de California es una depresión que sirve como receptáculo para todo tipo de sedimentos. Se ha encontrado que los sedimentos finos (fracciones de tamaño limo-arcilla) superficiales son de origen terrígeno, biogénico (ópalo y calcáreo) y autigénicos (componentes ricos en manganeso), estos últimos se han encontrado en la región profunda de la cuenca Guaymas (Baba et al., 1991).

En la región norte del Golfo, se presentan sedimentos terrígenos provenientes principalmente del río Colorado, a pesar de la disminución de su descarga debido a la construcción de las presas, la dominancia mineralógica distintiva del río Colorado en esta región sugiere que algunos procesos de resuspensión puedan estar aportando sedimentos del delta o de la plataforma somera por corrientes y transporte eólico (Van Andel, 1964; Baba et al., 1991).

Las corrientes superficiales y geostróficas que se presentan en el Golfo de California describen un flujo a lo largo de un eje en dirección NW – SE, este patrón establece un límite entre el aporte de sedimentos de la región este (margen continental) y la región oeste (región peninsular) del Golfo. Lo anterior indica que el Golfo de California se rellena lateralmente y no longitudinalmente a excepción de la región norte (Van Andel, 1964; Baba et al., 1991).

La región sureste del Golfo es dominada por sedimentos terrígenos provenientes de los ríos. Este aporte se ve favorecido por una mayor precipitación local, se ha visto que el transporte eólico de regiones áridas del norte juegan un papel importante en el depósito de sedimentos en las cuencas centrales del Golfo (Van Andel, 1964; Baba et al., 1991; Baumgartner et al., 1991).

En la región suroeste se registra por lo general una baja precipitación (25 – 50 cm/año) por lo que se presenta un decremento de componentes terrígenos, con mayor aporte biogénico. Se ha reportado que las concentraciones más altas de carbonato de calcio en el Golfo de California se encuentran en la plataforma y talud peninsular (Van Andel, 1964; Baba et al., 1991).

SEDIMENTOS LAMINADOS DEL GOLFO DE CALIFORNIA

Los sedimentos laminados son registros geológicos naturales de alta resolución su formación y/o preservación esta restringida por dos condiciones esenciales:

- 1) Alta productividad
- 2) Aguas deficientes en oxígeno ($O_2 < 0.2 \text{ ml / L}$) de tal manera que inhiben la bioturbación (Donegan & Schrader, 1982).

Estas estructuras laminares están compuestas por la alternancia de bandas claras (aporte biogénico) y bandas oscuras (aporte terrígeno), en donde la variabilidad en el flujo de sedimentos es el resultado de una clara señal estacional, por lo que este tipo de sedimentos se caracteriza por ser registros de la variabilidad climática y oceanográfica (Donegan & Schrader, 1982; Thunell, 1998; Pérez-Cruz & Herguera-García en prensa). En el Golfo de California existen cuencas que presentan bajas concentraciones de oxígeno en profundidades intermedias de 500 - 1,100 m (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991), en las cuales se depositan sedimentos laminados, las cuencas de Guaymas, Carmen, La Paz, Alfonso y Pescadero presentan este tipo de estructuras, encontrándose en las dos primeras un registro sedimentario con paquetes de laminaciones, denominadas varvas.

Las varvas están definidas como un paquete que contiene un par de capas de color y textura contrastantes, las cuales equivalen a un depósito anual de aporte diferencial de sedimentos biogénicos (finales de otoño y primavera) y litogénicos (verano), son registros continuos de alta resolución que representan señales climáticas que van de decadales a seculares (Pérez-Cruz & Herguera-García en prensa).

CUENCA DE LA PAZ

La cuenca de La Paz se ubica en la zona sur del Golfo de California, es una cuenca externa del margen peninsular, tiene una profundidad aproximada de 500-800 metros (Fig. 2.5) (Nava-Sánchez et al., 2001). Por su batimetría sólo se distribuyen las siguientes masas de agua: Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del Golfo de California (AGC) la cual se ha encontrado dentro de la Bahía de la Paz (Monreal-Gómez, Molina-Cruz & Salas-de-León, 2001).

La cuenca externa de la Paz recibe principalmente sedimentos pelágicos y presenta sedimentos laminados (Nava-Sánchez et al., 2001). Los sedimentos de la Cuenca de la Paz están constituidos principalmente por arcilla silícea de color gris olivo o grisácea, presenta contenido de carbón orgánico de 3 - 4 %, es una zona de afloramiento de plancton y por lo tanto de alta productividad primaria y se presentan surgencias originadas por los vientos del sureste (Van Andel, 1964).

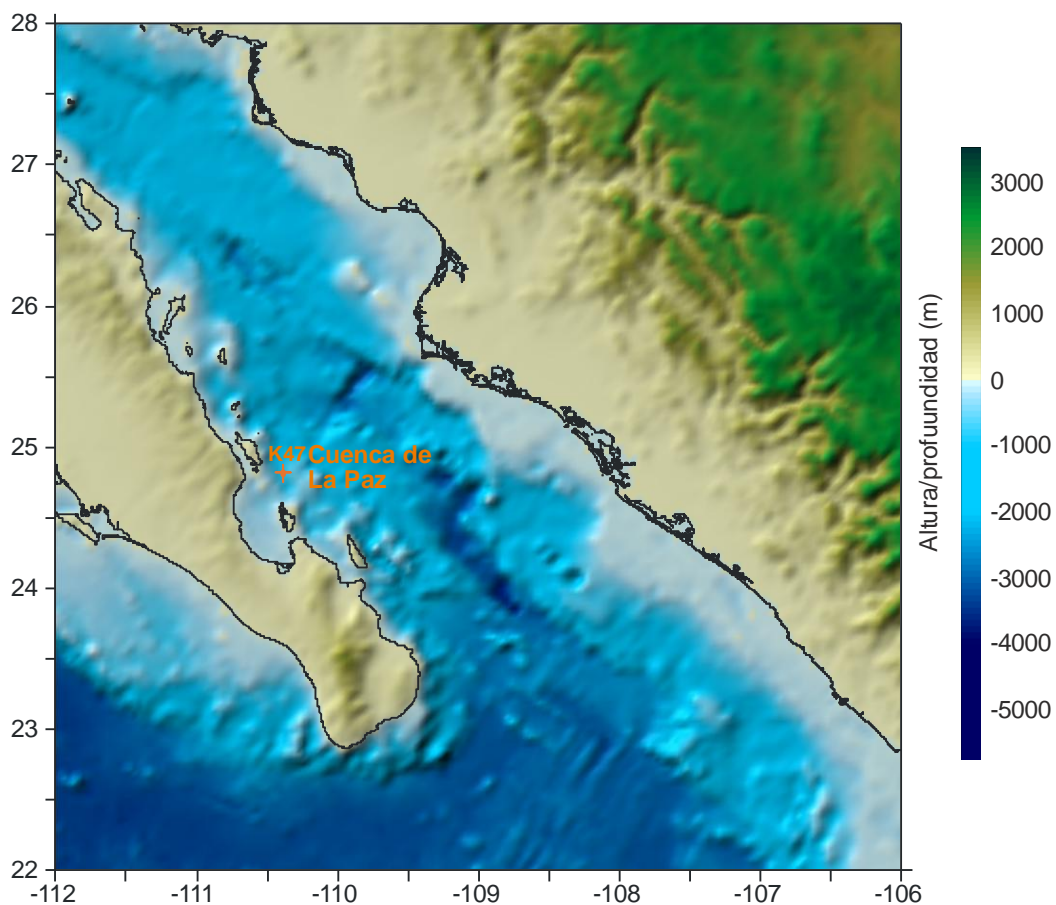


Fig.2.5.Ubicación de la del núcleo K47, cuenca de la Paz, Golfo de California. Tomado de Pérez-Cruz (2007).

VARIABILIDAD CLIMÁTICA DEL HOLOCENO

El Holoceno comprende los últimos 11,500 años A. P.⁸ Se sugiere que los cambios en la insolación debidos a las variaciones orbitales de la Tierra y la variabilidad del flujo solar influenciaron principalmente los cambios climáticos a escala global presentados en esta época. El clima del Holoceno ha sido dinámico a escalas significativas para los humanos y ecosistemas (Mayewski et al., 2004).

A partir de la revisión de 50 registros paleoclimáticos de alta resolución distribuidos globalmente se han determinado seis períodos significativos de rápido cambio climático en el Holoceno en los siguientes períodos: 9000 – 8000, 6000 – 5000, 4200 – 3800, 3500 – 2500, 1200 – 1000 y 600 – 150 A.P. La mayoría de estos cambios climáticos son caracterizados por eventos de enfriamiento en los polos, aridez tropical y cambios importantes en la circulación atmosférica. Muchos de estos intervalos de cambio climático coinciden con periodos de crisis y colapsos de algunas civilizaciones antiguas (Mayewski et al., 2004).

En una terminología más restrictiva temporal y geográfica se pueden describir intervalos climáticos regionales fríos o cálidos, para el Holoceno tardío (4000 años) se han determinado dos periodos denominados el Periodo Cálido Medieval y la Pequeña Edad de Hielo (Fig. 3.1).

El Período Cálido Medieval (PCM) se desarrolló entre 1100 – 1250 A.D.⁹, se caracteriza por presentar elevadas temperaturas en verano que exceden las temperaturas del siglo XX en el hemisferio norte en partes de Escandinavia, China, Sierra Nevada de California, las montañas Rocallosas de Canadá (Cronin, 1999).

La Pequeña Edad de Hielo (PEH) se desarrolló entre 1450 a 1890 años A.D., no es un episodio uniforme de clima frío, distintas variaciones en el clima y en la actividad de los glaciares tomaron lugar en cuencas regionales principalmente de Europa y Norteamérica. Este clima fue influenciado por la actividad solar especialmente por un decremento en el número de manchas solares el cual está asociado a una disminución de la actividad solar e intervalos fríos durante esta época.

⁸ A.P. = antes del presente, usualmente se refiere a años antes de 1950 A.D.

⁹ A.D. = Anno Domini, designación usada para numerar los años en el calendario gregoriano para referirse a nuestra era.

Se ha observado que principales periodos de un mínimo de manchas solares llamadas Wolf (1290-1350) Spoerer (1400-1510) y Maunder (1647-1715) coinciden con inviernos fríos europeos. El máximo de la PEH ocurre en diferentes tiempos en diferentes regiones debido a que los avances glaciares generalmente son asincrónicos (Cronin, 1999). Basado en información histórica, arqueológica y geológica la temperatura global fue de 0.5 – 1° C más baja que la actual (Grove, 1988).

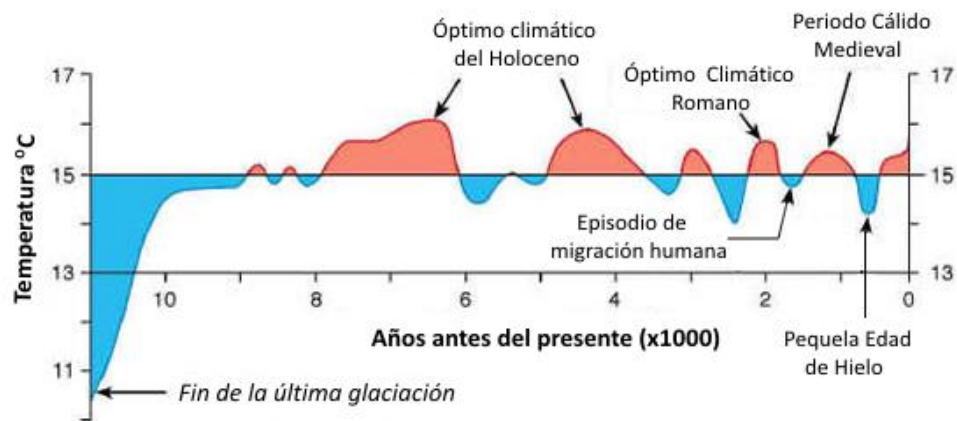


Fig. 3.1 Temperaturas medias de superficie para el Hemisferio Norte durante del Holoceno, en ella se muestra el PCM y la PEH. Modificado de Dansgaard et al. (1969).

OBJETIVOS

Con base en los antecedentes los objetivos que se establecieron para este estudio son los siguientes:

OBJETIVO GENERAL

Documentar la variabilidad oceanográfica y climática del Holoceno tardío en la Cuenca de la Paz, Golfo de California, a partir del análisis de las asociaciones de radiolarios policistíneos.

OBJETIVOS PARTICULARES

Documentar la presencia de los radiolarios policistíneos en una secuencia de sedimentos laminados de la Cuenca de La Paz.

Definir las afinidades ecológicas de los taxa de radiolarios encontrados en los sedimentos y utilizarlos como *proxy* para identificar la variabilidad oceánica en el área de estudio y su relación con eventos climáticos durante el Holoceno tardío, en una escala de resolución intermedia.

Definir el marco cronológico de la secuencia de sedimentos laminados a través del método radiométrico de ^{210}Pb .

Investigar cuáles han sido los factores que han dado lugar a la variabilidad oceánica/climática en el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

COLECTA DE MUESTRAS

El núcleo K47 se obtuvo en la Cuenca de la Paz (24° 48' 885'' N, 110° 23' 058'' W; a 830 m de profundidad) durante la campaña oceanográfica "Dinámica Oceánica y Paleoceanografía I" DIPAL I a bordo del B/O "El Puma" de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en febrero de 2006.

La secuencia sedimentaria se obtuvo mediante un nucleador de gravedad tipo "Kasten" (14 cm x 14 cm x 3 m, que en su interior contenía camisas¹ de acrílico de 13.7 cm x 13.7 cm x 50 cm y 3 mm de grosor). El procesamiento a bordo fue marcar las camisas indicando las cimas y el fondo, sellarlas y guardarlas en cajas de madera para su transporte y almacenamiento en el cuarto frío a una temperatura de 4°C.

En el mismo sitio, se lanzó un nucleador de caja "Reinck" para recuperar una muestra de sedimento superficial sin perturbar, el cual se muestreó mediante un tubo de PVC (diámetro = 11 cm, longitud 25 cm) y se realizó el mismo procedimiento de rotulado, sellado y almacenamiento descrito anteriormente.

CORTE Y MUESTREO DE LA SECUENCIA DE SEDIMENTOS

Cada paquete de sedimento contenido en las camisas de acrílico fue dividido en secciones (grosor aproximado de 2 cm). Una de las secciones que comprenden toda la longitud de la secuencia quedó como testigo, otra se utilizó para la descripción litológica, y el resto fueron utilizadas para submuestreos para diferentes análisis. Sólo una sección tuvo un grosor de ~ 0.5 cm y fue utilizada para el análisis de rayos X, el cual se realizó con el propósito de obtener una mejor resolución, nitidez y contraste de la estructura laminada de la secuencia de sedimentos. Este análisis se llevó a cabo en el Departamento de rayos X de la Unidad de Servicios Médicos de la UNAM.

¹ Cajas de acrílico utilizadas para facilitar el muestreo y traslado de la columna de sedimentos y evitar la perturbación de la misma.

DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA

La descripción de la secuencia sedimentaria K47 se realizó considerando los siguientes criterios: características texturales, tipo de sedimento, así como la presencia de estructuras e inclusiones y el color del sedimento, el cual se definió con base a la Tabla de Colores Munsell. Asimismo, en donde se observaran cambios visibles en la estructura de la secuencia se realizaron algunos frotis para su posterior observación al microscopio.

MUESTREO

Se realizaron cortes cada centímetro a la sección destinada al muestreo biológico. Para este estudio sólo se analizaron las muestras cada 5 cm (en total 30). Se utilizó una medida estándar de muestra de 3.564 cm³ obtenida por medio de dos anillos metálicos de densidad conocida.

