



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*  
Universidad Nacional Autónoma de México



VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN EL SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA, DURANTE  
LOS ÚLTIMOS 1800 AÑOS: PATRONES Y POSIBLES CAUSAS

TESIS

que para obtener grado académico de

Maestro en Ciencias

Geología Marina

p r e s e n t a

**BIÓL. LAURA ELENA GÓMEZ LIZÁRRAGA**

Director de tesis

Dra. Ligia L. Pérez-Cruz

Comité tutorial

Dra. María Luisa Machain Castillo

Dr. David Alberto Salas de León

Dra. Aída Martínez López

Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy

México, D.F., 2011



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, la máxima casa de estudios, por permitirme una vez más culminar mis estudios, por brindarme un espacio de trabajo, conocimiento y recreación y porque soy orgullo azul y oro.*

*A la Dra. Ligia L. Pérez Cruz por la dirección de este estudio, por transmitirme sus conocimientos, por su apoyo y tiempo que en conjunto le hemos dedicado a la realización de esta tesis.*

*Al jurado y comité revisor de esta tesis: Dra. Aída Martínez López, Dra. María Luisa Machain Castillo, Dr. David Alberto Salas de León y Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy por el tiempo dedicado, observaciones, comentarios y acertadas sugerencias para la mejora de este trabajo.*

*Al Dr. Jaime Urrutía-Fucugauchi por sus conocimientos, por el apoyo brindado en la realización de las mediciones de parámetros magnéticos; así como, su ayuda en la interpretación de las mismas.*

*A mi familia, en especial a mis padres Josefina y Carlos y a mis hermanos Karla y Sergio, por su apoyo incondicional, tolerancia, por resaltar mis aciertos y errores, porque sin importar en que situación me encuentre, sé que puedo recurrir a ustedes, a su comprensión y guía, porque los quiero más que a nadie y nada y porque es cierto que la sangre llama.*

*A mi sobrinito Eduardo, el angelito que me hace sonreír siempre sin importar mi estado de ánimo, porque representas la inocencia, curiosidad y alegría que impulsa a nuestra familia.*

*A mis siempre queridas amigas de la Facultad de Ciencias: Marisol, Ana, Ale y Vero, por compartir tantos momentos y aventuras, porque las estimo y respeto mucho y porque cada una de ustedes me ha aportado tanto y me apoyado en diversos aspectos de mi vida personal y académica. Por todos los recuerdos que tenemos en común ¡Chamacas son lo máximo!*

*A mis muy queridos amigos Toñito y Lau (la chavalina) por su buena vibra, pero sobre todo por su total y sincera amistad, por motivarme, pero también por hacerme notar cuando hablaba por mí la vanidad y el ego, les agradezco las situaciones de confusión y complicación que condimentaron particularmente momentos que de otra manera caerían dentro de la rutina y que sin embargo, ahora son gratos recuerdos.*

*A mis amigos de la “nucleobanda”: Ángel, Marysol, Dani, Male, Richard, Paty, Gladys, Arturo, Rafa, Ale, Hugo, Edgar, Manuel y Leti porque formamos un gran equipo de trabajo, porque los he visto crecer académicamente a mi lado, por ser un ejemplo de perseverancia, por su apoyo y consejos y porque cada una de sus peculiares personalidades le imprime vida a la Nucleoteca II y al Pozo de Paleomagnetismo.*

*A mi amigo David, porque mientras realizabas tu servicio social, me ayudaste con el procesamiento de mis muestras y porque junto con la “nucleobanda” compartimos buenos momentos.*

*A todos las personas que colaboraron directa o indirectamente en el desarrollo de este trabajo.*



# CONTENIDO

RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
JUSTIFICACIÓN	3
<b>1. MARCO OCEANOGRÁFICO GENERAL: GOLFO DE CALIFORNIA</b>	<b>5</b>
1.1 Estructura geológica	5
1.2 Masas de agua	13
1.3 Climatología	16
1.4 Productividad	20
1.5 Área de estudio: Cuenca de la Paz	23
<b>2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LOS ÚLTIMOS 2000 AÑOS</b>	<b>25</b>
2.1 Periodo Cálido Medieval	26
2.2 Pequeña Edad del Hielo	27
2.3 Edad Moderna	29
<b>3. RADIOLARIOS POLYCYSTINOS</b>	<b>30</b>
3.1 Nivel Trófico	30
3.2 Hábitos alimentarios	31
3.3 Distribución geográfica y en los sedimentos	34
3.4 Importancia como <i>proxy</i>	41
3.5 Estudio de radiolarios: Asociaciones en el Golfo de California	42
<b>4. MINERALES MAGNÉTICOS</b>	<b>51</b>
4.1 Estudios de mineralogía magnética en el Golfo de California	55
<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>58</b>
5.1 Colecta y descripción litológica de la secuencia sedimentaria K47	58
5.2 Análisis microfaunístico	58
5.3 Análisis estadístico	59
5.4 Análisis de minerales magnéticos	60
5.5 Análisis de serie de tiempo	61
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>63</b>
6.1 Descripción litológica de la secuencia sedimentaria K47	63
6.2 Modelo de edad	63
6.3 Distribución vertical de los órdenes de radiolarios estudiados	63
6.4 Caracterización e interpretación de las asociaciones de radiolarios	65
6.5 Discusión de las condiciones oceanográficas definidas por las asociaciones de radiolarios	86
6.6 Análisis de minerales magnéticos	87
6.7 Análisis de serie de tiempo: Influencia solar en el registro de susceptibilidad magnética	94
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>100</b>
<b>8. REFERENCIAS</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS Y LÁMINA 1</b>	

## RELACIÓN DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Batimetría del Golfo de California, principales cuencas y regiones: Boca (BGC), Sur (SGC), Archipiélago, Norte (NGC) y Alto Golfo (AtGC) (Lavín y Marinone, 2003).	6
<b>Figura 1.2</b>	Modelo esquemático de la formación de sedimentos laminados en la Cuenca Alfonso, Golfo de California. AST: Agua Superficial Tropical (Pérez-Cruz y Urrutía-Fucugauchi, 2010).	12
<b>Figura 1.3</b>	Distribución de las masas de agua en el Golfo de California. La línea punteada en la Cuenca Delfín es la posición de verano de la frontera entre el AGC y el ASsSt (Lavín <i>et al.</i> , 1997 y Lavín <i>et al.</i> , 2009).	15
<b>Figura 1.4</b>	Distribución estacional (invierno y verano) de los centros de presión atmosférica (del Pacífico Norte y Continental), la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y su influencia en la dirección de los vientos (Modificado de Goñi <i>et al.</i> , 2006).	18
<b>Figura 1.5</b>	A) Dominios basados en los principales procesos físicos que controlan el transporte de nutrientes y productividad: vientos y mareas al norte, mezcla de mareas y ondas internas en la zona de las islas, surgencias costeras en el margen oriental y vientos y giros de mesoescala en la región central y sur del golfo (Douglas <i>et al.</i> , 2007) y B) Concentración promedio de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de 1997 a 2002 (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín, 2007).	22
<b>Figura 1.6</b>	Área de estudio. Ubicación de la Cuenca de la Paz (K47, estrella). Modificado de Amador-Buenrostro <i>et al.</i> (2003), Trasviña-Castro <i>et al.</i> (2003) y Molina-Cruz <i>et al.</i> , 2002. Perfil batimétrico y masas de aguas presentes en la Cuenca de la Paz (Hernández-Contreras, 2010).	24
<b>Figura 2.1</b>	Reconstrucción de la temperatura superficial en el hemisferio norte. Los <i>proxies</i> de temperatura utilizados comprimen información de registros de anillos de árboles y coral, núcleos de hielo y sedimentos entre otros. PCM: Periodo Cálido Medieval, PEH: Pequeña Edad del Hielo y MOD: Época Moderna (Modificado de Mann <i>et al.</i> , 2009).	26
<b>Figura 3.1</b>	Distribución geográfica de número de esqueletos por gramo en sedimentos superficiales N=1335 (Boltovskoy <i>et al.</i> , 2010).	37
<b>Figura 3.2</b>	Esquema de paleoproduktividad con base en la composición de la profundidad del hábitat de las asociaciones de radiolarios. El grosor de las flechas muestra la magnitud relativa del flujo exportado, gris intermedio: esqueletos de radiolarios de aguas cálidas superficiales, gris claro: esqueletos de radiolarios de aguas intermedias y profundas, negras: carbón orgánico (Lazarus, 2005).	39
<b>Figura 3.3</b>	Porcentaje de radiolarios de la fracción de 60 a 250 $\mu\text{m}$ en sedimentos superficiales (Benson, 2005).	40
<b>Figura 3.4</b>	Distribución de masas de agua y zonas de surgencias evidenciadas por asociaciones de radiolarios en trabajos previos en el Golfo de California (Modificada de Molina-Cruz <i>et al.</i> , 1999).	51

<b>Figura 4.1</b>	A) Comportamiento diamagnético, B) paramagnético y C) ferromagnético en respuesta a un campo aplicado. M: Magnetización, H: Campo magnético, Ms: Magnetismo de saturación, Mr: Magnetismo remanente, Hc: Campo coercitivo, Hcr: Campo coercitivo remanente.	53
<b>Figura 5.1</b>	Diagrama de flujo que sintetiza el material y métodos utilizados en este estudio.	62
<b>Figura 6.1</b>	Distribución vertical de los órdenes Nassellaria y Spumellaria en la secuencia sedimentaria K47.	64
<b>Figura 6.2</b>	<i>Factor scores</i> que definen la asociación del factor 1	69
<b>Figura 6.3</b>	<i>Factor scores</i> que definen la asociación del factor 2	74
<b>Figura 6.4</b>	<i>Factor scores</i> que definen la asociación del factor 3	81
<b>Figura 6.5</b>	<i>Factor loadings</i> que definen el perfil temporal de las tres asociaciones de radiolarios encontradas para los últimos 1800 años en la Cuenca de la Paz. Se muestra la representación esquemática de la secuencia laminada K47.	85
<b>Figura 6.6</b>	Registro de la susceptibilidad magnética (k) de la secuencia sedimentaria K47. Los máximos de k son marcados en morado, en lila se marca la parte media inferior de las mediciones de k que presentan comportamiento diferente a la parte superior del núcleo.	88
<b>Figura 6.7</b>	Registro de la susceptibilidad magnética (k) de la secuencia sedimentaria K47 y su posible correlación con la tasa de producción de radiocarbono (Stuvier <i>et al.</i> , 1998). Las bandas grises indican un incremento y las bandas azules un decremento en k y en la actividad solar. Gráfica inferior muestra la correlación entre ambas variables.	89
<b>Figura 6.8</b>	Perfil estratigráfico de Susceptibilidad magnética (k), Magnetismo remanente (Mr), Magnetismo de saturación (Ms) y Factor de Paramagnéticos (S*), medidos en la secuencia sedimentaria K47. Las bandas moradas indican un incremento en todos los parámetros.	92
<b>Figura 6.9</b>	Curva Teórica de Day para la magnetita (Dunlop, 2002). En naranja se encuentran los valores obtenidos para las muestras de la secuencia sedimentaria K47. (SD: dominio sencillo, SP: superparamagnético, PSD: dominio pseudosencillo y MD: multidominio).	93
<b>Figura 6.10</b>	Periodograma de la serie de tiempo discreta de susceptibilidad magnética. Sobre algunos de los picos de la curva se señalan los periodos importantes obtenidos con el análisis espectral vía FFT.	95

## RELACIÓN DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Componentes de las varvas de la Cuenca Guaymas, Golfo de California (Pike y Kemp, 1996; Kemp <i>et al.</i> , 2000; Kemp, 2003).	10
<b>Tabla 1.2</b>	Propiedades y distribución de las masas de agua del Golfo de California Lavín <i>et al.</i> (2009) y Lavín <i>et al.</i> (1997).	14
<b>Tabla 2.1</b>	Actividad de manchas solares en el último milenio definidas por la reconstrucción del número de manchas solares (Nunn, 2007).	28
<b>Tabla 3.1</b>	Estrategias de alimentación de los radiolarios.	33
<b>Tabla 3.2</b>	Resumen de las características de los radiolarios como proxy paleoceanográfico.	41
<b>Tabla 3.3</b>	Síntesis de estudios oceanográficos y paleoceanográficos realizados con radiolarios en el Golfo de California.	47
<b>Tabla 3.4</b>	Radiolarios asociadas a masas de aguas y zonas de alta productividad, integración de trabajos previos en el Golfo de California.	50
<b>Tabla 6.1</b>	“ <i>Eigenvalues</i> ” y varianzas de cada factor obtenidos con el Análisis de Factores modo “Q”.	65
<b>Tabla 6.2</b>	Asociaciones de radiolarios definidas con base en los <i>factor scores</i> positivos.	66
<b>Tabla 6.3</b>	Trabajos consultados sobre los taxa incluidos en las asociaciones de radiolarios de este estudio.	67
<b>Tabla 6.4</b>	Síntesis de las afinidades ecológicas de la asociación de radiolarios que definen al factor 1.	72
<b>Tabla 6.5</b>	Síntesis de las afinidades ecológicas de la asociación de radiolarios que definen al factor 2.	78
<b>Tabla 6.6</b>	Síntesis de las afinidades ecológicas de la asociación de radiolarios que definen al factor 3.	83
<b>Tabla 6.7</b>	Periodos encontrados en la serie de tiempo de susceptibilidad magnética.	95
<b>Tabla 6.8</b>	Síntesis de algunos eventos periódicos o cíclicos menores a 500 años.	96
<b>Tabla 6.9</b>	Síntesis de periodicidades encontradas en diferentes estudios en el Golfo de California.	97

## RESUMEN

El estudio de las asociaciones de radiolarios polycystinos y de mineralogía magnética en una secuencia de sedimentos laminados colectada en la región suroccidental del Golfo de California (145 cm de longitud a 830 m de profundidad), dio lugar a la reconstrucción de escenarios oceanográficos y climáticos con una resolución multidecadal y centenaria para los últimos 1800 años.

A través del Análisis de Factores modo “Q”, se definieron tres asociaciones de radiolarios que evidencian la incursión de diferentes masas de agua al área de estudio; así como, variación en la productividad primaria sugerida por procesos de estratificación y mezcla. La primera asociación que se presenta de ~ 210 a 288, de ~ 678 a 794, de ~1378 a 1521 y de ~ 1819 a 1975 AD, revela condiciones análogas a las de verano otoño; así como, estratificación de la columna de agua, relacionadas a una mayor persistencia del Agua Superficial Tropical, la cual se caracteriza por ser una masa de agua cálida y oligotrófica. La segunda asociación se presenta en una alternancia de 65 y 130 años entre ~ 300 y 1400 AD. Se proponen procesos de mezcla que generan un aumento en la productividad primaria que permite el crecimiento de radiolarios superficiales afines a condiciones eutróficas, se sugiere un incremento del flujo orgánico y producción exportada lo que favorece el desarrollo de radiolarios subsuperficiales e intermedios. La tercera asociación se presenta de ~ 146 a 639, ~ 1145 a 1326, ~ 1482 a 1495, ~ 1612 a 1703, ~ 1729 a 1806 y ~ 1988 a 2001 AD. Se propone una mayor persistencia del Agua del Golfo de California.

El análisis de los minerales magnéticos de los sedimentos de la secuencia K47, sugiere que estos son principalmente una mezcla de material fino con una proporción importante de material ultrafino. Sugiriendo que el transporte de terrígenos a la cuenca es principalmente vía pluvial, con una componente eólica significativa, como lo indica la proporción de minerales superparamagnéticos. El análisis espectral realizado con la serie de tiempo se susceptibilidad magnética define periodos relacionados con actividad solar; así como, eventos de productividad reportados para el Golfo de California.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de los factores o fenómenos naturales que en conjunto influyen directa o indirectamente a través del tiempo en el sistema climático del planeta, pueden ser analizados en los registros naturales a diferentes escalas temporales y evidenciados con el uso de diferentes indicadores indirectos o *proxies*. El registro sedimentario a través de sus diversos componentes es un fiel indicador de los procesos naturales. Por lo tanto los sedimentos pueden ser considerados como un banco de información ambiental. En particular los sedimentos marinos laminados son un registro geológico de alta resolución y presentan un gran potencial en la reconstrucción de las variaciones paleoceanográficas y paleoclimáticas. Los sedimentos laminados son estructuras que están compuestas por la alternancia de láminas de diferente color y textura que reflejan una combinación diferente en el aporte de sedimentos biogénicos y litogénicos. Estas estructuras sedimentarias son el resultado de la confluencia de condiciones específicas de alta productividad en las aguas superficiales y condiciones de oxígeno mínimo en las aguas de fondo, esta última característica favorece su preservación al evitar la bioturbación (Pérez-Cruz y Herguera-García, en prensa). En el Golfo de California existen pocas investigaciones sobre los radiolarios polycystinos, tanto en la columna de agua como en los sedimentos. Entre los estudios realizados, se cuenta con algunos trabajos basados fundamentalmente en la composición de su tanatocenosis, orientados a reconstruir las condiciones paleoceanográficas en diferentes escenarios temporales, como lo son los realizados por Molina-Cruz (1986), Piasias (1986), Molina-Cruz *et al.* (1999) y Pérez-Cruz (2006). Aunado a ello la medición de las propiedades magnéticas de los sedimentos marinos proporciona datos acerca de la sedimentación actual; así como, de posibles cambios en las condiciones paleoambientales. El propósito fundamental de este trabajo es el llevar a cabo una reconstrucción paleoceanográfica y paleoclimática de los últimos 1800 años en la región suroccidental del Golfo de California; así como, determinar los patrones y las posibles causas de la variabilidad climática y oceánica mediante un análisis microfaunístico (asociaciones de radiolarios polycystinos) y, de mineralogía magnética (parámetros magnéticos).

## OBJETIVOS

### GENERAL

Describir y documentar la variabilidad oceánica-climática de los últimos 1800 años a escala multidecadal y centenaria mediante el estudio e interpretación de *proxies* biológico (radiolarios polycystinos) y de la mineralogía magnética, en una secuencia de sedimentos marinos laminados de la Cuenca de la Paz, en la región suroccidental del Golfo de California.

### PARTICULARES

Identificar las variaciones oceánicas y climáticas más significativas de los últimos 1800 años en la Cuenca de la Paz con base en las asociaciones de radiolarios polycystinos.

Reconocer tendencias que caracterizan la variabilidad climática del Holoceno tardío durante el Periodo Cálido Medieval, la Pequeña Edad de Hielo y la Época Moderna.

Inferir la fuente y el transporte de terrígenos hacia la cuenca de estudio, a través de la medición de distintas propiedades magnéticas de la secuencia sedimentaria K47.

Evidenciar eventos periódicos, mediante el análisis espectral de una serie temporal discreta construida con base en los datos de susceptibilidad magnética y si es posible, asociarlos con ciclos de fenómenos naturales que influyen en la variabilidad climática del planeta, como cambios en la actividad solar.

## JUSTIFICACIÓN

- ♣ A lo largo de la historia de la Tierra el clima no ha sido constante, ha cambiado de manera natural a diferentes escalas temporales. Estos cambios han alterado la morfología del paisaje y la vida de los organismos; así como, las actividades de las sociedades humanas, es por ello que el estudio de registros geológicos de alta resolución, como es el caso de los sedimentos laminados que preservan con gran fidelidad los cambios climáticos a través del tiempo, nos ayudan a entender el clima del pasado.
- ♣ En particular, el Golfo de California es una zona estratégica para realizar estudios paleoclimáticos, no sólo por que presenta una clima estacional marcado debido a la influencia del Monzón Norteamericano; sino también, porque algunas de sus cuencas presentan sedimentos laminados, los cuales son registros geológicos continuos de alta resolución (con una resolución temporal intra-anual e inter-anual) que constituyen una fuente de información muy valiosa por que reflejan procesos climáticos, oceanográficos y ecológicos locales y a nivel de cuenca del Pacífico. Su formación requiere de condiciones muy particulares, por lo cual se encuentran distribuidos en muy pocas regiones del planeta.
- ♣ La mayoría de los trabajos enfocados a las reconstrucciones paleoclimáticas y paleoceanográficas en el Golfo de California se han realizado en la región oriental del golfo, principalmente en las cuencas de Guaymas y Carmen para observar la influencia de las surgencias de invierno y la descarga de los ríos del margen continental sobre la dinámica oceánica del golfo. Mientras que los estudios realizados en la región occidental del golfo son escasos y es por ello, que los sedimentos analizados en este trabajo provienen de la región suroccidental del golfo, con el propósito de contribuir a su caracterización a nivel de cuenca del golfo.

- ♣ El Golfo de California presenta un alto porcentaje de sedimentos silíceos, los cuales están conformados por diatomeas, radiolarios y silicoflagelados. Las diatomeas son cuantitativamente más numerosas que los radiolarios y pueden constituir más del 50% de la fracción biogénica de los sedimentos en la región central del golfo (van Andel, 1964). Sin embargo, al sur de los 26° N, los sedimentos biogénicos silíceos están constituidos mayoritariamente por radiolarios (Benson, 2005). El área de estudio se ubica dentro de esta zona, es por ello que es un buen sitio para trabajar con el registro sedimentario de radiolarios.
  
- ♣ A pesar de que se ha establecido que los radiolarios son un buen *proxy* de la variedad climática-oceanográfica, son pocos los trabajos que se han realizado en el Golfo de California; por lo que, en este estudio se considera su distribución y sus afinidades ecológicas para realizar reconstrucciones paleoceanográficas y paleoclimáticas.
  
- ♣ Asimismo, para complementar la información dada por las asociaciones de radiolarios se estudiaron los minerales magnéticos, para inferir cambios en el aporte de terrígenos a la cuenca, su origen y transporte.
  
- ♣ El presente estudio se enfoca en la investigación de la variabilidad climática de los últimos 1800 años en la región suroccidental del Golfo de California, además representa una contribución a la información generada en la reconstrucción de condiciones paleoclimáticas y paleoceanográficas del Holoceno tardío.

# 1. MARCO OCEANOGRÁFICO GENERAL: GOLFO DE CALIFORNIA

El Golfo de California es un mar marginal localizado al noroeste de México entre los 23° y 32° N y 107° a 114° W y está limitado por dos regiones áridas: la Península de Baja California al oeste y los estados de Sonora y Sinaloa al este. En su región sur está en comunicación abierta con el Océano Pacífico y al norte limita con la desembocadura del Río Colorado. Tiene una longitud aproximada de 1400 km y una anchura de 100-150 km, con un área cercana a los 210, 000 km<sup>2</sup> (Figura 1.1).

## 1.1 ESTRUCTURA GEOLÓGICA

### *Tectónica*

El Golfo de California es una cuenca geológicamente joven ya que inició su formación alrededor de los últimos cuatro millones de años (Curry *et al.*, 1982). Forma parte de la provincia de expansión localizada 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).

### *Morfología y Batimetría*

El Golfo de California presenta varias cuencas que son progresivamente menos profundas de sur a norte (3000 a 15 m). Estas cuencas están separadas una de otra por umbrales submarinos transversales (Lavín *et al.*, 1997). Al norte se encuentran las cuencas Wagner, Delfín, Tiburón, Sal Si Puedes y Canal de Ballenas. Las cuencas más al sur: Pescadero, La Paz, Farallón, Carmen y Guaymas, están en comunicación abierta con el Pacífico Ecuatorial, mientras que las que se encuentran al norte están parcialmente aisladas de las aguas intermedias y profundas del Pacífico (Bray y Robles, 1991).

Lavín *et al.* (1997) dividen al golfo en diferentes regiones; la zona de la Boca, la zona Sur, la zona entre islas (Archipiélago), la zona Norte y el Alto Golfo, esta regionalización refleja principalmente la batimetría del golfo, que como ya se mencionó anteriormente presenta un decremento relativamente gradual en la profundidad al interior del mismo. Cabe señalar que la plataforma continental en el margen occidental es casi inexistente, debido a que no se encuentran sistemas fluviales permanentes, mientras en el margen oriental es de unos 30 km de ancho (Figura 1.1) (Lavín *et al.*, 1997; Lavín y Marinone, 2003).

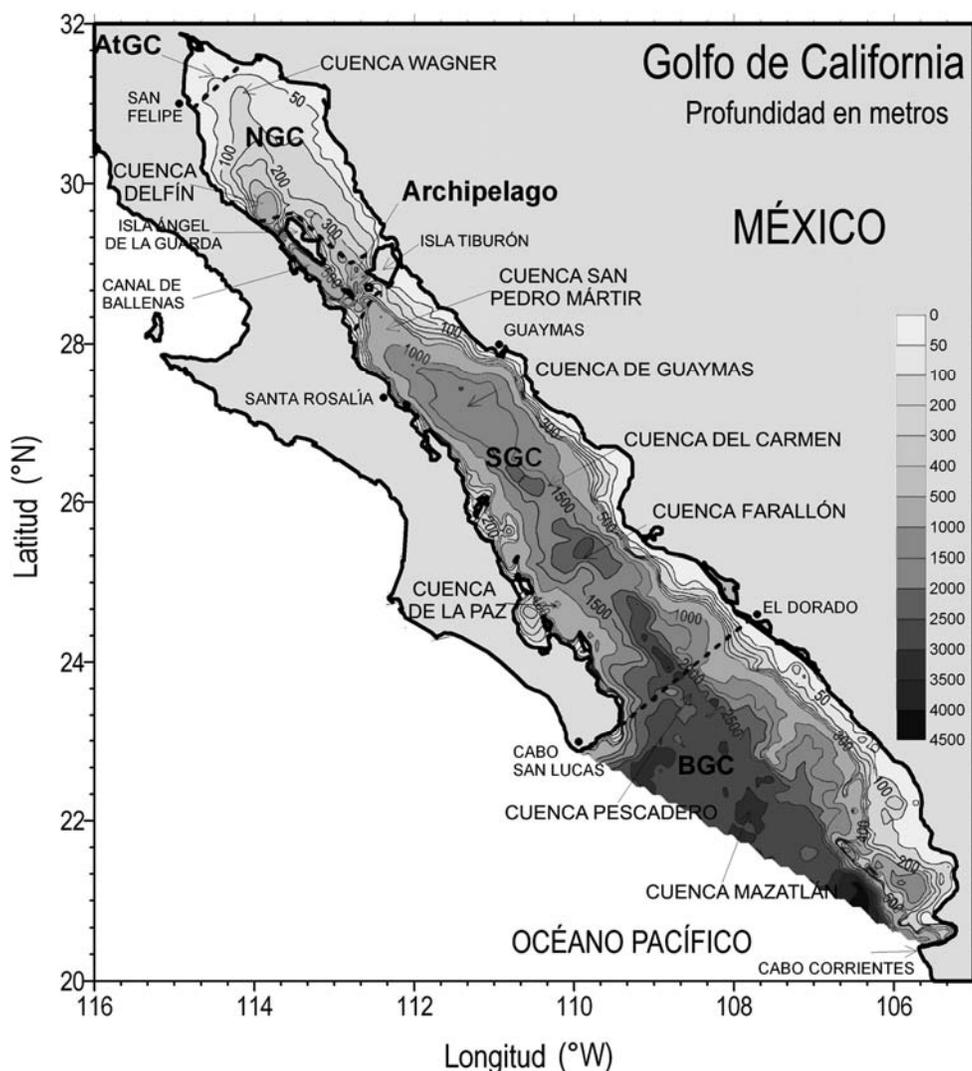


Figura 1.1. Batimetría del Golfo de California, principales cuencas y regiones: Boca (BGC), Sur (SGC), Archipiélago, Norte (NGC) y Alto Golfo (AtGC) (Lavín y Marinone, 2003).

## Sedimentología

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 [ $>1600$  m (Baba *et al.*, 1991)]. El depósito de sedimentos terrígenos de grano fino hacia el golfo está influenciado por factores que muestran variación regional como lo son: 1) litología de las cuencas de drenaje, 2) precipitación y patrones de escorrentía, 3) transporte eólico y 4) patrones de circulación del agua (Baba *et al.*, 1991).

En la región norte del golfo el efecto de las presas en el río Colorado ha afectado el patrón de dispersión de los sedimentos, el cual ha cambiado de longitudinal a transversal y ha promovido fuentes de aporte de sedimento alterno como son sedimentos eólicos, principalmente del desierto de Sonora (Carriquiry *et al.*, 2001). El transporte de sedimentos de las regiones central y sur del golfo es por lo general, completamente lateral y proviene de ambos márgenes del golfo (van Andel, 1964). La región sureste del golfo es dominada por sedimentos terrígenos provenientes de los ríos del continente. Este aporte se ve favorecido por una mayor precipitación local; además, se ha propuesto que el transporte eólico de las regiones áridas del norte juega un papel importante en el depósito de sedimentos en las cuencas centrales (van Andel, 1964; Baba *et al.*, 1991; Baumgartner *et al.*, 1991). En general, las descargas hacia el mar de la red fluvial están controladas por la ocurrencia ocasional de tormentas o lluvias fuertes y por la intervención humana principalmente debida a la construcción de presas y el uso de los ríos para propósito de irrigación, lo que puede reducir el transporte de sedimentos hacia la costa (Kasper-Zubillaga *et al.*, 2007). Por otra parte, 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 (van Andel, 1964; Baba *et al.*, 1991).

Los sedimentos ricos en sílice biogénico están concentrados en los taludes y, se encuentran constituidos principalmente por diatomeas y en una menor proporción por radiolarios y silicoflagelados y son el resultado de una tasa relativamente alta de depósito cerca de las áreas de alta productividad a lo largo de los márgenes del golfo como lo son las áreas de surgencias; así como, por una mejor preservación de material biogénico que coincide con la zona de oxígeno mínimo en el golfo ( $O_2 < 0.2$  ml/L ) y finalmente por procesos de clasificación que concentran el material biogénico grueso en los taludes, permitiendo que las partículas finas, incluyendo la materia orgánica, sean uniformemente distribuidas (van Andel, 1964; Douglas *et al.*, 2007).

El contenido de carbonato biogénico (foraminíferos y coccolitofóridos) disminuye al incrementar la profundidad, especialmente con profundidades asociadas a aguas intermedias y a la zona de oxígeno mínimo; además, se ve afectado por la disolución en la columna de agua y en el piso marino. Las arenas y ooze de foraminíferos son muy comunes y se acumulan principalmente en áreas con bajas tasas de sedimentación y se encuentran por debajo de zonas de baja productividad (Douglas *et al.*, 2007).

### *Sedimentos laminados*

En algunas cuencas en la región sur del Golfo de California se forman sedimentos laminados, la ocurrencia de distintas láminas necesariamente implica condiciones o procesos que presentan una alternancia temporal regular, es por ello que se caracterizan por ser registros fieles de la variabilidad climática y oceanográfica que representan señales climáticas que van de decadales a centenarias y milenarias (Donegan y Schrader, 1982; Sancetta, 1995; Thunell, 1998; Pride *et al.*, 1999; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

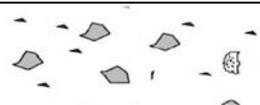
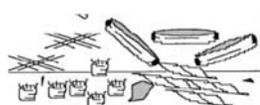
El desarrollo de una secuencia de sedimentos laminados es el resultado de dos condiciones principales, los cuales son: 1) un flujo suficiente de actividad biológica que resultará en cambios composicionales en el sedimento y 2) condiciones ambientales que preserven la formación de sedimentos laminados de la bioturbación. En ambientes marinos el control dominante en la preservación de las láminas es la reducción del oxígeno, esto se presenta principalmente en cuencas con umbrales que inhiben la comunicación directa entre las aguas de fondo de la cuenca y el mar abierto. Estas condiciones de anoxia se presentan también, debajo de regiones de alta productividad primaria, como zonas de surgencias costeras en donde la demanda de oxígeno para procesar la materia orgánica en hundimiento supera el aporte. En estas circunstancias la preservación o no de las láminas está relacionada con la cantidad de materia orgánica que proviene de la productividad superficial y la medida de renovación de las aguas de fondo y los niveles de oxigenación en la columna de agua. La otra circunstancia en donde se preservan las láminas en el registro marino, es cuando existe un flujo excepcional de tapetes de diatomeas de talla grande y, que físicamente suprimen la actividad bentónica en ambientes oxigenados del fondo (Kemp, 1996; 2003). La lámina oscura, dominada por el componente lítico, casi siempre es resultado de escorrentías, las cuales pueden derivar directamente de lluvias indicando precipitación, derretimiento de hielo y nieve indicando temperatura o ser resultado del transporte eólico. La lámina clara, generalmente está dominada por el componente biogénico el cual está compuesto por frústulas, esqueletos y estructuras del fitoplancton, diatomeas en la mayoría de los casos, y está ligada normalmente a la estación(es) de máxima producción y por lo tanto al incremento de nutrientes (Sancetta, 1996).

#### *Sedimentos laminados anuales (modelo Cuenca Guaymas)*

Las estructuras laminares pueden denominarse varvas, si el depósito de un paquete o grupo de láminas son interpretadas por representar un año de depósito diferencial de material terrígeno y biogénico que define la relación de un ciclo climático anual. Dependiendo del ambiente, la varva puede estar compuesta por un par o triplete de láminas (Kemp, 1996).

El flujo de partículas de la columna de agua en la región sur del Golfo de California produce una sedimentación laminada, que registra las variaciones estacionales atmosféricas y oceánicas de la región. En particular, en la Cuenca Guaymas el análisis de imágenes de electrones retrodispersados en núcleos de sedimento muestran la presencia de cuatro componentes del registro sedimentario anual que incluye la alternancia del depósito de 1) material litogénico durante verano-otoño, 2) “flora de penumbra” (shade flora) componente de diatomeas que florecen a medida que la termoclina esta menos definida a finales de otoño principios de invierno, 3) mezcla de flora, diversas diatomeas durante invierno, parcialmente fragmentada por el pastoreo en la columna de agua del zooplancton y, 4) diatomeas casi monoespecíficas por el florecimiento de primavera debido a las surgencias durante el periodo de mayor fuerza de los vientos del noroeste, con sublaminas de material terrígeno debido a la actividad temprana de tormentas de verano (Tabla 1.1) (Pike y Kemp, 1996; Kemp *et al.*, 2000; Kemp, 2003).

Tabla 1.1. Componentes de las varvas de la Cuenca Guaymas, Golfo de California (Pike y Kemp, 1996; Kemp *et al.*, 2000; Kemp, 2003).

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	ESTACIONALIDAD	ESQUEMA
Lámina litogénica	Limos y arcillas predominantemente cuarzo y feldespato	Verano-otoño	
“Flora de penumbra” (Shade flora)	Rhizosoleniaceae concentrada encima de la lámina de terrígenos de verano, Stephanopyxidaceae, Thalassionemataceae y Coscinodiscaceae	Finales de otoño principios de invierno, cuando se rompe la estratificación y la mezcla introduce nuevamente nutrientes a las aguas superficiales	
Mezcla de flora	<i>Roperia tessellata</i> , <i>Actinocyclus</i> spp., <i>Fragilariopsis doliolus</i> y <i>Thalassionema nitzschioides</i> ; así como, frústulas	Invierno durante la transición de vientos débiles del SE a fuertes vientos del NW en noviembre	
Flora casi monoespecífica	<i>Chaetoceros</i> spp (células vegetativas o esporas de resistencia), <i>Stephanopyxis palmeriana</i> y más rara <i>Skeletonema costatum</i>	Primavera, durante el desarrollo de las surgencias	

La lámina terrígena está compuesta principalmente por arcillas, cuarzo y feldespato que provienen de las rocas volcánicas de la península de Baja California y del sedimento del desierto de Sonora (Kemp *et al.*, 2000). Se han propuesto diferentes procesos responsables de la concentración del componente terrígeno en láminas, como lo es la descarga fluvial (ríos Yaqui, Mayo y Fuerte) hacia la región sur del golfo, la cual aumenta durante la estación de lluvias de verano; sin embargo, se observó que con la construcción de presas no se presentaba un cambio significativo en el grosor de las láminas y como una alternativa al aporte fluvial, Baumgartner *et al.* (1991) sugirieron el transporte eólico de material proveniente del desierto de Sonora en la formación de este tipo de láminas, un incremento en la actividad de tormentas eléctricas sobre el desierto durante el verano lleva consigo polvo de muchos kilómetros que se llega a depositar en el golfo, durante la estación de baja productividad, explicando de esta forma un bajo flujo de material biogénico hacia las cuencas. Otra opción es el retrabajo de material de plataforma causado por ondas costeras que son propagadas por tormentas y huracanes que se presentan durante los meses de septiembre y octubre en el golfo (Pike y Kemp, 1996; Sancetta; 1996; Kemp *et al.*, 2000; Kemp, 2003).

En la lámina biogénica el componente dominante es la sílica opalina de diatomeas. Se ha considerado que la mayor producción exportada y el flujo anual de diatomeas proviene de la proliferación dominante de primavera, aunque también se presenta una proliferación menor en otoño-verano (Kemp *et al.*, 2000). Se piensa que ambos mecanismos son esencialmente similares. La proliferación de primavera dura de días a semanas y se compone de diatomeas pequeñas de rápida reproducción (*Skeletonema costatum* y *Chaetoceros* spp.), subsecuentemente este florecimiento es limitado por la disponibilidad de nutrientes a la profundidad en donde se forma una fuerte termoclina estacional. En contraste, el flujo de diatomeas de otoño se constituye de diferentes especies que no crecen tan rápido pero están adaptadas a un crecimiento en condiciones de estratificación y tienen la capacidad de crecer en condiciones de baja irradianza y regular su flotabilidad para moverse verticalmente entre la nutriclina y la parte alta de la zona eufótica. A los organismos que presentan este tipo de adaptaciones se les denomina “flora de penumbra” (shade flora) (Kemp *et al.*, 2000).

### Sedimentos laminados no anuales (modelo Cuenca Alfonso)

En la mayoría de los ambientes de depósito de los sedimentos laminados la señal estacional/anual es la principal influencia en la sedimentación; sin embargo, hay otras variaciones en la dinámica climática-oceánica que presentan una fuerte señal, la más prominente es la de El Niño Oscilación Austral (ENOA). Como es el caso particular del depósito de sedimentos laminados no anuales de la Cuenca Alfonso en la Bahía de la Paz, del cual se cree que está controlado por aportes episódicos de una gran cantidad de terrígenos, probablemente debidos al flujo pluvial que responde al forzamiento del ENOA que dan lugar a la formación de láminas oscuras, mientras que las láminas claras se caracterizan por un incremento en la productividad biológica influenciada por el giro ciclónico que causa divergencia de las aguas (Monreal-Gómez *et al.*, 2001). Por lo que, se propone que los sedimentos laminados de la Cuenca Alfonso responden a procesos cíclicos multianuales en particular relacionados a eventos ENOA, que resultan en un incremento de la precipitación en el sur del golfo (Figura 1.2), aunque es probable que el incremento en la precipitación y aporte de terrígenos podría estar asociada con la migración hacia el norte de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Pérez-Cruz y Urrutía-Fucugauchi, 2010).

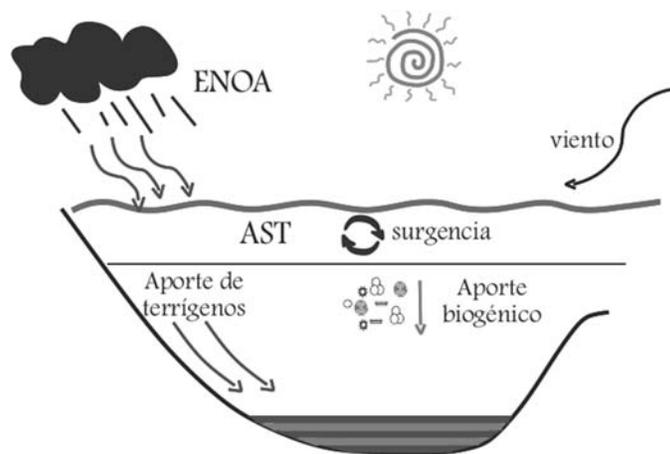


Figura 1.2. Modelo esquemático de la formación de sedimentos laminados en la Cuenca Alfonso, Golfo de California. AST: Agua Superficial Tropical (Pérez-Cruz y Urrutía-Fucugauchi, 2010).

## 1.2 MASAS DE AGUA

La clasificación de las masas de agua del Golfo de California explicadas a continuación son las descritas por Lavín *et al.* (2009) y Lavín *et al.* (1997). La Tabla 1.2 y la figura 1.3 resume sus características.

Agua del Golfo de California (AGC). Esta masa de agua se forma por la convección de invierno en la región norte del golfo, presenta bajas temperaturas de 12 a 18 °C. Esta masa de agua se distingue por su alta salinidad mayor a 34.9. Se ha visto que presenta un flujo estrecho hacia el exterior del Golfo de California en el margen peninsular.

Agua Superficial Tropical Evaporada (ASTe). Esta masa de agua proviene del Agua Tropical Superficial (ATS) que ha sido sujeta a la evaporación; sin embargo, conserva su alta temperatura en la capa superficial (28 a 30 °C) y salinidad mayor o igual a 34.9. Presenta un flujo hacia el interior del golfo en el margen continental.

Agua Superficial Tropical (AST). Presenta una anomalía de superficie fría con una temperatura por arriba de la isoterma de 18 °C y una salinidad entre 34.6 y 34.8. La extensión del AST 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 Mínimo de Salinidad Somero (AmSS). Esta masa de agua se identifica como intrusiones de agua de baja salinidad (menor a 34.5), a las cuales se les asocia un máximo de oxígeno, se encuentra entre los 50 y 100 m de profundidad. Se distinguen dos núcleos uno cerca de la península (mín. S: 34.2) y otro que se presenta en la costa del margen continental hacia el exterior de la misma (mín. S: 34.4). Estas intrusiones han sido identificadas por algunos autores como Agua de la Corriente de California (ACC).

Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt). Se encuentra entre los 9 °C y 18 °C y salinidad entre 34.5 y 34.9. 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 Intermedia del Pacífico (AIP) esta masa de agua se encuentra entre los 4 °C y 9 °C en profundidades mayores a 400 m. Presenta salinidad de 34.5 a 34.8. La frontera inferior del AIP no presenta variaciones apreciables, pero la superior parece retraerse hacia el sur en verano y avanzar en el invierno. Se distingue por su bajo contenido de oxígeno disuelto ( $O_2 < 0.1 \text{ ml / L}$ ).

Agua Profunda del Pacífico (APP) se encuentra a una profundidad que va del fondo hasta alrededor de 1200 m, delimitada por la temperatura de 4 °C y salinidad de 34.5 a 34.7.

Tabla 1.2. Propiedades y distribución de las masas de agua del Golfo de California Lavín *et al.* (2009) y Lavín *et al.* (1997).

Masa de Agua	Abreviación	Salinidad	Temperatura (°C)	Profundidad (m)
Agua del Golfo de California	AGC	34.9-35.35	14-29.5	0-180
Agua Superficial Tropical Evaporada	ASTe	34.9-35.1	28-30	0-40
Agua Superficial Tropical	AST	34.5-34.9	18-30	0-120
Agua del Mínimo de Salinidad Somero	AmSS	34.1-34.5	16-25	10-110
Agua Subsuperficial Subtropical	ASsSt	34.5-34.9	9-18	50-480
Agua Intermedia del Pacífico	AIP	34.5-34.8	4-9	480-1200
Agua Profunda del Pacífico	APP	34.56-34.75	4	>1200

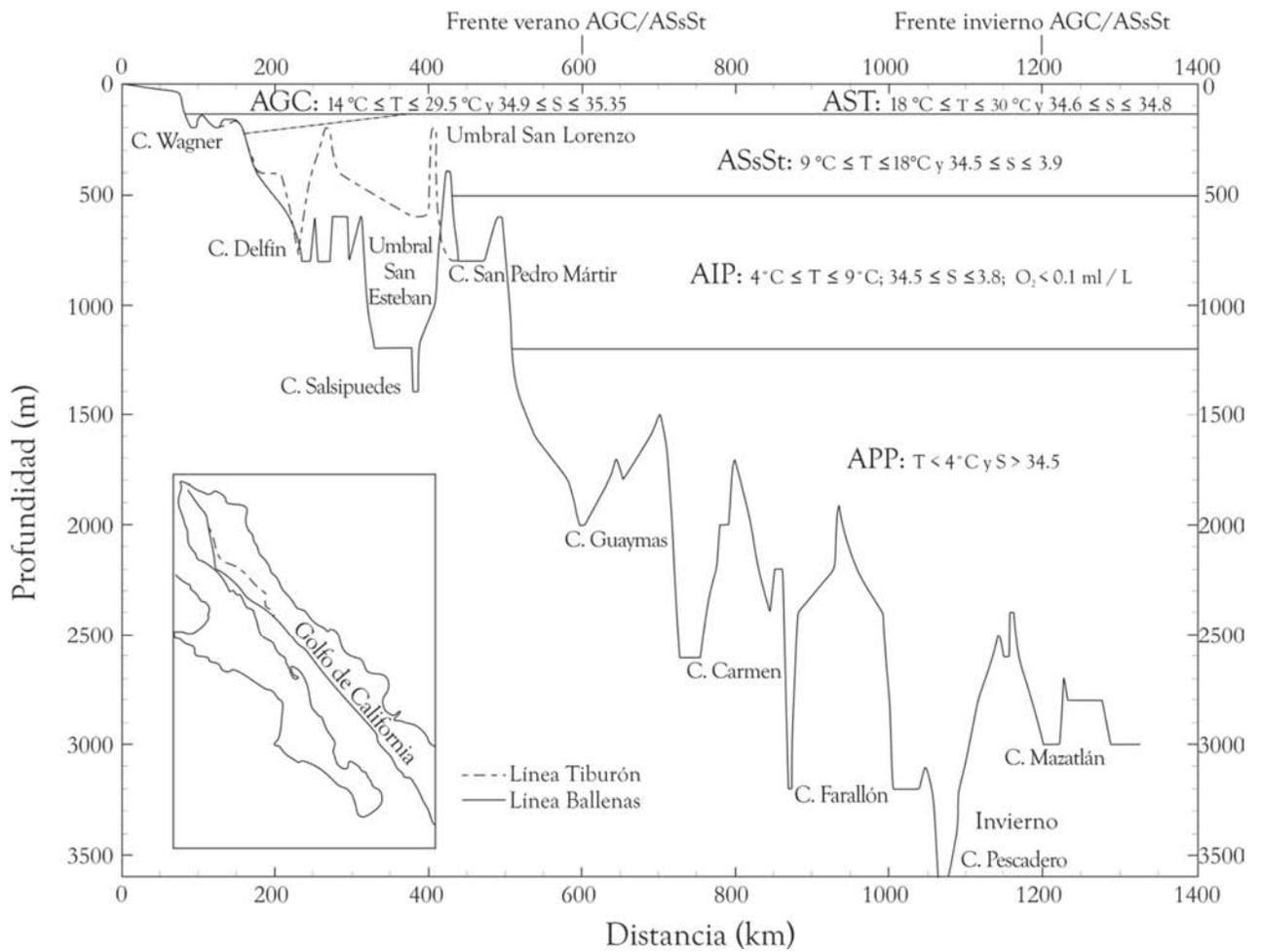


Figura 1.3. Distribución de las masas de agua en el Golfo de California. La línea punteada en la Cuenca Delfin es la posición de verano de la frontera entre el AGC y el ASsSt (Lavín *et al.*, 1997 y Lavín *et al.*, 2009).

### 1.3 CLIMATOLOGÍA

El clima del Golfo de California es de carácter monzónico. Se desarrolla por los procesos de interacción océano-atmósfera entre los trópicos y latitudes medias y presenta dos modos: el de invierno (frío y seco) y el de verano (húmedo y cálido). Ambos con una variación en la intensidad y duración de los vientos, precipitación y en la temperatura superficial del mar (Douglas *et al.*, 2007; Lavín *et al.*, 2009).

La fase de invierno (noviembre a marzo) es dominado por vientos del flujo anticiclónico alrededor del sistema de Alta Presión Subtropical al este del Pacífico. Los vientos se intensifican en otoño a medida que el Sistema de Alta Presión del Pacífico Norte y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) migran hacia el ecuador, mientras que el Centro de Baja Presión Continental se debilita y migra al sureste. En el Golfo de California los vientos dominantes son los del noroeste (Figura 1.3). Los vientos de invierno disminuyen la temperatura superficial del mar, generando mezcla en las capas superficiales y transporte de Ekman a lo largo del margen oriental del golfo (la capa de mezcla en invierno es de 90 m en la región norte, 70 m en el sur y 60 en la zona de las grandes islas), como consecuencia la termoclina se debilita y esencialmente desaparece en la región central del golfo durante enero a marzo (Thunell *et al.*, 1996), además de desarrollarse surgencias a lo largo del margen continental. A medida que los vientos invernales del noroeste pasan sobre las regiones desérticas al norte y al este, transportan una cantidad considerable de polvo hacia al sur sobre la región central y norte del golfo.

En la fase de verano (abril-octubre) los vientos del noroeste disminuyen a medida que el Sistema de Alta Presión del Pacífico Norte y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) migran hacia el norte, mientras que el Centro de Baja Presión Continental se acentúa y se ubica al norte del y golfo (Figura 1.3).

Durante el verano y principios del otoño la temperatura superficial del mar excede los 29 °C debido al incremento en la insolación y la incursión de aguas superficiales tropicales del Pacífico (la capa de mezcal en verano es de 20 m en la región norte y de 10 m en la región sur y en las grandes islas). A mediados del verano una gruesa capa (> 150 m de profundidad) de aguas cálidas (>28 °C) cubre la región central y sur del golfo, generando una termoclina profunda, retardando la advección vertical de nutrientes a la superficie, los sistemas de surgencias son débiles y limitados al margen peninsular (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Bray y Robles, 1991; Douglas *et al.*, 2007).

En verano y otoño en los meses de junio a octubre se registra la mayor precipitación en la parte sur del golfo cuando predominan los vientos del sureste, mientras que en invierno y primavera especialmente en el alto golfo, se genera poca precipitación (Lavin *et al.*, 1997; 2009).

La acción combinada del forzamiento físico del enfriamiento (calentamiento) de las aguas superficiales debido a un ciclo de insolación estacional, la predominancia de los vientos del noroeste (sureste) durante meses fríos (cálidos) debido a la migración de las celdas de baja y alta presión atmosférica, la advección de calor en invierno (verano) por un patrón de circulación anticiclónica (cyclónica) y el enfriamiento (calentamiento) de la superficie del mar; acoplado con una somera (profunda) termoclina, son responsables de la variabilidad oceanográfica anual del Golfo de California (Herguera *et al.*, 2003).

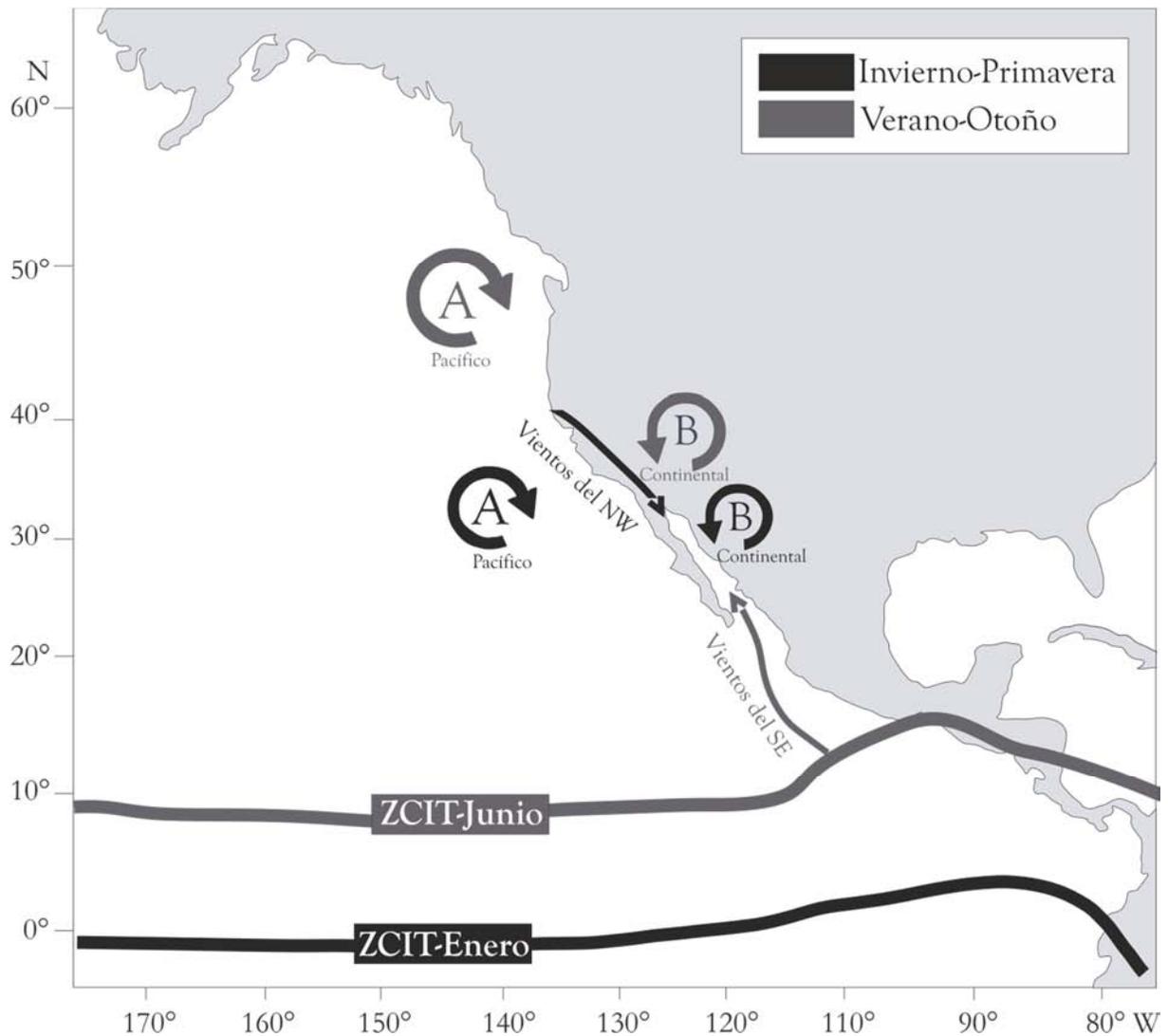


Figura 1.4. Distribución estacional (invierno y verano) de los centros de presión atmosférica (del Pacífico Norte y Continental), la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y su influencia en la dirección de los vientos (Modificado de Goñi *et al.*, 2006).

La variabilidad interanual en el Golfo de California es dominada por efectos del fenómeno global denominado El Niño Oscilación Austral (ENOA) se presenta con recurrencia de 3-7 años, tiene origen en la zona ecuatorial del Océano Pacífico dando lugar a la intrusión de masas de aguas tropicales que afectan la temperatura y concentración de nutrientes.

En el Golfo de California provoca una mayor intrusión del Agua Superficial Tropical, los eventos de El Niño son generalmente marcados por el incremento de asociaciones de especies cuya distribución está limitada a aguas tropicales y subtropicales (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Bray y Robles, 1991; Baumgartner *et al.*, 1985). Se presenta un hundimiento de la termoclina, la temperatura de la capa superficial aumenta, por lo que las surgencias durante ese periodo transportan hacia la superficie agua cálida y con baja concentración de nutrientes (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín, 2007). Posterior a los eventos de El Niño se suele presentar un cambio drástico hacia condiciones La Niña en donde baja la temperatura de la capa superficial, la termoclina es menos profunda, por lo que incrementa la disponibilidad de nutrientes en la zona eufótica y aumenta la productividad (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín, 2007).

Otra de las fluctuaciones que influencia la dinámica oceánica del Golfo de California es la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP). Esta ha sido descrita como una fluctuación (variabilidad climática) de largo periodo en el Océano Pacífico, la cual afecta principalmente la cuenca del Pacífico y el clima de América del Norte. La ODP consta de una fase positiva (o cálida) y una fase negativa (o fría). Las alteraciones climáticas más importantes en el continente americano van a suceder cuando la ODP y el ENOA estén en fase. Es decir, cuando las fases cálidas de la ODP coincidan con eventos de El Niño fuertes y las fases frías coincidan con eventos de La Niña (Mantúa y Hare, 2002). Una de las diferencias entre ambas oscilaciones es la escala temporal. El ENOA se presenta con una recurrencia de 3 a 7 años, mientras que la ODP tiene una periodicidad de 50-70 años. La otra diferencia es la escala espacial (las regiones que parecen influenciar desde el punto de vista climático). ENOA influye sustancialmente en el clima tropical, mientras la ODP afecta al Pacífico Norte y a Norteamérica con señales secundarias en los trópicos (Mantúa y Hare, 2002).

## 1.4 PRODUCTIVIDAD

El Golfo de California es considerada una de las zonas de mayor productividad primaria del mundo ya que presenta valores mayores a  $1\text{g C/m}^2/\text{día}$  y pueden excederse a  $4\text{g C/m}^2/\text{día}$  (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), algunos estudios han propuesto que las surgencias costeras que ocurren con la alternancia estacional en ambos márgenes del golfo, dan lugar a dicha productividad primaria. Sin embargo, se cree que son cuatro los procesos que permiten la advección de nutrientes a la zona fótica y que contribuyen a la producción del fitoplancton y son los siguientes: 1) mezcla por vientos y surgencias costeras, principalmente a lo largo del margen continental, 2) mezcla por mareas y turbulencia en la parte norte del golfo, especialmente en el Canal de Ballenas y alrededor de las grandes islas, 3) circulación termohalina y 4) ondas costeras atrapadas (Douglas *et al.*, 2007). Dentro de estos procesos también se incluyen giros de mesoescala (giros ciclónicos que causan divergencia y dan lugar a la advección de aguas intermedias ricas en nutrientes a la zona fótica y transporta aguas del oeste pobres en nutrientes al este, estimulando la productividad y, los giros anticiclónicos que causan convergencia y descenso de agua, mueven las aguas de las surgencias del este a través del golfo y transportan nutrientes y plancton al margen occidental) y corrientes (*jets*) que transportan nutrientes y plancton (Figura 1.4.A). De los anteriores, las surgencias costeras y la mezcla por mareas son los más importantes basados en mediciones satelitales de la productividad (Douglas *et al.*, 2007).

Se ha observado un gradiente de productividad primaria de este a oeste, que persiste en la región central y sur del golfo, excepto en verano, evidenciado por la concentración de pigmentos, la cual es el doble o triple en el margen oriental que en el occidental, con un incremento hacia el sur de la producción del plancton que es controlada principalmente por las surgencias. Este gradiente significa que mucho de los desechos biogénicos depositados en el lado occidental del golfo, son producidos por las surgencias costeras de la región oriental y, son transportados a través del golfo o bien, puede ser una respuesta del fitoplancton a la advección de nutrientes (o regeneración de nutrientes en los giros) o pueden ocurrir ambas.

A lo largo del golfo se presenta un gradiente de norte a sur en el centro y en el lado occidental del golfo, con valores más altos al norte y en el área de las grandes islas. La productividad de invierno-primavera se da principalmente por los procesos de surgencias y turbulencias de mareas, pero los mecanismos que controlan la productividad durante los meses de verano son menos claros (Douglas *et al.*, 2007).

Las imágenes satelitales de la concentración de pigmentos, indican productividad primaria y en el Golfo de California muestran un patrón estacional recurrente. Comienza con un pico temprano de productividad en noviembre-diciembre, el cual se desarrolla cuando los vientos enfrían las aguas superficiales y la termoclina es menos conspicua y se rompe la estratificación de la columna de agua establecida durante los meses de verano, los vientos inducen mezcla y advección vertical de nutrientes en la zona fótica, un segundo pico de productividad en febrero-abril ocurre cuando las surgencias en el margen oriental son fuertes, posteriormente se da una caída dramática de la productividad en los meses de verano (julio-septiembre) con los valores más bajos de productividad primaria, debido a una marcada estratificación de la columna de agua (Douglas *et al.*, 2007). En cuanto a la distribución promedio de clorofila se ha propuesto que el Golfo de California puede dividirse en tres zonas (Figura 1.4.B): oligotrófica (boca del golfo,  $< 0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ), mesotrófica (región central del golfo,  $0.2$  a  $1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) y eutrófica (región costera del margen oriental, parte norte e incluye la región de las grandes islas,  $>1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín, 2007).

Así mismo, en estudios con trampas de sedimento, se ha observado la variación estacional del plancton como respuesta a la dinámica oceánica-climática y se encontró que este presenta su mínima abundancia durante los meses de verano cuando las aguas superficiales son cálidas y estratificadas. En noviembre, con el cambio de dirección y el aumento en la velocidad de los vientos del noroeste que generan surgencias, el rompimiento de la termoclina, el enfriamiento de las aguas superficiales y la alta concentración de nutrientes, se da un rápido incremento en el flujo de plancton, el cual es asincrónico presentándose al inicio de la sucesión el florecimiento de diatomeas, las cuales son un grupo oportunista, con altas tasas de división celular que puede explotar rápidamente un incremento en nutrientes, seguido

por el de cocolitoforidos y silicoflagelados grupos que presentan su máxima abundancia más tarde en la sucesión, lo que refleja su tolerancia a condiciones de aguas más estratificadas y con menos nutrientes y finalmente los foraminíferos, los cuales tienen un periodo de flujo más prolongado, de 2-3 meses, debido a que tienen un ciclo de vida más largo; así como, la habilidad de alimentarse de diferentes grupos de plancton (Thunell *et al.*, 1996).

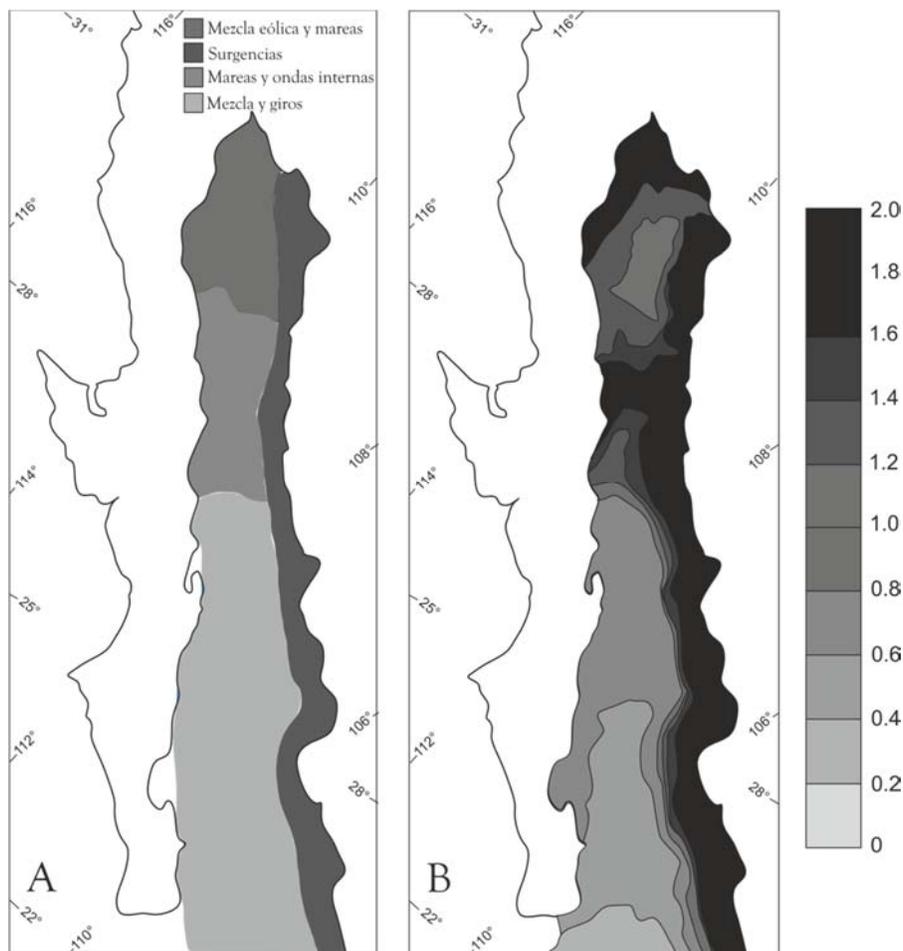


Figura 1.5. A) Dominios basados en los principales procesos físicos que controlan el transporte de nutrientes y productividad: vientos y mareas al norte, mezcla de mareas y ondas internas en la zona de las islas, surgencias costeras en el margen oriental y vientos y giros de mesoescala en la región central y sur del golfo (Douglas *et al.*, 2007) y B) Concentración promedio de clorofila ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) de 1997 a 2002 (Espinosa-Carreón y Valdez-Holguín, 2007).

## 1.5 ÁREA DE ESTUDIO: 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 a 800 m (Figura 1.5) (Nava-Sánchez *et al.*, 2001). Por su batimetría sólo se encuentran las siguientes masas de agua: Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua Superficial Tropical (AST) y Agua del Golfo de California (AGC) la cual se ha encontrado dentro de la Bahía de la Paz (Monreal-Gómez *et al.*, 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 silicea de color gris olivo o grisácea.

De acuerdo con Douglas *et al.* (2007), el área de estudio se encuentra en la región sur del Golfo de California, en donde la mezcla por giros de mesoescala es el principal mecanismo de productividad primaria, aunque las consecuencias biológicas de estos giros nunca han sido analizadas con mediciones directas, diversos autores (Emilsson y Alatorre 1997; Pegau *et al.*, 2002, Figueroa *et al.*, 2003; Zamudio *et al.* 2008) han probado indirectamente que estos giros de la región sur tienen un efecto detectable sobre la distribución de clorofila superficial (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994, Kahru *et al.*, 2004, López-Calderon *et al.*, 2008).

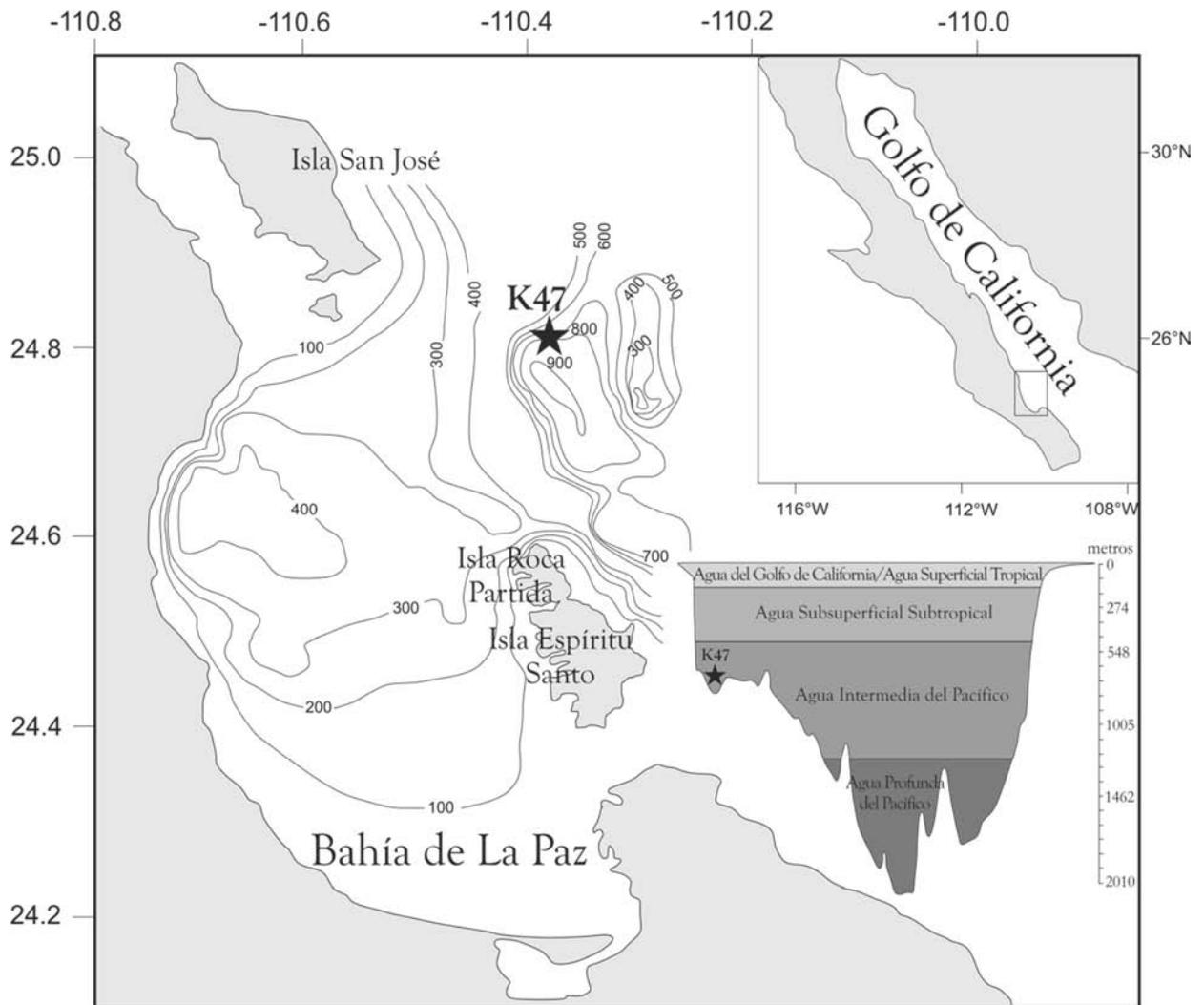


Figura 1.6. Área de estudio. Ubicación de la Cuenca de la Paz (K47, estrella). Modificado de Amador-Buenrostro *et al.* (2003), Trasviña-Castro *et al.* (2003) y Molina-Cruz *et al.*, 2002. Perfil batimétrico y masas de aguas presentes en la Cuenca de la Paz (Hernández-Contreras, 2010).