TRATAMIENTO QUÍMICO DE LAS MUESTRAS

Las treinta muestras de sedimento se procesan de la siguiente manera: En un vaso de precipitados de 600 ml se colocó la muestra de sedimento, y se le agregaron 100 ml de agua corriente para hidratar la muestra y permitir que las partículas se disgregaran. Posteriormente se les adicionó 25 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 37.7% y 25 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%, esto con el propósito de eliminar los carbonatos y la materia orgánica. Para acelerar esta reacción los vasos de precipitados se colocaron sobre una parrilla a ~ 300 °C.

El contenido de los vasos se agitó ocasionalmente y se agregó agua corriente si la reacción se tornaba brusca, se esperó aproximadamente dos horas y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

El material obtenido se vacía en un tamiz con abertura de malla de 40 µm -con lo que se asegura la obtención de los esqueletos de sílice de los radiolarios policistíneos-. Durante el tamizado con agua corriente se eliminan sedimentos finos y se disgregaron las partículas de sílice, lo que permitió una mejor observación al microscopio.

PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LOS PORTAOBJETOS

Se colocaron dos portaobjetos previamente rotulados (muestra y duplicado) y se sujetaron con tornillos sobre un anillo de teflón, el cual se introdujo en un vaso de precipitados de 1000 ml, quedando los portaobjetos en posición horizontal, se aforó el vaso de precipitados a 600 ml y se vertió el material previamente tamizado, se mezcló verticalmente con un agitador² que permitió la distribución aleatoria del material sobre los portaobjetos, después se deja sedimentar por aproximadamente 40 minutos.

Se utilizó un sifón (elaborado con un matraz Erlenmeyer de 1000 ml, un tapón de hule con dos perforaciones en las cuales se introducen dos mangueras) para drenar el agua lentamente, hasta que queda por debajo del nivel del anillo de teflón, éste se extrajo del vaso de precipitados cuidando que el material sedimentado en los portaobjetos no sea perturbado.

Los portaobjetos se dejaron secar a temperatura ambiente, posteriormente se fijan con bálsamo de Canadá diluido con xilol, se le coloca un cubreobjetos sobre la muestra preparada evitando que se formen burbujas y se ponen en el horno a 40 °C por algunos días para que la resina se seque. Pasado este tiempo se limpiaron los portaobjetos y se retiró el exceso de bálsamo, para su posterior observación en el microscopio.

CONTEO E IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA

Para la identificación de los radiolarios policistíneos se utilizó un microscopio óptico (Carl Zeiss, Axioskop 40) con objetivos planapo de 10 x 20 x principalmente, y de 40 x si era necesario para una mejor observación de la morfología de los especímenes y su adecuada determinación taxonómica. La revisión se realizó recorriendo el portaobjetos hasta obtener un alícuota estadísticamente representativa (más de 300 especímenes (Sachs, 1973)).

La determinación taxonómica se hizo por comparación bibliográfica revisando la diagnosis y fotos en publicaciones especializadas, como Benson (1966; 2005), More (1978), Nigrini & Moore (1979), Boltovskoy & Jankilevich (1985) hasta llegar al nivel de especie o taxa.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

² El agitador es una placa con perforaciones circulares distribuidas homogéneamente y con el mango localizado en la región central.

Para determinar la afinidad entre muestras y las asociaciones o conjuntos de especies, se llevaron a cabo los siguientes análisis estadísticos.

Los datos obtenidos por el conteo e identificación taxonómica se sintetizaron en una matriz de abundancia absoluta (número total de organismos por muestra), ordenada de tal manera que las filas corresponden a la especie o taxa y las columnas al nivel o intervalos de profundidad. Posteriormente se determinó la abundancia relativa por especie (abundancia absoluta total de individuos de un taxon dividido entre el número total de especímenes en la muestra). Con base en esta matriz de abundancias relativas, se realizó un análisis estadístico exploratorio para identificar aquéllos taxa más representativos, es decir aquellos que presentaron un porcentaje mayor o igual a 1 y se construyó una nueva matriz de 16 taxa por 30 intervalos. Asimismo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de las especies reportadas en el Golfo de California por distintos autores, las cuales tienen un significado ecológico y/o oceanográfico importante. Si alguna de ellas no estaba considerada por su bajo porcentaje, se incluiría en la matriz. Esto con el propósito de no perder información relevante.

Con esta última matriz se realizó un análisis estadístico multivariado, el Análisis de Factores "modo Q", utilizando el paquete estadístico STATISTICA (7.0). Esta es una técnica que explica la relación del conjunto de las variables originales de manera resumida a través de los factores los cuales explican todo el sistema. Los factores (asociaciones de muestras) están determinados por su valor propio (*eigenvalue*), mientras más alto sea este, más importante es dicho factor en el modelo. (Pisias, 1986; Molina-Cruz, et al., 1999).

Los factores pueden ser interpretados basados en: a) la carga del factor (*factor loading*), ésta indica que tan importante es el factor en cada nivel (intervalo de profundidad), mientras más alto sea la carga del factor más dominante es ese factor en el nivel dado; b) el valor del factor (*factor score*) identifica la importancia de cada variable (taxon) en cualquier factor, mientras más alto sea el valor del factor, más importante es ese grupo particular de taxon en dicho factor. (Pisias, 1986; Molina-Cruz, et al., 1999).

Se calcularon las comunalidades para determinar que tan bien se ajusta el modelo de factores a los datos. El rango de valores va de 0 a 1, donde 1 significa que toda la

información es preservada y 0 significa que ninguna información es preservada. (Pisias, 1986; Pérez-Cruz, 2006).

Se tomaron fotografías de las especies o taxas representativas de las asociaciones de radiolarios policistíneos obtenidos con el análisis de factores a través de la cámara digital Canon Powershot A640 y se procesaron con el programa Axio Vision 4.6.

DATACIÓN CON PLOMO ^{210}Pb

La datación con ^{210}Pb es un método isotópico, a partir del cual se realiza la estimación basándose en su decaimiento radioactivo. El ^{210}Pb pertenece a la serie de 15 isotopos del $^{238}\text{U} - ^{206}\text{Pb}$. El séptimo isótopo es el ^{222}Rn el cual es un gas producido en la tierra y que escapa a la atmósfera, tiene una vida media de 3.8 días, es predecesor de cuatro productos con vida media que van de milisegundos a 27 minutos y del ^{210}Pb sólido. El desequilibrio radioactivo causado por la pérdida de ^{222}Rn a la atmósfera produce un exceso de ^{210}Pb que es depositado en el sedimento, lo que hace posible obtener una aproximación en edad. La datación con ^{210}Pb se ha utilizado para estimar la tasa de sedimentación de diferentes ambientes de depósito: lacustre, marino, glaciar (Appleby & Oldfield, 1978).

Las razones por las cuales se utiliza el ^{210}Pb en la datación del Cuaternario son las siguientes: 1) tiene una vida media de 22.3 años, 2) es producido tanto en la atmósfera como en la tierra, 3) se encuentra en todos los sedimentos, se acumula en ellos por decaimiento radioactivo, es inmóvil una vez depositado y, 4) se cree que muchos ambientes sedimentarios son un sistema cerrado para ^{210}Pb (Stratton-Noller, 2000).

Para la datación del núcleo K47 se utilizó el sedimento superficial sin perturbar colectado en un tubo de PVC obtenida con el nucleador de caja, el cual se cortó cuidadosamente cada centímetro obteniendo un total de 18 muestras continuas, las cuales se deshidrataron en el horno a 40 °C por dos días y se pesaron, en promedio el peso seco de las muestras fue de 30 g. El análisis de las muestras y las dataciones se realizaron en el Laboratorio de Microanalytic en Miami, Fl. por el Dr. Darden Hood.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DESCRIPCIÓN DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA K47

La secuencia sedimentaria K47, es relativamente homogénea, está constituida fundamentalmente por sedimento limoso. En general, a todo lo largo de la secuencia es posible distinguir una estructura laminada, sin embargo, ésta es más notoria a partir del centímetro 31. Se observan claramente intercalaciones de láminas oscuras, color olivo oscuro (5Y 2/1), y láminas claras, color gris olivo (5Y 3/2) de espesores de pocos milímetros. Esta estructura adquiere una ligera inclinación de 5-7 ° aproximadamente a los 47 cm que se conserva hasta el final de la secuencia. Al parecer, esto es debido a los procesos tectónicos que ocurren en la cuenca. Cabe mencionar que el Golfo de California es parte de la provincia de expansión localizado en el límite entre la placa del Pacífico y la placa Norteamericana. A lo largo del eje del Golfo se encuentran una serie de cuencas escalonadas y de fallas transformes que son las estructuras principales responsables del movimiento de la península de Baja California hacia el noroeste, razón por la cual esta zona es de gran actividad tectónica (Nava-Sánchez et al., 2001).

Por otra parte, fue posible observar a simple vista una alta abundancia de foraminíferos principalmente bentónicos en la parte superior del núcleo, los cuales decrecieron en función de la profundidad (parte inferior) de la secuencia, a excepción de regiones localizadas con alta concentración de los mismos (Fig.5.1).

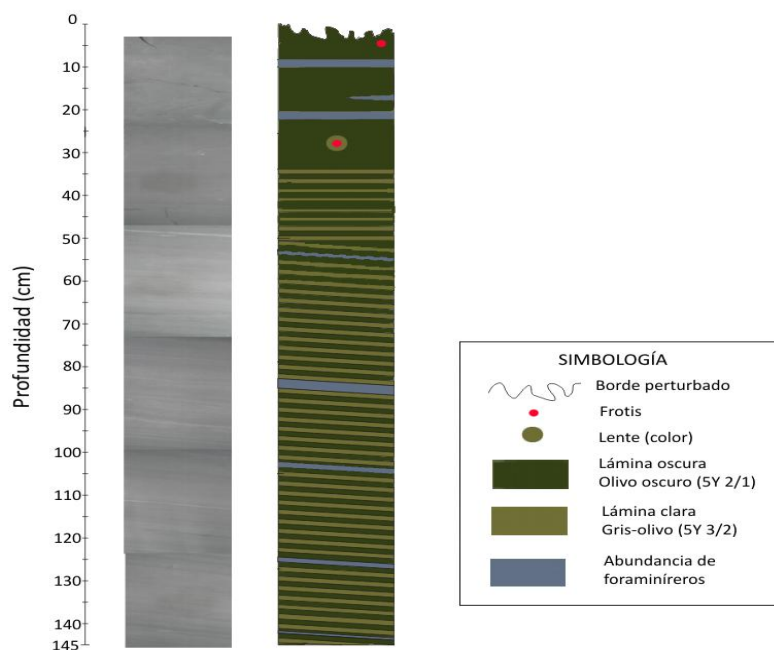


Fig.5.1 Descripción litológica y radiografía de la secuencia de sedimentos K47.

ABUNDANCIAS DE LOS RADIOLARIOS POLICISTÍNEOS

En términos generales, a lo largo de toda la columna sedimentaria, siempre se observó un dominio en riqueza de taxa por parte de los naselarios con una abundancia relativa promedio del 72 % por intervalo de profundidad, el 25.8% corresponde a los espumelarios, el 2 % a los entactiniarios y el 0.2 % a los colodarios. Esta relación se ha encontrado en diversos estudios (basados en muestreo vertical de la columna de agua a profundidades considerables y en muestreos de sedimentos), ya que los naselarios habitan regiones oceánicas donde dominan profundidades próximas a los 2000 m (Boltovskoy & Jankilevich, 1985; Kling & Boltovskoy, 1995). En la figura 5.2 sólo se comparan las abundancias relativas entre naselarios y espumelarios por ser los órdenes dominantes con mayor número de especies encontradas.

Cabe mencionar que la disolución en la columna de agua no es homogénea sino selectiva, dependiendo en buena medida de la robustez de los esqueletos, de esta forma en la tanatocenosis las proporciones entre especies pueden ser muy diferentes a las del plancton. (Boltovskoy et al., 1993). El sedimento integra las faunas provenientes de las capas superficiales cuyo medio está íntimamente ligado a las fluctuaciones climáticas. Si bien las especies de aguas profundas están normalmente en densidades menores que las epipelágicas, habitan estratos mucho más extensos, de manera que la integración de estas densidades bajas sobre distancias mucho mayores, puede dar por resultado altas proporciones de formas profundas en los sedimentos (Kling & Boltovskoy, 1995), como ocurrió en la secuencia del núcleo K47.

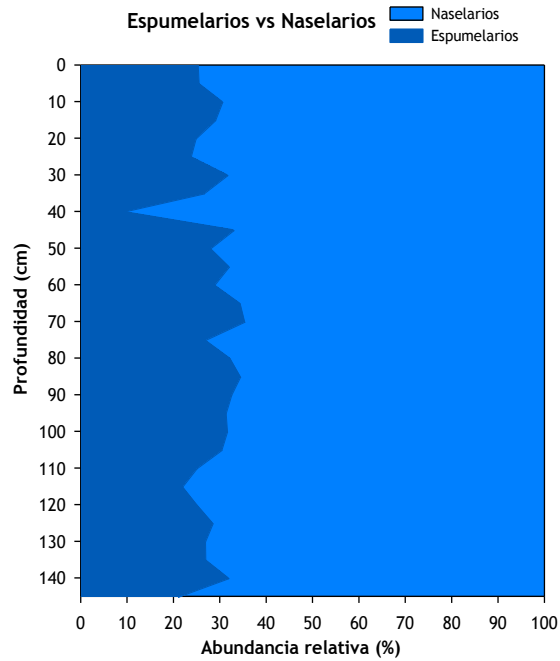


Fig.5.2 Abundancia relativa de los radiolarios policistíneos: Naselarios vs Espumelarios.

MARCO CRONOLÓGICO: DATACIÓN CON PLOMO ^{210}Pb

El sedimento superficial no perturbado obtenido en la cuenca de La Paz, presenta características particulares que hacen posible el uso del método radiométrico de ^{210}Pb para obtener un marco cronológico, estas características son que dicha cuenca es una región con condiciones anóxicas ($\text{O}_2 > 0.1 \text{ ml / L}$) y de alta productividad primaria por lo que los sedimentos son laminados y no presentan bioturbación.

El modelo que se utilizó para la datación de la secuencia sedimentaria es el denominado "Modelo de tasa de aporte constante" desarrollado por Goldberg (1963), el cual se basa en los siguientes supuestos: 1) la tasa de aporte de ^{210}Pb es constante en los sedimentos a través del tiempo, 2) la concentración inicial de ^{210}Pb en el sedimento y 3) las tasas de sedimentación son variables. Este modelo busca determinar la edad de cualquier profundidad dada en una columna de sedimento.

De acuerdo a la ley de decaimiento radioactivo:

$$C_x = C_0^{-\lambda t}$$

Donde C_x es el exceso de ^{210}Pb a una profundidad (x) de la columna de sedimento, C_0 es el exceso de ^{210}Pb total de la columna de sedimento, λ es la constante de decaimiento para ^{210}Pb (0.03114 y^{-1}) y t es el tiempo en años.

Para obtener la edad de depósito a una profundidad (x) se despeja t:

$$\begin{aligned}
 C_x &= C_0 e^{-\lambda t} \\
 C_x / C_0 &= e^{-\lambda t} \\
 \ln (C_x / C_0) &= -\lambda t \\
 \ln C_x - \ln C_0 &= -\lambda t \\
 -1 / \lambda * (\ln C_x - \ln C_0) &= t \\
 (-\ln C_x + \ln C_0) / \lambda &= t \\
 (\ln C_0 - \ln C_x) / \lambda &= t \\
 1 / \lambda * \ln (C_0 / C_x) &= t
 \end{aligned}$$

La tasa de sedimentación (s), se obtiene de la relación $t = z / s$, donde z es la profundidad de la columna de sedimento:

$$s = z / t$$

Sustituyendo los datos obtenidos a partir de la tabla 5.1 en la fórmula anterior se define una tasa de sedimentación **s = 0.77 mm/año** y por lo tanto la edad de la secuencia sedimentaria K47 de 145 cm de profundidad corresponde a los últimos 1881 años, siendo el año 2001 el correspondiente al primer centímetro (Fig. 5.3).

Tabla 5.1 Exceso de ^{210}Pb de los primeros 18 cm de la secuencia de sedimentos del núcleo K47 mostrando la edad aproximada (datos utilizados en el cálculo de la tasa de sedimentación proporcionadas por el laboratorio de Microanalytic en Miami, Fl. por el Dr. Darden Hood).

Intervalo (cm)	Exceso de ^{210}Pb (dpm/g)	Edad aproximada (años)
0-1	28.26	2001
1-2	15.04	1988
2-3	10.90	1975
3-4	8.00	1962
4-5	3.15	1949
5-6	2.45	1936
6-7	3.92	1923
7-8	4.60	1910
8-9	3.96	1897
9-10	3.54	1884
10-11	1.89	1870
11-12	1.61	1857
12-13	1.87	1844
13-14	0.84	1831
14-15	0.45	1818
15-16	0.45	1805
16-17	1.72	1792
17-18	0.58	1779
Total	93.24	

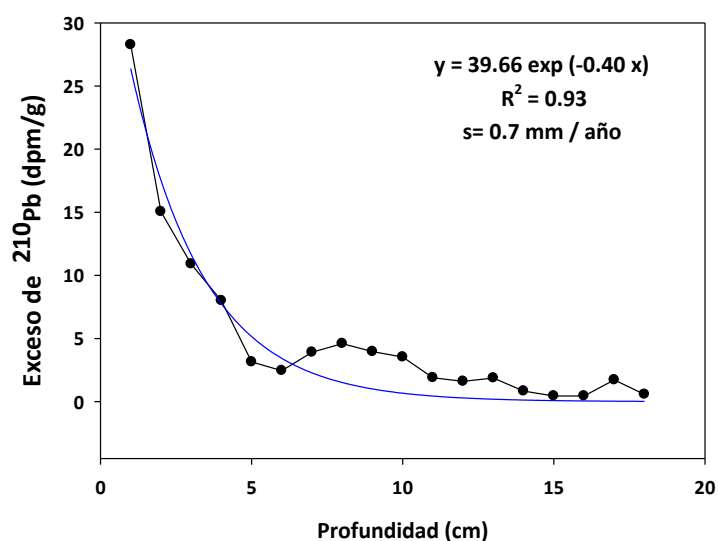


Fig. 5.3 Correlación del decaimiento exponencial del exceso de ²¹⁰Pb vs la profundidad del sedimento superficial K47.

INTERPRETACIÓN PALEOCEANOGRÁFICA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LAS ASOCIACIONES DE RADIOLARIOS POLICISTÍNEOS

De los treinta intervalos analizados se identificaron 165 taxa (100 naselarios, 54 espumelarios, 7 entactinarios y 4 colodarios)(ANEXO II), de los cuales se seleccionaron 16 (5 espumelarios y 11 naselarios) por presentar abundancia relativa por especie mayor o igual a 1, es decir por ser los más significativos y abundantes (ANEXO I, III y V). Se utilizó una matriz de datos de 30 intervalos de profundidad por 16 taxa en el análisis de factores “modo Q” (Anexo IV). A partir de éste se definieron tres factores con base a las asociaciones de taxa definidas y a sus afinidades ecológicas, los cuales explican el 73 % de la variabilidad total de los datos (Tabla 5.2).

Se graficaron las comunalidades en donde la mayoría de los valores están entre 0.60 y 0.85, en promedio 0.73, lo cual indicó que el modelo de factores definido tiene un buen ajuste (Fig.5.4).

Tabla 5.2 “Eigenvalues” obtenidos en el Análisis de Factores “modo Q”.

Factores	“Eigenvalues”	%Total de varianza	“Eigenvalues Acumulativos”	% Acumulativo
----------	---------------	--------------------	----------------------------	---------------

1	2.92168	9.73893	2.92168	9.73893
2	14.46756	48.22521	17.38924	57.96414
3	4.46497	14.88324	21.85421	72.84737

Se graficaron las cargas de cada uno de los factores (*factor loadings*), las cuales representan la importancia que tienen las muestras para cada factor (Fig.5.4). Además se graficaron los valores del factor (*factor score*) para identificar las especies o taxa relacionados con cada uno de los factores (Figs. 5.5, 5.6 y 5.7).

De acuerdo a la distribución de las asociaciones de radiolarios policistíneos¹ y a las afinidades ecológicas, así como a las condiciones oceánicas de la región (particularmente masas de agua) los factores se denominaron: Agua del Golfo de California, Surgencias y Ecuatorial.

¹ El término asociaciones se refiere al conjunto o agrupación de organismos que comporten afinidad a alguna característica oceanográfica como temperatura y/o salinidad.

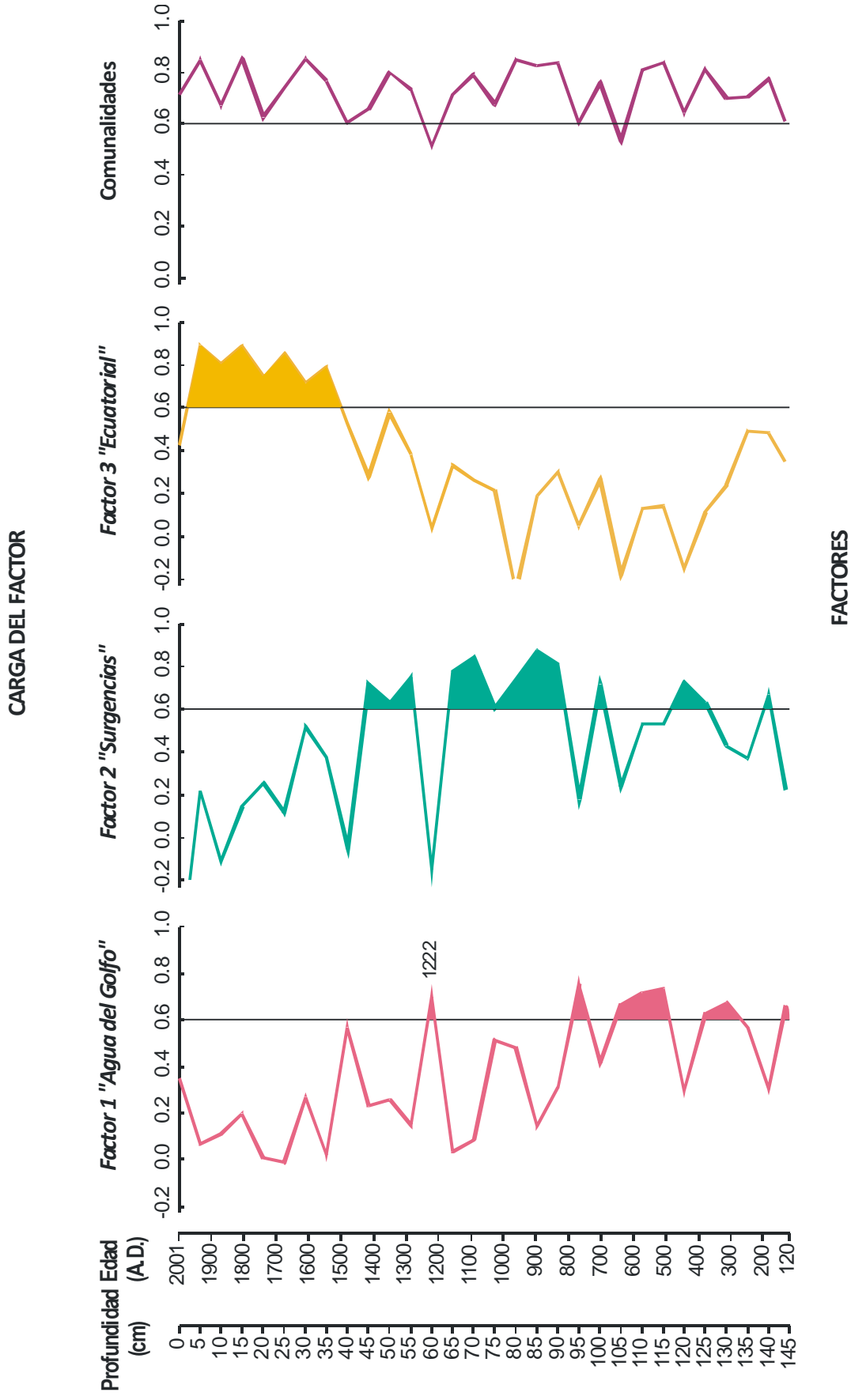


Fig. 5.4 Factores definidos para la Cuenca de la Paz con respecto a la profundidad de la columna sedimentaria y la edad estimada.

Factor 1 “Agua del Golfo de California”

Este Factor explica el 9.73 % de la variabilidad total de los datos y sus valores más significativos se encuentran en la parte inferior del núcleo a partir de ~ 120 a 768 A. D. y una señal en 1222 A.D., (Fig. 5.4). Las especies que caracterizan este factor son: *Clathrocircus stapedius* y *Lithomelissa thoracites* y *Arachnocorallium calvata* con valores del factor de 1.63, 1.25 (Fig. 5.5) y 1.79 (Fig. 5.7) respectivamente.

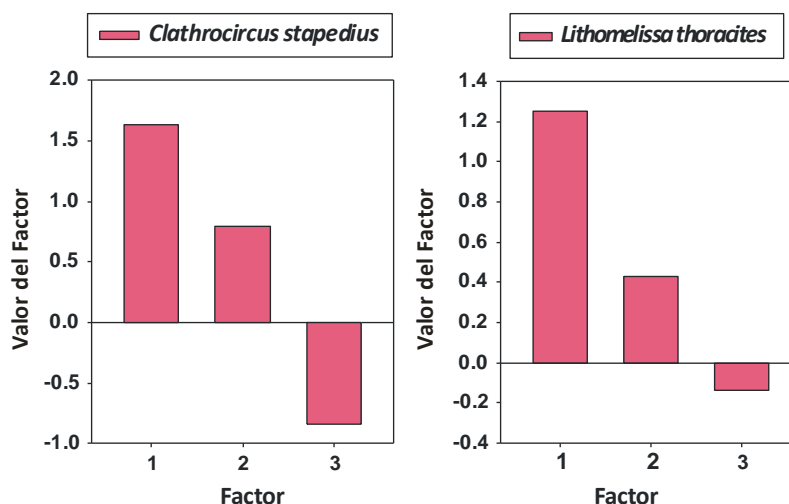


Fig.5.5 Valores del factor de los taxa que definen el Factor 1.

C. stapedius, ha sido reportada en el Golfo de California, siendo más frecuente hacia la región norte, es muy rara en la zona sur. En este estudio es una especie importante en la Cuenca de la Paz y esta asociada con *L. thoracites*.

L. thoracites se ha reportado en sedimentos del Pacífico Oriental frente a California y en el Pacífico occidental habitando a profundidades entre 100-200 m. Está ausente en altas latitudes por lo que se le considera como una especie tropical a templada con ocurrencia mundial, además de que presenta un buen potencial de preservación (Petrushevskaya, 1971).

Pisias (1986) definió a *L. thoracites* dentro de una asociación con afinidades a aguas relativamente cálidas y relativamente salinas, presentando sus mayores abundancias en la región norte y central del Golfo. Es muy abundante en los sedimentos del Golfo de California, comprende más del 10 % del total de los radiolarios de las cuencas San Pedro Mártir y Guaymas (Benson, 1966; Pisias 1986; Molina Cruz, 1986).

A. calvata, como se detalla posteriormente, presenta amplia tolerancia a la temperatura y salinidad, y concuerda con condiciones cálidas.

La presencia dominante de estas especies, sugiere que dentro de estos intervalos predominó en la Cuenca de la Paz una masa de agua relativamente cálida y salina, con propiedades similares a las del AGC. Ésta es una masa de agua superficial que se encuentra por arriba de los 150 m de profundidad, se le considera AStSs o ASE que ha sido transformada en la superficie por evaporación por lo que la característica distintiva del AGC es su alta salinidad (>35 ups) la cual se forma principalmente en la zona norte del golfo donde la evaporación es más intensa.

Con base en lo anterior, se sugiere que las condiciones climáticas durante estos intervalos fueron más cálidas y áridas que las actuales, lo cual pudo favorecer el proceso de evaporación de las aguas superficiales y la formación de una masa de agua relativamente más salina.

En particular, se sugiere que la señal de ~ 1222 años puede estar relacionada con el evento climático conocido como el Periodo Cálido Medieval (PCM). Este periodo ha sido identificado por distintos autores en el Golfo de California: Bernal – Ramírez (2003) realizó un trabajo con asociaciones de radiolarios en la región sur del Golfo de California, para la Cuenca de la Paz asocia el PCM al intervalo entre 1175 a 1592. Pérez – Cruz (2006) a través de la interpretación de las asociaciones de radiolarios policistíneos y de la susceptibilidad magnética en una secuencia laminada de la Cuenca Alfonso, encontró una señal climática entre 910 y 1000 A.D., la cual refirió como el PCM. Villagrán de la Cruz (2008) realizó un estudio de asociaciones de radiolarios policistíneos en sedimentos laminados de la Cuenca del Carmen apoyando la señal del PCM entre 975 y 1335 A.D. Por su parte, Barron & Bukry (2007) mediante el estudio de diatomeas y silicoflagelados en sedimentos de las Cuencas de Guaymas y Pescadero encuentran la especie *Azpeitia nodulifera*, diatomea característica de zonas tropicales, su presencia sugiere altas temperaturas superficiales y reducida productividad aproximadamente entre 900 a 1020 y 1100 a 1160 A. D., intervalos que coinciden con el PCM.

Factor 2 “Surgencias”

Este Factor define el 48.22 % de la variabilidad de los datos, sus valores más altos se distribuyen en su mayoría en la región central de la secuencia entre ~ 833 a 1417 A.D. (Fig.5.4). El taxon predominante en este factor también es el más común a lo largo del núcleo: *Phorticum pylonium* grupo con valor del factor de 2.85. (Fig.5.6). *P. pylonium* habita masas de agua relativamente frías en zonas de surgencias (Molina-Cruz, 1986; Benson, 1966; Molina-Cruz et al., 1999; Pérez-cruz, 2006; Villagrán de la Cruz, 2008).

En los sedimentos del Golfo de California cercanos a la costa *P. pylonium* representa más del 20 % del total de los radiolarios (Molina-Cruz, 1986). En la Cuenca de Guaymas puede constituir más del 10 % de los radiolarios que forman parte del plancton subsuperficial de 200 a 400 m de profundidad por debajo de la termoclina (Molina-Cruz et al., 1999).

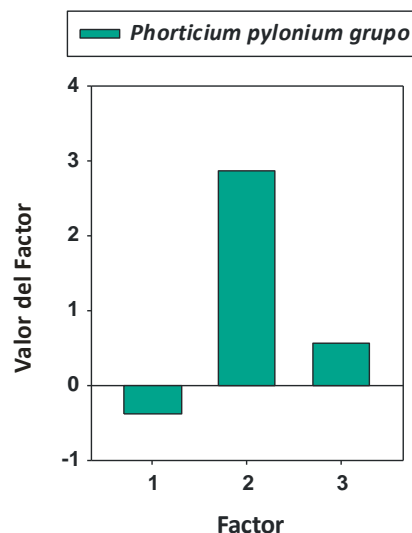


Fig.5.6 Valores del factor de los taxa que definen el Factor 2.

Las afinidades ecológicas de *P. pylonium*, taxón dominante de este factor, sugieren durante estos intervalos, condiciones oceánicas en donde los procesos de surgencias fueron frecuentes y/o intensos en la cuenca, lo que propició el afloramiento de aguas subsuperficiales relativamente frías y ricas en nutrientes a la superficie y por consiguiente un incremento en la productividad biológica y la dominancia de esta especie. Las surgencias probablemente fueron el resultado de una intensificación de los patrones de vientos del sureste, y probablemente las condiciones climáticas fueron frías.