## 2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LOS ÚLTIMOS 2000 AÑOS

Durante la mayor parte del Holoceno tardío las variaciones que predominantemente influenciaron el clima global y regional, incluyen tres agentes de forzamiento: variabilidad solar, la actividad volcánica y la concentración de aerosoles y gases de tipo invernadero por la actividad humana (Wanner *et al.*, 2008; Cronin, 2010).

### *Forzamiento solar*

Se refiere básicamente a cambios en la irradiación solar la cual está ligada a variaciones en la producción de energía emitida por el Sol. Estas variaciones pueden deberse a procesos como son la actividad de manchas solares, fáculas, flamas solares y la eyección de masa coronal entre otras y pueden ser medidas en la Tierra a través del estudio de isótopos cosmogénicos (Nunn, 2007; Wanner *et al.*, 2008). Las variaciones en la irradiación solar son generalmente aceptadas como la causa principal del cambio climática en el último milenio.

### *Forzamiento volcánico*

Los gases emitidos por las grandes erupciones volcánicas, principalmente de azufre (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) a la troposfera y estratosfera (altitud de 20 a 25 km), forman ácidos, los cuales permanecen en estas capas por largos periodos lo que da lugar a perturbaciones climáticas. Algunos ejemplos de erupciones registradas por el contenido de sulfatos y polvo en los núcleos de hielo son la erupción del volcán Tambora en Indonesia de 1815, que dio lugar al famoso “año sin verano” en Europa en 1816; así como, la erupción del volcán Krakatoa en Indonesia en 1883, la erupción del volcán Santa Elena en Estados Unidos en 1980, el evento del Chicón en México en 1982 y más recientemente en 1991 la erupción del Monte Pinatubo en las Filipinas.

## Forzamiento por gases de tipo invernadero

La concentración de gases de tipo invernadero producida por la actividad humana puede inducir un calentamiento de la atmósfera debido a que absorben la radiación terrestre de longitud de onda larga, aumento que se ha observado desde la era industrial, cabe mencionar que el cambio del uso del suelo por diferentes prácticas antropogénicas ha influenciado también, en la variabilidad del clima (Cronin, 2010). Durante los últimos 2000 años se han registrado los siguientes eventos climáticos de carácter global como son El Periodo Cálido Medieval, La Pequeña Edad del Hielo y La Época Moderna, los cuales se describen de manera breve a continuación (Figura 2.1).

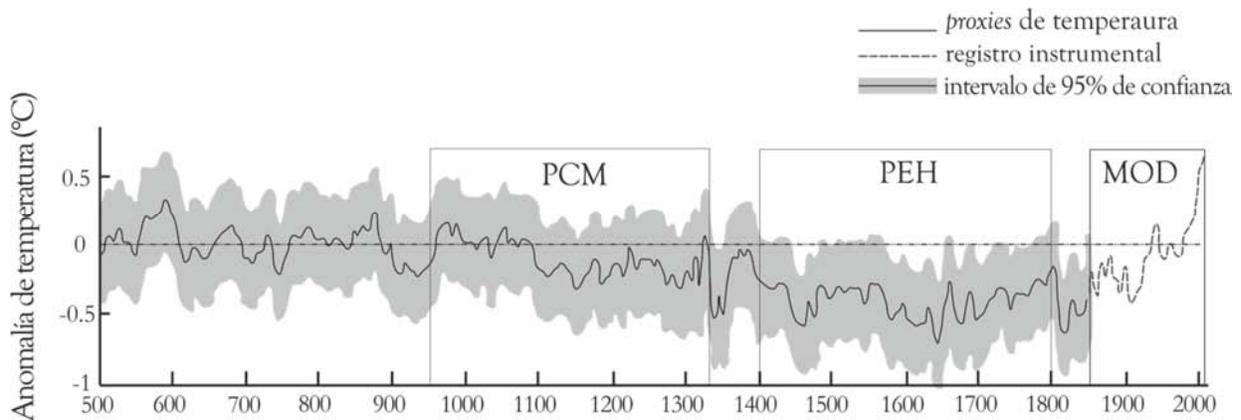


Figura 2.1. Reconstrucción de la temperatura superficial en el hemisferio norte. Los *proxies* de temperatura utilizados comprimen información de registros de anillos de árboles y coral, núcleos de hielo y sedimentos entre otros. PCM: Periodo Cálido Medieval, PEH: Pequeña Edad del Hielo y MOD: Época Moderna (Modificado de Mann *et al.*, 2009).

### 2.1 PERIODO CÁLIDO MEDIEVAL

El Periodo Cálido Medieval se desarrolló entre 900 a 1250 años, el intervalo que corresponde de 1100 a 1250 años es denominado la Anomalía Climática Medieval que coincide con el Máximo Solar Medieval (Tabla 2.1), el cual refleja un incremento relativo en la actividad solar.

Este periodo se caracteriza por presentar elevadas temperaturas en verano que exceden las temperaturas del siglo 20 en el hemisferio norte, aproximadamente 0.5° C más elevado que el actual (Cronin, 1999). El Periodo Cálido Medieval estuvo seguido por un extenso periodo de clima considerablemente frío, denominada la Pequeña Edad del Hielo.

La señal del PCM se ha registrado en el Golfo de California en algunos estudios, como lo es el trabajo de Pérez-Cruz (2006) quien analizó asociaciones de radiolarios en una secuencia de sedimentos laminados (BAP96-CP) colectada en la Cuenca Alfonso, ubicada en la Bahía de la Paz, en la cual encontró la señal del PCM a ~ 910 y 1000 AD y sugiere condiciones cálidas; así como, la presencia dominante del Agua Superficial Tropical (referida como Agua Superficial Ecuatorial), asociado a eventos ENOA más frecuentes e intensos. Así mismo, Barron y Bukry (2007) realizaron un estudio de alta resolución con registros de diatomeas y silicoflagelados analizados en sedimentos laminados colectados al este de las cuencas Guaymas (BAM80 E-17), Carmen (NH01-21) y Pescadero (NHO1-26) en el Golfo de California, en donde observan el PCM (referido como Anomalía Climática Medieval -ACM-) de ~ 900 a 1200 AD el cual es evidenciado por la diatomea tropical *Azpeitia nodulifera* que definen dos periodos de reducida productividad y temperatura superficial del mar cálida, interrumpido por un intervalo de alta productividad a ~1050 AD caracterizado por la presencia del silicoflagelado *Octactis pulchra*.

## 2.2 PEQUEÑA EDAD DE HIELO

La Pequeña Edad de Hielo se desarrolló entre 1350 a 1800 años, no es un episodio uniforme de clima frío, distintas variaciones en el clima y en la actividad de los glaciares tuvieron lugar en cuencas regionales, principalmente de Europa y Norteamérica. Durante esta época ocurre un mínimo de insolación en el verano en el hemisferio norte y un incremento en la actividad volcánica (Wanner *et al.*, 2008). Este clima fue influenciado por un decremento en el número de manchas solares, en donde son notables los mínimos de manchas solares denominados mínimos de Wolf (1290-1350), Spörer (1400-1510), Maunder (1647-1715) y Dalton (1810-1830), que se sugieren influenciaron el clima de la superficie terrestre y que

coinciden con inviernos fríos en el hemisferio norte (Tabla 2.1). El máximo de la Pequeña Edad del Hielo ocurre a 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 a 1 °C más baja que la actual (Grove, 1988).

Tabla 2.1. Actividad de manchas solares en el último milenio definidas por la reconstrucción del número de manchas solares (Nunn, 2007).

Época	Tiempo (AD)	Duración (años)	Número de manchas solares
Oort	1090-1140	50	24.00 ± 20.00
Medieval	1140-1200	60	53.00 ± 38.30
Wolf	1300-1386	86	0.46 ± 1.87
Spörer	1410-1515	105	0.06 ± 0.59
Maunder	1641-1715	74	3.56 ± 8.72
Dalton	1790-1825	35	26.10 ± 23.40
Moderna	1900-1999	99	57.54 36.45

En el Golfo de California la PEH no se ha reconocido claramente; sin embargo, en la región este de las cuencas del centro y sur del golfo, se ha observado una reducción del flujo de aguas tropicales evidenciado por la disminución en la abundancia de *Azpeitia nodulifera*, diatomea tropical y *Dictyocha stapadius*, silicoflagelado de aguas oligotróficas; así como, un incremento en la producción de *Octactis pulchra*, silicoflagelado indicador de alta productividad. Los autores relacionan este proceso al resultado del forzamiento solar en donde la disminución en la irradiación solar (mínimo de manchas solares) causa el enfriamiento de la temperatura atmosférica en invierno sobre el suroeste de Norteamérica y da lugar a la intensificación de vientos del noroeste sobre el golfo, resultando en un incremento en la productividad y un enfriamiento de la temperatura superficial del mar (Barron *et al.*, 2003; Barron y Bukry, 2007). Herguera *et al.* (2003), de un registro de temperatura superficial del mar obtenida mediante el análisis de oxígeno isotópico en testas del foraminífero planctónico *Globigerina bulloides* en sedimentos laminados en la Cuenca de la Bahía de la Paz (Cuenca Alfonso) del Golfo de California, observaron que para el periodo comprendido entre 1700 a 1830 la temperatura superficial del mar muestra inviernos más fríos, alternándose con otros relativamente más cálidos.

### 2.3 ÉPOCA MODERNA

La Época Moderna, la cual abarca los últimos 150 años, a partir de la Revolución Industrial, ha registrado un ascenso de aproximadamente 0.8° C de la temperatura global promedio (Mann *et al.*, 1998), lo cual ha sido más notorio en los últimos 50 años debido a la acción antropogénica de la quema de combustibles fósiles y el incremento de las emisiones de gases de tipo invernadero (Crowley, 2000).

En el Golfo de California se han registrado condiciones similares a las descritas anteriormente, como es el caso de Goñi *et al.* (2006) quienes documentan un aumento en la temperatura superficial del mar de 1 a 2 °C para los últimos 300 años en la Cuenca de Guaymas. Para esta misma cuenca Barron y Bukry (2007), observan un decremento en la abundancia de *Octactis pulchra*, silicoflagelado asociado a aguas eutróficas, por lo que se infiere que para los últimos 100 a 200 años una reducida productividad y temperaturas cálidas asociadas a un incremento en la actividad solar. Así también, Herguera *et al.*, 2003 encuentran en la Cuenca de la Bahía de la Paz, una temperatura superficial del mar con una tendencia general de calentamiento, propia del siglo 20 a partir de registros instrumentales e isotópicos. Por su parte Staines-Urías *et al.* (2009), utilizaron la medición del  $\delta^{18}\text{O}$  del foraminífero planctónico *Globigerina bulloides* (indicador de condiciones de invierno-primavera y de alta productividad primaria), para registrar la variabilidad de la temperatura superficial del mar en las cuencas Alfonso y Pescadero del Golfo de California. En ambas cuencas el registro del  $\delta^{18}\text{O}$  de *G. bulloides* indica un incremento progresivo de la temperatura superficial del mar, esta tendencia es más notoria en la segunda mitad del siglo 19, sugiriendo un aumento de 1 a 1.5 °C de la temperatura. Este periodo de rápido calentamiento coincide con el final de la PEH. El calentamiento observado puede ser explicado por un decremento en las surgencias de invierno. El incremento de la actividad solar observada a finales de la PEH, pudo haber causado un cambio general esto es, la migración hacia el norte del centro de Alta Presión del Pacífico Norte y la Zona de Convergencia Intertropical, resultando en un debilitamiento de los vientos del noroeste, reducción de las surgencias, altas temperatura superficial del mar y consecuentemente disminución en los valores del  $\delta^{18}\text{O}$  de *G. bulloides*.

### 3. RADIOLARIOS POLYCYSTINOS

Los radiolarios polycystinos (en adelante se denominaran radiolarios) son protozoarios de vida libre, casi exclusivamente marinos y holoplanctónicos, se les considera dentro del microzooplancton, ya que su rango de tamaño es aproximadamente de 30 a 300  $\mu\text{m}$ , generalmente de 50 a 150  $\mu\text{m}$  (Lazarus, 2005). Presentan un esqueleto compuesto por sílice opalino con potencial de preservación en el piso oceánico, esta característica es importante ya que hace posible su estudio en el registro sedimentario (Kling, 1979; Anderson, 1983) y por ello el conocimiento de su ecología y distribución son esenciales para llevar a cabo la reconstrucción de condiciones oceanográficas y climáticas pasadas.

#### 3.1 NIVEL TRÓFICO

El microzooplancton es un grupo de organismos heterotróficos y mixotróficos de tamaño de entre 20 y 200  $\mu\text{m}$ , que incluye a muchos protistas como ciliados, dinoflagelados, foraminíferos, radiolarios y pequeños metazoarios como larvas de copépodos (Calbet, 2008). El conocimiento detallado del papel que juega el microzooplancton en los ecosistemas marinos es limitado, sobre todo aquel que corresponde a la comunidad de protistas y, esto es debido principalmente a: 1) al gran número de especies de protistas presentes en la mayoría de los ambientes acuáticos, 2) la gran diversidad en intervalos de tamaño y abundancia de estas especies y 3) las distintas metodologías que se requieren para el muestreo e identificación de las especies (Caron, 2001).

Tradicionalmente el microzooplancton ha sido considerado como contribuidor secundario cuando se describe la dinámica de los ecosistemas marinos; sin embargo, actualmente se sabe que ocupan una posición clave en cadenas alimenticias como consumidores principales de la producción primaria (Calbet, 2008).

### 3.2 HÁBITOS ALIMENTARIOS

Los radiolarios pertenecen al grupo de los sarcodinos planctónicos marinos, la mayoría de los miembros de cada grupo (Acantharia, Foraminifera y Radiolaria) construyen algún tipo de esqueleto o concha (celestita  $\text{SrSO}_4$ , calcita  $\text{CaCO}_3$  y ópalo  $\text{SiO}_2$  respectivamente) y son similares en términos de su estatus trófico general. La disponibilidad de presas varía de acuerdo a la región, en particular se ha observado que estos protistas, en ambientes subtropicales-tropicales oligotróficos dominan el plancton en términos de número y/o biomasa y probablemente presentan un importante impacto de depredación (Swanberg y Caron, 1991).

Los radiolarios se alimentan de una gran variedad de organismos de tamaño microscópico a organismos relativamente grandes (pocos centímetros), lo que en parte podría explicar su amplia ocurrencia. Se ha observado que sus vacuolas digestivas contienen restos silicios de diatomeas, tecas orgánicas (probablemente de otras algas), tintínidos y masa citoplasmática digerida que probablemente pertenece a otros protozoarios capturados (Anderson, 1976); así como, larvas de moluscos, copépodos, pequeñas medusas, bacterias y detritus. Algunas especies parecen ser relativamente omnívoras y otras parecen estar más especializadas en herbívoros o carnívoros.

La mayoría de las especies espinosas capturan y digieren presas del zooplancton mientras que la mayoría de las especies no espinosas tienden a alimentarse más de algas que del zooplancton. Los mecanismos de captura de la presa dependen de la especie de depredador y el tamaño de la presa (De Wever *et al.*, 2001; Lazarus, 2005). Los dinoflagelados, foraminíferos y radiolarios son capaces de consumir presas de un talla considerablemente más grandes que ellos debido a la producción de redes de pseudópodos pegajosas con las que atrapan e inmovilizan a sus presas (Caron, 2001).

Muchas de las especies superficiales de sarcodinos que se distribuyen en la superficie se consideran mixotróficas ya que consumen energía no solo de la ingesta de presas sino del producto de la fotosíntesis de las algas simbiotes, de las cuales pueden nutrirse en la ausencia de alimento. Los contenidos de clorofila y las tasas de fotosíntesis en los simbiotes de los sarcodinos usualmente son tan altas o mayores que las algas que viven de manera libre por que probablemente los endosimbiotes no están limitados en nutrientes (Swanberg y Caron 1991; Gast y Caron, 2001). Las algas simbiotes que se encuentran en el ectoplasma, a menudo distribuidas en la periferia durante el día y se repositionan alrededor de la pared capsular (cápsula central) en la oscuridad (Anderson, 1983). Las algas simbiotes también pueden ofrecer una función nutritiva, ya sea que los productos fotosintéticos sean asimilados o que estos sean digeridos. Si los simbiotes sirven como una fuente alternativa de alimento probablemente aumenten la sobrevivencia de los radiolarios durante periodos o condiciones poco favorables cuando la fuente de alimento disminuye, mientras que se tenga luz disponible para sostener al alga, la cual se encuentra en un medio protegido brindado por el radiolario (Anderson, 1976; De Wever *et al.*, 2001).

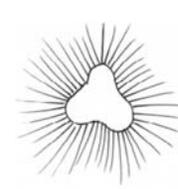
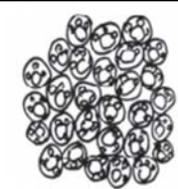
Las algas simbiotes asociadas a los radiolarios pueden pertenecer a los grupos de dinoflagelados (como zooxantellas), prasinofitas o prymnesiofitas, siendo los primeros los más comunes (Anderson, 1976; 1983). Se observó que las zooxantellas se encuentran rodeadas por una capa delgada de ectoplasma que aparentemente permite al radiolario controlar la distribución de los simbiotes (Anderson, 1977). Una porción significativa de radiolarios presentan una densidad de algas simbiotes de decenas a miles por individuo, esta alta densidad de algas presentes en el citoplasma de radiolarios relativamente jóvenes, sugiere que esta relación se establece de manera temprana durante la ontogenia del radiolario, ya que no hay evidencia de que las algas simbiotes se pasen directamente de una generación a otra (De Wever *et al.*, 2001). La interacción simbiótica es selectiva, los organismos juveniles adquieren a sus fotosimbiotes de la mezcla de algas simbiotes y no simbiotes de la columna de agua, un simbiote específico es preferible, pero en cierto punto podría ser más importante para el hospedero tener un simbiote funcional. La flexibilidad de muchas de estas interacciones sugiere un mecanismo común para el reconocimiento general de los simbiotes con una

subsecuente selección de un alga específica. Se ha observado en radiolarios que el mismo hospedero puede poseer diferentes simbioses y que diferentes hospederos pueden tener el mismo simbiote (Gast y Caron, 2001).

### Mecanismos de alimentación

Matsuoka (2007) observó en radiolarios, una relación estrecha entre la morfología del esqueleto y sus estrategias de alimentación y reconoció cuatro tipos de estrategias de alimentación de radiolarios subtropicales las cuales se resumen en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Estrategias de alimentación de los radiolarios.

MECANISMO DE ALIMENTACIÓN	APARATO DE ALIMENTACIÓN	TIPO DE PRESA	ESQUEMA
<p><b>NASELLARIA MULTISEGMENTADOS</b></p> <p>(Radiolarios cónicos, multisegmentados como <i>Eucyrtidium</i>, <i>Pterocorys</i> y <i>Spirocyrtilis</i>)</p>	<p>Proyección axial -PA-(pseudópodo, largo y grueso) emerge del centro de la apertura oral, al igual que las proyecciones terminales que forman un cono terminal y rodean la PA. La actividad de alimentación se divide en tres fases; extensión, captura y retracción</p>	<p>Presa relativamente grande pero menor al diámetro de la apertura oral como es el caso de ciliados y flagelados</p>	
<p><b>OTROS NASELLARIA</b></p> <p>(Radiolarios con un esqueleto compuesto por elementos espiculares o con una o dos cámaras como <i>Pseudocubus</i>, <i>Arachnacorrallium</i>, <i>Acanthodesmia</i>)</p>	<p>De la apertura o base del esqueleto se extiende un cono terminal -CT- el cual consiste en hilos axopodiales unidos por una membrana que asemeja un paraguas. Las presas son atrapadas usando el CT como una red de pesca</p>	<p>Se colectan pequeñas presas incluyendo microflagelados y bacterias</p>	
<p><b>SPUMELLARIA SOLITARIOS</b></p> <p>(Radiolarios esféricos o discoidales como <i>Diplosphaera</i>, <i>Spongosphaera</i> y <i>Spongaster</i>)</p>	<p>Poseen un gran número de axópodos que radian en todas direcciones. Las presas se capturan por el movimiento de contracción-extensión de los axópodos. Pueden presentar simbiosis con algas</p>	<p>Se capturan presas pequeñas, microalgas y bacterias</p>	
<p><b>RADIOLARIOS COLONIALES</b></p> <p>(<i>Collozum</i> y <i>Buccinosphaera</i>)</p>	<p>Las células de los radiolarios coloniales están dispersas en una envoltura gelatinosa con numerosas algas simbióticas, no se ha observado ningún comportamiento de alimentación</p>	<p>Se concluye que los radiolarios coloniales viven exclusivamente de las algas simbioses</p>	

Se puede asumir que la morfología del esqueleto puede reflejar un comportamiento de alimentación específico, pero también puede reflejar eficiencia de flotación del individuo, su capacidad de estabilizarse/migrar a ciertos niveles de la columna de agua, su eficiencia para utilizar el sílice para optimizar el balance de energía celular o como protección contra depredadores. Una alta diversidad en la morfología del esqueleto de los radiolarios en parte está relacionada a la diversificación de las estrategias de alimentación, como los descritos anteriormente. La amplia variación en el comportamiento de alimentación significa que los radiolarios ocupan diversos tipos de nichos ecológicos en el ambiente marino (Matsuoka, 2007).

### 3.3 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y EN LOS SEDIMENTOS

#### *Distribución geográfica horizontal*

La distribución geográfica de los radiolarios, como en la mayoría de los otros grupos de zooplancton, está influenciada por factores físicos y biológicos, siendo los más importantes la temperatura (Kling, 1978), en cuanto a la salinidad, estos no se encuentran por debajo de una salinidad de 30, disponibilidad de alimento (Bjørklund y Cortese, 2002); así como, por las corrientes oceánicas que los dispersan (Arz, 2004). Se encuentran presentes en todos los océanos y en todas las zonas climáticas, principalmente en latitudes medias y bajas (20-35°), disminuyendo levemente hacia el ecuador y drásticamente hacia los polos (de manera más rápida en el hemisferio norte que en el sur, este último presenta mayor especies que el primero) (Casey, 1977; Boltovskoy, 1987). Sin embargo, el Océano Pacífico es el que presenta mayor riqueza y diversidad de radiolarios (Kling, 1978; Armstrong y Brasier, 2005).

### *Distribución geográfica vertical*

La distribución vertical de los radiolarios en la columna de agua comprende desde la superficie hasta profundidades abisales, su abundancia refleja diferentes condiciones ambientales. Se han realizado algunos estudios en redes de plancton para caracterizar la distribución vertical de los radiolarios en distintos océanos (Pacífico subártico, Tanaka y Takahashi, 2006; Mar de Okhostsk, Okasaki *et al.*, 2004; Mar de Japón, Ishitani y Takahashi, 2007; Pacífico central, Petrushevskaya 1971a; Pacífico ecuatorial, Yamashita *et al.*, 2002; Pacífico tropical, Welling *et al.*, 1996; Corriente de California, Boltovskoy y Riedel 1987; Kling y Boltovskoy, 1995; sur del Atlántico, Abelman y Gowing, 1997; Atlántico ecuatorial, Dworetzky y Morley, 1987, entre otros). De manera general se ha reportado que la mayor concentración de radiolarios se distribuye en las aguas superficiales (Petrushevskaya, 1971a; Kling, 1979; Kling y Boltovskoy, 1995; Yamashita *et al.*, 2002; Tanaka y Takahashi, 2008), ya que las condiciones de las aguas superficiales (0 a 250 m) son más favorables para el desarrollo de los radiolarios, debido a factores como la abundancia de alimento, una adecuada concentración de oxígeno disuelto (>1 ml/L) y temperatura del agua de mar (Tanaka y Takahashi, 2008); así como, con la termoclina y/o picnoclina. Este intervalo de profundidad también está influenciado por la penetración de la luz y es importante para las formas que presentan una relación simbiótica con organismos fotosintéticos. La división en zonas más profundas puede estar correlacionada con límites de masas de agua, presión, microconstituyentes del agua, zonas de oxígeno mínimo y circulación de agua profunda (Casey, 1971a; 1977). La distribución vertical y horizontal están cercanamente relacionadas y muchas formas de radiolarios que existen en aguas superficiales en altas latitudes se sumergen para ocupar zonas más profundas en bajas latitudes a lo anterior se le denomina “Inmersión Tropical” (Casey, 1977).

### *Distribución estacional*

Algunas formas de radiolarios son introducidas en algunas regiones de manera estacional provenientes estas, de masas de aguas de los alrededores como consecuencia de fluctuaciones en los sistemas de corrientes o cambios en los patrones de circulación locales, estas fluctuaciones locales conciernen principalmente a faunas de radiolarios que habitan por arriba de los 200 m de profundidad. Por lo tanto, los cambios estacionales en la fauna de radiolarios son marcados donde las condiciones oceanográficas presentan fluctuaciones estacionales (Casey, 1977). Se han realizado estudios con trampas de sedimento y se han identificado en algunas especies de radiolarios, flujos estacionales incluso se han observado flujos paralelos al fitoplancton, a altas o bajas concentraciones de nutrientes y clorofila-a (Takahashi, 1987; 1997).

### *Distribución en los sedimentos*

La distribución y concentración de los esqueletos de los radiolarios en los sedimentos, depende principalmente de los siguientes factores: 1) la producción de radiolarios en la columna de agua, 2) el nivel de energía en el sitio de sedimentación, 3) la dilución de los esqueletos de radiolarios por otros componentes sedimentarios, 4) disolución del ópalo biogénico y 5) la tasa de depósito de los esqueletos de radiolarios (Bjørklund y Cortese, 2002). Sólo un pequeño porcentaje del ópalo producido en las aguas superficiales llega y se incorpora a los sedimentos del fondo marino (Figura 3.1). Normalmente, los sedimentos pelágicos tienen una buena preservación de ópalo, mientras que en áreas en donde las tasas de sedimentación son bajas la preservación es mala (Bjørklund y Cortese, 2002).

Se sugieren dos mecanismos principales e independientes de hundimiento: 1) por medio de agregados que aceleran el hundimiento a través de la nieve marina y 2) hundimiento discreto de partículas, mediante este mecanismo las partículas individuales se hunden de manera más lenta que en agregados. Los radiolarios no son afectados por la disolución en su ruta al fondo marino, la mayor parte de la disolución de los radiolarios ocurre antes de llegar al piso

marino (Takahashi y Honjo, 1981). Con base en lo anterior, se proponen pulsos de flujos de esqueletos de radiolarios vía agregados en nieve marina a lo largo de un ciclo anual (Takahashi, 1997).

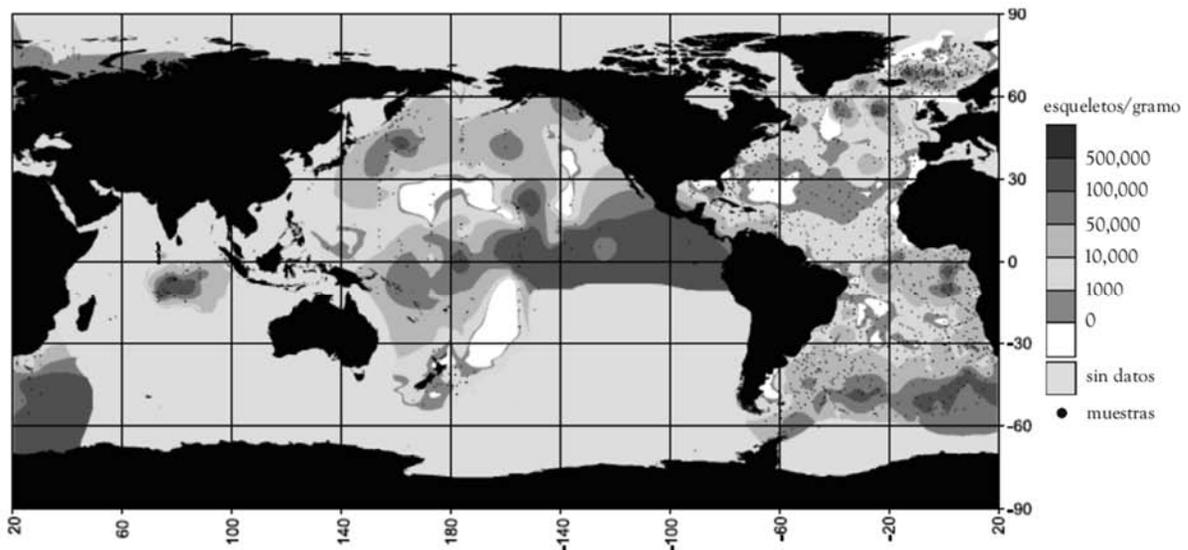


Figura 3.1. Distribución geográfica de número de esqueletos por gramo en sedimentos superficiales N=1335 (Boltovxkoy *et al.*, 2010).

La distribución de los radiolarios en los océanos mundiales es afectada por un conjunto de condiciones ecológicas especiales, que caracterizan las masas de agua en las que viven. Debido a su naturaleza planctónica, los radiolarios son fácilmente transportados y distribuidos a áreas en donde condiciones ecológicas dominantes, permiten a estas especies vivir y reproducirse. La distribución actual de los radiolarios en los sedimento superficiales del océano mundial, refleja los patrones generales las principales masas de agua, sistemas de corrientes y zonas productivas. Como consecuencia de lo anterior, el estudio de asociaciones fósiles permite trazar la posición de las principales masas de agua y sistemas de corrientes a través del tiempo (Bjørklund y Cortese, 2002).

El registro sedimentario de las asociaciones de radiolarios bajo zonas de alta productividad se encuentra bien preservado y refleja los patrones de distribución de estos organismos (Casey, 1971b; Petrushevskaya, 1971a). Asociaciones de radiolarios en muestras de sedimento superficial características de áreas de surgencias han sido descritas por Molina-Cruz (1984), su trabajo es considerado como uno de los estudios pioneros en los que se observó la relación entre la asociación de radiolarios y los patrones de alta productividad en el sistema de surgencias de la Corriente de Perú-Chile. Otros trabajos realizados en áreas de surgencias se llevaron a cabo al este del Pacífico subtropical por Romine y Moore (1981), al sur de Somalia por Caulet *et al.* (1992), en el Indo-Pacífico por Nigrini y Caulet (1992), al sur del Océano Índico por Rogers y De Deckker (2007), en el sistema de surgencias de Benguela al sur de África por Weinheimer (2001) y Lazarus *et al.* (2006, 2008) y en el sistema de la Corriente de California por Welling *et al.* (1992).

La paleoproductividad se puede estimar también con base en los cambios de la abundancia relativa en las faunas fósiles de radiolarios con cambios relativos en la productividad exportada (Figura 3.2). En condiciones oceánicas generales o “normales” se observa una capa gruesa de agua cálida superficial, oligotrófica, con una alta abundancia y flujo de radiolarios que habitan en estas condiciones, la producción exportada disminuye, por lo que el aporte de alimento hacia la fauna de radiolarios que habitan aguas intermedias-profundas disminuye; así como, su población y flujo, en regiones de surgencias cuando estas se intensifican, las aguas superficiales se enfrían y se vuelven relativamente eutróficas, el grosor y temperatura de la capa superficial, cálida y oligotrófica disminuye; así como, la abundancia y el flujo de taxa asociados a esta agua, al mismo tiempo que incrementa la productividad exportada de carbono orgánico a las aguas intermedias y profundas e incrementa la población y flujo de formas radiolarios que habitan esta zona (Lazarus 2005; Lazarus *et al.*, 2006, 2008). En el Sistema de Surgencias de Benguela, se ha podido reconstruir la historia de la productividad en sedimentos particularmente donde la disolución de carbonato es considerable, se observó que la productividad es significativamente mayor en los glaciares que en los interglaciares en el Pleistoceno (Lazarus *et al.*, 2006; 2008).

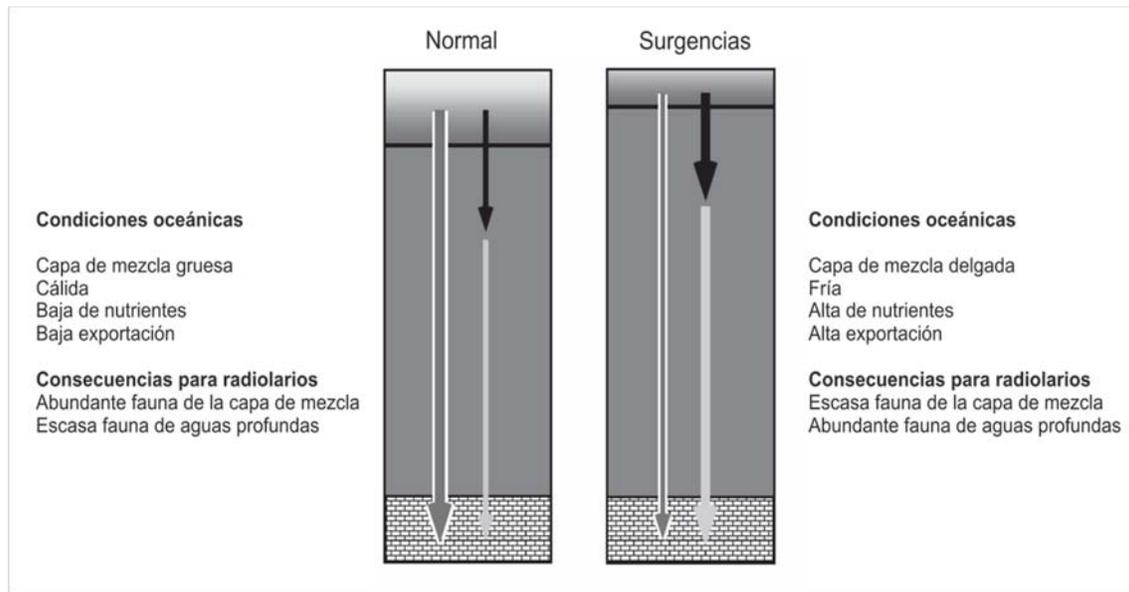


Figura 3.2. Esquema de paleoproduktividad con base en la composición de la profundidad del hábitat de las asociaciones de radiolarios. El grosor de las flechas muestran la magnitud relativa del flujo exportado, gris intermedio: esqueletos de radiolarios de aguas cálidas superficiales, gris claro: esqueletos de radiolarios de aguas intermedias y profundas, negras: carbón orgánico (Lazarus, 2005).

Los patrones de distribución vertical especie-específica y ciclos estacionales asociados a patrones ambientales son estudiados a partir de muestras obtenidas con redes de plancton, los datos provenientes de las trampas de sedimento son utilizados para comprender la distribución vertical y el flujo estacional de los radiolarios, en tanto que los datos de los sedimentos integran la variable de los patrones planctónicos de largos periodos, dando un escenario de condiciones promedio; sin embargo, usualmente son incapaces de proveer una escala de resolución fina temporal o espacial (Boltovskoy, 1998). La información recuperada en trampas de sedimento y sedimento superficial, puede diferir al correspondiente de las poblaciones planctónicas debido a la destrucción de esqueletos por pastoreo, desplazamiento horizontal de los esqueletos en vías de sedimentación hacia el piso oceánico por corrientes intermedias y profundas, disolución selectiva, parcial o total, de especies frágiles durante o después de la sedimentación (Boltovskoy, 1998; Boltovskoy y Pujana, 2008). Además, son parte del flujo que se origina en todos los niveles de la columna de agua y la asociación resultante puede estar formada por especies de preferencias ecológicas distintas.

Estas circunstancias son de particular importancia en las zonas de transición que puede estar dominada por asociaciones de diferente origen, en tal caso los sedimentos superficiales registran una mezcla de asociaciones (Boltovskoy y Riedel, 1987; Ishitani y Takahashi, 2007; Boltovskoy, y Pujana, 2008).

#### *Distribución en los sedimentos del Golfo de California*

Los sedimentos silíceos están conformados por diatomeas, radiolarios y silicoflagelados. Las diatomeas son cuantitativamente mucho más importantes que los radiolarios y pueden constituir más del 50 % de los sedimentos en la región central del golfo (Figura 3.3). Sin embargo, al sur de la latitud 26° N, los sedimentos biogénicos silíceos en el golfo están constituidos exclusivamente por radiolarios (Bjørklund y Cortese, 2002).

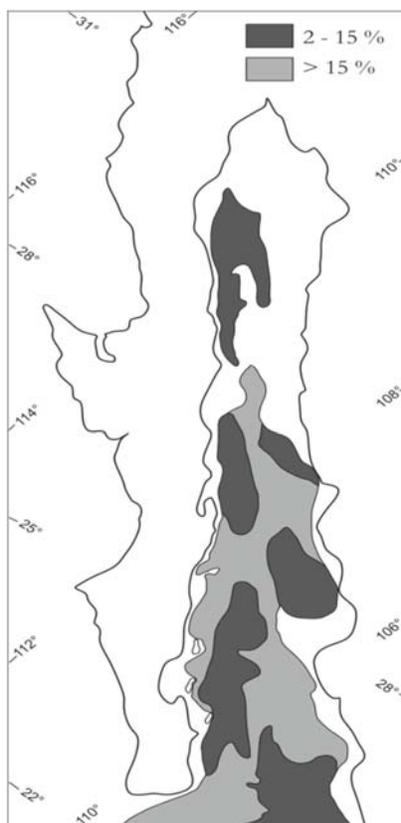


Figura 3.3. Porcentaje de radiolarios de la fracción de 60 a 250  $\mu\text{m}$  en sedimentos superficiales (Benson, 2005).

### 3.4 IMPORTANCIA COMO PROXY

El hecho de que las esqueletos de los radiolarios se preserven en los sedimentos después de su muerte, ha dado lugar a su aplicación en una gran variedad de estudios, que incluyen la determinación de la edad de los sedimentos que los contienen, análisis de las relaciones espaciales entre las capas sedimentarias (de particular importancia en la industria del petróleo), estudios de evolución geológica de masas continentales y cuencas oceánicas. Los cambios en la morfología de los esqueletos de los radiolarios a través del tiempo proporciona información general de la evolución del grupo; así como, de las tasas y modos de formación y extinción de especies (Boltovskoy, 1998).

Es debido a que los radiolarios reflejan las condiciones oceanográficas, tanto de la estructura vertical como horizontal de los océanos y al ser muy sensibles a los cambios climáticos, estos organismos han sido considerados por varios autores como indicadores o *proxies* de masas de agua específicas, de zonas de surgencias, de estratos profundos, de variación en la temperatura y salinidad; así como, cambios en la señal de los monzones, condiciones que son caracterizadas por las distintas asociaciones de radiolarios definidas en los diferentes estudios (Abelmann y Gowing, 1997; Boltovskoy, 1998; Kling, 1979; Gupta *et al.*, 2002; Molina-Cruz, *et al.*, 1999; Pérez-Cruz, 2006, entre otros). Se ha observado que la composición de la tanatocenosis de los radiolarios refleja la biocenosis de las aguas superficiales y subsuperficiales (Tabla 3.2) (Molina-Cruz, 1977; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Tabla 3.2. Resumen de las características de los radiolarios como proxy paleoceanográfico.

Características de los radiolarios	Característica como proxy
Esqueleto silíceo	Potencial de preservación en el registro sedimentario
Tamaño 30 a 300 $\mu\text{m}$	Poblaciones estadísticamente representativas en muestras pequeñas
Amplia distribución geográfica	Horizontal: En todos los océanos Vertical: En toda la columna de agua
Alta especificidad a parámetros ambientales	Respuesta rápida a variaciones en las condiciones ambientales
Amplio alcance estratigráfico	Cámbrico al Holoceno

### 3.5 ESTUDIO DE RADIOLARIOS: ASOCIACIONES EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

A continuación se describen algunos de los estudios realizados en el Golfo de California y que han sido claves en la identificación de las asociaciones de radiolarios y sus afinidades con diferentes masas de agua; así como, a condiciones oceánicas regionales. También, se mencionan estudios paleoceanográficos basados en las asociaciones de radiolarios como *proxies* biológicos, que se encuentran dentro de un alcance temporal del Holoceno tardío y que presenten una resolución con la que se identificaron eventos climáticos globales (Tabla 3.3). Cabe mencionar que los nombres de las especies de radiolarios, de los distintos trabajos descritos abajo, se han uniformizado de acuerdo a la base de datos de Benson (2005), con el propósito de hacer comparable la información.

Benson (1966) en su tesis de doctorado realizó un análisis detallado de la sistemática y taxonomía de los radiolarios en sedimentos superficiales de 28 núcleos colectados entre los 31 y 2891 m de profundidad, de sur a norte a lo largo del Golfo de California. Identificó un total de 147 taxa de radiolarios, de los cuales reportó los más dominantes en todo el golfo, en la región sur (entre Topolobampo y Cabo Corrientes), en la región norte (del delta del Río Colorado hasta la zona de las islas Tiburón y Ángel de la Guarda) y aquellos relacionados con alta productividad, que relaciono con lo son procesos de surgencias. Con base en esta información, y de manera general describió los patrones de distribución geográfica de los radiolarios en los sedimentos, los cuales clasificó en tres grupos: 1) “Cosmopolita” en donde los miembros de este conjunto no muestran cambios significativos en su frecuencia a lo largo del golfo, excepto en respuesta local a surgencias, 2) “Oceánica” sus miembros están confinados a la mitad sur del golfo, o aquellos que presentan una disminución en la frecuencia hacia el norte y 3) “Norte” aquellos taxa que incrementan su frecuencia hacia el norte ya sea como resultado de una alta producción de diatomeas o a la disminución o ausencia de otras especies que son menos tolerantes a la alta salinidad y temperatura, propiedades asociadas al agua superficial del norte del golfo. Cabe señalar que este estudio ha sido pionero y de gran importancia ya que ha dado lugar al desarrollo de subsecuentes investigaciones con radiolarios. Además, este autor realizó la actualización de la sistemática

del trabajo original de su tesis, en 2003 y 2005 e incorporó parte de la información sobre la distribución de las especies de radiolarios en el Golfo de California publicada hasta ese momento. Esta información se encuentra disponible en la página [www.radiolaria.org](http://www.radiolaria.org).

Pisias (1986) realizó un estudio en el Golfo de California con 54 muestras de sedimentos superficiales en su mayoría laminados, colectados entre los 212 y 1070 m de profundidad, en áreas de plataforma continental con alta tasa de sedimentación. A partir del Análisis de Factores modo “Q” y de las asociaciones de radiolarios resultantes, se definieron los siguientes escenarios: 1) “Asociación Golfo” que se caracterizó por especies que en su mayoría tiene afinidad por aguas superficiales menores a los 200 m de profundidad. En las muestras analizadas representan más del 10 % y en ocasiones hasta un 25 % de la población total de radiolarios. La distribución geográfica de esta asociación presenta mayor importancia en la región nor-central del golfo y, los valores más altos de los *factor loadings* fueron alrededor de los 28° N, región que coincide con un flujo de agua de temperatura superficial cálida y salina. Por lo anterior, el autor considera que el patrón de distribución de esta asociación de radiolarios posiblemente refleja su preferencia ecológica por esta agua superficial cálida y salina, 2) “Asociación Subtropical está dominado por especies superficiales típicas del Océano Pacífico subtropical, esta asociación es importante en la boca del golfo donde mostró un aparente incremento a lo largo del margen continental que coincide con los patrones observados del agua superficial tropical y por último 3) “Asociación California” está caracterizada por especies comúnmente encontradas en aguas frías, esta asociación es abundante en la región exterior de la cuenca de Guaymas y en el margen suroccidental del golfo, ambas áreas son centros importantes de alta productividad.

Álvarez-Arellano y Molina-Cruz (1986) analizaron el primer centímetro de 77 muestras de sedimentos superficiales colectados entre los 84 y 3023 m de profundidad, con el propósito de determinar la distribución geográfica de los radiolarios en el Golfo de California. Además, llevaron a cabo un estudio de distribución estratigráfica de los radiolarios en cinco núcleos de gravedad obtenidos en la Cuenca de Guaymas y en la boca del golfo (21P, BAP82-73, A5, E9 y B28 con 870, 165, 175, 180 y 205 cm de longitud y colectados a 625, 906, 705, 660 y

712 m de profundidad, respectivamente), la datación de los núcleos se llevó a cabo mediante una correlación bioestratigráfica de la variación en la abundancia de los radiolarios *Druppatractus pyriformis* (*D. variabilis* de acuerdo a Benson, 2005) y *Botriostrobos aquilonaris* con los núcleos A5 y E9 datados anteriormente con  $^{14}\text{C}$  teniendo un marco temporal de los últimos 14,900 años AP. Mediante el Análisis de Factores modo “Q” se definieron las siguientes seis asociaciones de radiolarios, relacionadas con condiciones oceanográficas del golfo: 1) “Golfo Central” presentó una distribución entre los 29° N a 26° 30’ N similar a las isotermas de febrero y condiciones invernales de vientos del noroeste y escasa precipitación, 2) “Surgencias” este conjunto se encontró distribuido en las regiones en donde ocurren los procesos de alta productividad, como lo son las surgencias, en ambos márgenes del golfo. Los autores sugieren que estos procesos se intensificaron durante los intervalos 14,900 a 9400, 7600 a 1400 y 1200 años AP 3) “Pacífico Tropical Oriental” la relacionan con una notoria penetración de esta masa de agua a la región central de la boca del golfo, se sugiere un predominio de la misma para los últimos 1,350 años AP; así como, de 14,900 a 13,000 y de 9100 a 7900 AP, 4) “Canal de Ballenas” se distribuyó sobre esta zona que se caracteriza por una alta temperatura y salinidad; así como, altos valores de nutrientes superficiales. Dichas características se atribuyen a una intensa mezcla provocada por corrientes de marea, 5) “Golfo Sur”, se asoció con la presencia de Agua del Pacífico Tropical, ligeramente alterada por evaporación y 6) “Frente Oceánico” se distribuyó en la boca del golfo, se sugirió que reflejaba el encuentro entre las aguas de la Corriente de California, del Pacífico Tropical y del Golfo, el cual presentó un fortalecimiento durante los años 3700 a 1500 AP y alrededor de los 14,600, 12,400 y 9400 AP y en la región central reflejó un importante centro de alta productividad. La reconstrucción paleoceanográfica indica que el frente oceánico de la boca del golfo tiende a retirarse fuera de ella cuando las aguas del Pacífico Tropical incursionan en el interior del golfo, la penetración más reciente de la Corriente de California en 1200 años AP.

Molina-Cruz (1986) mediante el Análisis de Factores modo “Q” sintetizó la información de distintos trabajos para determinar la distribución geográfica de algunas especies de radiolarios en los sedimentos superficiales del Golfo de California en seis asociaciones denominadas: 1)

Factor de Guaymas, 2) Factor Subtropical, 3) Factor Surgencias, 4) Factor Transicional, 5) Factor Canal de Ballenas y 6) Factor Corriente de California, los cuales reflejan la ubicación y extensión de masas de agua, frentes de masas de aguas y zonas de alta productividad (surgencias). A partir de estas asociaciones realizó una interpretación paleoceanográfica en la región de la boca del Golfo de California (núcleos: BAP83-7, BAP83-17 y el sitio 476 este último de la etapa 64 del Proyecto Internacional de Perforación Profunda IPOD: DSDP, colectados a 2860, 2700 y 2403 m de profundidad respectivamente), con un modelo de edad definido a partir de un marco bioestratigráfico previo (Molina-Cruz, 1982) que abarca hasta el Último Máximo Glacial. El autor sugirió que las aguas subtropicales han estado presentes durante los últimos 20,000 años con una mayor estabilidad durante el Holoceno, además de incursiones del Agua de la Corriente de California de 20,000 a 11,000 años, sugiriendo que esta masa de agua promovió los procesos de surgencias que ocurren al sur de la costa occidental del golfo, particularmente durante los máximos de estadios glaciales.

Molina-Cruz *et al.* (1999) analizaron la distribución de radiolarios en la columna de agua de 24 muestras de plancton estratificadas verticalmente en el Golfo de California, en las cuencas de Guaymas, Carmen, Farallón y Pescadero, en las dos primeras las muestras se colectaron de 35 a 600 m de profundidad y en la última hasta los 1000 m. Se determinó la distribución geográfica y vertical de las asociaciones de radiolarios en relación a la distribución de las masas de aguas del golfo a través del Análisis de Factores modo “Q”, con el cual se definieron cinco asociaciones: 1) “Surgencias” el cual tiene mayor importancia en la Cuenca del Carmen, debido a los procesos que generan alta productividad entre las cuencas de Carmen y Guaymas por la interacción entre los giros anticiclónicos y ciclónicos de la región; así como, las surgencias, 2) “Agua Intermedia” esta asociación se encontró en la Cuenca de Pescadero a 350 m de profundidad y presentó valores importantes a los 500 m de profundidad en las cuencas Carmen y Guaymas, los autores sugirieron que las especies predominantes representaron la incursión del Agua Intermedia del Pacífico, 3) “Agua Subtropical” estuvo caracterizada por especies que habitan aguas superficiales y subsuperficiales tropicales, se encontraron de manera significativa en las cuencas Pescadero y Farallón. Los autores propusieron que esta asociación evidencia la incursión del Agua Subtropical del Pacífico al

golfo, 4) "Agua del Golfo" presentó sus máximos valores en la Cuenca de Guaymas de los 200 a 400 m de profundidad, esta asociación representó una masa de agua que se hunde y fluye hacia el sur y 5) "Agua de Guaymas" incluyó especies comunes a la capa de mezcla superficial de la Cuenca de Guaymas y a ambientes subsuperficiales del noroeste de la Cuenca del Carmen, esta asociación se interpretó como subducción de una masa de agua superficial que se vuelve densa debido a los procesos de evaporación, sugiriendo un flujo desde la Cuenca de Guaymas hacia el sur. Además, los autores describieron las agrupaciones de radiolarios en muestras de sedimentos colectadas en las tres cuencas analizadas e hicieron una correlación entre estas muestras y las de plancton y, concluyeron que la tanatocenos de los radiolarios en los sedimentos del Golfo de California es el reflejo de la biocenosis, principalmente de las especies que habitan en la capa de mezcla superficial.

Pérez-Cruz (2006) estudió una secuencia de sedimentos laminados del núcleo BAP96-CP, de 212 cm de longitud, colectada en la Cuenca Alfonso a 390 m de profundidad. El alcance de la secuencia fue de 7920 años cal. AP (tasa de sedimentación estimada promedio de  $0.30 \pm 0.04$  mm/año). La autora analizó las asociaciones de radiolarios mediante un Análisis de Factores modo "Q", a través del cual definió tres asociaciones: 1) "Golfo de California" caracterizó el periodo de 7700 y 2500 años cal. AP, se sugirió que las condiciones ambientales fueron más áridas que las actuales; así como, la dominancia del Agua del Golfo de California en la cuenca. Estas condiciones las correlacionó con las fuertes sequías que ocurrieron durante el Holoceno medio en América del Norte y con una incursión mínima de las aguas tropicales en el Golfo de California, 2) "Ecuatorial" definió el periodo de 2400 a 700 años cal. AP, se sugirieron condiciones cálidas y la dominancia del Agua Superficial Ecuatorial, la cual se asocia a ciclos de ENOA más frecuentes e intensos. Los registros en este intervalo apoyaron la señal del Periodo Cálido Medieval alrededor de 1038 a 963 años cal. AP (910 a 1000 AD) y por último 3) "Eventos Fríos" esta asociación refleja pulsos de condiciones oceánicas frías a ~5730, 3360, 2700, 1280, y 820 años cal. AP, como un resultado de la intensificación de los vientos del NW que probablemente promovieron procesos de surgencias y el mejoramiento en la productividad.

En este estudio, a partir de los registros de susceptibilidad magnética se determinó un incremento en el aporte de terrígenos a la cuenca durante el Holoceno tardío, lo que sugirió un aumento de la precipitación, asociada probablemente con la intensificación de los eventos de “El Niño”.

Tabla 3.3. Síntesis de estudios oceanográficos y paleoceanográficos realizados con radiolarios en el Golfo de California.

Autor	Región del Golfo de California	Muestras	Asociación		Condiciones oceanográficas
Benson (1966; 2005)	Boca del golfo al delta del río Colorado	Sedimento superficial (28 muestras) entre 31 y 2891 m de profundidad	Taxa dominantes en la región sur (Topolobampo a Cabo Corrientes)	Taxa dominantes en la región norte (delta del Río Colorado a las grandes islas)	Taxa asociados a áreas de alta productividad (surgencias)
			<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Phortidium pylonium</i> grupo <i>Drupptractus variabilis</i> <i>Stylodictya tenuispina</i> <i>Stylochlamydidium asteriscus</i> <i>Stylochlamydidium venustum</i> <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Eucyrtidium hexagonatum</i> <i>Pterocorys clausus</i> y <i>P. miyoborax</i> : <i>Larvospira minor</i> <i>Hexapyle dodecantha</i> grupo <i>Drupptractus irregularis</i> <i>Cycladophora davisiana</i>	<i>Eucyrtidium hexagonatum</i> <i>Phortidium pylonium</i> grupo <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Spirocorytis scalaris</i> <i>Stichocorys seriata</i> <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Stylodictya tenuispina</i> <i>Stylochlamydidium asteriscus</i> <i>Stylochlamydidium venustum</i> <i>Pseudocubus obeliscus</i> <i>Ceratocorytis histricosus</i>	<i>Phortidium pylonium</i> grupo <i>Actinosphaera acanthophora</i> <i>Didymocorytis tetrabalamus</i> <i>Eucyrtidium erythromystax</i> <i>Ceratocorytis histricosus</i> <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Lithomelissa thboracites</i> <i>Pseudocubus obeliscus</i> <i>Spirocorytis scalaris</i> <i>Stichocorys seriata</i>
Pisias (1986)	Áreas de plataforma continental	Sedimento superficial (54 muestras) entre 212 y 1070 m de profundidad	Golfo <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Eucecyphalus clinatus</i> <i>Spirocorytis scalaris</i> <i>Stichocorys seriata</i> <i>Arachnocorallium calvata</i> <i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i> , <i>Peridium longispinum</i> <i>Pseudictyophimus gracilipes</i> <i>Pseudictyophimus platycephalus</i> <i>Lithomelissa thboracites</i>		Domina en la región nor-central del golfo con valores más altos en los 28° N. Coincide con un flujo de agua cálida y salina. La mayoría de estas especies tiene preferencia por aguas superficiales menores a los 200 m de profundidad.
			Subtropical <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Octapyle stenozona</i>		Importante en la boca del golfo donde mostró un aparente incremento a lo largo del margen continental que coincide con los patrones observados del Agua Superficial Tropical.
			California <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Eucyrtidium hexagonatum</i> <i>Actinosphaera acanthophora</i> <i>Actinomma delicatulum</i>		Abundante en la región exterior de la cuenca de Guaymas y en el margen suroccidental del golfo, ambas áreas son centros importantes de surgencias y productividad primaria.

Autor	Región del Golfo de California	Muestras	Asociación	Condiciones oceanográficas
Álvarez-Arellano y Molina-Cruz (1986)	Región central (Cuenca de Guaymas) ,sur y boca del golfo	Secuencias sedimentarias 21P, BAB82-73, A5, E9 y B28 (625, 906, 705, 660 y 712 m de profundidad) 14,900 años AP	Golfo Central <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Lithomelissa thoracites</i> <i>Pseudocubus obeliscus</i>	Distribución de entre 29° N a 26°30' N similar a la isoterma de febrero y a condiciones de invierno en el golfo.
			Surgencias <i>Euchitonina furcata/ elegans</i> grupo <i>Phorticium pylonium</i> grupo <i>Druppatractus variabilis</i>	Se distribuye donde ocurren las surgencias en el golfo.
			Pacífico Tropical Oriental <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Pterocorys zancleus</i>	Penetración del Agua del Pacífico Tropical Oriental a la región central de la boca del golfo.
			Canal de Ballenas <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Eucyrtidium hexagonatum</i> <i>Aracnecorallium calvata</i>	Se distribuye sobre el Canal de Ballenas región de intensa mezcla.
			Golfo Sur <i>Aracnecorallium calvata</i>	Agua del Pacífico Tropical ligeramente alterada por evaporación.
			Frente Oceánico <i>Cycladophora davisiana</i> <i>Druppatractus variabilis</i> <i>Botryostrobos aquilonaris</i>	En la región de la boca del golfo refleja un frente entre distintas masas de agua y en la región central evidencia un centro de surgencias.
Molina-Cruz (1986)	Cuenca de Guaymas y la boca del golfo	Sedimento superficial (108 muestras)  Secuencias sedimentarias: BAP83-7, BAP83-17 y el sitio 476 (2860, 2700 y 2403 m de profundidad) 20,000 años	Guaymas <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Lithomelissa thoracites</i>	Se distribuye principalmente sobre el norte de la cuenca Guaymas, región de intensa mezcla.
			Subtropical <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Pterocorys clausus</i> <i>Druppatractus variabilis</i>	Especies afines a aguas subtropicales, se extiende desde la región del Océano Pacífico hasta el norte de la Cuenca Farallón. Se observa una mayor estabilidad de esta asociación durante el Holoceno.
			Surgencias (alta productividad) <i>Phorticium pylonium</i> grupo	Se distribuye en las costas en donde ocurren frecuentemente surgencias. Se sugiere que la incursión del agua de la Corriente de California promovió los procesos de alta productividad de ~20 a 11 ka.
			Transicional <i>Eucyrtidium hexagonatum</i> <i>Druppatractus variabilis</i> <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Pseudocubus obeliscus</i>	Se distribuye sobre la Cuenca del Carmen, región donde ocurre transición de masas de agua del norte y sur del golfo.
			Canal Ballenas <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i>	Se distribuye en los canales formados entre las islas de la Cuenca del Carmen y la península de Baja California, región de mezcla intensa.
			Corriente de California <i>Cycladophora davisiana</i> <i>Druppatractus irregularis</i> <i>Botryostrobos auritus-australis</i> grupo	Se caracteriza por especies afines a la Corriente de California, la cual se encuentra en la punta de la península de Baja California. Se sugiere incursión de esta masa de agua de ~20 a 11 ka.

Autor	Región del Golfo de California	Muestras	Asociación	Condiciones oceanográficas
Molina-Cruz <i>et al.</i> (1999)	Cuenca: Guaymas, Carmen y Pescadero	Plancton (24 muestras)  Secuencias sedimentarias: BAP83-17, BAP83-24, BAP83-30 (2700, 670 y 668 m de profundidad)	Surgencias (alta productividad) <i>Plectacantha sp.</i> Frústulas de diatomeas	Procesos de alta productividad debido a los giros que se encuentran entre las cuencas de Guaymas y Carmen.
			Agua Intermedia <i>Druppatractus variabilis</i> <i>Stylochlamydyum venustum</i>	Incurción de Agua Intermedia al golfo.
			Agua Subtropical <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo ( <i>Octopyle stenozoa</i> ) <i>Botryocirtis scutum</i> <i>Aracnorrallium calvata</i>	Incurción del Agua Subtropical al golfo.
			Agua del Golfo <i>Phorticum pylonium</i> grupo <i>Anomalacantha dentata</i> <i>Spongopyle osculosa</i>	Representa el AGC, masa de agua que se hunde y fluye hacia el sur y se forma en el norte del golfo.
			Agua de Guaymas <i>Lithomelissa thoracites</i> <i>Peridium longispinum</i> <i>Aracnorrallium calvata</i>	Subducción de una masa de agua superficial densa debido a la evaporación que fluye desde la Cuenca de Guaymas hacia el sur.
Pérez-Cruz (2006)	Cuenca Alfonso-Bahía de la Paz	Secuencia sedimentaria BAP96-CP (212 cm longitud, 390 m de profundidad) 7900 años	Golfo de California <i>Euchitonina furcata/elegans</i> grupo <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Spongotrochus glacialis</i>	Condiciones áridas y dominancia del AGC, incurción mínima de las aguas tropicales en el Golfo de California (7700 y 2500 años cal. AP).
			Ecuatorial <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Teophidium tricostratum</i>  Susceptibilidad magnética	Condiciones cálidas, dominancia del ASE, ciclos ENSO más frecuente e intensos (2400 a 700 años AP). PCM (~1038 y 963 años cal. AP / 910 y 1000 AD). Incremento aporte de terrígenos asociados a alta precipitación en Holoceno tardío.
			Eventos Fríos <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Pylospira octopyle</i> <i>Actinomma delicatulum</i> <i>Didymocirtis tetrathalamus</i>	Condiciones oceánicas frías, intensificación de los vientos del NW, incremento de las surgencias y de la productividad (~5730, 3360, 2700, 1280, y 820 años AP).

La mayoría de los estudios previos con radiolarios en el Golfo de California se realizaron en sedimentos superficiales y describen principalmente la distribución geográfica de las especies más dominantes en el golfo; así mismo, con base en las asociaciones de radiolarios encontradas se sugiere la presencia de diferentes masas de agua, frentes de masas de agua y zonas de alta productividad (procesos de mezcla, surgencias e interacción entre giros).

La información anterior se integra en la tabla 3.4 y figura 3.4, en donde se muestra la distribución de las masas de agua que fueron comunes en los trabajos previamente descritos, y son las siguientes: el Agua Superficial Tropical y el Agua del Golfo de California (también denominada Agua de Guaymas y/o Agua Transicional) y Agua Intermedia del Pacífico, esta última fue identificada por Molina-Cruz *et al.* (1999) al analizar muestras de agua. Así mismo, se muestran las áreas de alta productividad y las especies de radiolarios representativas en conjunto en los trabajos realizados en el golfo.

Tabla 3.4. Radiolarios asociadas a masas de aguas y zonas de alta productividad, integración de trabajos previos en el Golfo de California.

CONDICIONES OCEÁNICAS	ASOCIACIÓN DE RADIOLARIOS
Agua Superficial Tropical	<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Octopyle stenozona</i>
Agua de la Corriente de California	<i>Cycladophora davisiana</i> <i>Botryostrobus auritus-australis</i> grupo
Agua del Golfo de California	<i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Lithomelissa thoracites</i> <i>Aracnocoallium calvata</i> <i>Peridium longispinum</i> <i>Pseudocubus obeliscus</i>
Agua Intermedia del Pacífico	<i>Druppatractus variabilis</i> <i>Stylochlamidyum venustum</i>
Zonas de alta productividad	<i>Phorticium pylonium</i> grupo <i>Didymocyrtis tetrathalamus</i> <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Druppatractus variabilis</i>

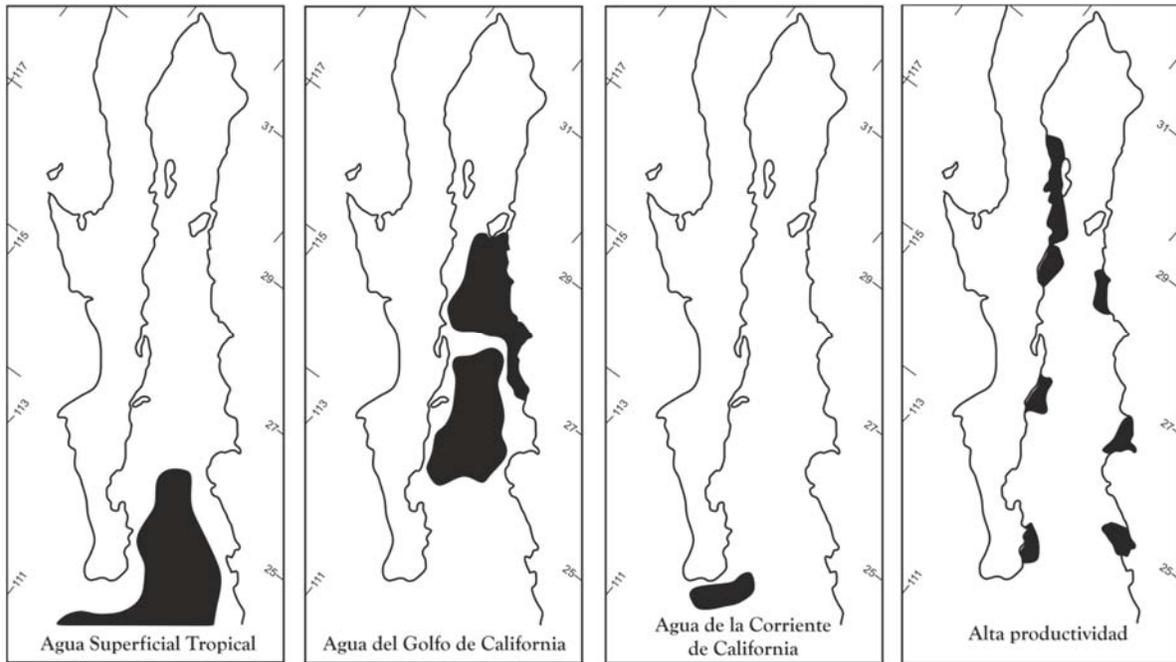


Figura 3.4. Distribución de masas de agua y zonas de alta productividad evidenciadas por asociaciones de radiolarios en trabajos previos en el Golfo de California (Modificada de Molina-Cruz *et al.*, 1999).

#### 4. MINERALES MAGNÉTICOS

El magnetismo es una propiedad fundamental de todos los materiales. Al aplicar un campo magnético sobre un material éste se perturba, se dice que el material se magnetiza. Responde produciendo un campo magnético propio. Todos los campos magnéticos son generados por corrientes eléctricas. A nivel atómico los campos magnéticos surgen de los momentos magnéticos asociados con los electrones individuales (Callister *et al.*, 2000; Maher, 2007).

Los tres tipos básicos de respuesta magnética observados cuando la magnetización inducida ( $M_i$ ) es monitoreada al aplicarle un campo magnético ( $H$ ), son los materiales diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos (Figura 4.1):

### *Materiales diamagnéticos*

La respuesta a un campo magnético es adquirir una pequeña magnetización inducida negativa (opuesta a la dirección del campo aplicado), constante, disminuye a cero al remover el campo magnético y es independiente de la temperatura. Materiales naturales que despliegan un comportamiento diamagnético incluyen al cuarzo, sílice y agua.

### *Materiales paramagnéticos*

Con la aplicación de un campo magnético el resultado es una magnetización inducida débil, positiva (tienden a alinearse paralelos en la dirección del campo) e inversamente proporcional a la temperatura, al remover el campo la magnetización regresa a cero, este tipo de susceptibilidad es mayor que la diamagnética (Maher, 2007).

### *Materiales ferromagnéticos*

Debido a sus estructuras cristalinas y la capacidad de empaquetamiento los materiales ferromagnéticos presentan un intercambio de interacciones fuertes y positivas con los momentos magnéticos atómicos de los vecinos, produciendo una magnetización espontánea, la capacidad de cargar una magnetización remanente y tiene ordenes de magnitud mayor que los materiales paramagnéticos (Maher, 2007). Los materiales ferromagnéticos muestran pasos en el incremento de la magnetización en la presencia de un campo magnético, al alcanzar el magnetismo de saturación ( $M_s$ ), despliegan histéresis (retraso en la magnetización y es irreversible); además presentan un magnetismo remanente ( $M_r$ ) que es la inducción magnética que queda en el material al suprimir el campo aplicado. Si se aumenta el valor del campo magnético en sentido negativo, la magnetización sigue disminuyendo hasta que se anula. El valor de campo necesario para anularla es el campo coercitivo ( $H_c$ ). El valor del campo donde la remanencia corresponde a cero es denominado campo coercitivo remanente ( $H_{cr}$ ).

La curva obtenida al graficar la relación  $M_r/M_s$  y  $H_{cr}/H_c$  se denomina “Curva de Day” y es indicativa del tamaño de grano. Tamaños de grano pequeño tienen un número diferente de dominios magnético (zonas dentro de un grano con una dirección de magnetización uniforme) que granos de tamaño grande del mismo mineral magnético. Del tamaño de grano más pequeño al más grande, se distinguen cuatro dominios principales: 1) superparamagnético: granos que son tan pequeños que no pueden soportar una configuración de dominio estable (20 a 25 nm), 2) dominio sencillo: granos que presentan un dominio magnético y son más estables (25 a 80 nm), 3) dominio pseudosencillo: granos que contienen alrededor de diez dominios (80 nm a  $\sim 10$  a  $15 \mu\text{m}$ ) y 4) multidominio: contienen más de diez dominios ( $>10$  a  $15 \mu\text{m}$ ) (Gubbins y Herrera-Bevera, 2007).