Factor 3 “Ecuatorial”

Este Factor define el 14.88 % de la variabilidad de los datos y se distribuye en la parte superior del núcleo entre ~ 1547 a 1937 A.D. (Fig.5.4). Los taxa que caracterizan esta asociación son *Arachnocorallium calvata* y *Tetrapyle octacantha* grupo, los cuales presentan valores del factor de 2.01, 1.40 respectivamente (Fig.5.7).

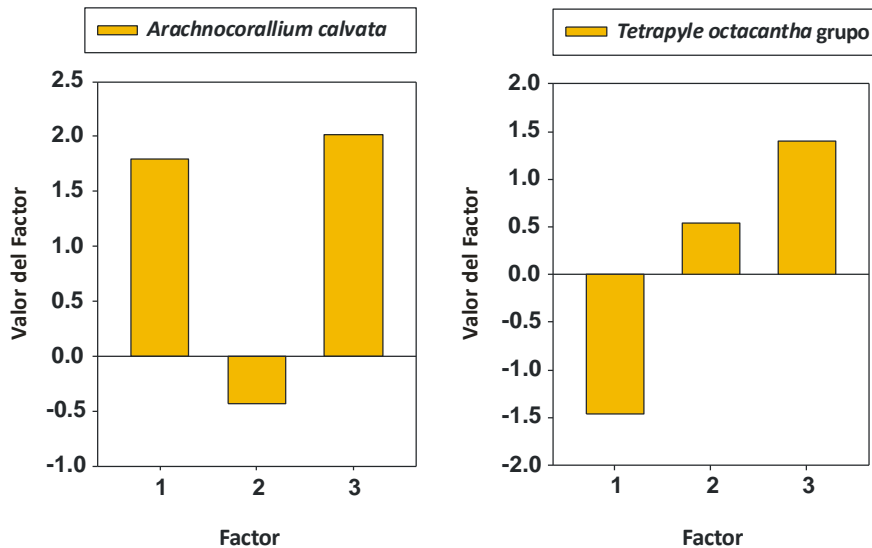


Fig.5.7 Valores del factor de los taxa que definen el Factor 3.

A. calvata es característica de la región ecuatorial central del Pacífico (Casey, 1971a), puede tolerar considerables fluctuaciones de temperatura y salinidad (Yamashita et al., 2002). Se le considera como una especie de aguas cálidas superficiales abundante entre los 0 y 100 m de profundidad, presenta un buen potencial de preservación tanto en muestras de plancton como de sedimento (Petrushevskaya, 1971). Fue reportada con mayor frecuencia por Benson (1966), en los sedimentos superficiales de de la región sur y norte del Golfo de California. Posteriormente, Molina-Cruz et al. (1999) la reportan como una especie de amplia distribución dentro del Golfo de California.

Bernal-Ramírez (2003) la considera como una especie de ambiente cálido asociada al Agua Subtropical Subsuperficial (ASSts) en la Cuenca San Lázaro y al Agua Ecuatorial Superficial en el Golfo de California.

Por otra parte, *T. octacantha* ha sido asociada en numerosos estudios con ambientes de agua cálida-superficiales (0-100 m de profundidad), particularmente como indicador de masas de agua subtropicales y ecuatoriales (Lombari & Boden, 1985; Pisas, 1978, 1986; Molina-Cruz, 1977; Welling et al., 1992; Welling & Pisas 1993, 1998;

Weinheimer & Cayan, 1997; Okazaki et al., 2005). En la boca y en la región suroeste del Golfo de California, se ha descrito como un componente importante de la comunidad de radiolarios relacionada con el Agua Superficial Ecuatorial (Molina-Cruz et al., 1999; Pérez-Cruz, 2006).

La incursión del Agua Superficial Ecuatorial (ASE) en el Golfo de California presenta una marcada señal estacional presentando su máxima intrusión en verano cuando puede llegar hasta la Cuenca de Guaymas durante la ocurrencia del ENSO y su máxima retracción en invierno cuando se le encuentra cerca de la boca del Golfo (Lavín et al., 1997; Molina-Cruz et al., 1999).

Con base en la dominancia de estos dos taxa y sus afinidades ecológicas a aguas cálidas y oligotróficas, se infiere una mayor permanencia del Agua Superficial Ecuatorial en la región y un clima cálido y húmedo, posiblemente como resultado de una mayor frecuencia y/o intensidad de eventos de "El Niño".

Estos resultados concuerdan con registros de otros estudios realizados en otras cuencas en el Golfo de California. Por ejemplo, Goñi et al. (2006) realizaron un estudio de los últimos 300 años (1700 a 2000 A. D.) que revela un incremento en la temperatura superficial del mar de 1 a 2° C. Ellos estudiaron una secuencia de sedimentos varvados de la Cuenca de Guaymas, en donde se utilizó como proxy a las alquenonas, que son compuestos orgánicos (cetonas) altamente resistentes producidos por las algas haptofitas y el cocolitoforido *Emiliania huxleyi*. Estos organismos alternan el grado de insaturación de cetonas (índice de cuantificación de $U^{K'_{37}}$) como respuesta fisiológica a los cambios de temperatura del agua que las rodea (Goñi et al., 2006).

En esta misma cuenca, mediante el análisis de isótopos de oxígeno de sílice biogénico de diatomeas se observó un incremento de temperatura en el agua superficial del Golfo alrededor de 6° C, esencialmente en invierno-primavera que puede estar relacionado con la disminución progresiva de la intensidad de los vientos del noroeste y de las surgencias registradas a lo largo de la costa del Pacífico Este de California al Ecuador desde finales del siglo 19 (Leclerc & Schrader, 1987; Leclerc et al., 1991).

Barron & Bukry (2007) registraron para la Cuenca de Guaymas en los últimos 100 – 200 años un decremento en el porcentaje de la especie de silicoflagelado *Octatis pulchra* (característica de aguas eutróficas) lo que sugiere una reducida productividad y temperaturas cálidas superficiales debido probablemente a un incremento en la radiación solar.

Villagrán de la Cruz (2008) propone condiciones cálidas y una incursión del ASE más evidente en los últimos 300 años para la Cuenca del Carmen evidenciado por la presencia de los radiolarios *Drupptractus variabilis*, *Tetrapyle octacantha* grupo y *Eucyrtidium hexagonatum*.

A nivel global, datos obtenidos mediante registro instrumental en el continente como en regiones marinas del Hemisferio Norte muestran que aproximadamente desde 1861 la temperatura anual promedio a aumentando en 0.6° C con un marcado contraste estacional: inviernos con un incremento cerca de 0.8° C y veranos con un incremento de solo 0.4° C, este calentamiento ha ocurrido en dos fases pronunciadas, alrededor de 1920 a 1945 y de 1975 al presente (Jones et al., 2001).

En un estudio del registro de variabilidad anual en corales masivos bandeados de Papúa Nueva Guinea utilizados para investigar la variabilidad del ENSO, muestra que este fenómeno ha sido un componente persistente del sistema climático durante los últimos 130,000 años presentando cambios sustanciales en intensidad a través del tiempo, en particular la amplitud e intensidad durante el siglo 20 parece ser significativamente mayor en comparación con los periodos glaciales – interglaciares esto lo asocian a variaciones en el movimiento de precesión orbital (Tudhope et al., 2001).

CONCLUSIONES

La Cuenca de la Paz, Golfo de California es una región en la cual los sedimentos del talud subyacen al Agua Intermedia del Pacífico, pobre en oxígeno ($O_2 > 0.1 \text{ ml / L}$), la cual influye directamente en la preservación de láminas, ya que inhibe la actividad bentónica y por lo tanto la bioturbación. Por tal razón, la secuencia de sedimentos laminados "K47" procedente de esta cuenca, representa un registro geológico natural de la variabilidad oceánica y climática, con una excelente resolución. De acuerdo con el modelo de edad basado en el método radiométrico de ^{210}Pb , tienen un alcance temporal de los últimos 1881 años (Holoceno tardío).

A partir del análisis de las asociaciones de radiolarios policistíneos fue posible reconstruir condiciones oceánicas en la región de estudio, principalmente la presencia de masas de agua superficiales y subsuperficiales, procesos de surgencias –escenarios de alta productividad-; así como, inferir algunas condiciones climáticas en la región, asociadas con los patrones de vientos y la incursión de aguas tropicales durante "El Niño". Además, sugieren la señal de un evento climático de carácter global. Por todo esto, se corrobora la utilidad de los radiolarios policistíneos como un excelente *proxy* paleoceanográfico.

Se determinaron 165 taxa (pertenecientes a cuatro órdenes) de radiolarios policistíneos para la secuencia de sedimentos laminados K47 de la Cuenca de la Paz. Mediante el análisis estadístico multivariado (Análisis de Factores Modo "Q"), fue posible definir asociaciones de radiolarios policistíneos, y a través de la interpretación de sus afinidades ecológicas, se proponen para el área de estudio tres condiciones climáticas-oceánicas para el Holoceno tardío:

El Factor "Agua del Golfo de California" definido por las especies *Clathrocircus stapedius*, *Lithomelissa thoracites* y *Arachnocorallium calvata* en el periodo comprendido entre ~ 120 a 768 A. D. y una señal en 1222 A.D., sugiere que las condiciones climáticas fueron más cálidas y áridas que las actuales, lo cual pudo favorecer el proceso de evaporación de las aguas superficiales y la formación de una masa de agua relativamente cálida y salina, con propiedades similares al AGC. Se sugiere que la señal de ~ 1222 años puede estar relacionada con el evento climático conocido como el Periodo Cálido Medieval.

El Factor "Surgencias" se encuentra definido entre ~ 833 a 1417 A.D, periodo en el cual se infieren condiciones oceánicas en donde los procesos de surgencias fueron frecuentes y/o intensos en la cuenca, lo que propició el afloramiento de aguas subsuperficiales relativamente frías y ricas en nutrientes a la superficie y por consiguiente un incremento en la productividad biológica y la presencia de *Phorticum pylonium*, taxón dominante de éste factor. Las surgencias probablemente fueron el resultado de una intensificación de los patrones de vientos del sureste, y probablemente las condiciones climáticas fueron frías.

El Factor "Ecuatorial" presenta una dominancia de *Arachnocorallium calvata* y *Tetrapyle octacantha* para el período comprendido entre ~ 1547 a 1937 A.D. Con base en la dominancia de estos dos taxa y sus afinidades ecológicas a aguas cálidas y oligotróficas, se infiere una mayor permanencia del Agua Superficial Ecuatorial en la región y un clima cálido y húmedo, posiblemente como resultado de una mayor frecuencia y/o intensidad de eventos de "El Niño".

LITERATURA CITADA

- Abelmann, A. & M. M. Gowing. 1997. Spatial distribution pattern of living polycystine radiolarian taxa—baseline study for paleoenvironmental reconstructions in the Southern Ocean (Atlantic sector). *Marine Micropaleontology*. 30:3-28.
- Afanasieva, M. S. 2007. Radiolarian Skeleton: Morphology of spines, internal framework, and primary sphere. *Paleontological Journal*. 41(1):1-14.
- Álvarez-Borrego, S. & J. R. Lara-Lara. 1991 The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: The Gulf and Peninsular province of the Californias. Dauplin P. & R. T. Simoneit (eds). *American Association of Petroleum Geologist*. Tulsa, Oklahoma. pp. 555-567.
- Anderson, O. R. 1983. Radiolaria. New York, USA: Springer-Verlag. 355 pp.
- Appely, P. G. & F. Oldfield. 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediment. *Catena*. Vol. 5. pp. 1-8.
- Armstrong, H. A & M. D. Brasier. 2005. Radiozoa (Acantharia, Phaeodaria and Radiolaria). In: *Microfossils* (2ª ed.). Blackwell Publishing. pp. 188-199.
- Arz, J. A. 2004. Radiolarios In: *Micropaleontología*. Molina E., (ed). Prensas Universitarias de Zaragoza. pp. 273-292.
- Baba, J., C. D. Peterson & H. J. Schrader. 1991. Modern Fine-Grained Sediments in the Gulf of California. In: The Gulf and Peninsular province of the Californias. Dauplin P. & R. T. Simoneit (eds). *American Association of Petroleum Geologist*. Tulsa, Oklahoma. pp. 569-588.
- Badan, A. 1997. La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. In: *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Lavin M. F. (ed). Monografía 3:99-112.
- Barron, J. A. & D. Bukry. 2007. Solar forcing of Gulf of California climate during the past 2000 yr suggested by diatoms and silicoflagellates. *Marine Micropaleontology*. 62: 115 – 139.
- Baumgartner, T. R., J. Cowen & A. Soutar. 1991. Reconstruction of a 20th Century Varve Chronology from the Central Gulf of California. In: The Gulf and Peninsular province of the Californias. Dauplin P. & R. T. Simoneit (eds). *American Association of Petroleum Geologist*. Tulsa, Oklahoma. pp. 603-616.
- Benson, N. R. 1966. Recent radiolaria from the Gulf of California. Ph. D. Thesis. University of Minnesota, 577 pp.
- Benson, R. N. 2005. Holocene radiolaria from sediments from Gulf of California. 52 pp.
- Bernal-Ramírez, R. G. 2003. Paleoceanografía reciente de alta resolución de los mares de Baja California Sur. Tesis de doctorado en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 98 pp.

- Boltovskoy, D. & I. Pujana. 2008. Radiolaria. In: Los Invertebrados Fósiles. Camacho, H. H. y M. I. Longobucco (eds). Fundación Historia Natural Félix Azara. Buenos Aires, Argentina. Tomo 1. pp. 101-132.
- Boltovskoy, D. & S. S. Jankilevich. 1985. Radiolarian distribution in East equatorial Pacific plankton. *Oceanologica Acta*. 8(1):101-123.
- Boltovskoy, D. 1987. Sedimentary record of radiolarian biogeography in the equatorial to Antarctic western Pacific Ocean. *Micropaleontology*. 33: 287-281.
- Boltovskoy, D. 1991. Holocene-upper Pleistocene radiolarian biogeography and paleoecology of the equatorial Pacific. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 86: 227-241.
- Boltovskoy, D. 1994. The sedimentary record of pelagic biogeography. *Progress in Oceanography*. 34: 135-160.
- Boltovskoy, D. 1998. Classification and distribution of south Atlantic recent polycystine radiolarian. *Paleontología Electronica* 1(2):116 pp.
- Boltovskoy, D., V. A. Alder & A. Abelmann. 1993. Annual flux of Radiolaria and other shelled plankters in the Eastern equatorial Atlantic at 853 m: seasonal variations and Polycystine species-specific responses. *Deep-Sea Research* 40: 1863-1895.
- Bradley, S. R. 1999. Paleoclimatology. Academic Press. USA. pp. 191-283.
- Bray, N. A. & J. M. Robles. 1991. Physical Oceanography of the Gulf of California. In: The Gulf and Peninsular province of the Californias. Dauphin P. & R. T. Simoneit (eds). *American Association of Petroleum Geologist*. Tulsa, Oklahoma. pp. 511-553.
- Casey, R. E. 1971a. Distribution of Polycystine Radiolaria in the oceans: In relation to physical and chemical conditions. In: The micropaleontology of oceans. Funnell, B. M. & W. R. Riedel (eds). Cambridge University Press. pp. 151-159.
- Casey, R. E. 1971b. Radiolarians as indicators of past and present water-masses. In: The micropaleontology of oceans. Funnell, B. M. & W. R. Riedel (eds). Cambridge University Press. pp. 331-341.
- Cronin, T.M. 1999. Principles of Paleoclimatology. Columbia University Press. New York. 560 pp.
- Curry, J. R., Moore, D. G. & Einsele, G. 1982. Tectonics and geological history of the passive continental margin at the tip of Baja California. In: *Initial reports of the Deep Sea Drilling Project*. 64(2):1089-1116.
- Dansgaard, W. S., J. Johnsen, J. Møller, C. C. Langway. 1969. One thousand centuries of climatic record from camp century on Greenland ice sheet. *Science*. 166: 377-381.
- De Wever, P., J. Azema & E. Fourcade. 1994. Radiolaires et radiolarites: production primaire, diagenèse et paléogéographie. *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf., Aquitaine*. 18(1): 315-379.
- De Wever, P., P. Dumitrica, J. P. Caulet, C. Nigrini & M. Caridroit. 2001. Radiolarians in the sedimentary Record. Gordon and Breach Science Publishers. Amsterdam. 533 pp.