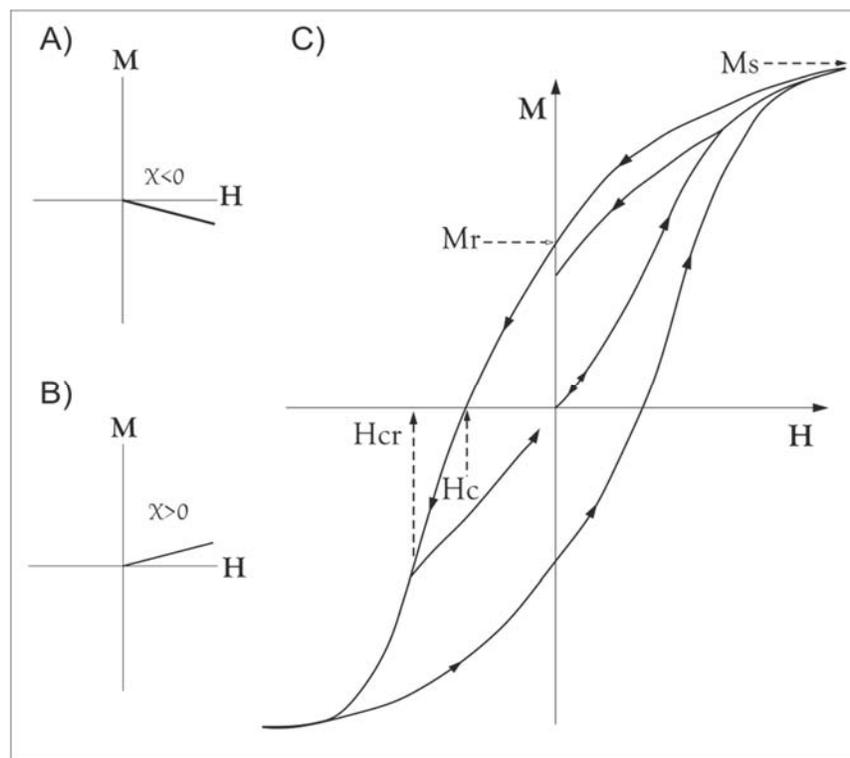


Figura 4.1. A) Comportamiento diamagnético, B) paramagnético y C) ferromagnético en respuesta a un campo aplicado. M: Magnetización, H: Campo magnético,  $M_s$ : Magnetismo de saturación,  $M_r$ : Magnetismo remanente,  $H_c$ : Campo coercitivo,  $H_{cr}$ : Campo coercitivo remanente (Modificado de Maher, 2007)

La susceptibilidad magnética ( $k$ ) es la medida de que tan “magnetizable” es un material y nos da información acerca de la mineralogía de la cual se puede deducir información adicional como origen o condiciones de depósito. Para cada sustancia hay una relación entre el campo magnético y la cantidad de magnetización creada de acuerdo con el comportamiento de los constituyentes minerales, su concentración y tamaño de grano (Maher, 2007; Robinson, 1993). La susceptibilidad magnética relaciona la Magnetización ( $M$ ) y el campo magnético ( $H$ ) con la ecuación:  $M = k H$  ( $M$  y  $H$  tienen las mismas unidades SI ( $A m^{-1}$ ), así que  $k$  es adimensional). El uso de la susceptibilidad magnética como *proxy* para el estudio de paleoclimas tiene la ventaja de que el método utilizado es sensitivo, discriminatorio, relativamente rápido y no se requiere la invasión o destrucción de la muestra, lo que da lugar a la recuperación de datos de alta resolución a través del tiempo geológico (Maher, 2007).

Los sedimentos marinos se caracterizan por asociaciones magnéticas complejas, es decir presentan una mineralogía mezclada de varios tamaños de grano. Los minerales magnéticos de ambientes marinos pueden tener diferentes fuentes de origen en los que se incluyen material terrígeno, minerales biogénicos y minerales cosmogénicos (Pérez-Cruz y Urrutía-Fucugauchi, 2009).

Las propiedades magnéticas de los sedimentos aportan información sobre la mineralogía, la fuente de los sedimentos y algunos procesos diagenéticos y autigénicos, es posible inferir cambios en la tasa de depositación y fluctuaciones en el aporte terrígeno resultante de cambios climáticos (Maher, 2007). La naturaleza del material terrígeno depende de la fuente litológica y los procesos de intemperismo y transporte por procesos pluviales, fluviales y eólicos dependiendo de su distancia a la costa; así como, de condiciones climáticas y geográficas. La fracción de minerales magnéticos presente en los sedimentos puede ser de óxidos de hierro (Ti-magnetita, hematita, limonita), hidróxidos de hierro (goetita) y sulfuros autigénicos. Los oxi-hidróxidos de hierro presentan diferentes densidades, por lo que se puede inferir la vía de transporte, la Ti-magnetita es más pesada y es principalmente acarreada por ríos, mientras que la hematita, limonita y goetita son más ligeras y son acarreadas principalmente por vientos (Blanchet *et al.*, 2007).

Procesos posteriores al depósito y la diagénesis de los sedimentos también resultan en la formación de minerales magnéticos. Las magnetitas bacterianas y las esférulas magnéticas cósmicas también han sido encontradas como componentes importantes en sedimentos oceánicos pelágicos. Para el análisis de minerales magnéticos de sedimentos marinos es importante la identificación del tipo de mineral, concentración y tamaño de grano (Pérez-Cruz y Urrutía-Fucugauchi, 2009).

El estudio de los minerales magnéticos presentes en los sedimentos marinos permite hacer consideraciones acerca de la dinámica sedimentaria, al ser posible determinar el origen de los minerales magnéticos del sedimento y establecer así, su procedencia.

#### 4.1 ESTUDIOS DE MINERALOGÍA MAGNÉTICA EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

De manera particular en los sedimentos del Golfo de California se han realizado algunos estudios paleoceanográficos de la mineralogía magnética para inferir la fuente y transporte de material terrígeno.

Chesire *et al.* (2005) estudiaron dos núcleos de sedimentos que presentan una considerable porción de laminaciones, ambos colectados en la Cuenca de Guaymas en las regiones este y oeste, con un alcance aproximadamente de 20 ka. Los autores utilizan la susceptibilidad magnética como *proxy* de minerales redox y como indicador de la intensidad de la zona de oxígeno mínimo. También realizaron mediciones de fluorescencia de rayos X de los elementos Fe, Ti y Ca los dos primeros son producto del intemperismo de rocas ígneas y en particular el comportamiento del Ti es interpretado como la variación en el aporte de terrígenos; así mismo, el Ca es interpretado como representativo del CaCO<sub>3</sub> y de la productividad. Los autores observan que el núcleo colectado a 447 m de profundidad en la región este de la cuenca es afectada por el descenso del nivel de mar en los estadios glaciales, sugieren que parte de la plataforma continental es expuesta y el centro de surgencias se mueve fuera de la cuenca, por lo que disminuye la productividad; así como, la demanda de oxígeno y la preservación de la estructura laminada de los sedimentos.

Durante estos periodos fríos el Ca y Ti presentan un comportamiento inverso lo que resulta en un mayor aporte de terrígenos que de productividad. Para la región oeste se propone un incremento en la precipitación debido a un desplazamiento más al sur del centro de alta presión del Pacífico Norte.

Blanchet *et al.* (2007) analizaron una secuencia sedimentaria colectada en el talud continental al sur de la península de Baja California, la cual presenta intervalos laminados e intervalos homogéneos no laminados, la secuencia tiene un alcance temporal de los últimos 120 ka. En este trabajo se puede observar parámetros físicos y químicos de los sedimentos laminados y homogéneos (no laminados), los primeros presentan concentraciones magnéticas débiles, tamaño de grano grueso y una señal débil de elementos terrígenos (Ti, K, Si y Fe) y contenido de CaCO<sub>3</sub>, alto contenido de TOC y S en comparación con los segundos que presentan un comportamiento opuesto. Las interpretaciones propuestas para los cambios en la concentración de minerales magnéticos son 1) dilución de la fracción litogénica por componentes biogénicos, 2) disolución de los minerales magnéticos en condiciones reductoras (las cuales son evidenciadas por la preservación de los intervalos laminados que sugieren bajas concentraciones de O<sub>2</sub> y 3) variación en el aporte de minerales magnéticos. Los autores proponen que la concentración de minerales magnéticos y tamaño de grano varía con la alternancia de periodos glaciales - interglaciales en función de 1) la extensión de la vegetación y suelos (limitante para la erosión), eficiencia de transporte fluvial y eólico de partículas y 3) la inmersión o emersión de las superficies costeras por variaciones en el nivel del mar. Se sugieren dos alternativas para el aporte de minerales terrígenos relacionados con el aporte fluvial de Ti-magnetita y el aporte eólico de hematita y goetita. Los cuales están dados por fluctuaciones milenarias de transporte fluvial relacionadas a variaciones de temperatura en altas latitudes, probablemente influenciadas por la capa de hielo de Norte América y cambios periódicos en el transporte eólico durante periodos áridos de débil insolación y durante periodos con condiciones cálidas y húmedas.

Pérez-Cruz y Urrutía-Fucugauchi (2009) analizaron una secuencia de sedimentos laminados de la Cuenca Alfonso, Golfo de California con el propósito de determinar el ambiente de depósito y transporte durante el Holoceno hacia la cuenca. Los datos de mineralogía magnética sugieren condiciones relativamente estables de depósito de titanomagnetitas y magnetitas derivadas de las rocas volcánicas de la formación Comondu de la Península de Baja California, que son transportadas por procesos pluviales y por escorrentías; además, de la contribución de minerales superparamagnéticos de grano fino infieren transporte eólico principalmente durante el Holoceno medio (>3,800 años cal. BP), además de exhibir un marcado cambio en la transición del Holoceno medio a tardío, que es compatible con periodos cálidos y secos del Holoceno medio y con un incremento en la precipitación y la intensificación de “El Niño” con lo que se incrementa el aporte de terrígenos en el Holoceno tardío, eventos que se suprimieron durante el Holoceno medio.

## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

En la siguiente sección se describen los materiales y métodos utilizados en el presente estudio y en la figura 5.1 se resumen los mismos en forma de diagrama de flujo.

### 5.1 COLECTA Y DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA K47

En este estudio se analizó una secuencia de sedimentos marinos denominada K47 de 145 cm de longitud, la cual se colectó mediante un nucleador de gravedad tipo Kasten en la Cuenca de la Paz (24° 48' N, 110° 23' W) a 830 m de profundidad. El material se recuperó en febrero del 2006 durante la campaña oceanográfica DIPAL-1 a bordo del B/O “El Puma” de la UNAM.

La descripción de la secuencia sedimentaria K47 se realizó considerando: 1) las características texturales, sedimentológicas; así como, su composición, 2) el color de los sedimentos con base en la Tabla de colores de Munsell (1995), 3) la presencia de elementos estructurales como capas, bandas, laminaciones, inclusiones entre otras y, 4) si la secuencia mostraba o no (bio)perturbación.

### 5.2 ANÁLISIS MICROFAUNÍSTICO

#### *Procesamiento de las muestras*

Se realizó un submuestreo de 82 intervalos a lo largo de la secuencia sedimentaria para la obtención de radiolarios. Para cada una de las muestras obtenidas se utilizó una medida estándar de muestra de 3.5 cm<sup>3</sup>, las cuales se sometieron a un tratamiento químico con ácido clorhídrico (HCl al 37.7%) y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30%), esto con el propósito de eliminar los carbonatos y la materia orgánica. Con el material obtenido, previamente tamizado (abertura de malla de 34 μm), se montaron y fijaron (en bálsamo de Canadá/Xilol) las placas microfaunísticas.

### *Conteo e identificación taxonómica*

Se realizó un conteo de más de 350 especímenes, alícuota estadísticamente representativa (Fatela y Taborda, 2002) y la identificación taxonómica se llevó a cabo mediante la consulta de diagnosis e imágenes en placas de distintos catálogos y material especializado como lo son Benson (1966, 2003), Boltovskoy (1998), Boltovskoy y Jankilevich (1985) y Pérez-Cruz *et al.* (2009) principalmente; bajo un microscopio Carl Zeis modelo Axioskop 40 con objetivos 20 y 40 x. Cabe mencionar que las formas juveniles no se incluyeron por la dificultad que se tiene para identificar a nivel de especie.

### 5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos que se obtuvieron del conteo e identificación taxonómica se expresaron en porcentajes en una matriz de abundancia relativa que integra la información en casos (especies) y variables (muestras). Para reducir el ruido estadístico producido por las especies raras, a esta matriz se le aplicaron los filtros estadísticos de presencia-persistencia definidos por Correa-Metrio *et al.* (2010). La presencia se refiere al porcentaje o abundancia relativa de la especie en cada muestra y la persistencia al número de muestras en el que cada especie está presente. Estos filtros consideran una presencia mayor o igual a uno y una persistencia de cinco, es decir, se consideran aquellas especies que tengan una abundancia relativa mayor o igual a uno en por lo menos cinco de las muestras revisadas. Con esta información se construyó una nueva matriz de datos a la cual se le aplicó un análisis estadístico multivariado, el Análisis de Factores modo “Q”, utilizando el método de Componentes Principales y una VARIMAX normalizada.

El análisis de factores es una técnica cuantitativa usada para simplificar y dar a conocer tendencias de datos multivariados, explica las relaciones de muchas variables en forma resumida. De manera general, el análisis propone la agrupación de datos con base en sus índices de correlación y da origen a una matriz de vectores, en donde los datos son estadísticamente independientes (ortogonales).

El modo “Q” del análisis de factores enfatiza correlaciones entre muestras (matriz de correlación muestra-muestra). Este análisis produce resultantes (factores) conceptualmente significativas y relativamente independientes una de otra y que en conjunto explican el comportamiento de las variables originales (Pisias, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999). Los factores pueden ser interpretados con base en el *factor loading*, que indica que tan importante es el factor en cada muestra y el *factor score* define las asociaciones de especies que caracterizan a los factores (Welling *et al.*, 1996).

#### *Análisis ecológico*

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de estudios de radiolarios realizados tanto en la columna de agua, trampas de sedimento, sedimento superficial; así como, en núcleos de sedimento, principalmente en la región del Océano Pacífico, para conocer la distribución y afinidades ecológicas de las especies identificadas en este trabajo y, en particular de las seleccionadas por el análisis estadístico multivariado, para apoyar la interpretación adecuada del registro de radiolarios en los sedimentos laminados de la Cuenca de la Paz.

### 5.4 ANÁLISIS DE MINERALES MAGNÉTICOS

#### *Susceptibilidad Magnética (k)*

La medición de Susceptibilidad Magnética se realizó en intervalos de medición discreta cada 0.5 cm en la secuencia sedimentaria K47, con un Sensor Superficial de Alta Resolución Modelo Bartington MS2E el cual opera a 2 kHz. El equipo consta de bobinas que emiten un campo magnético débil de una corriente alterna y detecta la magnetización del material que se encuentra sobre él. Este sensor mide la susceptibilidad magnética relativa al aire que se usó como valor cero. En particular este instrumento es recomendable para secuencias sedimentarias que muestran laminaciones, debido a que tiene una resolución espacial de 3.8 mm.

*Parámetros de histéresis magnética: Magnetismo remanente ( $M_r$ ), de saturación ( $M_s$ ) y factor de paramagnéticos ( $S^*$ )*

Se realizaron mediciones en 27 muestras de entre 2 y 5 mg de la secuencia sedimentaria K47. Los parámetros de histéresis magnética, de adquisición de magnetización isothermal y de desmagnetización por campos directos se midieron con un equipo AGFM MicroMag en campos mayores a 1.4 Tesla. La intensidad y dirección del magnetismo remanente se analizó con un magnetómetro (spinner magnetometer) JL-5; así mismo, el estado de dominio magnético se estimó utilizando la curva teórica para la magnetita de Day, la cual proporciona información sobre las contribuciones relativas de minerales ferrimagnéticos, paramagnéticos y diamagnéticos.

## 5.5 ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO

Se construyó una serie de tiempo con los datos de susceptibilidad magnética ( $k$ ) y con el modelo de edad previamente establecido con  $^{210}\text{Pb}$ , como las series de datos originales de susceptibilidad magnética no presentan un intervalo de tiempo igualmente espaciado, se llevó a cabo una interpolación con el programa interp de matlab que utiliza un spline cúbico, lo que permite que la interpolación siga la tendencia de la curva original. Se definió que el intervalo de tiempo de la interpolación fuera igual a un año ( $dt=1$  año). Con base en esta nueva serie de tiempo discreta se corrió un análisis espectral con el método de la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obtener las frecuencias dominantes y sus correspondientes periodos.

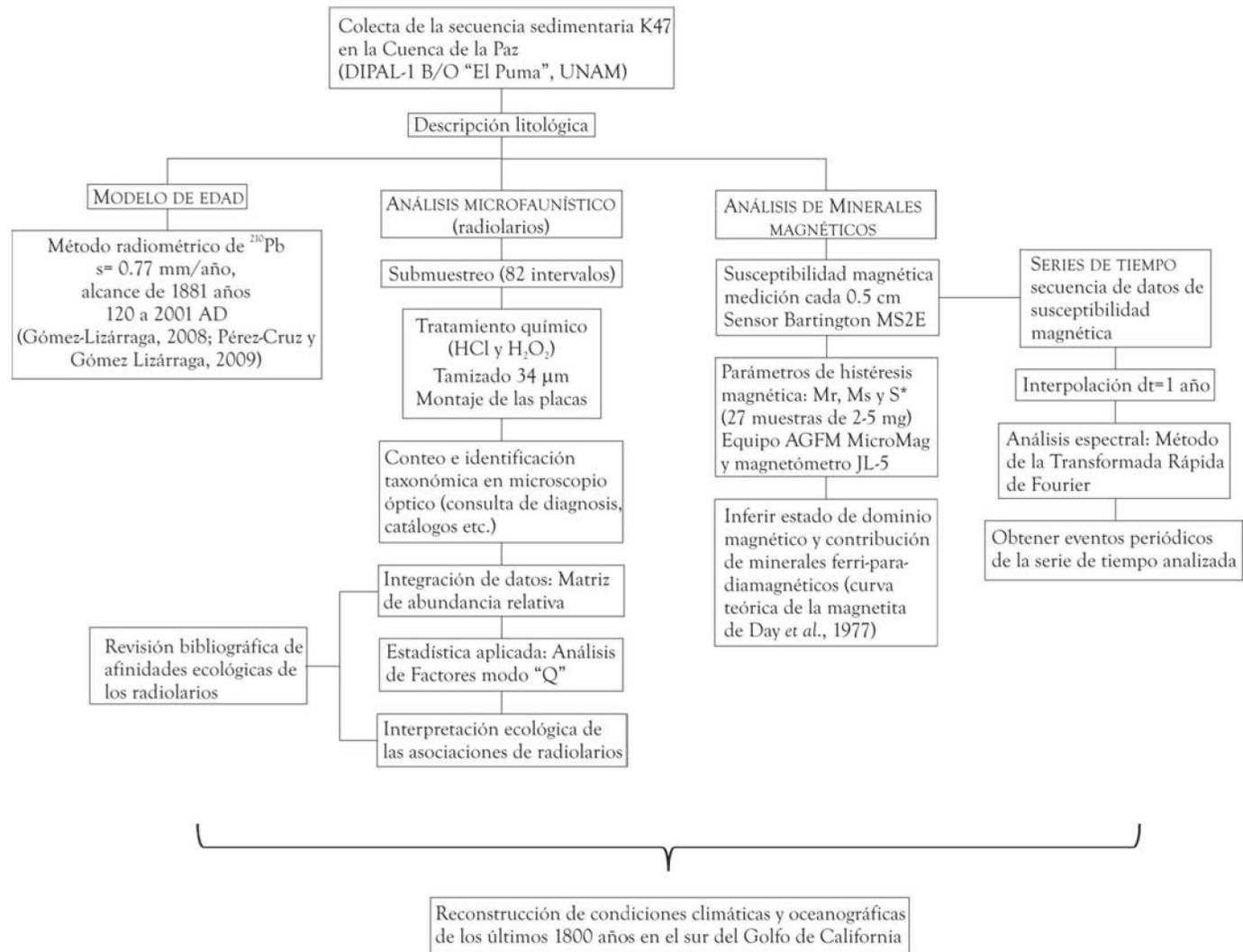


Figura 5.1. Diagrama de flujo que sintetiza el material y métodos utilizados en este estudio

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA DE LA SECUENCIA SEDIMENTARIA K47

La secuencia sedimentaria K47 de la Cuenca de la Paz, presenta una longitud de 145 cm, está constituida por material limo arcilloso y se caracteriza por presentar una estructura laminada a todo lo largo de la misma. Se observa la intercalación de láminas oscuras color olivo oscuro (5Y 2/1) y láminas claras color gris olivo (5Y 3/2) de acuerdo a la tabla de Munsell (1995). Las laminaciones adquieren una ligera inclinación de  $\sim 5$  a  $7^\circ$ , desde la profundidad de 47 cm hasta el final de la secuencia (Figura 6.5).

### 6.2 MODELO DE EDAD

El marco cronológico de la secuencia sedimentaria K47 se realizó con el método isotópico de  $^{210}\text{Pb}$  y se determinó en estudios previos de Gómez-Lizárraga (2008) y Pérez-Cruz y Gómez-Lizárraga (2009), en donde, con base en el “Modelo de tasa de aporte constante” desarrollado por Goldberg (1963), se estimó una tasa de sedimentación de 0.77 mm/año con un alcance temporal de 1881 años, que va del año 121 (base del núcleo) al año 2001 (parte superior del núcleo).

### 6.3 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LOS ÓRDENES DE RADIOLARIOS ESTUDIADOS

En 82 muestras revisadas cada tres y cinco centímetros de la secuencia sedimentaria K47, la preservación de los esqueletos de los radiolarios fue muy buena, ya que incluso se conservaron estructuras delicadas y secundarias que se desarrollan principalmente en organismos adultos. Se identificaron un total de 170 especies de radiolarios (Anexo 1), 66 de las cuales pertenecen al orden Spumellaria y 104 al orden Nassellaria.

La distribución de estos dos órdenes en sentido estratigráfico y en riqueza de especies está marcada por un dominio constante del orden Nassellaria a lo largo de toda la secuencia (Figura 6.1), el cual presenta una abundancia relativa promedio del 71%, mientras que el 29% restante corresponde al orden Spumellaria.

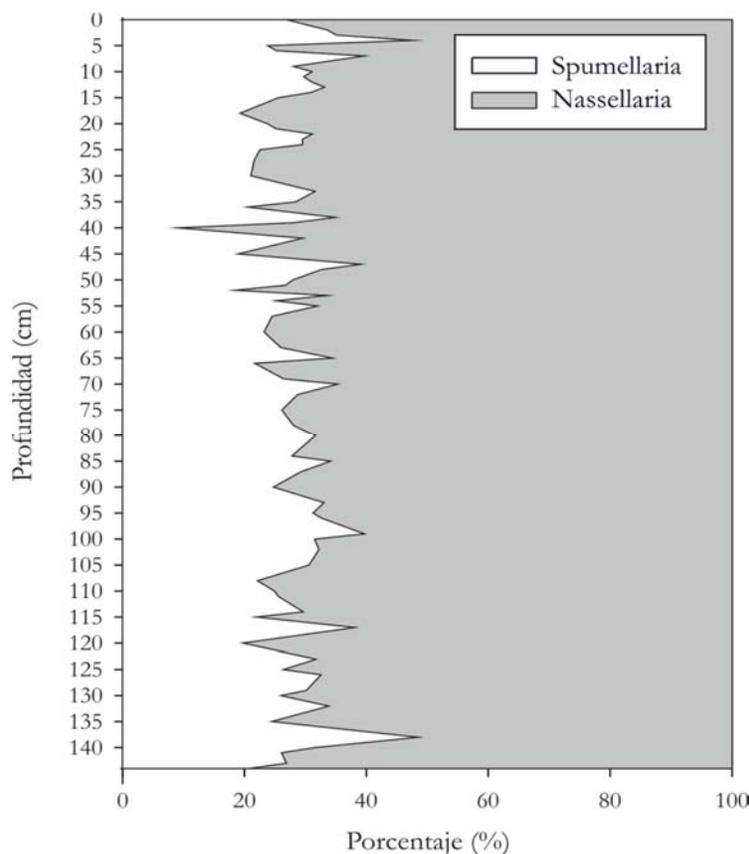


Figura 6.1. Distribución vertical de los órdenes Nassellaria y Spumellaria en la secuencia sedimentaria K47.

Lo que estos datos indican es que la microfauna de radiolarios que habita en aguas que se encuentran sobre la Cuenca de la Paz, presenta un carácter primordialmente oceánico, esto último es evidenciado por la distribución cosmopolita y la capacidad de los organismos que integran el orden Nassellaria a crecer y desarrollarse a grandes profundidades, a diferencia del orden Spumellaria que generalmente son organismos que habitan aguas superficiales (Abelmann y Gowing, 1997; Armstrong y Brasier, 2005).

#### 6.4 CARACTERIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LAS ASOCIACIONES DE RADIOLARIOS

Para definir las asociaciones de radiolarios, se llevó a cabo la selección de las especies representativas y de mayor importancia ecológica en la secuencia sedimentaria, al total de las especies identificadas se les aplicaron los filtros estadísticos de presencia-persistencia, definidos por Correa-Metrio *et al.* (2010) (ver Material y Métodos), a partir de los cuales se obtuvo una matriz de 72 casos (especies) y 82 variables (muestras). A esta matriz se le aplicó un Análisis de Factores modo “Q”.

Se consideraron tres factores que explican el 77.6 % del total de la varianza de los datos (Tabla 6.1). Se graficaron los *factor loadings* y los *factor scores*, el primero representa la importancia que tienen las muestras en cada factor y el segundo identifica los taxa importantes asociados a cada factor (Anexo 2 y 3).

Tabla 6.1. “Eigenvalues” y varianzas de cada factor obtenidos con el Análisis de Factores modo “Q”.

Factores	“Eigenvalue”	Total de varianza (%)	“Eigenvalue Acumulativos”	Porcentaje Acumulativo (%)
1	57.52	70.15	57.52	70.15
2	3.26	3.98	60.79	74.13
3	2.84	3.46	63.63	77.60

Cada uno de los factores se encuentra caracterizado por una asociación de radiolarios definida por los *factor scores* (Tabla 6.2, Lámina 1). El término de “asociación” se refiere a una combinación de especies que comparten afinidad a algún parámetro fisicoquímico, como temperatura y/o salinidad, o bien a una mayor disponibilidad de nutrientes y que reflejan alguna condición ambiental en particular.

Tabla 6.2. Asociaciones de radiolarios definidas con base en los *factor scores* positivos.

Asociación	Factor 1	Factor 2	Factor 3
ASOCIACIÓN DEL FACTOR 1			
<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo	<b>5.41155</b>	-0.79821	-1.06117
<i>Phortidium pylonium</i> grupo	<b>4.66344</b>	3.14628	-1.03957
<i>Hexacontium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i>	<b>1.41067</b>	-0.17382	-0.47293
<i>Arachnocorallium calwata</i>	<b>1.12179</b>	0.32357	5.89151
<i>Lithomelissa setosa</i>	<b>1.11577</b>	-2.56266	2.64484
ASOCIACIÓN DEL FACTOR 2			
<i>Clathrocircus stapediis</i>	0.06922	<b>3.73300</b>	0.95183
<i>Phortidium pylonium</i> grupo	4.66344	<b>3.14628</b>	-1.03957
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	-0.82665	<b>2.17962</b>	0.38534
<i>Phormacantha hystrix</i>	-1.32845	<b>1.99048</b>	0.03385
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	-0.72610	<b>1.87808</b>	0.18636
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	-1.33545	<b>1.76906</b>	0.64033
<i>Lithomelissa thoracites</i>	0.19902	<b>1.66595</b>	2.50771
<i>Drupptractus variabilis</i>	0.97527	<b>1.49126</b>	-0.96464
<i>Drupptractus irregularis</i>	-0.62772	<b>1.44636</b>	0.18774
<i>Phormostichoartus corbula</i>	0.09290	<b>1.13698</b>	0.72228
ASOCIACIÓN DEL FACTOR 3			
<i>Arachnocorallium calwata</i>	1.12179	0.32357	<b>5.89151</b>
<i>Lithomelissa setosa</i>	1.11577	-2.56266	<b>2.64484</b>
<i>Lithomelissa thoracites</i>	0.19902	1.66595	<b>2.50771</b>
<i>Peridium longispinum</i>	-0.01780	-1.19175	<b>2.35440</b>

Los supuestos básicos para la reconstrucción de condiciones ambientales pasadas, basados en las asociaciones de radiolarios o cualquier otro *proxy* biológico son: 1) una clara correlación entre taxa o asociaciones vivas con parámetros oceanográficos específicos y, 2) la adecuada preservación de los taxa en el registro sedimentario (Abelmann y Gowing, 1997). Es por ello que a continuación se describen las afinidades ecológicas de las especies que definen a cada uno de los tres factores.

En la Tabla 6.3 se listan distintos estudios sobre radiolarios realizados con muestras de columna de agua, trampas de sedimento y sedimento superficial, los cuales presentan información sobre las afinidades ecológicas y oceanográficas que influyen en la distribución actual de estos organismos, en particular de las especies que son importantes en las asociaciones de radiolarios de este trabajo.

Tabla 6.3. Trabajos consultados sobre los taxa incluidos en las asociaciones de radiolarios de este estudio.

RED/MUESTRA DE PLANCTON		
AUTOR	ÁREA DE ESTUDIO	INTERVALO DE MUESTREO
Petrushevskaya (1971a)	Región central del Pacífico (7 estaciones) 20° N a 20° S, 180° a 140° W	0-5000 m
Kling (1979)	Región central del Pacífico Norte (2 estaciones)	0-1000 y 0-2000 m
Boltovskoy y Riedel (1987)	Corriente de California (6 cruceros)	0-100 m
Kling y Boltovskoy (1995)	Sur de la Corriente de California (4 estaciones)	0-2000 m
Welling <i>et al.</i> (1996)	Región central del Pacífico tropical 12° N a 12° S, 140° W (2 cruceros, 12 estaciones)	0-200 m
Abelmann y Gowing (1997)	Al oriente del Atlántico Sur, 54° a 30° S (2 cruceros, 7 estaciones)	0-1000 m
Molina-Cruz <i>et al.</i> (1999)	Golfo de California (3 estaciones; cuencas Guaymas, Carmen y Pescadero)	0-600 m (Guaymas y Carmen) y 0-1000 m (Pescadero)
Yamashita <i>et al.</i> (2002)	Región occidental del Pacífico tropical (5 estaciones)	0-500, 0-750, y 0-1000 m (3 estaciones).
Ishitani y Takahashi (2007)	Costas del Mar de Japón (8 estaciones)	0-200 m
RED DE PLANCTON (RP) Y TRAMPA DE SEDIMENTO (TS)		
Welling y Piasias (1998)	Región central del Pacífico ecuatorial 12° N a 12° S, 140° W, (2 cruceros, RP: 13 estaciones y TS: 7 estaciones)	RP: 0-200 m TS: 2100 y 2300 m (5 estaciones) y 3593 m (2 estaciones)
Ishitani <i>et al.</i> (2008)	Región del Pacífico Norte (RP: 12 estaciones y TS: 7 estaciones. Compilación de diferentes estudios)	RP: 0-3000 m TS: 378 a 3800 m
TRAMPA DE SEDIMENTO		
Takahashi (1987)	Golfo de Alaska a) 09/1982 a 08/1984 y b) 03 a 09 de 1983	a) 3800 m y b) 1000 m
Welling <i>et al.</i> (1992)	Región norte de la Corriente de California a) 1987 a 1988 y b) 1988 a 1989	a) 1000 m b) 1500 m
Takahashi (1997)	Golfo de Alaska a) 09/1982 a 08/1983 y b) 03 a 09 de 1983 y de 05/1985 a 04/1986	a) 3800 m y b) 1000 m
Lange <i>et al.</i> (1997)	Cuenca de Santa Bárbara, California (08/1993 a 11/1994)	540 m
Itaki <i>et al.</i> (2008b)	Margen occidental del Pacífico subártico (06/2002 a 06/2003)	350 m
SEDIMENTO SUPERFICIAL		
Benson (1966)	Golfo de California (28 muestras)	31 a 2891 m
Petrushevskaya (1971b)	Océanos Índico y Antártico	
Casey (1971b)	Océano Pacífico (30 muestras) 52° N a 64° S, 162° E a 178° W	
Álvarez-Arellano y Molina-Cruz (1986)	Golfo de California (77 muestras)	163 a 3023 m
Molina-Cruz (1986)	Golfo de California (108 muestras)	712 a 7280 m
Piasias (1986)	Golfo de California (54 muestras)	212 a 1070 m
Molina-Cruz y Martínez-López (1994)	Golfo de Tehuantepec (70 muestras)	26 a 3225 m
Itaki <i>et al.</i> (2008a)	Suroeste del Mar de Okhotsk al norte de Japón (9 muestras)	193 a 210 m

A continuación se describen las asociaciones de radiolarios encontrados para cada factor, en donde se describen las afinidades ecológicas; así como, las condiciones oceánicas de la región relacionadas con las mismas.

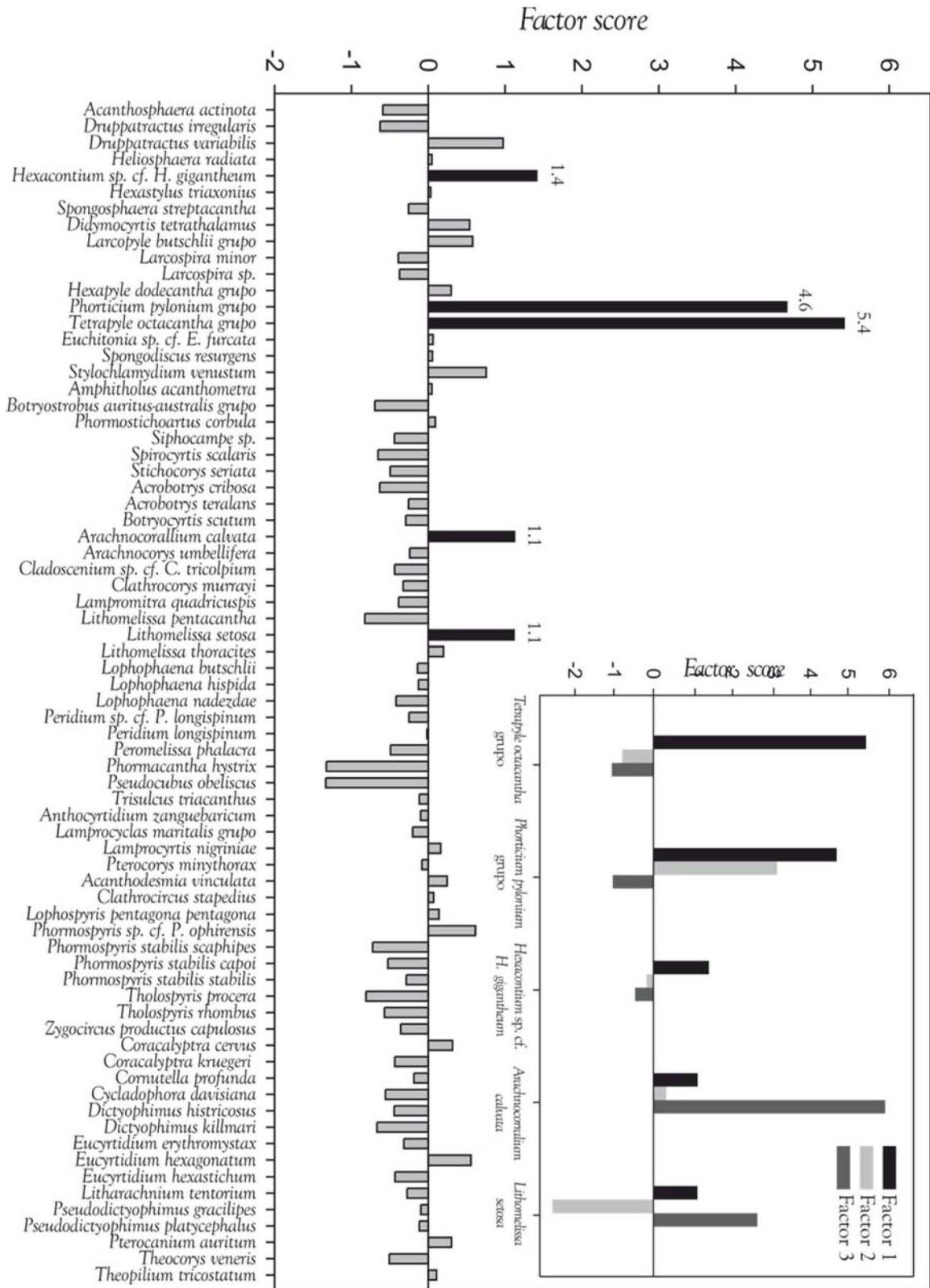
#### *Asociación del factor 1*

La asociación de radiolarios que caracterizan al factor 1 (Figura 6.2, Tabla 6.4) en orden de importancia con base en sus *factor scores* positivos son: *Tetrapyle octacantha* grupo (5.4), *Phortidium pylonium* grupo (4.6), *Hexacantium* sp. cf. *H. giganteum* (1.4), *Arachnocorallium calwata* (1.1) y *Lithomelissa setosa* (1.1). Cabe mencionar, que las últimas dos especies que están presentes en esta asociación, son más significativas en la asociación del factor 3, ya que presentan *factor scores* mayores.

#### *Afinidades ecológicas de los taxa que definen a la asociación del factor 1*

*Tetrapyle octacantha* grupo es el principal taxón que define este factor. Se le ha encontrado en diversos estudios asociado a aguas cálidas de distribución superficial, en donde su mayor abundancia se concentra en profundidades menores a los 100 m. Además ha sido identificado como un taxón clave indicador de aguas tropicales y subtropicales (Pacífico Norte, Kling, 1979; Ishitani *et al.*, 2008; Corriente de California, Kling y Boltovskoy, 1995; Pacífico tropical, Welling *et al.*, 1996; Pacífico ecuatorial, Welling y Pisas, 1998; Yamashita *et al.*, 2002). Cabe señalar que Yamashita *et al.* (2002) encontraron que *T. octacantha* grupo se distribuye sobre la termoclina (en promedio en las estaciones estudiadas por los autores es de 110 m de profundidad); además, sugieren que este taxón probablemente no tolera fluctuaciones de densidad. En el Golfo de California la distribución de *T. octacantha* grupo presenta mayor importancia en la región sur con mayor abundancia hacia el oeste que al este del eje del golfo, es un taxón afín a aguas superficiales tropicales-subtropicales que evidencia la incursión del Agua Superficial Tropical al interior del golfo (Benson, 1966; Pisas, 1986; Molina-Cruz, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Figura 6.2. Factor scores que definen la asociación del factor 1



*Phorticum pylonium* grupo es el segundo taxón en importancia que forma parte de este factor. En trabajos realizados en la columna de agua en los océanos Índico y Antártico, se observó que se distribuye en aguas frías superficiales entre los 0 y 100 m de profundidad (Petrushekskaya, 1971b; Abelman y Gowing, 1997). En el Golfo de California presenta una alta abundancia en sedimentos superficiales que se encuentran por debajo de zonas con alto porcentaje de diatomeas en áreas de alta productividad. Cabe señalar que su distribución cosmopolita en el golfo se explica por la tolerancia que presenta a fluctuaciones de salinidad y temperatura. En la Cuenca de Guaymas se encuentra por debajo de la termoclina (entre 50 y 150 m de profundidad). En esta cuenca es identificado dentro de una asociación de radiolarios subsuperficiales que presenta valores de *factor loadings* más altos de 200 a 400 m de profundidad (Benson, 1966; Molina-Cruz *et al.*, 1999; Álvarez-Arellano y Molina-Cruz, 1986; Molina-Cruz, 1986, los dos últimos autores la refieren como *Phorthicum pylonium clevei*).

*Hexacantium* sp. cf. *H. giganteum*, se ha encontrado en la región central del Pacífico tropical, en donde se le agrupa en una asociación que presenta valores de *factor loadings* más altos por debajo de la termoclina, la cual se ubica aproximadamente entre los 70 y 80 m de profundidad (Welling *et al.*, 1996, referido como *Hexacantium* spp.). En el Golfo de California se describe a *Hexacantium* sp. cf. *H. giganteum* como uno de los espumelarios más abundantes en sedimentos superficiales y su frecuencia por debajo de áreas de alta productividad en los márgenes del golfo; así como, en las aguas relativamente frías del Canal de Ballenas (Benson, 1966; Molina-Cruz, 1986, quienes lo refieren como *Hexacantium entacanthum*).

*Arachnocorallium calvata* ha sido encontrada en distintas regiones del Océano Pacífico como una especie afín a aguas cálidas, tropicales-ecuatoriales y superficiales (0 a 100-120 m de profundidad); sin embargo, se ha sugerido que presenta una amplia tolerancia a fluctuaciones considerables de salinidad y temperatura (Petrushevskaya, 1971a, la refiere como *Psilomelissa calvata*; Casey, 1971b y Yamashita *et al.*, 2002, la refieren como *Peridium spinipes*; Welling *et al.*, 1996, la refieren como *Peridium* spp. y la agrupan con *Peridium* sp. cf. *P. longispinum*).

En el Golfo de California, Piasias (1986) incluye a *A. calvata* (referida como *Peridium* sp.) en una asociación de radiolarios superficiales (<200 m de profundidad) que se distribuyen en las regiones norte y central del golfo, presentando valores de *factor loadings* más altos a los 28° N. El autor sugiere que esta asociación posiblemente refleja su preferencia ecológica por flujos del Agua del Golfo de California, que describe como una masa de agua superficial cálida y relativamente salina. Por otra parte, Molina-Cruz *et al.* (1999), sugieren que *A. calvata* (la refieren como *Peridium spinipes*) presenta una distribución cosmopolita en el golfo.

*Lithomelissa setosa* se distribuye en aguas superficiales en profundidades que van de 0 a 100-120 m, se ha observado que su mayor concentración está relacionada a una alta producción primaria; así como, a una alta concentración de clorofila-a en regiones de surgencias (Yamashita *et al.*, 2002; Ishitani y Takahashi, 2007).

Se ha descrito como una especie indicadora de condiciones de primavera, que presenta un patrón de flujo paralelo al del fitoplancton, lo que la hace sensitiva a cambios en la abundancia de los productores primarios (Takahashi, 1987; 1997; Lange *et al.*, 1997); así como, a un importante flujo de materia orgánica (Itaki *et al.*, 2008a; 2008b).

Tabla 6.4. Síntesis de las afinidades ecológicas de la asociación de radiolarios que definen al factor 1.

Especie/taxón	Factor score	Afinidades ecológicas	
		Golfo de California	Otras regiones del Pacífico
<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo	5.4	Se presenta con mayor abundancia en la región sur del golfo. Afín a aguas superficiales tropicales-subtropicales. Evidencia la incursión del Agua Superficial Tropical.	Asociado a aguas cálidas superficiales (< 100 m). Indicador de aguas tropicales y subtropicales.
<i>Phortidium pylonium</i> grupo	4.6	En sedimentos superficiales presenta mayor abundancia por debajo de regiones asociadas a alta productividad. En la cuenca de Guaymas se le considera una especie subsuperficial (200 a 400 m).	Se distribuye en aguas relativamente frías
<i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i>	1.4	En sedimentos superficiales presenta mayor abundancia por debajo de regiones asociadas a alta productividad. Su abundancia incrementa hacia la región norte del golfo y en aguas relativamente frías del Canal de Ballenas.	Asociado a aguas relativamente frías. Se distribuye por debajo de la termoclina (>70-80 m).
<i>Arachnocorallium calvata</i>	1.1	Cosmopolita en el golfo, se encuentra asociada a flujos del Agua Tropical Superficial; así como, al Agua del Golfo de California.	Asociada a aguas cálidas, tropicales, superficiales (0 a 100-120 m), presenta una amplia tolerancia a fluctuaciones considerables de salinidad y temperatura.
<i>Lithomelissa setosa</i>	1.1		Superficial (0 a 120 m) asociada a regiones de surgencias, alto flujo de fitoplancton y materia orgánica. Indicadora de condiciones de alta productividad.

#### *Interpretación de las condiciones oceanográficas de la asociación del factor 1*

La asociación de radiolarios antes mencionada, sugiere periodos en los cuales, las condiciones oceánicas promedio en el área de estudio se caracterizaron por una marcada estratificación de la columna de agua, hundimiento de la termoclina; así como, una capa superficial oligotrófica. En particular, la dominancia de *T. octacantha* grupo, radiolario que presenta afinidades ecológicas muy claras a las aguas tropicales y subtropicales (cálidas y oligotróficas), en distintas áreas del Pacífico y en el Golfo de California, evidencia la presencia del Agua Superficial Tropical (ATS). Este escenario es similar al que ocurre actualmente durante la fase de verano-otoño en el golfo, en donde hay una mayor insolación en el hemisferio norte, la

dominancia de los vientos del sureste (cálidos y húmedos) promueven la incursión del ATS [ $18\text{ °C} \leq T \leq 30\text{ °C}$  y  $34.6 \leq S \leq 34.8$  (Lavín *et al.*, 2009)] hasta la región de la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California, se presenta una marcada termoclina y la productividad primaria disminuye [ $<1\text{gC/m}^2/\text{día}$  (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991)]. Así mismo, el Agua Subsuperficial Subtropical [ASsSt:  $9\text{ °C} \leq T \leq 18\text{ °C}$  y  $34.5 \leq S \leq 3.9$  (Lavín *et al.*, 2009)], se encuentra siempre en el área de estudio y sólo presenta migración estacional en la parte norte del golfo, en donde durante el verano muestra su máxima retracción y se encuentra a 250 a 300 km del delta del Río Colorado (Lavín *et al.*, 1997). Los radiolarios *P. pylonium* grupo, *Hexacantium* sp. cf. *H. giganteum* y *L. setosa* presentan afinidad por aguas relativamente frías y productivas y habitan profundidades por debajo de los 70 m. Por lo anterior se sugiere con base en el escenario análogo a las condiciones de verano-otoño y de estratificación de las aguas propuesto por el registro de *T. octacantha* grupo, que estos taxos representan el estrato subsuperficial de la columna de agua. Así mismo, *A. calvata* es una especie cosmopolita en golfo, ya que puede adaptarse fácilmente y habitar en diferentes masas de agua superficiales, ya que presenta tolerancia a amplios rangos de salinidad y temperatura y por lo que no puede considerarse como una especie diagnóstica de condiciones oceánicas particulares en esta asociación. Las condiciones oceánicas anteriormente descritas y propuestas por la asociación de radiolarios del factor 1 se presentan en forma de pulsos en los intervalos temporales de ~ 210 a 288, de ~ 678 a 794, de ~1378 a 1521 y de ~ 1819 a 1975 AD (Figura 6.5).

### *Asociación del factor 2*

La asociación de radiolarios que domina este factor en orden de importancia, con respecto a sus *factor scores* positivos, son *Clathrocircus stapedius* (3.7), *Phorticium pylonium* grupo (3.1), *Lithomelissa pentacantha* (2.1), *Phormacantha hystrix* (1.9), *Phormospyris stabilis scaphipes* (1.8), *Pseudocubus obeliscus* (1.7), *Lithomelissa thoracites* (1.6), *Drupptractus variabilis* (1.4), *Drupptractus irregularis* (1.4) y *Phormostichoartus corbula* (1.1). Cabe mencionar, que *P. pylonium* grupo y *L. thoracites* presentan *factor scores* más significativo en el factor 1 y 3 respectivamente (Figura 6.3, Tabla 6.5).

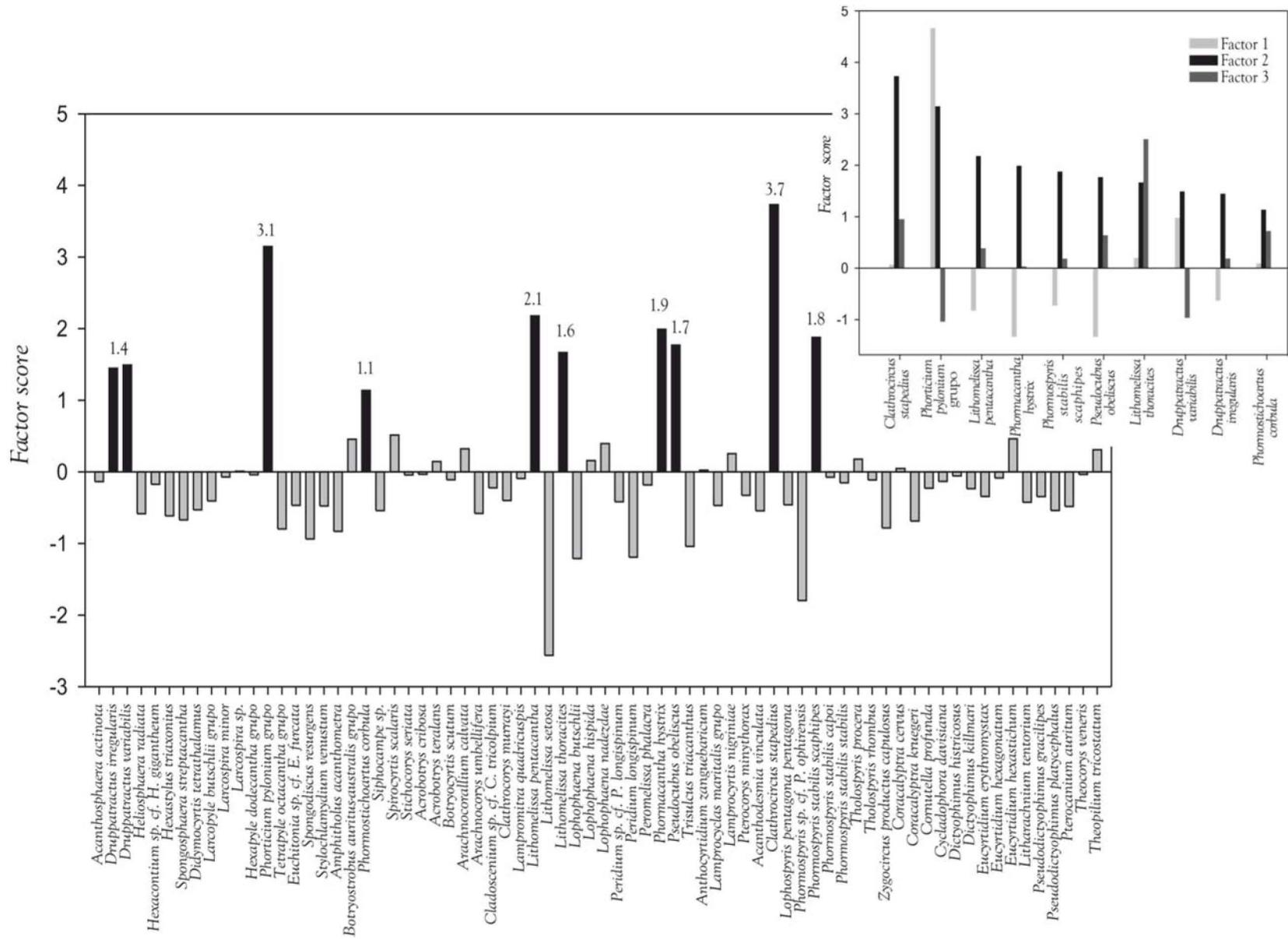


Figura 6.3. Factor scores que definen la asociación del factor 2.

## *Afinidades ecológicas de los taxa que definen a la asociación del factor 2*

*Clathrocircus stapedius* es una especie de la cual hay muy poca información; sin embargo, en muestras de sedimento superficial del Golfo de California, Benson (1966) encuentra que su frecuencia promedio en la región norte del golfo es rara pero mayor que en la región sur y en algunas estaciones que presentan facies de diatomitas, las cuales se asocian probablemente a procesos de surgencias.

*Lithomelissa pentacantha* ha sido asociada a regiones de alta productividad del Sistema de la Corriente de California, en donde sus mayores abundancias correlacionan con altos flujos de carbono orgánico (Welling *et al.*, 1992). En sedimentos superficiales del Golfo de California, es una especie que presentó mayor frecuencia en áreas de intensa mezcla como lo son el Canal de Ballenas y al norte de la Cuenca de Guaymas (Benson, 1966, la refiere como *Lithomelissa hystrix*; Molina-Cruz, 1986). Se incluye en una asociación que es importante en la región central del golfo, entre los 29° N y los 26° 30' N (Álvarez-Arellano y Molina-Cruz, 1986). Así mismo, Piasis (1986), la agrupa en una asociación de radiolarios superficiales (<200 m de profundidad) que presenta valores altos en los 28° N, sugiere que su distribución coincide con un flujo de agua cálida y salina (Agua del Golfo de California).

*Phormacantha hystrix* se distribuye en la región central del Pacífico en aguas templadas-frías y subsuperficiales en profundidades de 75 a 100 m y de 120 a 200 m, siendo más abundante a 300 m (Petrushevskaya, 1971a; Yamashita *et al.*, 2002). En el Golfo de Alaska se observó un flujo de esta especie paralelo al del fitoplancton, el cual se incrementa principalmente en primavera-verano (Takahashi, 1997). En el Golfo de California es rara pero se encontró comúnmente en sedimentos de la región norte del golfo (Benson, 1966).

*Phormospyris stabilis scaphipes* es una especie superficial que presenta un máximo de abundancia entre 25 y 100 m de profundidad en la Corriente de California (Kling y Boltovskoy, 1995) y entre los 50 y 100 m de profundidad en la región central del Pacífico Norte, donde coincide con los máximos de concentración de oxígeno y clorofila-a (Kling, 1979; la refiere como *Phormospyris scaphipes*). En el Golfo de Tehuantepec, Molina-Cruz y Martínez-López (1994) encuentran esta especie en una asociación que se distribuye al oeste del eje de los “Tehuanos” en donde probablemente el agua de las surgencias y el Agua de la Corriente de California se encuentran en la subsuperficie (30 a 60 m de profundidad) dando lugar al desarrollo de un frente oceánico. Mientras que en sedimentos superficiales del Golfo de California su abundancia se incrementa en áreas que presentan facies de diatomitas; aunque su porcentaje es bajo como para definir su comportamiento como respuesta a las surgencias (Benson, 1966; 2005).

*Pseudocubus obeliscus* se ha definido como una especie indicadora de productividad, la cual se distribuye en aguas superficiales entre 0 y 120 m de profundidad; además, se presenta en zonas de surgencias, de alta concentración de nutrientes, clorofila-a y en zonas de mezcla que son caracterizadas por alta productividad en regiones tropicales y subtropicales del Pacífico Norte (Yamashita *et al.*, 2002; Ishitani y Takahashi, 2007; Ishitani *et al.*, 2008). Por otra parte, Boltovskoy y Riedel (1987) la encuentran como una de las formas superficiales más común y abundante en la Corriente de California, siendo significativa por arriba de los 30° N. En el Golfo de California, Benson (1966, 2003, 2005) menciona que es una especie que muestra alta abundancia en regiones asociadas a facies de diatomitas, por lo que el autor sugiere que su distribución puede estar controlada por procesos de surgencias y proliferación de diatomeas.

*Druppatractus variabilis* y *Druppatractus irregularis* son especies que presentan sus mayores abundancias en la región sur del Golfo de California (Benson, 1966, refiere a la primera especie como *Druppatractus pyriformis*). Molina-Cruz *et al.* (1999) encuentran que *D. variabilis* representa más del 6% de la abundancia total de los radiolarios en muestras de sedimento de la región sur del golfo, probablemente porque su crecimiento se ve favorecido por los frentes oceánicos que se desarrollan en la boca del golfo entre el Agua de la Corriente de California, el Agua Superficial Tropical y el Agua del Golfo de California (Álvarez-Arellano y Molina-Cruz, 1986). Aunado a ello, la incluyen en una asociación que se distribuye en profundidades de 400 a 700 m en la Cuenca Pescadero; así como, a 500 m de profundidad en las cuencas del Carmen y Guaymas, por lo que se sugieren que esta asociación evidencia la presencia del Agua Intermedia del Pacífico [ $4^{\circ}\text{C} \leq T \leq 9^{\circ}\text{C}$ ;  $34.5 \leq S \leq 3.8$ ;  $\text{O}_2 < 0.1 \text{ ml / L}$  (Lavín *et al.*, 2009)].

La última especie que integra esta asociación es *Phormostichoartus corbula*, esta especie se distribuye en la columna de agua entre 50 y 100 m de profundidad en la región central del Pacífico Norte, profundidad que coincide con los máximos de oxígeno subsuperficial y de clorofila-a (Kling, 1979). Por otro lado, Kling y Boltovskoy (1995) observan que la máxima abundancia de *P. corbula* en la Corriente de California se presenta por debajo de los 300 m de profundidad. En el Golfo de California esta presenta mayor abundancia en algunas regiones asociadas a facies de diatomitas (Benson, 1966).

Tabla 6.5. Síntesis de las afinidades ecológicas de la asociación de radiolarios que definen al factor 2.

Especie/taxón	Factor score	Afinidades ecológicas	
		Golfo de California	Otras regiones del Pacífico
<i>Clathrocircus stapedius</i>	3.7	En sedimentos superficiales presenta mayor frecuencia en la región norte del golfo y en algunas estaciones que presentan facies de diatomitas asociadas a alta productividad.	
<i>Phorticium pylonium</i> grupo	3.1	En sedimentos superficiales presenta mayor abundancia por debajo de regiones asociadas a alta productividad. Subsuperficial (200 a 400 m) en la Cuenca de Guaymas.	Se distribuye en aguas relativamente frías
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	2.1	En sedimentos superficiales presenta mayor abundancia en áreas de intensa mezcla. Asociada al Agua del Golfo de California (< 200 m)	Asociada a altos flujos de carbono orgánico en áreas de alta productividad.
<i>Phormacantha hystrix</i>	1.9	En sedimentos superficiales presenta mayor frecuencia en la región norte del golfo.	Se distribuye en aguas templadas y frías subsuperficiales (75 a 300 m), asociada a regiones de alta productividad.
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	1.8	En sedimentos superficiales se encuentra asociada a facies de diatomitas por debajo de áreas de alta productividad.	Superficial (25 a 100 m), su abundancia coincide con los máximos de concentración de clorofila-a y oxígeno.
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	1.7	En sedimentos superficiales presenta mayor abundancia en regiones asociadas a facies de diatomitas, por lo que su distribución puede estar controlada por procesos de surgencias y proliferación de diatomeas.	Superficial (0 a 120 m) Indicadora de productividad, se presenta en zonas de surgencias, mezcla de alta concentración de clorofila-a y nutrientes.
<i>Lithomelissa thoracites</i>	1.6	Asociada a procesos de mezcla y a flujos del Agua del Golfo de California.	Superficial (<100 m) asociada a regiones de mezcla, frentes de masas de agua y surgencias.
<i>Drupptractus variabilis</i> y <i>Drupptractus irregularis</i>	1.4	Presentan mayor abundancia en la región sur del golfo, asociadas al Agua Intermedia del Pacífico (400 a 700m).	
<i>Phormostichoartus corbula</i>	1.1	En sedimentos superficiales presenta mayor abundancia en regiones asociadas a facies de diatomitas regiones de alta productividad.	Superficial (50 a 100 m) y subsuperficial (300 m) asociado a máximos de oxígeno y clorofila-a.

## *Interpretación de las condiciones oceanográficas de la asociación del factor 2*

Los radiolarios que conforman esta asociación presentan una distribución vertical en diferentes estratos de la columna de agua: 1) superficial (<100 m): *P. stabilis scaphipes*, *P. obeliscus* y *L. thoracites*; 2) subsuperficial (100 a 400 m): *P. pylonium* grupo, *L. pentacantha*, *P. hystrix* y *P. corbula* y 3) intermedio (>400 m): *D. variabilis* y *D. irregularis*. En conjunto la mayoría de los taxa tiene afinidad por aguas relativamente frías, que presentan altos flujos de carbono orgánico, alta concentración de nutrientes y de clorofila-a asociados a alta productividad primaria. Por lo que se sugiere que durante los periodos que definen a este factor, las condiciones promedio en el área de estudio fueron de alta productividad. Probablemente un enriquecimiento de las aguas superficiales y un incremento tanto en la productividad primaria promovió un aumento en la productividad exportada (mayor flujo orgánico) lo cual favoreció el crecimiento no sólo de los taxa de radiolarios que habitan aguas superficiales, sino también aquellos que habitan las aguas subsuperficiales e intermedias, las cuales quedaron registrados en los sedimentos.

Actualmente los procesos físicos que generan productividad primaria en la región sur del Golfo de California no son del todo claros, se propone que uno de los mecanismos es la formación de un gradiente este oeste que mueven las aguas de las surgencias del este a través del golfo y transportan nutrientes y plancton al margen occidental, por la acción e interacción de giros ciclónicos y anticiclónicos (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 1994; Pegau *et al.*, 2002; Douglas *et al.*, 2007). Aunque, no se ha observado un patrón definitivo en la posición y sentido de rotación de estos giros estacionalmente (Figuroa *et al.*, 2003), el gradiente este oeste significa que muchos de los restos biogénicos depositados en la región occidental de golfo son incluso producidos en las surgencias costeras del lado oriental y transportados a través del golfo o bien, son una respuesta del fitoplancton a los nutrientes advectados desde el lado oriental o el incremento de los nutrientes son generados por los giros, o ambos (Douglas *et al.*, 2007). La distribución temporal del factor 2 (Figura 6.5), se presenta en forma de pulsos con una alternancia aproximada de 65 y 130 años, entre 300 y 1400 AD.

### Asociación del factor 3

La asociación de taxa de radiolarios que integran este factor en orden de importancia, con base al *factor score* son, *Arachnocorallium calvata* (5.8), *Lithomelissa setosa* (2.6), *Lithomelissa thoracites* (2.5) y *Peridium longispinum* (2.3) (Figura 6.4, Tabla 6.6).

### Afinidades ecológicas de los taxa que definen a la asociación del factor 3

*Arachnocorallium calvata* es la especie más común en las muestras revisadas a lo largo del núcleo K47. Ha sido encontrada en distintas regiones del Océano Pacífico como una especie afín a aguas cálidas, tropicales-ecuatoriales y superficiales (0 a 100-120 m de profundidad); sin embargo, se ha sugerido que presenta una amplia tolerancia a fluctuaciones considerables de salinidad y temperatura (Petrushevskaya, 1971a, la refiere como *Psilomelissa calvata*; Casey, 1971b y Yamashita *et al.*, 2002, la refieren como *Peridium spinipes*; Welling *et al.*, 1996, la refieren como *Peridium* spp. y la agrupan con *Peridium sp. cf. P. longispinum*). En el Golfo de California, Pias (1986) incluye a *A. calvata* (referida como *Peridium sp.*) en una asociación de radiolarios superficiales (<200 m de profundidad) que se distribuyen en las regiones norte y central del golfo, presentando valores de *factor loadings* más altos a los 28° N. El autor sugiere que esta asociación posiblemente refleja su preferencia ecológica por flujos del Agua del Golfo de California, que describe como una masa de agua superficial cálida y relativamente salina. Por otra parte, Molina-Cruz *et al.* (1999), sugieren que *A. calvata* (la refieren como *Peridium spinipes*) presenta una distribución cosmopolita en el golfo.

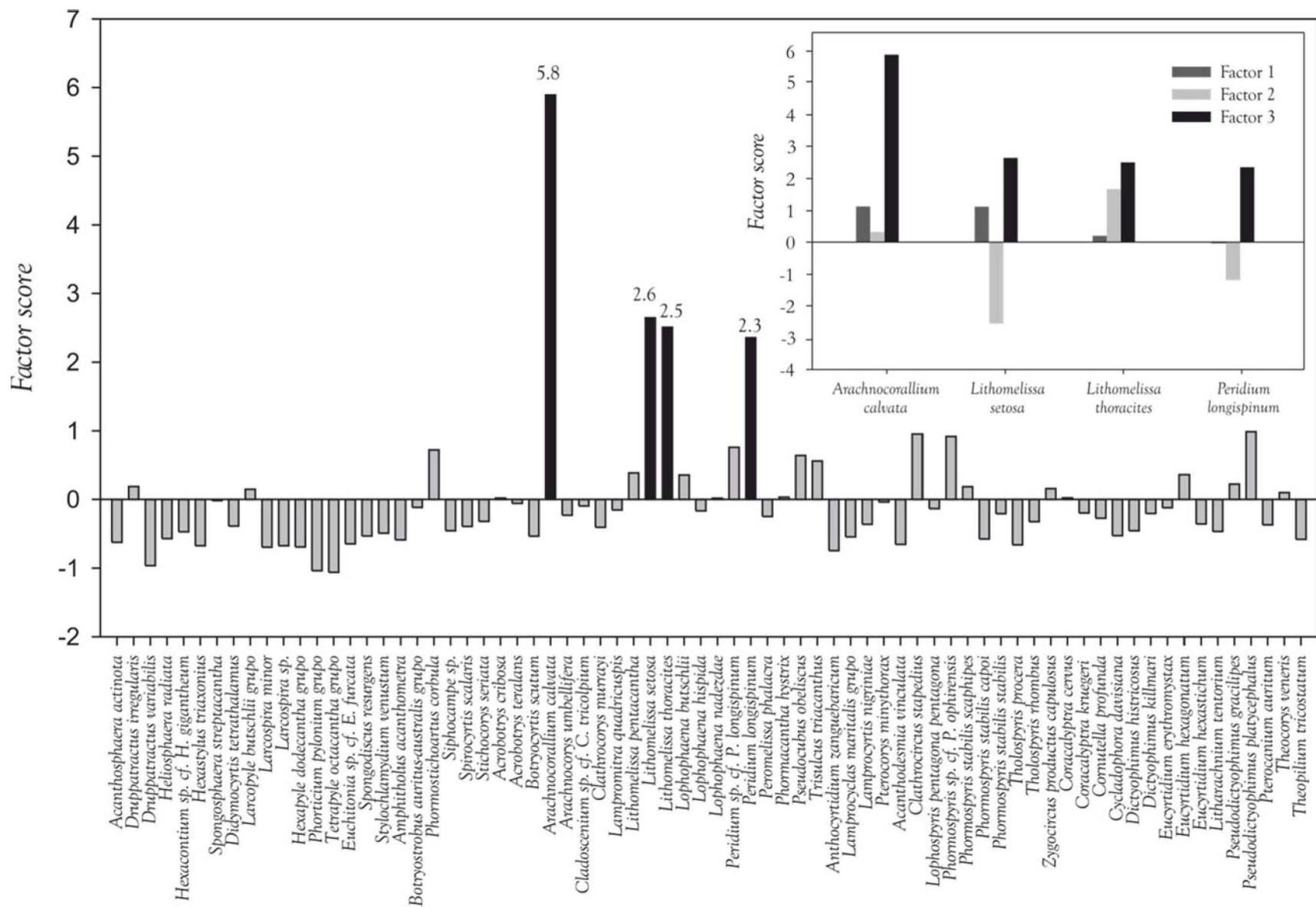


Figura 6.4. Factor scores que definen la asociación del factor 2.

*Lithomelissa setosa* se distribuye en aguas superficiales en profundidades que van de 0 a 100-120 m, se ha observado que su mayor concentración está relacionada a una alta producción primaria; así como, a una alta concentración de clorofila-a en regiones de surgencias (Yamashita *et al.*, 2002; Ishitani y Takahashi, 2007). Se ha descrito como una especie indicadora de condiciones de primavera, que presenta un patrón de flujo paralelo al del fitoplancton, lo que la hace sensitiva a cambios en la abundancia de los productores primarios (Takahashi, 1987; 1997; Lange *et al.*, 1997); así como, a un importante flujo de materia orgánica (Itaki *et al.*, 2008a; 2008b).

*Lithomelissa thoracites* es una especie superficial que se distribuye a una profundidad menor a los 100 m, se encuentra asociada a regiones de mezcla como lo son los frentes de masas de agua y surgencias (Molina-Cruz y Martínez-López, 1994; Abelman y Gowing, 1997). En el Golfo de California se ha descrito como cosmopolita, aunque presenta un aumento en su abundancia en áreas de surgencias, en regiones de proliferación de fitoplancton y en zonas de intensa mezcla de aguas, como ocurre en el canal de Ballenas y al norte de la Cuenca Guaymas (Benson, 1966; 2005; Molina-Cruz, 1986). Pias (1986) definió a *L. thoracites* dentro de una asociación que se distribuye en la región norte y central del golfo, que presenta afinidad al Agua del Golfo de California descrita como un agua superficial, cálida y relativamente salina. Por otra parte, Molina-Cruz *et al.* (1999), la incluyen en una asociación de radiolarios que refleja procesos de mezcla y circulación en la región central y sur del golfo relacionados con el hundimiento del Agua del Golfo de California (la cual denominan Agua de Guaymas (AG): T> 12°C, S> 35, Z: 0 a 70 m y un alto contenido de carbono orgánico) en la Cuenca de Guaymas y su posterior flujo hacia aguas subsuperficiales del noroeste de la Cuenca del Carmen.

*Peridium longispinum*, es una especie que en el Golfo de California comparte afinidad por el Agua del Golfo de California (denominada también, Agua de Guaymas) en la región norte y central del golfo junto con *A. calvata* y *L. thoracites* (Pias, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Tabla 6.6. Síntesis de las afinidades ecológicas de la asociación de radiolarios que definen al factor 3.