- Donegan, D. & H. Schrader, 1982. Biogenic and abiogenic components of laminated hemipelagic sediments in the central Gulf of California. *Marine Geology*. 48:215-237.
- Douglas, W. M, R. A. Maddox, A. R., K. Howard & S. Reyes. 1993. The Mexican Mosoon. *Journal of Climate*. 6:1665-1677.
- Goldberg, E. D. 1963. Geochronology with ^{210}Pb . Radioactive dating, Conference Proceedings, November 19-23, 1962, Athens, IAEA, Viena. pp. 121-131.
- Goñi, M. A., R. C. Thunell, M. P., Woodworth & F. E., Müller-Karger. 2006. Changes in wind driven upwelling during the last three centuries: Interocean teleconnections. *Geophysical Research Letters*. 33(L15604):1-4.
- Grove, J. M. 1998. The Little Ice Age. London, Methuen. Routledge Editors. 500 pp.
- Hastings, J. M. & R. M. Turner. 1965. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. *Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography*. 47(4):204-223.
- Hickey, B. M., 1979. The California Current System, hypotheses and facts. *Progress in Oceanography* 8:191-279.
- Jones P. D., T. J. Osborn & K. R. Briffa. 2001. The evolution of climate over the last millennium. *Science*. 292: 666 – 667.
- Kling, A. S. & D. Boltovskoy. 1995. Radiolarian vertical distributions patterns across the southern California Current. *Deep-Sea Research*. 42(2):191-231.
- Kling, A. S. 1978. Siliceous microfossils. In: Introduction to Marine Micropaleontology. Haq, B. V. & A. Boersma (eds). New York, U.S.A.: Elsevier. Pp. 203-244.
- Kling, A. S. 1979. Vertical distribution of polycystine radiolarians in the central North Pacific. *Marine Micropaleontology*. 4: 295-318.
- Lavín, M. F. & S. G. Marione. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. Velasco – Fuentes O. U., et al., (eds). Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics. Kluwer Academic Publishers. pp. 173 – 204.
- Lavín, M. F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. Lavín, M. F. (ed). Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía N° 3. pp. 141-171.
- Leclerc, A. J. & H. Schrader. 1987. Variations of upwelling intensity recorded in varved sediment from the Gulf of California during the past 3,000 years. *Nature*. 329:146-149.
- Leclerc, A. J., L. D. Labeyrie & J. I. Reys. 1991. Temperature variability in the Gulf of California during the last century: A record of a recent strong El Niño. *Geophysical Research Letters*. 18(10):1889-1892.
- Lombardi, G. & G. Boden. 1985. Modern radiolarian global distribution. 127 pp.
- Mayewski, A. P., et al. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*. 62: 243-255.

- McKnight, L. T. 1996. *Physical Geography*. 5ª edición. Cap. 5: Atmospheric Pressure and Wind. Editorial Prentice Hall. New Jersey, E.U.A. pp. 107-137.
- Molina-Cruz, A., R. G. Bernal-Ramírez, A. Caudillo-Bohorquez, M. M. Guerrero-Tristán & C. C. Bernal-Ramírez. 1997. Catálogo taxonómico y biogeográfico de los radiolarios (orden Polycystina) de la región central y sur del Golfo de California. Informe final del Proyecto B041, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Laboratorio de Ecología de Foraminíferos y Micropaleontología, México, D.F. 247 pp.
- Molina-Cruz, A. & M. Martínez-López. 1994. Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, Mexico, indicated by Radiolaria remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 110:179-195.
- Molina-Cruz, A. 1977 Radiolarian assemblages and their relationship to the oceanography of the subtropical southeastern Pacific. *Marine Micropaleontology*. 2: 315-352.
- Molina-Cruz, A. 1986. Evolución oceanográfica de la boca del Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. 13(2): 95-120.
- Molina-Cruz, A., Welling, L. & A. Caudillo-Bohorquez. 1999. Radiolarian distribution in the water column, southern Gulf of California, and its implication in thanatocoenose constitution. *Marine Micropaleontology*. 37:149-171.
- Monreal-Gómez, A., A. Molina-Cruz & D. A. Salas-de-León. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Journal of Marine Systems*. 30: 305-315.
- Moore, T. C. 1978. The distribution of radiolarian assemblages in the modern and ice age Pacific. *Marine Micropaleontology*. 3: 229-266.
- Nava-Sánchez E. H., D. S. Gorsline & A. Molina-Cruz. 2001. The Baja California peninsula borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sedimentary Geology*. 144:63-82.
- Nigrini, C. A. & T. C. Moore. 1979. A guide to modern Radiolaria. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication 16, Washington, D.C. pp. S1-S142+N1-N106.
- Okazaki, Y., K. Takahashi, J. Onodera & M. C. Honda. 2005. Temporal and spatial flux changes of radiolarians in the northwestern Pacific Ocean during 1997-2000. *Deep Sea Research*. 2:2240-2274.
- Parés-Sierra A., López M. & G. E. Pavía. 1997. Oceanografía Física del Océano Pacífico Nororiental. In: *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Lavin M. F. (ed). Monografía 3:1-24.
- Pérez-Cruz, L. 2006. Climate and ocean variability during the middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. *Quaternary Research*. 65:401-410.
- Pérez-Cruz, L. & A. Caudillo-Bohorquez. 2006. Los radiolarios del Golfo de California: Su importancia en estudios paleoceanográficos y paleoclimáticos. Congreso de la SOMEXPAL, C. U., México D. F., 21 al 24 de noviembre 2006.

- Pérez-Cruz, L. & J. C. Herguera-García. Génesis de los sedimentos laminados en el Golfo de California: Implicaciones climáticas y oceanográficas, en: Estudios sobre el Cuaternario. Fondo de Cultura Económica (en prensa),
- Pérez-Cruz, L. 2007 *Paleoceanographic Research in Mexico: Holocene Marine Sedimentary Record of the Gulf of California*. Presentación Oral. AGU Spring Meeting, EOS Trans AGU 88(23). Acapulco, México, Mayo 21-25.
- Pérez-Cruz, L. 2008. Variabilidad Climática en el Holoceno: estudios en los registros naturales de alta resolución (sedimentos laminados) del Golfo de California. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. CU 22 de febrero.
- Petrushevskaya, M. G. 1971. Spumellarian and Nassellarian Radiolaria in the plankton and bottom sediments of the Central Pacific. In: The micropaleontology of oceans. Funnell, B. M. & W. R. Riedel (eds). Cambridge University Press. 21:309-317.
- Pisias, N. G. 1978. Paleoceanography of Santa Barbara Basin during the last 8000 years. *Quaternary Research*. 10:366-384.
- Pisias, N.G. 1986. Vertical water mass circulation and the distribution of radiolarian in surface sediments of the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*. 10:189-205.
- Pride, C., Thunell, R., Sigman, D., Keigwin, L., Altabet, M. & E. Tappa, 1999. Nitrogen isotopic variations in the Gulf of California since the last deglaciation: Response to global climate change. *Paleoceanography*. 14: 397-409.
- Renz, G. W. 1976. The distribution and ecology of Radiolaria in the Central Pacific: Plankton and surface sediments. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*. University of California. 22:1-73.
- Roden G. I. 1964. Oceanographic aspects of Gulf of California. In: Marine Geology of the Gulf of California. Van Andel T. H. & G. G. Shor (eds). *American Association of Petroleum Geologists*. Memoir 3:30-58.
- Roden, G. I. & G. W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*. 18(1):10-35.
- Sachs, H. M. 1973. North Pacific radiolarian assemblages and their relationship to oceanographic parameter. *Quaternary Research*. 3(1):73-78.
- Straton-Noller J. 2000. Lead 210 Geochronology. In: Quaternary geochronology: Methods and Applications. Straton-Noller J., J.M.Sowers y W.R. Lettis. American Geophysical Union. Washington, D.C. pp. 21-24.
- Takahashi, K & S. Honjo. 1981. Vertical flux of Radiolaria: a taxon quantitative sediment trap study from the western tropical Atlantic. *Micropaleontology*. 27(2):140-190.
- Takahashi, K. 1991. Radiolaria: flux, ecology, and taxonomy in the Pacific and Atlantic. In: Ocean Biocoenosis Series. S. Honjo (ed). *Woods Hole Oceanographic Institution*. 3:1-303.
- Thunell, R. C. 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Research*. 45:2059-2083.

- Trewartha, T. G. & L. H. Horn. 1980. An introduction to climate. 5ª edición. Editorial McGraw – Hill. E.U.A. 416 pp.
- Tudhope, A. W., C. P. Chilcott, M. T. McCulloch, E. R. Cook, J. Chapell, R. M. Ellam, D. W. Lea, J. M. Lough & G. B. Shimmield. 2001. Variability in the El Niño Southern Oscillation Through a Glacial- Interglacial Cycle. *Science*. 291: 1511-1517.
- Van Andel, H. T. 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California. In: *Marine Geology of the Gulf of California*. Van Andel, H. T. y G. G., Shor (eds.). AAPG, Memoir 3: 216-310.
- Villagrán de la Cruz, G. E. 2008. Los radiolarios policistinos en los sedimentos laminados de la Cuenca del Carmen, Golfo de California: Su significado paleoceanográfico. Tesis de Licenciatura (Biología marina). UMAR. Campus Puerto Ángel, Oaxaca, México. 85 pp.
- Weinheimer, A. L. & D. R. Cayan. 1997. Radiolarian assemblages from Santa Barbara basin sediments: Recent interdecadal variability. *Paleoceanography*. 12(5):658-670.
- Welling, L. A. & N. G. Pisias. 1993. Seasonal trends and preservational biases of Polycystine Radiolarian in the Northern California Current system. *Paleoceanography*. 8(3):351-372.
- Welling, L. A. & N. G. Pisias. 1998. How do radiolarian sediment assemblages represent surface ocean ecology in the central equatorial Pacific. *Paleoceanography*. 13(2):131-149.
- Welling, L. A., N. G. Pisias & A. K. Roelofs. 1992. Radiolarian microfauna in the northern California Current System: Indicators of multiple processes controlling productivity. In: Summerhayes, C.P., W.L., Prell y K.C. Emeis (eds). *Upwelling Systems: Evolution Since Early Miocene*. Geological Society. London Special Publication. 64:177-195.
Wide Wed: http://www.odp.tamu.edu/paleo/1998_2/boltovskoy/issue2.htm.
- Yamashita, H., K. Takahashi & N. Fujitani. 2002. Zonal and vertical distribution of radiolarians in the western and central Equatorial Pacific in January 1999. *Deep-Sea Research II*. 49:2823-2862.

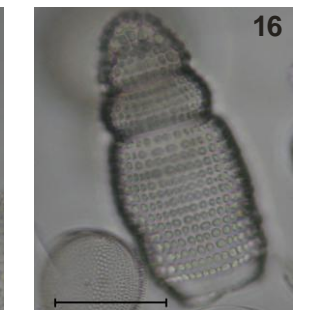
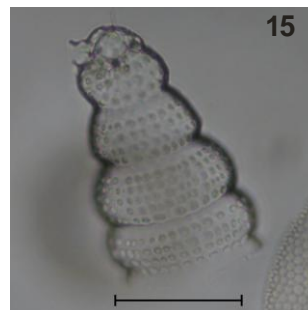
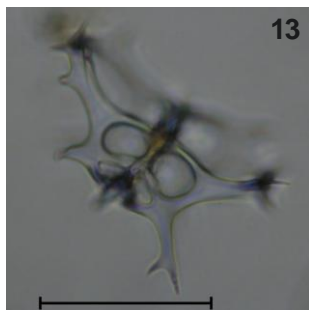
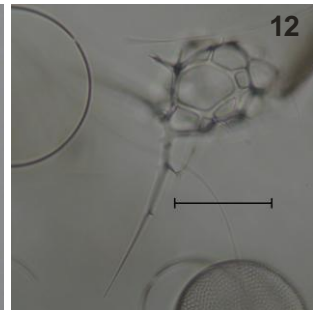
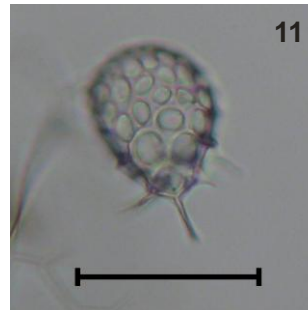
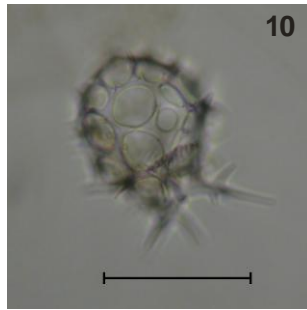
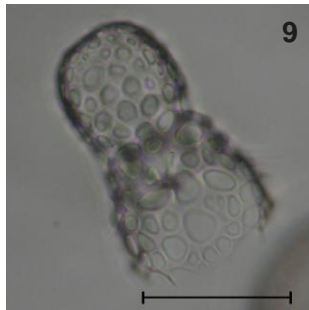
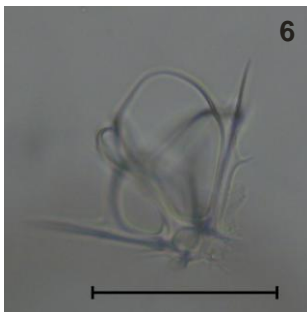
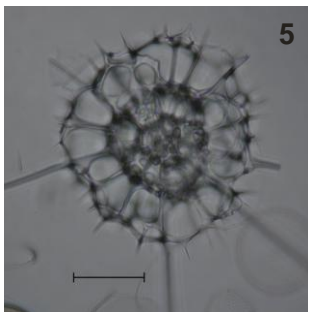
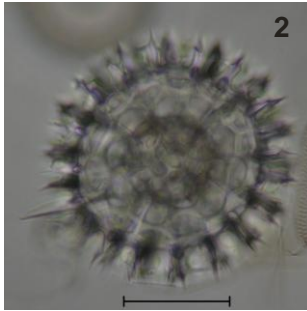
ANEXO I

Lámina 1: radiolarios policistíneos de la secuencia de sedimentos “K47”

- Fig. 1. *Druppatractus irregularis*
- Fig. 2. *Druppatractus variabilis*
- Fig. 3. *Tetrapyle octacantha* grupo
- Fig. 4. *Hexapyle dodecantha* grupo
- Fig. 5. *Phorticium pylonium* grupo
- Fig. 5. *Pseudocubus obeliscus*
- Fig. 7. *Arachnocorallium calvata*
- Fig. 8. *Lithomelissa pentacantha*
- Fig. 9. *Lithomelissa thoracites*
- Fig. 10. *Peridium* sp. cf. *P. longispinum*
- Fig. 11. *Peridium longispinum*
- Fig. 12. *Phormacantha hystrix*
- Fig. 13. *Clathrocircus stapedius*
- Fig. 14. *Phormospyris stabilis scaphipes*
- Fig. 15. *Botryostrobos auritus-australis* grupo
- Fig. 16. *Phormostichoartus corbula*

La barra equivale a 50 μm

Lámina 1



ANEXO II

LISTADO FAUNÍSTICO DE LOS TAXA DE RADIOLARIOS POLICISTÍNEOS ENCONTRADOS EN LA SECUENCIA SEDIMENTARIA K47
EN LA CUENCA DE LA PAZ, GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO.