Especie/taxón	Factor score	Afinidades ecológicas	
		Golfo de California	Otras regiones del Pacífico
<i>Arachnocorallium calvata</i>	5.8	Cosmopolita en el golfo, se encuentra asociada a flujos del Agua Superficial Tropical y del Agua del Golfo de California.	Asociada a aguas cálidas, tropicales, superficiales (0 a 100-120 m), presenta una amplia tolerancia a fluctuaciones considerables de salinidad y temperatura.
<i>Lithomelissa setosa</i>	2.6		Superficial (0 a 120 m) asociada a regiones de surgencias, alto flujo de fitoplancton y materia orgánica. Indicadora de condiciones de alta productividad.
<i>Lithomelissa thoracites</i>	2.5	Asociada a procesos de mezcla y a flujos del Agua del Golfo de California.	Superficial (<100 m) asociada a regiones de mezcla, frentes de masas de agua y surgencias.
<i>Peridium longispinum</i>	2.3	Asociada al Agua del Golfo de California.	

### Interpretación de las condiciones oceanográficas de la asociación del factor 3

En la región norte y central del Golfo de California, tanto Pisias (1986) en muestras de sedimento superficial, como Molina-Cruz *et al.* (1999) con muestras de la columna de agua, encuentran a *A. calvata*, *L. thoracites* y *P. longispinum* formando parte de asociaciones que se caracterizan por tener afinidad a flujos del Agua del Golfo de California (Tabla 3.3). Cabe señalar, que *A. calvata* se considera como una especie cosmopolita de las aguas superficiales por lo que no puede definirse como afín a esta masa de agua. Sin embargo las otras dos especies si son diagnósticas de esta masa de agua.

Por lo que para este factor se propone la presencia del Agua del Golfo de California [AGC:  $14\text{ °C} \leq T \leq 29.5\text{ °C}$  y  $34.9 \leq S \leq 35.35$  (Lavín *et al.*, 2009)] en el área de estudio. Mientras que las afinidades ecológicas de *L. setosa* a condiciones asociadas con el flujo y proliferación de fitoplancton, sugieren incremento en la productividad primaria.

El AGC se distingue por su relativa alta salinidad, su formación ocurre principalmente en la región norte del golfo, donde la evaporación es más intensa y es auxiliada por los procesos de mezcla vertical producida por las corrientes de marea, viento y convección. Esta masa de agua presenta un ciclo estacional complementario al del AST. En verano sólo llega a la Cuenca de Guaymas y en invierno presenta su máximo flujo hacia el exterior del golfo y se encuentra hasta la boca del golfo (Lavín *et al.*, 1997). Las condiciones actuales en invierno en el Golfo de California se ven influenciadas por la dominancia de vientos del noroeste que acarrear aire frío y seco que dan lugar a mezcla y debilitamiento de la termoclina; así como, al desarrollo de surgencias costeras en el margen oriental del golfo y consecuentemente a un incremento en la productividad primaria [1 a 4 gC/m<sup>2</sup>/día en la región central del golfo (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991)].

Las condiciones oceánicas anteriormente descritas y propuestas por la asociación de radiolarios del factor 3 se presentan en forma de pulsos en los intervalos temporales entre los siguientes años de ~ 146 a 639, ~ 1145 a 1326, ~ 1482 a 1495, ~ 1612 a 1703, ~ 1729 a 1806 y ~ 1988 a 2001 AD (Figura 6.5). En particular, los intervalos de ~ 1612 a 1703 y de ~ 1729 a 1806 AD, corresponden con los mínimos de manchas solares conocidos como el Mínimo de Maunder (1641-1715) y el Mínimo de Dalton (1790-1825). Los mínimos de manchas solares mencionados anteriormente son notables dentro del evento de la Pequeña Edad del Hielo, donde se sugiere influenciaron el clima de la superficie terrestre ya que coinciden con inviernos fríos en el hemisferio norte (Nunn, 2007).

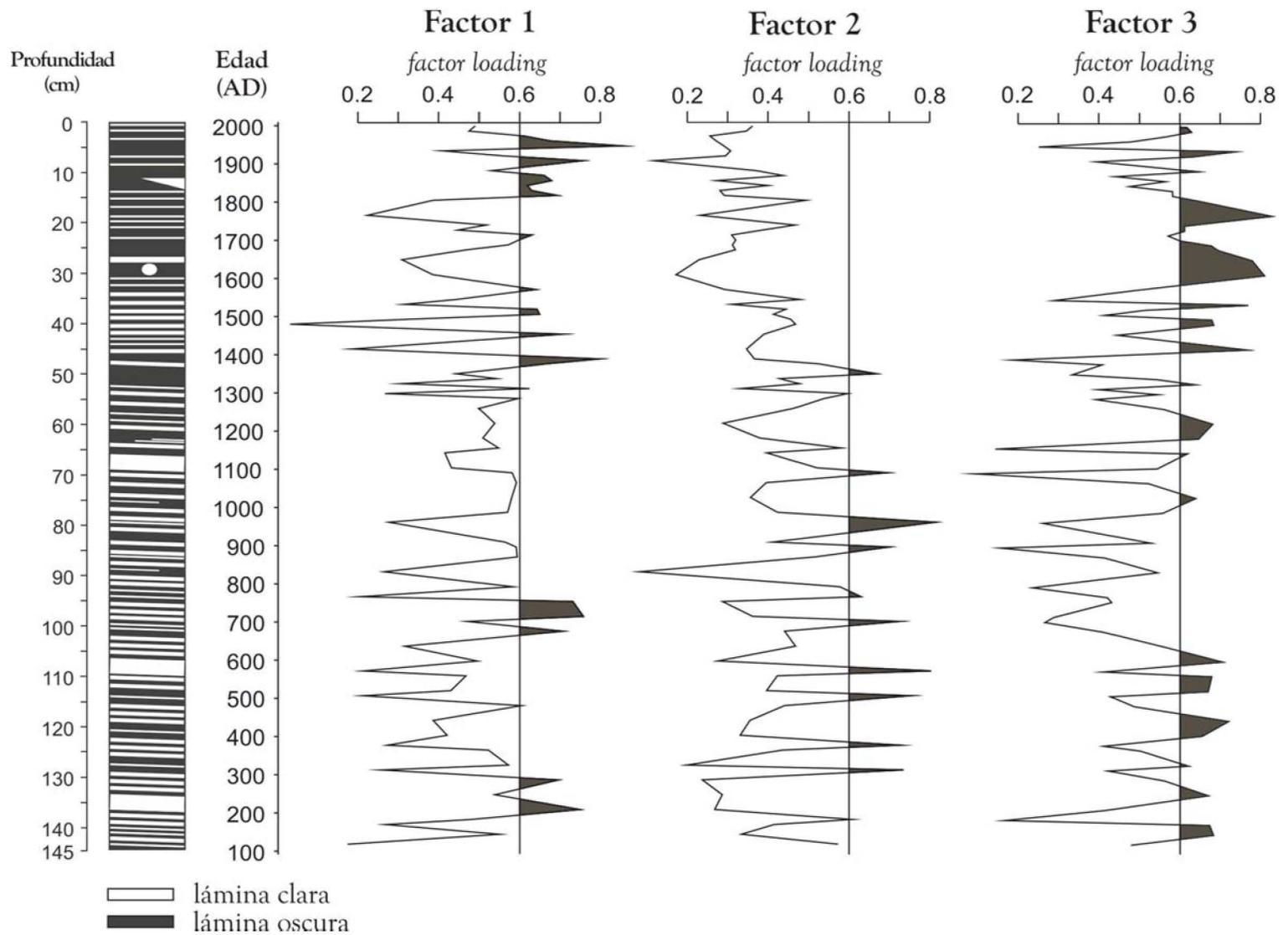


Figura 6.5. *Factor loadings* que definen el perfil temporal de las tres asociaciones de radiolarios encontradas para los últimos 1800 años en la Cuenca de la Paz. Se muestra la representación esquemática de la secuencia laminada K47.

## 6.5 DISCUSIÓN DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS DEFINIDAS POR LAS ASOCIACIONES DE RADIOLARIOS

Para discutir y proponer los diferentes escenarios paleoceanográficos y paleoclimáticos que sugieren las asociaciones de radiolarios que se definieron en este estudio, es importante mencionar que la interpretación de estos escenarios fue muy cuidadosa, debido a dos aspectos muy importantes: el primero es que hay muy pocos estudios en el Golfo de California sobre la distribución espacial (geográfica y en la columna de agua) y temporal (estacional) de los radiolarios y de sus afinidades ecológicas y, el segundo fue que en algunos casos se definieron las afinidades ecológicas de las especies aquí encontradas con base en las reportadas en otros estudios realizados en otras regiones geográficas del Océano Pacífico oriental y central. En particular, para este último aspecto se tuvo cuidado en considerar las temperaturas de las masas de agua a diferentes latitudes; así como, los procesos físicos que promueven alta productividad (surgencias, giros, ondas internas, mareas, etc.) y cómo se relacionan con la distribución de las especies en la columna de agua.

Considerando lo anterior, el registro de radiolarios en la secuencia sedimentaria K47 y las afinidades ecológicas que conforman cada una de las tres asociaciones definidas en este estudio, nos permiten sugerir tres escenarios oceánicos y climáticos para la Cuenca de la Paz, en los pasados 1800 años, en donde se propone una fluctuación entre condiciones de productividad y estratificación de la columna de agua; así como, la presencia de diferentes masas de agua.

## 6.6 ANÁLISIS DE MINERALES MAGNÉTICOS

A partir de la adquisición de registros de propiedades magnéticas, en particular de susceptibilidad magnética y tipos de minerales presentes, es posible inferir cambios en las fluctuaciones en el aporte de terrígenos asociado a los cambios climáticos (Maher, 2007; Pérez-Cruz y Urrutia-Fucugauchi, 2009). En este estudio, los resultados de la mineralogía magnética en sedimentos laminados marinos se analizaron en términos de las fuentes de aporte y el ambiente de depósito en la región sur del Golfo de California durante los últimos 1800 años.

### *Susceptibilidad Magnética (k)*

Se realizaron un total 257 mediciones de susceptibilidad magnética (k) de la secuencia K47. Los registros de k fueron de 1.2 a 7.4 SI y se graficaron en sentido estratigráfico. Los valores más altos se observan en la parte superior de núcleo, que corresponden a los primeros 15 cm (los últimos 200 años); así como, en la parte media del núcleo en 60 y 75.5 cm (~1050 y ~1222 años) (Figura 6.6). Este incremento en la señal de k refleja la presencia de minerales magnéticos que podrían estar asociadas a un mayor aporte de terrígenos depositado en el área de estudio vía eólica, pluvial y/o por escorrentías.

Cabe destacar que se observa un comportamiento diferente aproximadamente a partir de la mitad del núcleo (83 cm que corresponde aproximadamente a 1000 AD). En términos generales el registro de k en la sección basal (de ~120 a 1000 AD) presenta un aumento en comparación con la sección superior (de ~1000 a 1800 AD) que presenta valores menores. Lo cual implicaría que la concentración de minerales magnéticos ha ido disminuyendo, asociado a un menor transporte de material detrítico a la cuenca.

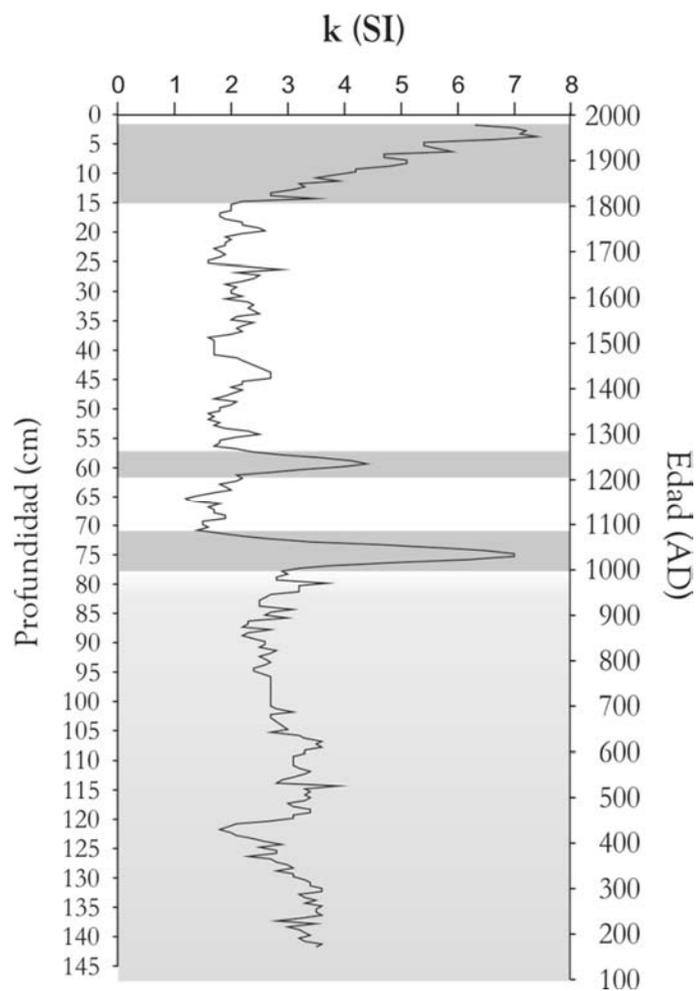


Figura 6.6. Registro de la susceptibilidad magnética (k) de la secuencia sedimentaria K47. Las bandas indican los máximos de k, la parte sombreada en la región media inferior del núcleo presentan comportamiento diferente a la parte superior del núcleo.

Al comparar el registro de k con la curva de actividad solar (producción del  $\Delta^{14}\text{C}$ ) (Figura 6.7), se observa una coincidencia de los máximos (mínimos) de manchas solares con valores altos (bajos) de susceptibilidad magnética, con lo cual se sugiere que durante los eventos cálidos (fríos) de máxima (mínima) actividad solar, se tiene mayor (menor) aporte de terrígenos (concentración de minerales magnéticos) hacia la cuenca de estudio.

Barron *et al.* (2003) y Barron y Bukry (2007) observaron una relación entre el incremento en el porcentaje de sílica biogénica con el descenso en la actividad solar de los últimos 2000 años en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California, proponen que el aumento en la intensidad de los vientos de noroeste propician el desarrollo de surgencias que consecuentemente favorecen el incremento en la productividad primaria.

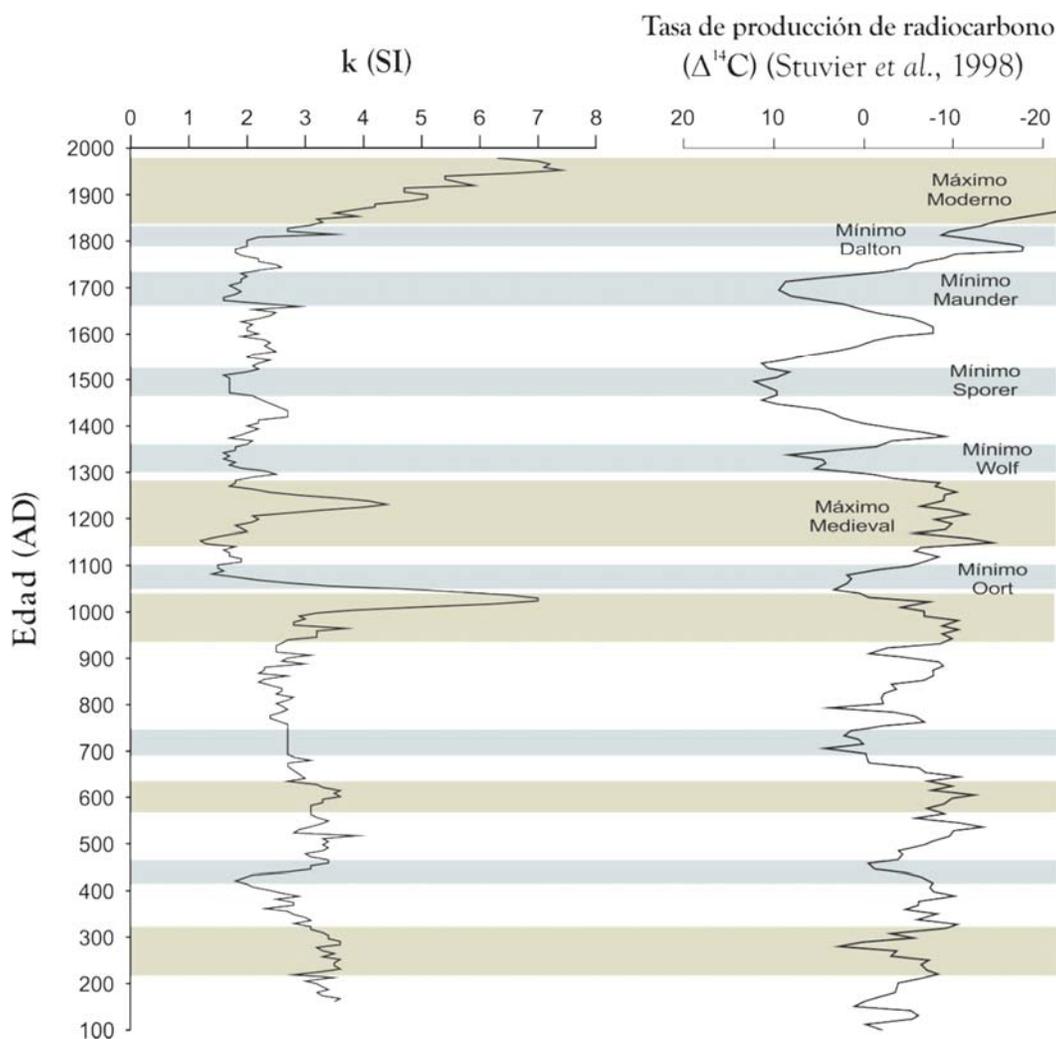


Figura 6.7. Registro de la susceptibilidad magnética ( $k$ ) de la secuencia sedimentaria K47 y su posible correlación con la tasa de producción de radiocarbono (Stuvier *et al.*, 1998). Las bandas grises indican un incremento y las bandas azules un decremento en  $k$  y en la actividad solar. Gráfica inferior muestra la correlación entre ambas variables.

### *Discusión e interpretación de los datos susceptibilidad magnética (k)*

Se sugiere que  $k$  describe los intervalos en donde la concentración de minerales magnéticos es más conspicua. Cabe destacar que en la mayoría de los estudios de paleoambientes y paleoclimáticos en sedimentos marinos y continentales, este parámetro se ha utilizado como la señal del aporte de terrígenos hacia las cuencas. En el caso particular del Golfo de California, los sedimentos terrígenos pueden ser transportados ya sea por vía eólica, ya que se ha observado que el incremento en la actividad de tormentas eléctricas sobre el desierto de Sonora lleva consigo material de grano fino de muchos kilómetros durante el verano (Baumgartner *et al.*, 1991), o por la influencia de los vientos del noroeste en los meses de invierno (González-Yajimovich *et al.*, 2005), o bien por vía pluvial en donde la ocurrencia de tormentas tropicales y/o huracanes transportan material terrígeno al golfo (Nava-Sánchez, 2001), y que algunos autores proponen, son más evidentes durante los eventos de “El Niño” (Pérez-Cruz, 2006; Pérez-Cruz y Urrutía-Fucigauchi, 2010).

Sin embargo, un aumento en la concentración de minerales magnéticos en los sedimentos superficiales de las secuencias marinas, no está relacionado únicamente con los minerales magnéticos que vienen por el transporte de terrígenos, sino también a la formación *in situ* de estos minerales debido a las condiciones sulfo-reductoras del ambiente, propiciando sobre todo la formación de magnetita (Pérez-Cruz y Urrutía-Fucigauchi, en prensa). Por lo que el aumento en el registro de  $k$  en los primeros centímetros, es el resultado de una mayor concentración de minerales magnéticos debido al aporte de terrígenos; así como, a la formación de éstos *in situ*.

Esto es apoyado con las mediciones de elementos químicos como el Al y el Ti en la secuencia sedimentaria K47 (Pérez-Cruz, *et al.*, 2011) en donde se observa que el Al (*proxy* de terrígenos) y el Ti (*proxy* de precipitación), presentan en la parte superficial de la secuencia (los últimos 200 años aproximadamente) valores relativamente bajos, que contrastan con los valores altos de  $k$ .

Dentro de este contexto, la tendencia de un aumento en la concentración de minerales magnéticos observada a partir de la mitad del núcleo (~1000 AD) podría deberse a dos factores: 1) una disminución de minerales magnéticos resultado de una mayor alteración diagenética de los sedimentos en la parte superior del núcleo (de ~ 1000 a 1800 AD), o bien, 2) un cambio en el régimen de depositación de sedimentos terrígenos. Cabe considerar el estudio de elementos químicos en la secuencia K47, en donde se observa que las concentraciones de Al y Ti muestran una disminución hacia la parte superior, por lo que al parecer las fluctuaciones de k están relacionadas con un menor flujo de terrígenos hacia la cuenca, y no a procesos de alteración diagenética.

Por otra parte el decremento en k coincide con los mínimos de actividad solar, que sugiere que durante condiciones climáticas frías y secas, el transporte de terrígenos disminuyera.

*Parámetros de histéresis: Magnetismo remanente ( $M_r$ ), de saturación ( $M_s$ ) y factor de paramagnéticos ( $S^*$ )*

Los valores de magnetismos remanente ( $M_r$ ), y en particular del magnetismo de saturación ( $M_s$ ), al igual que la susceptibilidad magnética (k) muestran los mayores valores en la parte superior de la secuencia, en los primeros 15 cm (de ~ 1850 a 2000 años) y en el centímetro 60 (~ 1222 años), lo cual sugiere una mayor concentración de minerales magnéticos (Figura 6.8).

El Factor de Paramagnéticos ( $S^*$ ) muestra sus valores más altos en los centímetros 60 y 114 (~1222 y 520 años), lo cual indicaría la presencia de minerales magnéticos provenientes de rocas volcánicas (p. ejemplo: biotitas y hornblendas), probablemente transportados a la cuenca por procesos de erosión pluvial y/o escorrentías.

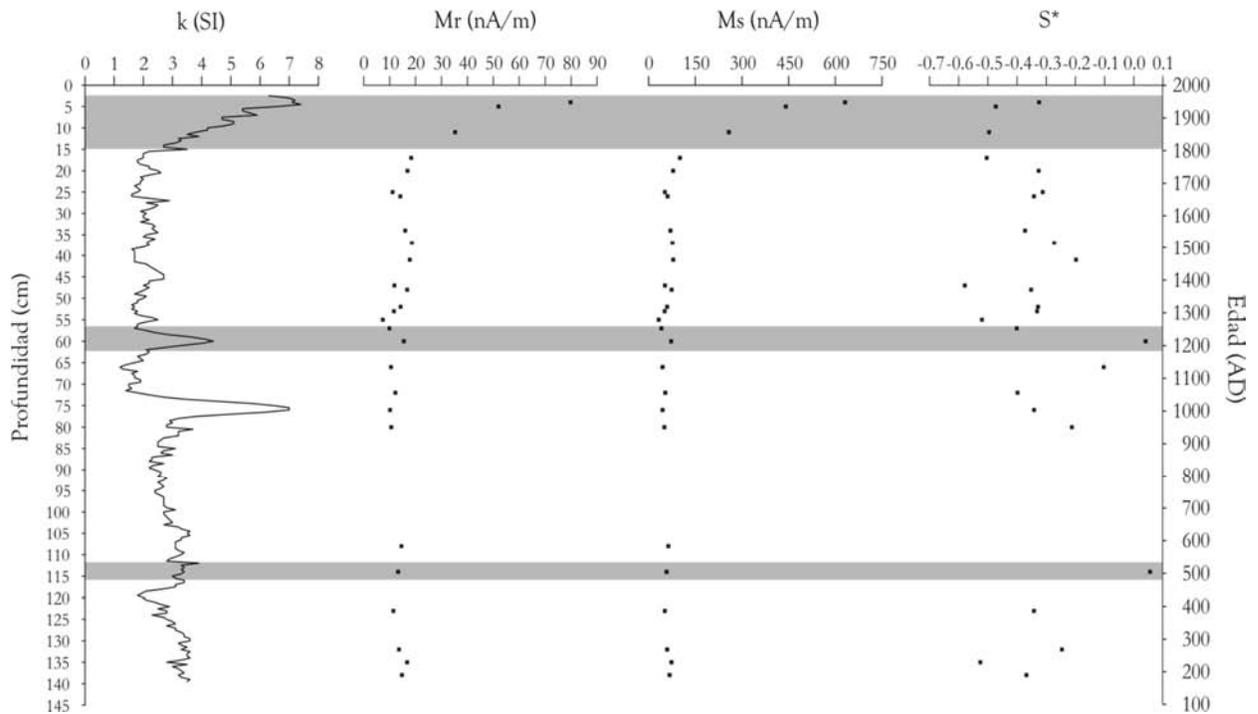


Figura 6.8. Perfil estratigráfico de Susceptibilidad magnética ( $k$ ), Magnetismo remanente ( $M_r$ ), Magnetismo de saturación ( $M_s$ ) y Factor de Paramagnéticos ( $S^*$ ), medidos en la secuencia sedimentaria K47. Las bandas indican un incremento en todos los parámetros.

Al graficar las relaciones de los parámetros de histéresis, para mostrar el estado de dominio de los minerales magnéticos, se observa que las muestras se agruparon en el campo del dominio pseudo-sencillo (PSD), sugiriendo una mezcla de minerales de dominio sencillo y múltiple, con un contenido de minerales superparamagnéticos de un 30 a un 50% (Figura 6.9), lo cual sugiere la presencia de materias ultrafinos transportados vía eólica. Además, se nota que cuatro muestras se separan del grupo principal, en donde la presencia de minerales superparamagnéticos es relativamente menor, estas muestras corresponden a intervalos de la parte superior del núcleo.

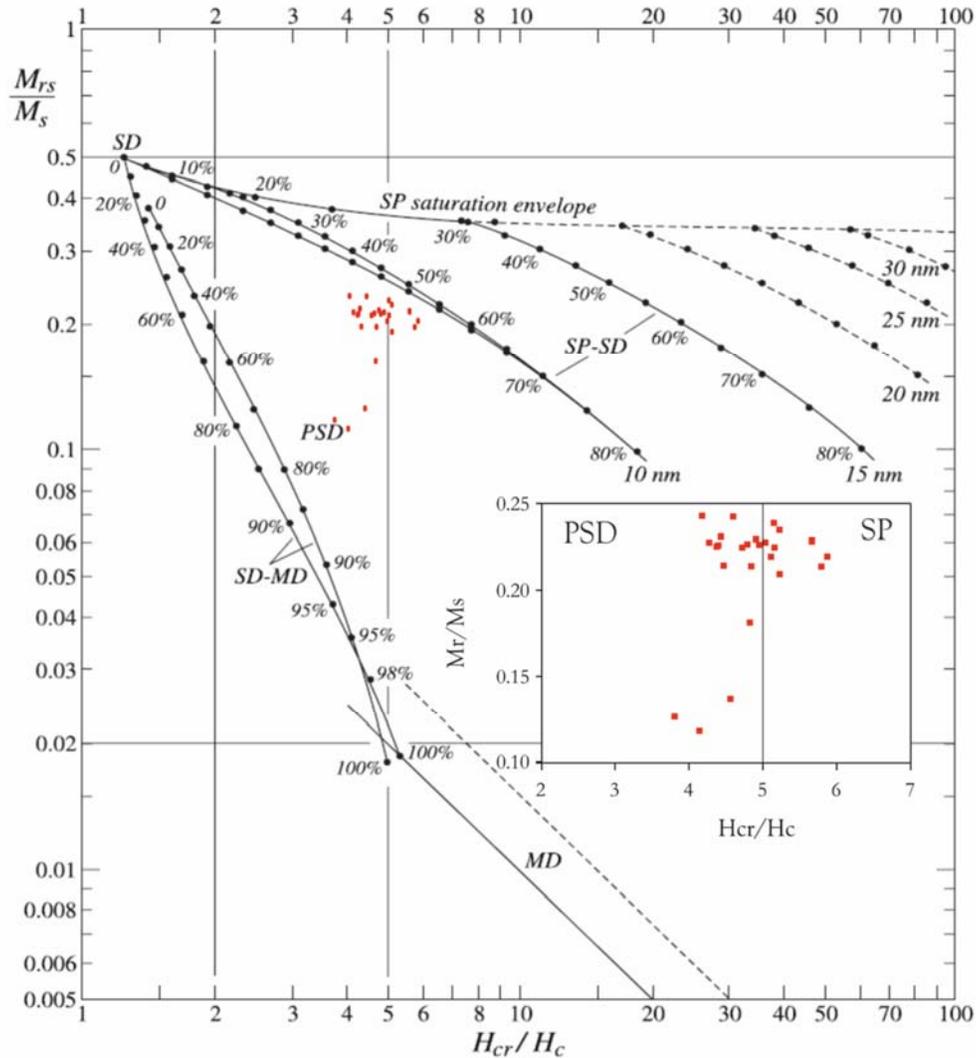


Figura 6.9. Curva Teórica de Day para la magnetita (Dunlop, 2002). En naranja se encuentran los valores obtenidos para las muestras de la secuencia sedimentaria K47. (SD: dominio sencillo, SP: superparamagnético, PSD: dominio pseudosencillo y MD: multidominio).

#### Discusión de los parámetros de histéresis analizados

El análisis de los minerales magnéticos de los sedimentos marinos de la secuencia sedimentaria K47, sugiere que los minerales magnéticos (ferrimagnéticos) presentes en los sedimentos son principalmente una mezcla de material fino con una proporción importante de material ultrafino.

Sugiriendo que el transporte de terrígenos a la cuenca es principalmente vía pluvial, con una componente eólica significativa como lo indica la proporción de minerales superparamagnéticos. Por otra parte, las fluctuaciones de la mineralogía magnética a lo largo del núcleo sugieren, las siguientes condiciones climáticas: Dos pulsos en donde las altas concentraciones de minerales y su origen de las tobas volcánicas, sugieren que el aporte de terrígenos vía pluvial hacia la Cuenca de la Paz fue significativo en los centímetros 60 y 114 (~1222 y 520 años). Por otra parte, la concentración de minerales magnéticos en el intervalo de 1850 a 2000 años sugiere una señal de minerales magnéticos transportados por el aporte terrígeno así como los formados in situ, como se explicó anteriormente.

## 6.7 ANÁLISIS DE SERIE DE TIEMPO: INFLUENCIA SOLAR EN EL REGISTRO DE SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Las series de tiempo son un conjunto de mediciones de cierto fenómeno o experimento registrado secuencialmente en el tiempo. Las series de tiempo o los eventos implícitos en ellas tienen: amplitud (valor máximo que alcanzan los datos en la serie), periodo (tiempo que tardan en repetirse los periodos iguales) y fase (forma como empieza la serie, puede ser en grados o radianes). El inverso del periodo es la frecuencia y representa el número de eventos que ocurren en un intervalo de tiempo dado. Los análisis espectrales se realizan con el objetivo de determinar si existen eventos periódicos dentro de una serie de tiempo discreta.

Se construyó una serie de tiempo con los datos de susceptibilidad magnética y con el modelo de edad previamente establecido con  $^{210}\text{Pb}$ . Como las series de datos originales de susceptibilidad magnética no presentan un intervalo de tiempo regular, se llevó a cabo una interpolación que utiliza un spline cúbico, lo que permite que la interpolación siga la tendencia de la curva original. Se definió que el intervalo de tiempo de la interpolación fuera igual a un año ( $dt=1$  año).

Con base en esta nueva serie de tiempo discreta conformada por 1818 datos se aplicó un análisis espectral con el método de la Transformada Rápida de Fourier (FFT), para obtener las frecuencias dominantes y sus periodos correspondientes (Figura 6.10).

Los límites del periodo (T) y de la frecuencia (f) se obtienen con el Teorema de muestreo de Nyquist, de la siguiente manera, considerando que el  $dt=1$  año y la longitud de la serie es 1881 años:

$$T_{\min} = dt (2\pi) = 1(2\pi) = 6.2 \text{ años}$$

$$T_{\max} = dt/2 (\text{longitud de la serie}) = \frac{1}{2} (1881) = 940.5 \text{ años}$$

Los principales armónicos encontrados en la serie de tiempo de susceptibilidad magnética interpolada, en orden de importancia se muestran en la tabla 6.7 y figura 6.10.

Tabla 6.7. Periodos encontrados en la serie de tiempo de susceptibilidad magnética.

Variable analizada	Periodos (años) encontrados
Susceptibilidad magnética (k)	454, 227, 181, 303, 100, 129, 150, 70, 90, 50 y 26

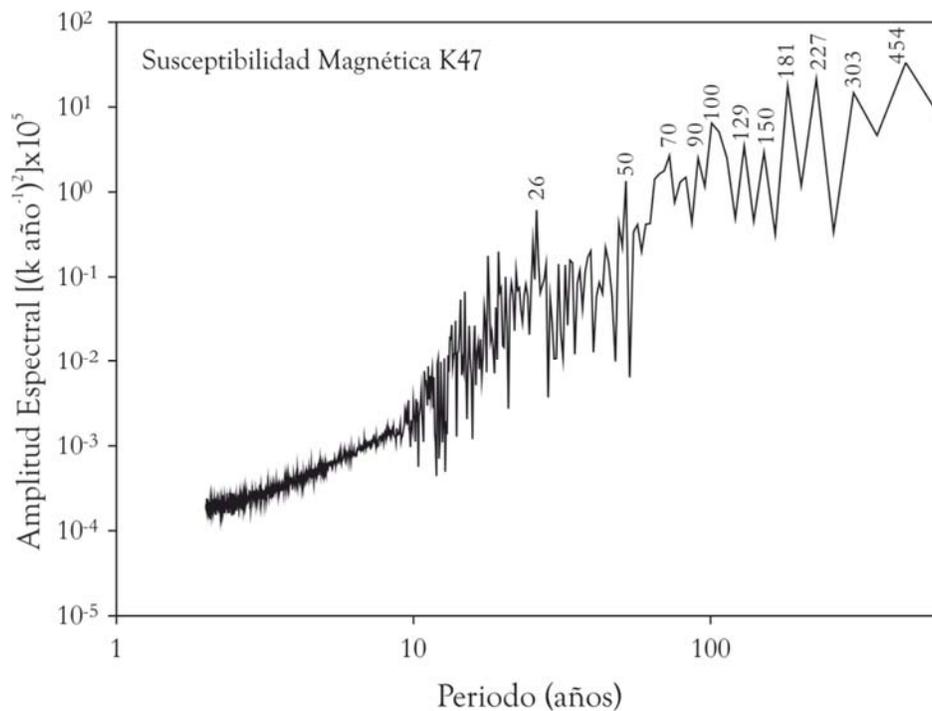


Figura 6.10. Periodograma de la serie de tiempo discreta de susceptibilidad magnética. Sobre algunos de los picos de la curva se señalan los periodos importantes obtenidos con el análisis espectral vía FFT.