REINO PROTISTA HAECKEL, 1868

PHYLUM SARCODINA HERTWIG & LESSER, 1876

CLASE ACTINOPODA CALKINS, 1909

SUBCLASE RADIOLARIA MÜLLER, 1958

SUPERORDEN POLYCISTINA EHRENBERG, 1838 ENMEND. RIEDEL, 1967

ORDEN SPUMELLARIA EHRENBERG, 1875 ENMEND. DE WEVER et al., 2001

SUPERFAMILIA ACTINOMMACEA HAECKEL 1862, ENMEND. DE WEVER et al., 2001

A) ACTINOMMACEA con sólo una teca medular

FAMILIA: ASTROSPHAERIDAE HAECKEL, 1881

ID	ESPECIE/TAXON	REFERENCIA
S1	<i>Acanthosphaera actinota</i> Haeckel, 1860	(3) Lám. 1, fig. 12
S2	<i>Anomalacantha dentata</i> (Mast) 1910	(1) Lám. 5, figs. 10-11
S3	<i>Cladococcus abietinus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 6, figs. 2-3
S4	<i>Cladococcus cervicornis</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 6, fig. 1
S5	<i>Cenosphaera</i> sp. aff. <i>C. perforata</i> Haeckel, Benson, 1966	(1) Lám. 2, figs. 6-7
S6	<i>Heliosphaera radiata</i> Popofsky, 1912	(1) Lám. 5, figs. 1-2
FAMILIA STYLOSPHAERIDAE HAECKEL, 1881		
S7	<i>Drupptractus irregularis</i> Popofsky, 1912	(1) Lám. 7, figs. 7-11
S8	<i>Drupptractus variabilis</i> Dumitrica, 1973	(1) Lám. 7, figs. 2-6
S9	<i>Spongosphaera streptacantha</i> Haeckel, 1861	(1) Lám. 6, fig. 4; Lám. 7, fig. 1
S10	<i>Stylatractus cronos</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 7, figs. 12-13
S11	<i>Stylatractus pluto</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 7, figs. 14-17

B) ACTINOMMACEA con doble teca medular

FAMILIA ACTINOMMIDAE HAECKEL, 1862 ENMEND. DE WEVER et al., 2001

S12	<i>Actinomma antarcticum</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 3, figs. 2-3
S13	<i>Actinomma boreale</i> Cleve, 1899	(1) Lám. 5, figs. 7-9
S14	<i>Actinomma delicatulum</i> (Dogiel & Reschetnjak) 1952	(1) Lám. 5, figs. 3-4
S15	<i>Actinomma leptoderma</i> (Jorgensen) 1900	(1) Lám. 5, fig. 6
S16	<i>Actinomma leptoderma longispina</i> Cortese & Bjorklund, 1998	(2) Lám. VS-R 136b
S17	<i>Actinomma medianum</i> Nigrini, 1967	(1) Lám. 2, fig. 14; Lám. 3 fig. 1
S18	<i>Actinomma sol</i> Cleve, 1901	(1) Lám. 2, figs. 12-13
S19	<i>Actinomma</i> sp. Benson, 2003	(1) Lám. 5 fig. 5
S20	<i>Hexastylus triaxonius</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 3, figs. 6-7

FAMILIA: COCCODISCIDAE HAECKEL, 1862 ENMEND. SANFILIPPO & RIEDEL, 1980

SUBFAMILIA ARTISCINAE HAECKEL, 1881 ENMEND. RIEDEL, 1967

S21	<i>Cypassis irregularis</i> Nigrini, 1968	(1) Lám. 8, figs. 6-7
S22	<i>Didymocyrtis tetrathalamus</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 8, figs. 8-13; Lám. 9, figs. 1-2; texto-fig. 10

FAMILIA HELIODISCIDAE HAECKEL, 1881

S23	<i>Heliodiscus echiniscus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 9, fig. 4
-----	---	--------------------

C) ACTINOMMACEA con múltiples tecas medulares

SUPERFAMILIA PYLONIAEAE HAECKEL, 1881 ENMEND. DUMITRICA, 1989

SUBSUPERFAMILIA PYLONIILAE HAECKEL, 1881

FAMILIA PYLONIIDAE HAECKEL, 1881 ENMEND. DUMITRICA, 1989

SUBFAMILIA PYLONIINAE HAECKEL, 1881 ENMEND. DUMITRICA, 1989

S24	<i>Larcospira minor</i> (Jorgensen) 1900	(1) Lám. 17, figs. 9-10; Lám. 18, figs. 1-4
S25	<i>Larcospira quadrangula</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 18, figs. 7-8
S26	<i>Larcospira</i> sp. Bjorklund et al., 1998	(1) Lám. 18, figs. 5-6
S27	<i>Octopyle stenozone</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 16, figs. 3-4
S28	<i>Pylonium</i> sp. Benson, 1966	(1) Lám. 16, fig. 2
S29	<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo Müller, 1858	(1) Lám. 15, figs. 3-10; Lám. 16, fig. 1; texto-fig. 18

SUBFAMILIA DIPYLISSINAE DUMITRICA, 1988

S30	<i>Dipylissa bensoni</i> Dumitrica, 1988	(1) Lám. 18, figs. 9-10
-----	--	-------------------------

SUBFAMILIA PYLODISCINAE HAECKEL, 1887

S31	<i>Hexapyle dodecantha</i> grupo Haeckel, 1887	(1) Lám. 8, figs. 14-16; lám. 19, fig. 4; texto-fig. 20; Lám. 18, figs. 11-13; texto-fig. 19
S32	<i>Larcopyle bütschlii</i> grupo Dreyer, 1889	(1) Lám. 19, figs. 3, 5; Lám. 19, figs. 1-2

SUBSUPERFAMILIA LARNACILLIAE HAECKEL, 1887

SUBFAMILIA LARNACILLIDAE HAECKEL, 1887

S33	<i>Phorticium pylonium</i> grupo Haeckel, 1887	(1) Lám. 16, figs. 5-9; Lám. 17, figs. 1-3
S34	<i>Streblacantha circumtexta</i> Jorgensen, 1900	(3) Lám. 1, fig. 8

LISTADO FAUNÍSTICO (CONTINUACIÓN)

ID	SUBFAMILIA CIRCODISCINAE DUMITRICA, 1989 ESPECIE/TAXON	REFERENCIA
S35	<i>Circodiscus microporus</i> (Stöhr) 1880 FAMILIA THOLONIIDAE HAECKEL, 1887	(1) Lám. 9, figs. 7-8; Lám. 10, fig. 1; texto-fig. 12
S36	<i>Amphitholus acanthometra</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 17, figs. 4-7
S37	<i>Cubotholus octoceras</i> Haeckel, 1887 SUPERFAMILIA SPONGODISCACEA HAECKEL, 1862 FAMILIA SPONGODISCIDAE HAECKEL, 1862	(1) Lám. 17, fig. 8
S38	<i>Amphirhopalum ypsilon</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 11, figs. 5-7
S39	<i>Dictycoryne truncatum</i> (Ehrenberg) 1861	(1) Lám. 15, fig. 1
S40	<i>Dictycoryne profunda</i> Ehrenberg, 1860	(1) Lám. 12, figs. 4-6
S41	<i>Euchitonia elegans/furcata</i> grupo Boltovskoy, 1998	(1) Lám. 14, figs. 1-2; texto-fig. 17
S42	<i>Euchitonia</i> sp. Benson, 1983	(1) Lám. 14, figs. 3-4
S43	<i>Euchitonia</i> sp. cf. <i>E. furcata</i> Benson, 1966	(1) Lám. 13, fig. 4, fig. 5(?)
S44	<i>Euchitonia triangulum</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 12, fig. 7; Lám. 13, figs. 1-3
S45	<i>Hymeniastrum euclidis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 12, figs. 1-3
S46	<i>Spongaster tetras</i> Ehrenberg, 1860	(1) Lám. 15, fig. 2
S47	<i>Spongodiscus biconcavus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 11, fig. 1; texto-fig. 14
S48	<i>Spongopyle osculosa</i> Dreyer 1889	(1) Lám. 11, figs. 2-3; texto-fig. 15
S49	<i>Spongotrochus glacialis</i> Popofsky, 1908	(1) Lám. 11, fig. 4; texto-fig. 16
S50	<i>Stylochlamyidium asteriscus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 10, fig. 6
S51	<i>Stylochlamyidium venustum</i> (Bailey) 1856	(1) Lám. 10, figs. 2, 4, 7
S52	<i>Stylodictya tenuispina</i> Jorgensen, 1905	(1) Lám. 10, figs. 3, 5
S53	<i>Stylodictya validispina</i> Jorgensen, 1905 FAMILIA SPONGURIDAE HAECKEL, 1862	(1) Lám. 9, figs. 5-6; texto-fig. 11
S54	<i>Spongocore puella</i> Haeckel, 1887 ORDEN COLLODARIA HAECKEL, 1881 FAMILIA COLLOSPHAERIDAE MÜLLER, 1858	(1) Lám. 8, figs. 1-3
C55	<i>Acrosphaera murrayana</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 2, fig. 3
C56	<i>Collosphaera</i> sp. Benson, 2003	(1) Lám. 2, figs. 1-2
C57	<i>Collosphaera tuberosa</i> Haeckel, 1887 FAMILIA SPHAEROZOIDAE HAECKEL, 1862	(6) Lám. 2 figs. 1-3
C58	<i>Sphaerozoum punctatum</i> Müller, 1858 ORDEN ENTACTINARIA KOZUR & MOSTLER, 1982 FAMILIA RHIZOSPHAERIDAE HAECKEL, 1881 ENMEND. DUMITRICA	(1) Lám. 19, figs. 12-13
E59	<i>Actinosphaera acanthophora</i> (Popofsky) 1912 FAMILIA HEXALONCHIDAE HAECKEL, 1881	(1) Lám. 2, figs. 8-10
E60	<i>Hexacontium arachnoidale</i> Hollande & Endumet, 1960	(1) Lám. 14, figs. 6-7
E61	<i>Hexacontium laevigatum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 4, figs. 4-5
E62	<i>Hexacontium melpomene</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 3, figs. 8-11
E63	<i>Hexacontium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> Benson, 2003	(1) Lám. 3, figs. 13-14; Lám. 4, figs. 1-3
E64	<i>Hexacontium</i> sp. cf. <i>H. heracliti</i> (Haeckel) 1887 FAMILIA SATURNALIDAE DEFLANDRE, 1953 SUBFAMILIA AXOPRUNINAE DUMITRICA, 1983	(1) Lám. 4, figs. 8-10
E65	<i>Amphisphaera cristata</i> Carnevale, 1908 ORDEN NASSELLARIA EHRENBERG, 1875 EMEND. DE WEVER et al., 2001 FAMILIA PLAGIACANTHIDAE HERTWIG, 1879 SUBFAMILIA PLAGIACANTHINAE HERTWIG, 1879	(1) Lám. 3, figs. 4-5
N66	<i>Campylacantha cladophora</i> Jorgensen, 1905	(5) Lám. 12, fig. 47
N67	<i>Neosemantis distephanus distephanus</i> Goll, 1979	(1) Lám. 19, fig. 18; Lám. 20, fig. 1
N68	<i>Pseudocubus obeliscus</i> Haeckel, 1887 FAMILIA LOPHOPHAENIDAE HAECKEL, 1881 ENMEND. PETRUSHEVSKAYA, 1971	(1) Lám. 22, figs. 3-6
N69	<i>Amphiplecta acrostoma</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 32, fig. 2
N70	<i>Amphiplecta</i> sp. Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 32, fig. 1
N71	<i>Arachnocorallium calvata</i> Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 23, fig. 27; Lám. 24, figs. 1-3
N72	<i>Arachnocorys umbellifera</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 24, figs. 20-21
N73	<i>Artopilium undulatum</i> Popofsky, 1913	(1) Lám. 34, figs. 1-2
N74	<i>Ceratocyrtis histricosus</i> (Jorgensen) 1905	(1) Lám. 31, figs. 4-5, 7-8
N75	<i>Dictyophimus crisisiae</i> Ehrenberg, 1854	(1) Lám. 28, figs. 4-6
N76	<i>Dictyophimus histricosus</i> Jorgensen, 1905	(1) Lám. 31, fig. 6
N77	<i>Dictyophimus killmari</i> (Renz) 1974	(1) Lám. 29, fig. 7
N78	<i>Dictyophimus</i> sp. cf. <i>D. tripus</i> Benson, 1966	(1) Lám. 25, figs. 2-3; texto-fig. 8C
N79	<i>Lithomelissa laticeps</i> Jorgensen, 1905	(1) Lám. 24, figs. 14-15
N80	<i>Lithomelissa pentacantha</i> (Popofsky) 1913	(1) 24, figs. 6-9

LISTADO FAUNÍSTICO (CONTINUACIÓN)

ID	ESPECIE/TAXON	REFERENCIA
N81	<i>Lithomelissa setosa</i> Jorgensen, 1900	(2) Lám. vs-r 192b
N82	<i>Lithomelissa thoracites</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 24, figs. 10-12
N83	<i>Lophophaena hispida</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 24, fig. 19
N84	<i>Lophophaena nadezdae</i> Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 24, figs. 16-17
N85	<i>Lophophaena witjazii</i> Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 24, figs. 22-23; Lám. 25, fig. 1
N86	<i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i> Benson, 1966	(1) Lám. 24, figs. 4-5
N87	<i>Peridium longispinum</i> Jorgensen, 1900	(4) Lám. 12, fig. 5
N88	<i>Peromelissa phalacra</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 24, fig. 13
N89	<i>Phormacantha hystrix</i> (Jorgensen) 1900	(1) Lám. 23, figs. 24-26
N90	<i>Plectacantha</i> sp. Benson, 1966	(1) Lám. 23, figs. 21-23
N91	<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i> (Bailey) 1856	(1) Lám. 25, figs. 4-6
N92	<i>Pseudodictyophimus platycephalus</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 25, figs. 7-9
N93	<i>Trisulcus triacanthus</i> Popofsky, 1913	(7) Lám. 65, fig. 9
FAMILIA TRIOSPYRIDAE HAECKEL, 1881		
N94	<i>Ceratospyris</i> sp. cf. <i>C. borealis</i> Benson, 1983	(1) Lám. 21, figs. 9-10
N95	<i>Clathrocircus stapedius</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 21, figs. 11-13; Lám. 22, figs. 1-2
N96	<i>Liriospyris reticulata</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 20, figs. 2-7
N97	<i>Lophospyris pentagona hyperborea</i> (Jorgensen), enmend. Goll 1976	(1) Lám. 22, figs. 17-18
N98	<i>Lophospyris pentagona pentagona</i> (Ehrenberg) enmend. Goll 1969	(1) Lám. 22, figs. 15-16
N99	<i>Phormospyris</i> sp. Benson, 2003	(1) Lám. 22, fig. 22; Lám. 23, figs. 1-2
N100	<i>Phormospyris</i> sp. cf. <i>P. ophirensis</i> Ehrenberg, 1872	(1) Lám. 22, figs. 11-14
N101	<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 22, figs. 7-10; texto-fig. 8A
N102	<i>Phormospyris stabilis capoi</i> Goll, 1976	(1) Lám. 23, figs. 3-5
N103	<i>Phormospyris stabilis stabilis</i> Goll, 1976	(1) Lám. 23, figs. 6-8
N104	<i>Tholospyris baconiana baconiana</i> Goll, 1972	(1) Lám. 23, figs. 10-12
N105	<i>Tholospyris devexa</i> Goll, 1969	(1) Lám. 20, figs. 13-14; Lám. 21, figs. 1-4
N106	<i>Tholospyris procera</i> Goll, 1969	(1) Lám. 20, figs. 8-12
N107	<i>Tholospyris rhombus</i> Goll, 1972	(1) Lám. 19, figs. 16-17
FAMILIA ACANTHODESMIIDAE HERTWIG, 1879		
N108	<i>Acanthodesmia vinculata</i> (Müller) 1858	(1) Lám. 21, figs. 6-8
FAMILIA STEPHANIIDAE HAECKEL, 1887		
N109	<i>Zygocircus productus capulosus</i> Goll, 1979	(1) Lám. 19, figs. 14-15
FAMILIA SETHOPHORMIDIDAE HAECKEL, 1881		
N110	<i>Sethophormis pentalactis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 30, fig. 8
N111	<i>Verticillata hexacantha</i> Popofsky, 1913	(1) Lám. 26, fig. 3
FAMILIA SETHOPERIDAE HAECKEL, 1881 ENMEND. PETRUSHEVSKAYA, 1971		
N112	<i>Callimitra emmae</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 25, fig. 12
N113	<i>Cladoscenium</i> sp. cf. <i>C. tricolpium</i> Benson, 1966	(1) Lám. 25, figs. 10-11
N114	<i>Clathrocanium coarctatum</i> Ehrenberg, 1860	(1) Lám. 26, figs. 1-2
N115	<i>Clathrocorys murrayi</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 25, figs. 13-15
FAMILIA THEOPILIIDAE HAECKEL, 1881		
N116	<i>Coracalyptra cervus</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 30, figs. 3-5
N117	<i>Coracalyptra kruegeri</i> Popofsky, 1913	(7) Lám. 75 figs. 2-5
N118	<i>Cycladophora davisiana</i> Ehrenberg, 1862	(1) Lám. 29, figs. 14-16
N119	<i>Euencyrtus clinatus</i> Takahashi, 1991	(1) Lám. 30, figs. 6-7
N120	<i>Lampromitra cracenta</i> Takahashi, 1991	(1) Lám. 30, figs. 9-10
N121	<i>Lampromitra quadricuspis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 30, fig. 11; Lám. 31, fig. 1
N122	<i>Lipmanella bombus</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 28, fig. 11
N123	<i>Lipmanella dictyoceras</i> (Haeckel) 1861	(1) Lám. 28, figs. 8-10
N124	<i>Lithostrobos hexagonalis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 35, figs. 1-2
N125	<i>Lophocorys polyacantha</i> Popofsky, 1913	(1) Lám. 34, fig. 3
N126	<i>Sethoconus anthocyrtes</i> Haeckel, 1887	(7) Lám. 68 figs. 9-11
N127	<i>Theocorys veneris</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 33, figs. 12-13
N128	<i>Theopilium tricostatum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 30, figs. 1-2
FAMILIA CANNOBOTRYIDAE HAECKEL, 1881		
N129	<i>Acrobotrys cribosa</i> (Popofsky) 1913	(1) Lám. 23, fig. 15; texto-fig. 22
N130	<i>Acrobotrys teralans</i> Renz, 1976	(1) Lám. 23, figs. 13-14; texto-fig. 2
N131	<i>Botryocyrtes quinaria</i> (?) Ehrenberg, 1872	(1) Lám. 23, fig. 17
N132	<i>Botryocyrtes scutum</i> (Harting) 1863	(1) Lám. 23, fig. 16; texto-fig. 23
FAMILIA ACROPYRAMIDIDAE HAECKEL, 1881		
N133	<i>Cornutella profunda</i> Ehrenberg, 1854	(1) Lám. 29, figs. 7-8
N134	<i>Litharachnium tentorium</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 29, figs. 5-6
N135	<i>Plectopyramis dodecomma</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 29, fig. 3

LISTADO FAUNÍSTICO (CONTINUACIÓN)

ID	FAMILIA ULTRANAPORIDAE PESSAGNO, 1977 ESPECIE/TAXON	REFERENCIA
N136	<i>Pterocanium auritum</i> Nigrini & Caulet, 1992	(1) Lám. 26, figs. 5-6
N137	<i>Pterocanium elegans</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 27, figs. 1-2
N138	<i>Pterocanium praetextum eucolpum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 27, figs. 3-5
N139	<i>Pterocanium trilobum</i> (Haeckel) 1861	(1) Lám. 27, fig. 4; Lám. 28, figs. 2-3
FAMILIA ARTOSTROBIIIDAE RIEDEL, 1967		
N140	<i>Botryostrobos aquilonaris</i> (Bailey) 1856	(1) Lám. 35, figs. 18-20
N141	<i>Botryostrobos auritus-australis</i> grupo Nigrini, 1977	(1) Lám. 35, figs. 12-13
N142	<i>Phormostichoartus corbula</i> (Harting) 1863	(1) Lám. 35, figs. 5-8; texto-fig. 27
N143	<i>Siphocampe lineata</i> (Ehrenberg) 1838	(1) Lám. 35, figs. 10-11
N144	<i>Siphocampe</i> sp. (Benson) 1966	(1) Lám. 35, fig. 9
N145	<i>Spirocyrtes scalaris</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 35, figs. 15-17; texto-fig. 28
N146	<i>Stichocorys seriata</i> Jorgensen, 1905	(1) Lám. 35, fig. 14; texto-fig. 28
FAMILIA CARPOCANIIDAE HAECKEL, 1881 ENMEND. RIEDEL, 1967		
SUBFAMILIA CARPOCANIINAE HAECKEL, 1881 ENMEND. RIEDEL, 1967		
N147	<i>Carpocanarium papillosum</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 29, fig. 13
N148	<i>Carpocanistrum</i> sp. A (Nigrini) 1970	(1) Lám. 29, figs. 11-12
N149	<i>Carpocanistrum</i> spp. (Nigrini) 1970	(1) Lám. 29, figs. 9-10; texto-fig. 25
FAMILIA PTEROCORYTHIDAE HAECKEL, 1881 ENMEND. RIEDEL, 1967 ENMEND. MOORE, 1972		
N150	<i>Anthocyrtydium ophirense</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 32, figs. 6-9
N151	<i>Anthocyrtydium zanguebaricum</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 32, figs. 3-5
N152	<i>Lamprocyclus maritimalis</i> grupo Haeckel, 1887	(1) Lám. 32, figs. 10-12; Lám. 33, fig. 1
N153	<i>Lamprocyrtis nigrinae</i> (Caulet) 1971	(1) Lám. 33, figs. 2-3
N154	<i>Pterocorys clausus</i> (Popofsky) 1913	(1) Lám. 33, fig. 4
N155	<i>Pterocorys hertwigii</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 33, figs. 6-7
N156	<i>Pterocorys minythorax</i> (Nigrini) 1968	(1) Lám. 33, fig. 5
N157	<i>Stichopilium bicorne</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 29, figs. 1-2
N158	<i>Theocorythium trachelium trachelium</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 33, figs. 8-9
FAMILIA AMPHIPYNDACIDAE RIEDEL, 1967		
N159	<i>Cyrtopera laguncula</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 35, figs. 3-4
SUPERFAMILIA EUCYRTIDIACEA EHRENBERG, 1847		
FAMILIA EUCYRTIDIIDAE EHRENBERG, 1847		
N160	<i>Calocyclus monumentum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 31, figs. 2-3
N161	<i>Eucyrtidium annulatum</i> (Popofsky) 1913	(1) Lám. 34, figs. 13-14
N162	<i>Eucyrtidium anomalum</i> Haeckel, 1861	(1) Lám. 34, figs. 4-5
N163	<i>Eucyrtidium erythromystax</i> Nigrini & Caulet, 1992	(1) Lám. 34, figs. 10-12; texto-fig. 26
N164	<i>Eucyrtidium hexagonatum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 34, figs. 6-9
N165	<i>Eucyrtidium hexastichum</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 34, figs. 15-16

NOTA: A cada especie/taxón se le asignó un número de identificación (**ID**), los que les antecede una **C** son colodarios, **E** son entactinarios, **S** son espumelarios, y los que les antecede una **N** son naselarios. Los números en paréntesis indican autor(es): 1 = Benson 1966, 2 = Bjorklund & Benson 2003, 3 = Boltovskoy & Jankilevich 1985, 4 = Dolven 1998, 5 = Jorgensen 1905, 6 = Takahashi 1991, 7 = Van de Paverd 1995.

ANEXO III

MATRIZ DE ABUNDANCIA RELATIVA UTILIZADA EN EL ANÁLISIS DE FACTORES

ID	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
S7	0.80	0.32	0.95	0.96	1.70	1.56	1.97	0.76	0.27	5.25	0.60	3.48	0.50	0.30	0.43	1.97	4.38	2.36	2.01	1.43	3.47	5.93	2.90	3.16	1.96	4.41	0.27	0.52	0.28	3.58
S8	1.59	1.27	2.22	1.93	1.14	2.49	1.13	2.02	0.00	3.04	2.69	3.48	3.47	6.91	4.97	4.21	3.84	2.62	2.51	1.15	2.02	2.97	3.48	2.59	2.24	1.93	0.27	0.26	1.10	1.79
S29	3.18	5.08	5.08	4.50	3.41	7.17	5.07	7.05	1.64	4.42	2.99	5.51	0.00	3.00	5.62	0.28	0.82	4.45	3.27	0.00	5.49	1.19	1.45	3.16	2.80	1.38	3.24	5.21	4.42	3.28
S31	9.55	0.00	4.13	1.29	0.85	0.31	1.13	0.50	0.27	1.66	0.30	1.45	9.41	0.00	0.43	0.84	1.64	1.31	1.51	5.44	0.87	1.19	0.87	1.15	1.12	0.28	1.62	2.08	0.83	1.19
S33	0.00	7.94	5.08	4.82	5.97	3.12	6.20	4.28	1.37	7.73	8.38	9.28	3.96	11.11	7.99	8.99	7.67	10.99	8.29	5.44	5.49	2.97	4.93	4.60	6.16	5.51	5.14	5.21	6.63	2.69
N68	0.53	0.95	1.90	1.93	3.13	2.49	1.41	1.76	1.64	1.10	2.40	2.90	2.97	0.30	1.08	4.21	3.84	1.31	2.01	3.72	2.31	3.86	3.77	4.60	3.36	1.93	3.78	1.30	3.59	2.99
N71	7.96	10.1	6.98	6.43	5.11	7.48	6.48	4.79	8.74	5.25	6.29	6.38	5.94	5.11	3.24	7.30	3.29	4.19	4.52	6.30	4.91	5.64	6.09	6.32	0.00	5.79	4.59	5.21	3.87	7.16
N80	3.45	4.76	5.40	6.11	4.83	6.23	3.38	4.79	6.83	2.21	4.79	4.06	4.21	2.70	3.24	3.93	1.92	2.36	3.02	1.43	3.76	3.26	4.35	2.87	3.36	2.75	4.05	3.13	4.14	2.99
N82	1.86	2.54	2.86	4.50	2.27	2.80	3.66	4.53	5.74	4.70	2.10	5.80	5.69	3.30	3.46	2.25	4.11	3.93	5.03	4.30	4.91	5.34	4.64	4.89	5.88	4.13	6.76	5.73	3.87	6.27
N86	4.24	6.35	4.76	4.18	4.26	3.74	0.85	2.02	1.37	0.28	1.20	0.87	0.99	1.20	0.65	0.56	1.37	0.79	0.75	2.01	0.29	0.30	1.16	0.57	0.56	0.55	1.35	1.04	0.83	0.60
N87	3.18	2.54	2.22	3.22	3.13	2.49	1.97	3.02	4.37	0.55	2.99	2.61	2.72	2.40	0.86	2.25	1.10	0.52	1.01	0.57	0.00	0.00	0.29	0.00	1.40	1.38	1.35	0.52	0.00	0.00
N89	5.04	5.08	8.57	5.14	4.83	2.18	3.38	3.78	3.01	2.49	4.49	0.58	3.47	2.70	2.38	4.49	3.56	2.36	2.76	1.72	2.31	6.53	2.61	3.16	3.64	2.48	4.32	7.03	2.76	3.88
N95	2.92	1.27	0.63	2.25	3.13	2.49	3.38	3.53	6.01	2.76	4.49	2.90	4.95	3.30	6.26	6.74	7.12	4.71	4.52	5.73	4.91	5.34	6.67	6.61	5.32	5.51	6.76	6.25	2.76	2.39
N101	1.33	2.86	1.59	1.93	3.13	1.56	2.54	2.52	3.01	3.04	2.40	1.74	3.47	2.70	3.24	4.49	2.19	1.83	2.76	2.29	3.18	3.26	4.35	4.02	3.08	2.20	4.86	2.60	2.76	2.09
N141	1.86	2.22	1.90	0.96	4.55	2.49	3.38	3.02	3.55	1.93	1.80	1.16	0.50	0.30	2.38	0.56	1.10	2.09	4.02	2.58	1.45	2.97	1.45	1.72	0.56	0.83	0.81	0.78	0.00	0.90
N142	1.06	0.00	2.54	1.93	0.28	1.25	0.28	1.26	1.64	0.28	2.10	2.61	1.73	1.50	2.16	1.40	3.56	4.71	1.76	1.43	3.47	5.93	1.45	1.72	3.08	2.75	3.24	1.82	1.93	2.99

ANEXO IV

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FACTORES MODO Q

CARGA DEL FACTOR (FACTOR LOADING) Y COMUNALIDADES

Profundidad (cm)	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Comunalidades
0	0.348184	-0.639654	0.425447	0.7113947
5	0.066809	0.220827	0.891808	0.8485485
10	0.108701	-0.109955	0.804384	0.6709394
15	0.197433	0.146194	0.888621	0.8500002
20	0.007020	0.257772	0.746946	0.6244237
25	-0.012882	0.115316	0.854700	0.7439765
30	0.267254	0.517634	0.717033	0.8535058
35	0.022100	0.376569	0.790428	0.7670695
40	0.567028	-0.049323	0.530599	0.6054886
45	0.231533	0.723258	0.281544	0.6559765
50	0.256959	0.629899	0.580146	0.7993705
55	0.148417	0.752012	0.381074	0.7327667
60	0.699845	-0.148638	0.038248	0.5133386
65	0.036546	0.776394	0.329463	0.7126696
70	0.086108	0.845266	0.261039	0.7900300
75	0.514537	0.603263	0.215958	0.6753120
80	0.482542	0.743628	-0.256108	0.8514202
85	0.143445	0.876800	0.189598	0.8253020
90	0.308038	0.807718	0.298544	0.8364247
95	0.754810	0.180940	0.047355	0.6047202
100	0.415939	0.717466	0.265058	0.7580194
105	0.667108	0.239977	-0.177914	0.5342759
110	0.714337	0.533049	0.129612	0.8112182
115	0.732968	0.531584	0.141242	0.8397728
120	0.296606	0.729203	-0.149610	0.6420960
125	0.628880	0.633615	0.112222	0.8095518
130	0.674548	0.430001	0.241074	0.6980326
135	0.566747	0.372563	0.493030	0.7030843
140	0.305969	0.668527	0.483741	0.7745512
144	0.663198	0.223529	0.348046	0.6109325

VALOR DEL FACTOR (FACTOR SCORE)

TAXA	ID	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>Druppatractus irregularis</i>	S7	-0.16804	0.17122	-1.39038
<i>Druppatractus variabilis</i>	S8	-0.82235	0.49067	-0.84200
<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo	S29	-1.46407	0.54728	1.40563
<i>Hexapyle dodecantha</i> grupo	S31	0.62477	-1.67729	-0.67901
<i>Phorticium pylonium</i> grupo	S33	-0.37959	2.85520	0.57038
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	N68	0.31160	-0.13743	-0.84670
<i>Arachnocorallium calvata</i>	N71	1.79744	-0.42771	2.01463
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	N80	0.02232	-0.24575	1.20360
<i>Lithomelissa thoracites</i>	N82	1.25002	0.42645	-0.13831
<i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i>	N86	-1.15571	-1.13532	0.52847
<i>Peridium longispinum</i>	N87	-1.18758	-0.79828	0.13739
<i>Phormacantha hystrix</i>	N89	0.55955	-0.54720	0.76475
<i>Clathrocircus stapedius</i>	N95	1.63079	0.79129	-0.83478
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	N101	0.11692	0.07669	-0.53149
<i>Botryostrobos auritus-australis</i> grupo	N141	-0.98581	-0.40378	-0.15091
<i>Phormostichoartus corbula</i>	N142	-0.15028	0.01395	-1.21126

ANEXO V
DESCRIPCIÓN DE LOS TAXA UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE FACTORES
(Tomado de www.radiolaria.org)

ORDEN SPUMELLARIA

ID	ESPECIE / TAXÓN	ESQUELETO	POROS	ESPINAS/BARRAS	DISTRIBUCIÓN	SINONÍMIA
S7	<i>Druppatractus irregularis</i> Popofsky, 1912	Esqueleto constituido por dos tecas. Teca medular con forma de pera, superficie de la pared lisa. Teca cortical elipsoidal, pared lisa o puede presentar pequeñas púas en los nodos de las barras.	Teca medular con poros casi regulares (7-8 en el eje menor). Teca cortical con poros circulares-poligonales, regulares, (12-18 en el eje menor, generalmente 15).	Presenta dos espinas polares pesadas en el eje mayor, la espina mayor se encuentra en el polo opuesto del lóbulo menor de la forma de pera de la teca medular, la espina menor ausente en muchos especímenes, puede estar 30°-40° desplazada del eje mayor.	Poco abundante en el Golfo de California, su mayor frecuencia es hacia el sur y disminuye hacia el norte tiene afinidad a masas de agua tropicales del Pacífico.	<i>Druppatractus</i> [sic.] <i>irregularis</i> <i>Druppatractus irregularis</i>
S8	<i>Druppatractus variabilis</i> Dumitrica, 1973	Esqueleto constituido por dos tecas. Teca medular con forma de pera y superficie de la pared lisa. Teca cortical reticulada, elipsoidal o esférica con pared de grosor variable va de lisa a áspera.	Teca medular con poros circulares-poligonales de 1/3 del tamaño de los poros de la teca cortical (7-8 en el eje menor) sin marcos poligonales. Teca cortical con poros regulares subcirculares-poligonales (7-8 en el eje menor), con o sin marcos poligonales.	En pocos especímenes la teca cortical tiene delgadas espinas cónicas que surgen de los nodos de las barras. Ambas tecas se unen por barras internas delgadas (20-40 o más), algunas continúan al exterior de la teca cortical como espinas polares trirradiadas de distinta longitud, la espina mayor surge del lóbulo menor de la teca medular en forma de pera, la espina menor puede estar desplazada 3° del eje mayor.	Predominante y abundante en la mitad sur del Golfo de California y va de común a rara hacia la mitad norte.	<i>Haliomma?</i> <i>pyriformis</i> <i>Druppatractus</i> cf. <i>Pyriformis</i> <i>Druppatractus variabilis</i> <i>Dorydruppa bensoni</i>
S29	<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo Müller, 1858	El esqueleto presenta dos sistemas de cinturones reticulados bien definidos y un tercer sistema externo de cinturón pobremente definido, segundo sistema de cinturones (cinturón lateral y transversal con cinturón sagital rudimentario, los dos primeros definen las aperturas), elíptico-arriñonado, superficie lisa-espínosa.	Poros de los cinturones reticulados relativamente grandes subcirculares – subpoligonales, irregulares.	Surgen barras de la teca elipsoidal pero no penetran más allá del segundo sistema de cinturones, número de varillas coaxiales es variable generalmente 6 cuando presenta, algunos con sólo un par de varillas polares opuestas que se extienden a través del espacio interno tubular entre aberturas. Tecas presentan pequeñas espinas polares o púas. Tercer sistema de cinturones se une al segundo por numerosas varillas cortas que surgen de los nodos de las barras que intervienen.	Tiene gran abundancia en la parte sur del Golfo de California	<i>Tetrapyle octacantha</i> <i>Tetrapyle</i> sp. cf. <i>T. octacantha</i>
S31	<i>Hexapyle dodecantha</i> grupo Haeckel, 1887	Formas completamente desarrolladas consiste en una cámara interna formada por un anillo triangular unida por una red esponjosa a una teca grande elipsoidal de pared delgada, no se ha determinado la presencia de piloma.	Teca con poros irregulares, poros de la cámara interna son irregulares.	Teca generalmente lisa excepto por pequeñas espinas cónicas trirradiadas, 12 espinas radiales surgen en pares de los márgenes laterales. Pocos especímenes tiene barras radiales que surgen de la cámara interna y se extienden a través de los espacios tubulares de la teca externa.	Cosmopolita en el Golfo de California, mayor frecuencia en la zona sur, afinidad por aguas oceánicas.	<i>Hexapyle dodecantha</i> <i>Pylodiscus triangularis</i> <i>Discopyle</i> ? sp. <i>Hexapyle</i> spp <i>Pylolena armata</i> grupo? <i>Hexapyle armata</i>
S33	<i>Phorticium pylonium</i> grupo Haeckel, 1887	El esqueleto presenta de 1-5 sistemas de cinturones que le dan una forma elipsoidal relativamente lisa de contorno regular. Cinturones de los sistemas externos son más irregulares que los internos, distancia entre los sistemas de cinturones (elipses concéntricas) es variable.	Cinturones varían de una pared de superficie lisa y poros regulares a una pared gruesa con superficie áspera y poros irregulares. Forma externa con poros altamente variables.	Cinturones soportados por numerosas (20-30-100 o más) barras cilíndricas radiales que continúan al exterior como espinas cónicas.	Cosmopolita en el Golfo de California.	<i>Phorticium pylonium</i> <i>Pylospira octopyle</i> <i>Phorticium pylonium</i> grupo

ORDEN NASSELLARIA (CONTINUACIÓN)

ID	ESPECIE/TAXON	CÉFALIS / TORAX	DISTRIBUCIÓN	SINONIMIA
N68	<i>Pseudocubus obeliscus</i> Haeckel, 1887	Céfalis piramidal, compuesto por una estructura de collar cilíndrica de contorno elíptico-subtrapezoidal, con aberturas circulares y numerosas espinas accesorias, presenta un tripie basal, porción de anillo sagital (al menos barra media y apical).	Cosmopolita en el Golfo de California con mayor frecuencia en la región norte.	<i>Pseudocubus obeliscus</i> <i>Plectophora triacantha</i> <i>Obeliscus pseudocuboides</i>
N71	<i>Arachnocorallium calvata</i> Petrushevskaya, 1971	Céfalis ovoide generalmente liso, región superior lisa a espinosa, poros grandes circulares, semiregulares en la mitad inferior y pequeños y menos regulares en la región superior, espinas delgadas, cónicas y lisas con ramas que se anastomosan y forman el cuello externo, rudimentario, espinas pesadas y ramificadas soportan el cuello, espina apical y espina vertical delgadas, cónicas de longitud variable.	Frecuente en la región norte y sur del Golfo de California.	<i>Psilomelissa thoracites</i> <i>Peridium spinipes</i> <i>Peridium longispinum</i> <i>Arachnocorallium calvata</i> <i>Psilomelissa calvata</i> <i>Arachnocorallium</i> grupo
N80	<i>Lithomelissa pentacantha</i> (Popofsky) 1913	Céfalis ovoide-subesférico, liso-espinoso, separado del tórax por una constricción distintiva de collar, cubierta por un cuello irregular reticulado, desarrollado entre las 3 espinas basales, tórax y céfalís, poros relativamente pequeños, subcirculares-elípticos, arreglo irregular, superficie superior del céfalís generalmente lisa casi hialino (en muchos especímenes), espina apical pesada tríradiada, espina vertical corta, algunos pocos presentan 1-2 espinas céfalícas como accesorios. Tórax subcilíndrico relativamente liso, boca sin constricción, margen terminal incompleto, poros levemente más grandes que los del céfalís, subcirculares-subpoligonales, arreglo subregular, espinas tríradiadas perforan la pared del tórax.	Cosmopolita en el Golfo de California.	<i>Arachnocorys pentacanth</i> <i>Plectacantha oikiskos</i> <i>Lithomelissa hystrix</i> <i>Lithomelissa (Arachnocorys) pentacantha</i> <i>Lithomelissa</i> cf. <i>Thoracites</i> <i>Arachnocorys</i> (?) sp. cf. <i>A. pentacantha</i>
N82	<i>Lithomelissa thoracites</i> Haeckel, 1862	Muy similar a <i>L. laticeps</i> pero con superficie más lisa y sin cuello externo reticulado, sin grandes poros céfalícos a cada lado de la barra apical remplazados por poros similares en tamaño a los del céfalís restante (circulares-subcirculares, relativamente pequeños, arreglo subregular, espina apical cónica-tríradiada. Poros del tórax similares a los de céfalís, levemente más grandes y con menor arreglo regular, tórax reducido en tamaño, espinas basales cónicas y tríradiadas.	Cosmopolita en el Golfo de California	<i>Lithomelissa thoracites</i> <i>Dimelissa thoracites</i> <i>Peromelissa thoracites forma thoracites</i>
N86	<i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i> Benson, 1966	Céfalis ovoide y espinoso, poros grandes irregulares y poligonales, sin cuello externo reticulado, espina apical cónica y delgada de longitud variable, generalmente corta, espina vertical delgada, corta y cónica, espina axial corta, en la región distal del céfalís se presentan espinas basales cónicas y delgadas.	Con mayor frecuencia en la región norte del Golfo de California.	<i>Peridium longispinum</i> <i>Peridium</i> sp. <i>Phormacantha</i> sp.
N87	<i>Peridium longispinum</i> Jørgensen, 1900	Céfalis ovoide-globoso (amplio en el medio, redondeado en la parte superior y cónico y estrecho en la parte inferior), los poros varían en tamaño de pequeños y redondos a grandes poligonales, espinas pequeñas, delgadas y rectas dispersas en la superficie del céfalís.		<i>Peridium longispinum</i>
N89	<i>Phormacantha hystrix</i> (Jørgensen) 1900	Céfalis ovoide-subcilíndrico, poros irregulares, subpoligonales separados por delgadas barras, espinas vertical y apical delgadas, cónicas de longitud variable, presencia de largas espinas basales con arcos conectándolas con el céfalís	Rara en el Golfo de California con mayor frecuencia en la región norte.	<i>Peridium hystrix</i> <i>Phormacantha hystrix</i>
N95	<i>Clathrocircus stapedius</i> Haeckel, 1887	Esqueleto consiste de un anillo sagital con forma aproximada de D, con anillo de collar con poros cardinales (subtrapezoidales y grandes), cervicales (subtriangulares) y yugulares (poros pequeños circulares que perforan la región proximal de la espina dorsal). Céfalís completamente reticulado excepto en la cara dorsal, poros de la retícula irregulares relativamente grandes. La superficie de la retícula presenta pequeñas espinas cónicas dispersas.	La frecuencia de esta especie aumenta hacia la región norte y es muy rara en la región sur del Golfo de California.	<i>Clathrocircus stapedius</i> <i>Triceraspyris damaecornis</i> <i>Corythospyris damaecornis</i> <i>Dendrospyris damaecornis</i>
N101	<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i> (Haeckel) 1887	Céfalis bilocular liso, con poros de tamaño variable pero generalmente pequeños, presenta poros grandes circulares-elípticos alineados a cada lado del anillo sagital, cerca de tres pares en los lados dorsal, superior y ventral, los pares inferiores de la caras dorsal y ventral son más grandes que los otros. Presenta cuatro poros de collar: un par de grandes poros cardinales subtrapezoidales y par de poros cervicales pequeños y subtriangulares, con tres pies de igual tamaño, la región distal del pie se encuentra levemente bifurcada, los pies surgen del anillo de collar. Céfalís con espina apical.	Rara pero cosmopolita en el Golfo, su frecuencia es levemente mayor en la mitad sur del Golfo de California que en la norte.	<i>Tristylopiris scaphipes</i> <i>Tholospyris scaphipes</i> <i>Acanthodesmiidae</i> , gen. et spp. indet. <i>Phormospyris stabilis scaphipes</i> <i>Phormospyris scaphipes</i> <i>Lophospyris stabilis scaphipes</i> <i>Ceratospysris</i> grupo A

ORDEN NASSELLARIA (CONTINUACIÓN)

ID	ESPECIE/TAXON	CÉFALIS	TÓRAX	ABDOMEN	DISTRIBUCIÓN	SINONIMIA
N141	<i>Botryostrobos auritus-australis</i> grupo Nigrini, 1977	Tubo ventral conspicuo en forma de trompeta, tiene un lóbulo dorsal y una espina apical pequeña trirradiada, poros pequeños circulares llenos de sílica en algunos especímenes.	Costillas dorsal y lateral primaria cortas e indistintas. Poros regulares, circulares con arreglo hexagonal 3-4 filas transversas. Constricciones entre las uniones son profundas que coinciden con los amplios anillos hialinos.	Segmento de longitud similar pero incrementan en amplitud distalmente, el segmento distal (4-5) en su sección proximal esta inflado, la sección distal es cilíndrica y el margen terminal esta incompleto. Poros pequeños circulares-subrectangulares, regulares arreglados en filas transversa 5-6. Muchos especímenes presentan los poros rellenos de sílica.	Rara pero cosmopolita en el Golfo de California con mayor frecuencia en el sur.	<i>Eucyrtidium aquilonaris</i> <i>Eucyrtidium tumidulum</i> <i>Lithocampe aquilonaris</i> <i>Lithocampe tumidula</i> <i>Siphocampe erucosa</i> <i>Siphocampium erucosum</i> <i>Siphocampe aquilonaris</i> <i>Artostrobium miralestense</i> <i>Botryostrobos tumidulus</i> <i>Botryostrobos aquilonaris</i>
N142	<i>Phormostichoartus corbula</i> (Harting) 1863	Vista lateral: forma de gorra, se combina con el contorno del tórax en su región dorsal y ventral. Vista ventral o dorsal: forma subcónica –gorra, con una leve constricción entre céfalís y el tórax. La presencia de un pequeño lóbulo dorsal (cubierto de poros yugulares) y del tubo ventral largo que se adhiere a la superficie del tórax hace difícil distinguir cefalís-tórax. Poros pequeños, circulares-subcirculares. Espina apical ausente, se puede encontrar como una espina corta trirradiada.	Acampanado-cónico, de 3-5 filas transversas, poros subcirculares-subrectangulares, tórax se separa del primer segmento abdominal que es levemente más largo por una constricción que coincide con el anillo septal interno continuo.	Primer segmento es cilíndrico, levemente más amplio en su base, 6-10 filas transversas de poros subpoligonal-subrectangular-subcilíndricos más pequeños que los del tórax, se separa del segundo segmento por una constricción que coincide con el anillo septal interno, 2-3 veces más largo que el primero, es más amplio en región proximal que distal, con una boca bien definida en la base, algunos presentan un peristoma hialino con dientes, 8-17 filas transversas con poros similares al primer segmento. No se han observado con más de 4 segmentos.	Rara pero casi cosmopolita en el Golfo de California.	<i>Lithocampe corbula</i> <i>Eucyrtidium multiseriatum</i> <i>Tricolocampe polizona</i> <i>Tricolocampe stenozone</i> <i>Lithocampe multiseriata</i> <i>Lithamphora furcispiculata</i> <i>Siphocampium</i> sp. <i>Siphocampium</i> cf. <i>Polyzona</i> <i>Siphocampe corbula</i> <i>Lithocampe</i> (?) <i>multiseriatum</i> <i>Siphocampe corbula</i> <i>Phormostichoartus corbula</i>