## Discusión de los resultados del análisis espectral

De manera general algunas de estas oscilaciones se pueden relacionar con algunos fenómenos naturales que se presentan de manera cíclica y que pueden alterar el clima del planeta, principalmente estos fenómenos implican de manera importante la variabilidad solar (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Síntesis de algunos eventos periódicos o cíclicos menores a 500 años.

EVENTO	CARACTERÍSTICAS	PERIODICIDAD/ CICLICIDAD (AÑOS)
El Niño Oscilación Austral (ENOA)	Variabilidad interanual que 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, concentración de nutrientes y distribución de organismos (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991; Bray y Robles, 1991).	Recurrencia de 3-7.
MANCHAS SOLARES Ciclo Schwabe	El inicio de cada ciclo es marcado por la aparición de un nuevo grupo de manchas solares –con polaridad magnética opuesta al grupo anterior-, en latitudes altas del Sol, mientras el ciclo progresa, las manchas solares aparecen sucesivamente en latitudes bajas hasta 5° del ecuador solar (Herman y Goldberg, 1978; Burroughs, 2001).	11
MANCHAS SOLARES Ciclo Hale	Si se toma en cuenta las características magnéticas de las manchas solares un ciclo completo requiere dos ciclos Schwabe. La principal característica de este doble ciclo de manchas solares es el periodo en que la polaridad magnética de las manchas solares bipolares completa un ciclo de cambio (Herman y Goldberg, 1978).	22 (dos ciclos sucesivos de 11 años).
Oscilación Decadal del Pacífico (ODP)	La ODP ha sido descrita como un patrón de variación en el Océano Pacífico que presenta dos fases una cálida (aguas superficiales cálidas, periodos húmedos en la costa oeste de América) y una fría (aguas superficiales frías), sus efectos climáticos son más visibles en el Pacífico Norte (Mantúa y Hare, 2002).	20-30 50-70
(MANCHAS SOLARES) Corona solar	Eyección de masa coronal, influye en el grado de insolación. Otros estudios mencionan un ciclo de manchas solares (Goñi <i>et al.</i> , 2006).	50 (57)
MANCHAS SOLARES Ciclo Gleissberg	Está asociada con los mínimos de manchas solares conocidas como Mínimo de Maunder (1645-1715) y de Dalton (1810 -1830) (McCracken <i>et al.</i> , 2001).	80-90
Ciclo de Suess Radiación solar	Ha sido relacionado a varios fenómenos astronómicos, como el momento angular del Sol sobre su centro de masa, debido a los periodos de los cuatro planetas grandes u otros efectos orbitales (Rind, 2002). Variación en la radiación solar (Warner y Domack, 2002; Hoyt y Schatten, 1997).	180-220 ~ 400 (300)

En este estudio, los periodos de 454 y 303 años probablemente esté relacionado con un ciclo de ~400 (300) años reportado como variación en la radiación solar (Warner y Domack, 2002; Hoyt y Schatten, 1997). Los periodos de 227 y 181 años probablemente están relacionados con el Ciclo Suess 180-220 años, el cual ha sido relacionado a varios fenómenos astronómicos, como el momento angular del Sol sobre su centro de masa, debido a los periodos de los cuatro planetas grandes u otros efectos orbitales (Rind, 2002). Los periodos de 26, 50, 80 y 90 años probablemente están asociados a ciclos de manchas solares como lo son el Ciclo Hale de 22 años, radiación solar de 50-57 años y el Ciclo Gleissberg de 80-90 años. Sin embargo, el periodo de 26 años podría estar relacionado con la señal de la ODP.

En Golfo de California se han realizado algunos estudios en los que definen algunos periodos a través de análisis espectrales en diversas series de tiempo que se resumen en la tabla 6.9.

Tabla 6.9. Síntesis de periodicidades encontradas en diferentes estudios en el Golfo de California.

Autor/Cuenca de estudio	Longitud Serie de Tiempo	Variable analizada	Periodicidad encontrada	Causa
Pike y Kemp (1997) Cuenca de Guaymas	~300 años.	Abundancia anual de la diatomea <i>Thalassiothrix longissima</i>	22-24 años y 50 años	Actividad solar Variación en la circulación climática-oceánica del Pacífico Norte, que controlan cuando la CC o la CNE son más dominantes en la boca del GC.
Staines-Urías <i>et al.</i> (2009) Cuencas Alfonso y Pescadero	~400 años	Registro del $\delta^{18}\text{O}$ en testas de <i>Globigerina bulloides</i> y <i>Pulleniatina obliquiloculata</i>	25-35 años (G. <i>bulloides</i> ) 50-55 años (ambas especies)	Cambios en la TSM asociados con las fases de ODP. Asociada al ODP
Bernal-Franco (2001) Cuenca de la Paz	~7,500 años	Relación entre CO/CI (Carbono orgánico e inorgánico)	330 años	Pulsos de alta productividad
Douglas <i>et al.</i> (2002) Cuenca Alfonso	~7,200 años AP	Registro de porcentaje de carbonato	150 ± 50 años 200 ± 50 años 350 ± 50 años	Pulsos de productividad evidenciados como ciclos de disolución de carbonato.
Molina-Cruz <i>et al.</i> (2002) Cuenca Alfonso	48 años de ITC (Salinas-Zavala <i>et al.</i> , 1990)	Relaciona la serie de tiempo de ITC en La Paz con un paquete de láminas clara y oscura	11.2 años	Disminución en precipitación pluvial y en el aporte de terrígenos Ciclo Schawabe de manchas solares

Autor/Cuenca de estudio	Longitud Serie de Tiempo	Variable analizada	Periodicidad encontrada	Causa
Dean <i>et al.</i> (2004) Cuenca del Carmen	~170 años	Porcentaje de Ti	4-8 y 8-16 años 16-32 y >32 años	Depósito de terrígenos asociado a ENOA Fases de la ODP
González-Yajimovich <i>et al.</i> (2005) Cuenca Alfonso Cuenca Pescadero	~ 6,000 y 8000 años AP	Contenido de carbonatos	200 años 830 años	Cambio latitudinal en la ZCIT, producida por ciclos solares
Barron y Bukry (2007) Cuenca del Carmen	~2000 años	Abundancia relativa del silicoflagelado <i>Octactis pulchra</i> y la diatomea <i>Azpeitia nodulifera</i>	~256 años ~100 años	Variabilidad solar y Ciclo de Gleissberg

CC: Corriente de California, CNE: Corriente Nor-Ecuatorial, GC: Golfo de California, ODP: Oscilación Decadal del Pacífico, TSM: Temperatura Superficial del Mar, ITC: Índice de Transición Climática, ZCIT: Zona de Convergencia Intertropical.

Cabe destacar, que los periodos de 129 y 70 años obtenidos con el análisis espectral de la serie de tiempo de susceptibilidad magnética coinciden con la alternancia de 65 y 130 años observada en el análisis de radiolarios de la asociación del factor 2. Esta asociación describe pulsos de alta productividad en el área de estudio, debido probablemente al gradiente este-oeste que transporta aguas de las surgencias de invierno-primavera. Así mismo, los periodos de 303, 150 y 90 años pueden ser relacionados con eventos de productividad que han sido reportados para el Golfo de California (Bernal-Franco, 2001; Douglas *et al.*, 2002). En particular el periodo de 90 años podría estar relacionado con el Ciclo de Gleissberg que coincide con los mínimos de manchas solares de Maunder (1645-1715) y Dalton (1810 - 1830) (McCracken *et al.*, 2001). Estos dos mínimos de manchas solares están representados por la asociación de radiolarios del factor 3, en la cual se sugieren condiciones análogas a las de invierno-primavera, en donde la productividad en el Golfo de California se incrementa.

Estas periodicidades encontradas en la serie de susceptibilidad magnética representan eventos de alta productividad que se describen en las asociaciones de radiolarios de los factores 2 y 3, en donde las condiciones climáticas son relativamente frías.

Como se observó anteriormente, el registro de susceptibilidad magnética disminuye al haber un decremento en la actividad solar; así como, un aumento en la productividad visto por Barron *et al.* (2003) y Barron y Bukry (2007) quienes proponen que es el incremento en la intensidad de los vientos del noroeste, los que dan lugar a la alta productividad debido al desarrollo de surgencias en el margen oriental del Golfo de California. Mientras que, los periodos de 50 y 26 años podrían estar asociados con eventos de actividad solar o estar relacionados con la señal de la ODP, que han sido evidenciados en el Golfo de California (Pike y Kemp, 1997; Staines-Urías *et al.*, 2009).

## 7. CONCLUSIONES

La secuencia sedimentaria K47 de la Cuenca de la Paz presentó una estructura laminada bien definida, resultado de un aporte diferencial y una tasa de sedimentación de 0.77 mm/año. Se considera un registro natural geológico de alta resolución el cual representa aproximadamente 1800 años que van de 120 a 2001 AD.

En las 82 muestras revisadas de la secuencia sedimentaria K47, se identificaron un total de 170 taxa de radiolarios, siendo más dominantes los del orden Nassellaria, con respecto a los del orden Spumellaria. Los integrantes del orden Nassellaria presentan la capacidad de crecer y desarrollarse a grandes profundidades, por lo cual reflejan condiciones de carácter primordialmente oceánico, que concuerdan con la batimetría de la cuenca de estudio.

Mediante el Análisis de Factores modo "Q", se definieron tres asociaciones de radiolarios que explican el 77.6 % de la varianza total de los datos. A partir de las asociaciones y de la interpretación de sus afinidades ecológicas fue posible inferir diferentes escenarios oceanográficos y climáticos en una resolución multidecadal y centenaria.

La asociación de radiolarios del factor 1 sugiere una mayor incursión y persistencia del Agua Superficial Tropical al área de estudio; así como, estratificación de la columna de agua, lo que genera hundimiento de la termoclina y condiciones oligotróficas superficiales similares a las presentes en verano-otoño en el Golfo de California, durante los intervalos temporales de ~ 210 a 288, de ~ 678 a 794, de ~1378 a 1521 y de ~ 1819 a 1975 AD.

La asociación del factor 2 sugiere condiciones oceanográficas promedio de productividad en el área de estudio. Se propone que esta productividad se genera por condiciones de mezcla en la columna de agua, que da lugar a la proliferación del fitoplancton y al consecuente crecimiento de especies superficiales de radiolarios afines a aguas eutróficas. Se sugiere que al mismo tiempo que incrementa la productividad primaria, lo hace la productividad exportada, por lo que el desarrollo de radiolarios que habitan aguas subsuperficiales e intermedias también se ve favorecido. Este escenario se presenta en forma de pulsos en una alternancia de 65 y 130 años entre ~ 300 y 1400 AD.

Para la asociación del factor 3 se propone el flujo y mayor persistencia del Agua del Golfo de California al área de estudio; así como, incremento en la productividad de  $\sim 146$  a  $639$ ,  $\sim 1145$  a  $1326$ ,  $\sim 1482$  a  $1495$ ,  $\sim 1612$  a  $1703$ ,  $\sim 1729$  a  $1806$  y  $\sim 1988$  a  $2001$  AD. En particular, los intervalos de  $\sim 1612$  a  $1703$  y de  $\sim 1729$  a  $1806$  AD, corresponden con los mínimos de manchas solares conocidos como el Mínimo de Maunder (1641-1715) y el Mínimo de Dalton (1790-1825).

El registro de la susceptibilidad magnética de la secuencia de sedimentos laminados K47, refleja que la concentración de minerales magnéticos no ha sido constante a través del tiempo en la cuenca de estudio. En particular, el aumento en la concentración de minerales magnéticos en el núcleo se considera es debido al aporte de terrígenos y a la formación de minerales magnéticos *in situ*. En sentido estratigráfico se observa que la segunda mitad del núcleo presenta valores mayores de susceptibilidad magnética con respecto a la primera mitad del núcleo, lo que sugiere un incremento en el aporte de terrígenos para el periodo de  $\sim 100$  a  $1000$  AD. Así mismo, se presentan tres picos máximos en  $\sim 1050$ ,  $\sim 1222$  y de  $\sim 1800$  a  $2000$  AD, estos dos últimos picos son evidenciados también por la medición del magnetismo remanente (Mr) y del magnetismo de saturación (Ms).

La medición de susceptibilidad magnética de los últimos 200 años presenta valores altos, que podrían reflejar un mayor aporte de terrígenos hacia el área de estudio. Sin embargo, esta señal podría ser el reflejo de procesos diagenéticos que ocurren en la interfaz agua-sedimento y que dan lugar a la producción de minerales magnéticos *in situ*. Esta aseveración se basa en un estudio paralelo a esta tesis, en donde se observó que para este periodo el aporte de terrígenos vía pluvial disminuyó. Lo cual no ocurrió en el resto del núcleo, en donde la señal de la susceptibilidad magnética covaria con las señal del aporte de terrígenos.

Al comparar el registro de susceptibilidad magnética con la curva de actividad solar (producción del  $\Delta^{14}\text{C}$ ), se observa una coincidencia de los máximos (mínimos) de manchas solares con valores altos (bajos) de susceptibilidad magnética, con lo cual se sugiere que durante los eventos cálidos (fríos) de máxima (mínima) actividad solar, se tiene mayor (menor) aporte de terrígenos hacia la cuenca de estudio.

El análisis de los minerales magnéticos de los sedimentos de la secuencia K47, sugiere que los minerales magnéticos presentes en los sedimentos son principalmente una mezcla de material fino con una proporción importante de material ultrafino. Sugiriendo que el transporte de terrígenos a la cuenca es principalmente vía pluvial, con una componente eólica significativa, como lo indica la proporción de minerales superparamagnéticos. El Factor de Paramagnéticos (S\*) muestra sus valores más altos en los centímetros 60 y 114 (~1222 y 520 años), lo cual indicaría la presencia de minerales magnéticos provenientes de rocas volcánicas, probablemente transportados a la cuenca por procesos de erosión pluvial y/o escorrentías.

De los resultados del análisis espectral realizado a la serie de tiempo construida con los datos de susceptibilidad magnética, se pudieron definir periodicidades asociadas principalmente a la variabilidad de la actividad solar, como los son los ciclos de 454 y 303 años (variación en radiación solar), 227 y 181 años (Ciclo Suess), 26 años (Ciclo Hale), 50 años (variación en radiación solar y cambios en la circulación oceánica del Pacífico Norte) y 80 y 90 años (Ciclo Gleissberg). En particular el periodo de 90 años podría estar relacionado con el Ciclo de Gleissberg que coincide con los mínimos de manchas solares de Maunder (1645-1715) y Dalton (1810 -1830) (McCracken *et al.*, 2001).

La alternancia de 65 y 130 años encontrada en la asociación de radiolarios del factor 2 que refleja pulsos de alta productividad, también se registra en el análisis espectral de la serie de tiempo de susceptibilidad magnética como periodos de 70 y 129 años. Por lo que tal vez refleje algún fenómeno local, aunque aún no es clara la señal que los genera, requiriéndose mayores estudios a esta escala para determinar el mecanismo y características de estas oscilaciones. Así mismo, los periodos de 303, 150 y 90 años pueden ser relacionados con eventos de productividad que han sido reportados para el Golfo de California.

## REFERENCIAS

- Abelmann, A. y 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.
- Álvarez-Arellano, A. y A. Molina-Cruz, 1986. Aspectos paleoceanográficos cuaternarios del Golfo de California, evidenciados por conjuntos de radiolarios. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 13(2):67-94.
- Álvarez-Borrego, S. y 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*. Dauphin P. y R.T. Simoneit (eds.). American Association of Petroleum Geologist. Tulsa, Oklahoma. 555-567 pp.
- Amador-Buenrostro, A., A. Trasviña-Castro, A. Muhlia-Melo, M.L. Argote-Espinoza, 2003. Influence of EBES seamount and Farallon basin on coastal circulation in the Gulf of California, Mexico. *Geofísica International*, 42(3):407-418.
- Andeson, O.R., 1976. A cytoplasmatic fine-structure study of two Spumellarian Radiolaria and their symbionts. *Marine Micropaleontology*, 1:81-99.
- Andeson, O.R., 1977. Cytoplasmatic fine structure of Nassellaria Radiolaria. *Marine Micropaleontology*, 2:251-274.
- Anderson, O. R. 1983. Radiolaria. New York, USA: Springer-Verlag. 355 pp.
- Armstrong, H.A y M.D. Brasier, 2005. Radiozoa (Acantharia, Phaeodaria and Radiolaria). *In: Microfossils (2ª ed.)*. Blackwell Publishing. 188-199 pp.
- Arz, J.A., 2004. Radiolarios *In: Micropaleontología*. Molina E., (ed). Prensas Universitarias de Zaragoza. 273-292 pp.
- Baba, J., C.D. Peterson y H.J. Schrader, 1991. Modern fine-grained sediments in the Gulf of California. *In: Dauphin, J.P. y B. Simoneit (eds.)*. The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 47:569-587.
- Blanchet, C.L., N. Thouveny, L. Vidal, G. Leduc, K. Tachikawa, E. Bard y L. Beaufort, 2007. Terrigenous input response to glacial/interglacial climatic variations over southern Baja California: a rock magnetic approach. *Quaternary Science Reviews*, 26:3118-3133.
- Barron, J.A. y 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.
- Barron, J.A., D. Bukry y J.L. Bischoff, 2003. A 2000-yr-long record of climate from the Gulf of California. *In West, G.J., N.L. Blomquist (eds.)*. Proceedings of the 19<sup>th</sup> PACLIM Workshop, Asilomar, CA, March 3-6, 2002 Technical Report 71 of the Interagency Ecological Program for the San Francisco Estuary. 11-21 pp.

- Baumgartner, T.R., V. Ferreira-Bartrina, H. Schrader y A. Soutar, 1985. A 20 year varve record of siliceous phytoplankton variability in the central Gulf of California. *Marine Geology*, 64:113-129.
- Baumgartner, T.R., V. Ferreira-Bartrina y P. Moreno-Hentz, 1991. Varve formation in the central Gulf of California: a reconsideration of the origin of the dark laminae from the 20<sup>th</sup> century varve record. *In: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit (eds.), The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 47:617-635.
- Benson, R.N., 1966. Recent Radiolaria from the Gulf of California. Ph. D. Thesis, University of Minnesota. 577 pp.
- Benson, R.N., 2003. ([www.radiolaria.org](http://www.radiolaria.org))
- Benson, R.N., 2005. Holocene radiolaria from sediments from Gulf of California, 52 pp.
- Bernal-Franco, G.R., 2001. Registro paleoceanográfico en los sedimentos laminados de la Cuenca de la Paz, margen occidental del Bajo Golfo de California. Tesis de Doctorado (En Ciencias). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior en Ensenada. 110 pp.
- Bjørklund, K.R. y G. Cortese, 2002. Quaternary radiolarians. ([www.radiolaria.org](http://www.radiolaria.org)).
- Boltovskoy, D. y 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.* 101-132 pp.
- Boltovskoy, D. y S.S. Jankilevich, 1985. Radiolarian distribution in East equatorial Pacific plankton. *Oceanologica Acta*, 8(1):101-123.
- Boltovskoy, D. y W.R. Riedel, 1987. Polycystine Radiolaria of the California Current Region: Seasonal and Geographic patterns. *Marine Micropaleontology*, 12:65-104.
- Boltovskoy, D., 1998. Clasificación and distribution of South Atlantic recent polycystine Radiolaria. *Palaeontologia Electronica*, 1(2)  
([http://palaeo-electronica.org/1998\\_2/boltovskoy/issue2.htm](http://palaeo-electronica.org/1998_2/boltovskoy/issue2.htm)).
- Boltovskoy, D., S.A. Kling, K. Takahashi y K. Bjørklund, 2010. World Atlas of distribution of recent Polycystina (Radiolaria). *Palaeontologia Electronica*, 13(3): 18A-230.  
([http://palaeo-electronica.org/2010\\_3/215/index.html](http://palaeo-electronica.org/2010_3/215/index.html)).
- Bradley, R.S. y J.A. Eddy, 1991. *In: Houghton J.T. et al. (eds.). Climate Change: The IPCC Assessment, Cambridge University Press. EarthQuest*, 5(1).
- Burroughs, W.J., 2001. *Climate Change. Cambridge University Press. New York, U.S.A.* 275 pp.
- Calbet, A., 2008. The trophic roles of microzooplankton in marine systems. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 325-331.

- Callister, W.D., P. Molera-Solá y M.J. Anglada-Godmila, 2000. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Editorial Reverté. 416 pp.
- Caron, D.A., 2001. Protistan community structure. *In: Hurst, C.J., G.R. Knudsen, M.J. McInerney, L.D. Stetzenbach y M.V. Walter (eds.). Manual of Environmental Microbiology, Section IV, ASM Press, Washington, D.C., 378-389.*
- Carriquiry, J.D., A. Sánchez y F.B. Camacho-Ibar, 2001. Sedimentation in the northern Gulf of California after cessation of Colorado River discharge. *Sedimentary Geology, 144: 37-62.*
- Casey, R.E., 1971a. Distribution of Polycistine Radiolaria in the oceans: In relation to physical and chemical conditions. *In: Funnell, B.M. y W.R. Riedel (eds.). The micropaleontology of oceans. Cambridge University Press, 151-159.*
- Casey, R. E., 1971b. Radiolarians as indicators of past and present water-masses. *In: The micropaleontology of oceans. Funnell, B.M. y W.R. Riedel (eds.). Cambridge University Press. Cap. 23: 331-341.*
- Casey, R.E., 1977. The Ecology and Distribution of Recent Radiolaria. *In: Ramsay, A.I.S., (ed.). Oceanic Micropaleontology, 809-845, London (Academic Press).*
- Caulet, J.P., M.T. Venec-Peyré, C. Vergnaud-Grazzaini y C. Nigrini, 1992. Variation of the South Somalian upwelling during the last 160 ka; radiolarian and foraminifera records in core MD85674. *In: Summerhayes, C., W. Prell y K. Emeis (eds.) Upwelling Systems: Evolution since the Early Miocene. Geological Society of London, London, 379-389.*
- Cheshire, H., J. Thurow y A. Nederbragt, 2005. Late Quaternary climate change record from two long sediments cores from Guaymas basin, Gulf of California. *Journal of Quaternary Science, 20: 457-469.*
- Correo-Metrio A., K.R. Cabrera y M.B. Bush, 2010. Quantifying ecological change through discriminant analysis: a paleoecological example from the Peruvian Amazon. *Journal of Vegetation Science. 21:695-704.*
- Cronin, T.M., 1999. Principles of Paleoclimatology. Columbia University Press. New York. 560pp.
- Cronin, T.M., 2010. Paleoclimates: Understanding Climate Change Past and Present. New, York, Columbia University Press. 448pp.
- Crowley, T.J., 2000. Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years. *Science, 289:270-289.*
- Curray, J.R., D.G. Moore, K. Kelts y G. Einsele, 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, LXIV(2):1089-1116.*
- Dean, W., C. Pride y R. Thunell, 2004. Geochemical cycles in sediments deposited on the slopes of the Guaymas and Carmen Basins of the Gulf of California over the last 180 years. *Quaternary Science Reviews, 23:1817-1833.*

- De Wever, P., P. Dumitrica, J.P. Caulet, C. Nigrini y M. Caridroit, 2001. Radiolarians in the sedimentary Record. Gordon y Breach Science Publishers. Amsterdam. 533 pp.
- Donegan, D. y H. Schrader, 1982. Biogenic and abiogenic components of laminated hemipelagic sediments in the central Gulf of California. *Marine Geology*, 48:215-237.
- Douglas, R., O. Gónzales-Yajimovich, J. Ledesma-Vázquez, F. Staines-Urías, 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Review*, 26:115-129.
- Douglas, R.G., D. Gorsline, A. Grippo, I. Granados y O. González-Yajimovich, 2002. Holocene ocean-climate variations in Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. In: West, G.J., Buffaloe, L.D. (eds.). *Proceedings of the Eighteenth PACLIM Workshop*. Asilomar Pacific Grove C.A. 7-20 pp.
- Dunlop, D.J., 2002. Theory and application of the Day plot (Mrs/Ms versus Hcr/Hc) 1. Theoretical curves and tests using titanomagnetite data. *Journal of Geophysical Research*, 107(B3):4.14.22.
- Dworetzky, B.A y J.J. Morley, 1987. Vertical distribution of radiolaria in the Eastern Equatorial Atlantic: Analysis of a multiple series of closely-spaced plankton tows. *Marine Micropaleontology*, 12: 1-19.
- Espinosa-Carreón, T.L. y J.E. Valdez-Holguín, 2007. Variabilidad interanual de clorofila en el Golfo de California. *Ecología Aplicada*, 6:83-82.
- Fatela, F. y R. Taborda, 2000. Confidence limits of species in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45:169-174.
- Figueroa, J.M., S.G. Marinone y M.F. Lavín, 2003. A description of geostrophic gyres in the southern Gulf of California. In: Velasco-Fuentes, O.U. (ed.). *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*, 237-255. Kluwer Academic Publishers.
- Gast, R.J. y D.A. Caron, 2001. Photosymbiotic associations in planktonic foraminifera and radiolaria. *Hydrobiologia*, 461:1-7.
- Goldberg, E.D., 1963. Geochronology with  $^{210}\text{Pb}$ . Radioactive dating, Conference Proceedings, November 19-23, 1962, Athens, IAEA, Viena. 121-131.
- Gómez-Lizárraga L.E., 2008. Estudio ecológico de los radiolarios policistíneos del Holoceno Tardío en la Cuenca de la Paz, Golfo de California. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D.F. 57 pp.
- González-Yajimovich, O., R.G. Douglas y D.S. Gorsline, 2005. *Proceedings of the Geologists Association*, 116:315-330.
- Goñi, M.A., R.C. Thunell, M.P., Woodworth y F.E., Müller-Karger, 2006. Changes in wind driven upwelling during the last three centuries: Interocean teleconnections. *Geophysical Research Letters*, 33(L15604):1-4.

- Grove, J. M. 1998. *The Little Ice Age*. London, Methuen. Routledge Editors. 500 pp.
- Gubbins, D. y E. Herrera-Bevera (eds.), 2007. *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer. 1054 pp.
- Gupta, S.M., R. Mohan y M.V.S. Guptha, 2002. Radiolarian fluxes from southern Bay of Bengal: Sediment trap results. *Deep Sea Research I*, 49:1669-1688.
- Herguera, J.C., G. Bernal-Franco, A. Molina-Cruz, 2003. Decadal surface ocean variability in the lower Gulf of California: record for the past 300 years. *Geofísica Internacional*, 42:397:406.
- Herman, J.R. y R.A. Goldberg, 1978. *Sun, Weather and Climate*. Grand River Books. Michigan, U.S.A. 360 pp.
- Hernández-Contreras, R.E., 2010. Los silicoflagelados de los sedimentos laminados de la Cuenca de La Paz, Golfo de California; sus implicaciones oceanográficas y climáticas durante el Holoceno Tardío. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D.F., 66 pp.
- Hoyt, D.V. y K.H. Schatten, 1997. *The role of the sun in climate change*. Oxford University Press, USA. 279 pp.
- Ishitani, Y. y K. Takahashi, 2007. The vertical distribution of Radiolaria in the Waters surrounding Japan. *Marine Micropaleontology*, 65:113-136.
- Ishitani, Y., K. Takahashi, Y. Okasaki y S. Tanaka, 2008. Vertical and geographic distribution of selected radiolarian species in the North Pacific. *Micropaleontology*, 54(1): 27-39.
- Itaki, T., B.K. Khim y K. Ikehara, 2008a. Last glacial-Holocene water structure in the southwestern Okhotsk Sea inferred from radiolarian assemblages. *Marine Micropaleontology*, 67:191-215.
- Itaki, T., K. Minoshima y H. Kawahata, 2008b. Radiolarian flux at an IMAGES site at the western margin of the subarctic Pacific and its seasonal relationship to the Oyashio Cold and Tsugaru Warm currents. *Marine Geology*, 255:131-148.
- Kasper-Zubillaga, J.J., A. Carranza-Edwards y E. Morales de la Garza, 2007. Textural characterization of beach sands from the Gulf of California, Mexico: Implications for coastal processes and relief. *Ciencias Marinas*, 33(1): 83-94.
- Kemp, A.E.S., 1996. Laminated sediments as palaeo-indicators. *In: Kemp, A.E.S., Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments*. Geological Society of London Special Publication, 116: vii-xii.
- Kemp, A.E.S., 2003. Evidence for abrupt climate changes in annually laminated marine sediments. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 361:1851-1870.

- Kemp, A.E.S., J. Pike, R.B. Pearce y C.B. Lange, 2000. The "Fall dump". A new perspective on the role of a "shade flora" in the annual cycle of diatom production and export flux. *Deep Sea Research II*, 47:2129-2154.
- Kling, A.S, 1979. Vertical distribution of polycystine radiolarians in the central North Pacific. *Marine Micropaleontology*, 4: 295-318.
- Kling, S.A. y D. Boltovskoy, 1995. Radiolarian vertical distribution patterns across the southern California Current. *Deep Sea Research I*, 42(2): 191-231.
- Kling, S.A., 1978. Siliceous microfossils. In: *Introduction to Marine Micropaleontology*. Haq, B. V. y A. Boersma (eds.). New York, U.S.A. Elsevier. 203-244 pp.
- Lange, C.B., A.L. Weinheimer, F.M.H. Reid y R.T.C. Thunell, 1997. Sedimentation patterns of diatoms, radiolarians and silicoflagellates in Santa Barbara Basin, California. *CalCOFI Rep.*, 38:161-170.
- Lavín, M.F. y 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. 173 - 204 pp.
- 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, 141-171 pp.
- Lavín, M.F., R. Castro, E. Beier, V.M. Godínez, A. Amador y P. Guest, 2009. SST, thermohaline structure, and circulation in the southern Gulf of California in June 2004 during the North American Monsoon Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 114:1-22.
- Lazarus, D., 2005. A brief review of radiolarian research. *Paläontologische Zeitschrift*, 79(1):183-200.
- Lazarus, D., B. Bittniok, L. Diester-Haass, P. Meyers y K. Billups, 2006. Comparison of radiolarian and sedimentologic paleoproductivity proxies in the latest Miocene–Recent Benguela Upwelling System. *Marine Micropaleontology*, 60:269–294.
- Lazarus D., B. Bittniok, L. Diester-Haass, K. Billups, Y. Ogawa, K. Takahashi y P. Meyers, 2008. Radiolarian and sedimentologic paleoproductivity proxies in late Pleistocene sediments of the Benguela Upwelling System, ODP Site 1084. *Marine Micropaleontology*, 68:223–235.
- Maher, B.A., 2007. Environmental magnetism and climate change. *Contemporary Physics*. 48(5): 247-274.
- Mann, M.E., R.S. Bradley y M.K. Hughes, 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 392:779-787.
- Mann, M.E., Z. Zhang, S. Rutherford, R.S. Bradley, M.K. Hughes, D. Shindell, C. Ammann, G. Faluvegi y F. Ni, 2009. Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326:1256-1260.

- Mantúa N.J. y S.R. Hare, 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography*, 58: 35-44.
- Matsuoka, A., 2007. Living radiolarian feeding mechanisms: new light on past marine ecosystems. *Swiss Journal of geoscience*, 100: 273-279.
- McCracken, K.G., G.A.M. Dreschhoff, D.F. Smart y M.A. Shea. Solar cosmic ray events for the period 1561-1994., 2001. The Gleissberg periodicity. *Journal of Geophysical Research*, 106 (A10): 21,599-21,609.
- Molina-Cruz, A. y 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., 1982. Radiolarians in the Gulf of California. In: Curray, J.R., D.G. Moore *et al.* (eds.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 64. U.S. Government Printing Office, Washington D.C. LXIV, Parte 2:983-1002.
- Molina-Cruz, A., 1984. Radiolaria as indicators of upwelling processes: The Peruvian connection. *Marine Micropaleontology*, 9(1):53-75.
- 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. y 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.
- Molina-Cruz, A., L. Pérez-Cruz, M.A. Monreal-Gómez, 2002. Laminated sediments in the Bay of La Paz, Gulf of California: a depositional cycle regulated by pluvial flux. *Sedimentology*, 49:1401-410.
- Monreal-Gómez, A., Molina-Cruz, A. y Salas-de-León, D.A. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Journal of Marine Systems*, 30:305-315.
- Munsell, 1995. Developed by the Rock Color Chart Committee: E.N. Goddard, Charmain, U.S. Geological Survey; Parker D. Trask. The Geological Society of America; Ronald K. De Ford, American Association of Petroleum Geologist; Olaf N. Rove, Society of Economic Geologist; y Joseph T. Singewald, Jr. and R.M. Overbeck, Association of American Geologist.
- Nava-Sánchez E.H., D.S. Gorsline y A. Molina-Cruz, 2001. The Baja California peninsula borderland: structural and sedimentological characteristics. *Sedimentary Geology*, 144:63-82.
- Nigrini, C. y J.P. Caulet, 1992. Late Neogene radiolarian assemblages characteristic of Indo-Pacific areas of upwelling. *Micropaleontology*, 38(2):139-164.

- Nunn, P., 2007. Climate, Environment and Society in the Pacific during the last millennium. *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 6. ELSEVIER. London, UK. 302 pp.
- Okasaki, Y., K. Takahashi, T. Itaki y Y. Kawasaki, 2004. Comparison of radiolarian vertical distributions in the Okhotsk Sea near the Kuril Islands and in the northwestern North Pacific off Hokkaido Islands. *Marine Micropaleontology*, 51:257-284.
- Pegau, W.S., E. Boss, A. Martínez, 2002. Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters*, 29(9):1-3.
- Pérez-Cruz, L., 2006. Climate and ocean variability during middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, Mexico. *Quaternary Research*, 65:401-410.
- Pérez-Cruz, L. y Gómez-Lizárraga, L.E., 2009. High Resolution Paleoceanographic and Paleoclimatic Study of La Paz Basin, Gulf of California - Medieval Warm Period and Little Ice Age Records in the Eastern Equatorial Pacific. American Geophysical Union, Fall Meeting, PP41B-1507.
- Pérez-Cruz L. y Urrutía-Fucugauchi, 2009. Magnetic mineral study of Holocene marine sediments from the Alfonso Basin, Gulf of California -implications for depositional environment and sediment sources. *Geofísica Internacional*, 48(3):305-318.
- Pérez-Cruz L. y Urrutía Fucugauchi, 2010, Holocene laminated sediments from the southern Gulf of California: geochemical, mineral magnetic and microfósil study. *Journal of Quaternary Science*, ISSN 0267-8179.
- Pérez-Cruz, L. y J.C. Herguera-García. Génesis de los sedimentos laminados en el Golfo de California: Implicaciones climáticas y oceanográficas. *In: Estudios sobre el Cuaternario. Fondo de Cultura Económico (en prensa).*
- Pérez-Cruz, L. y J. Urrutía-Fucugauchi (en prensa). Analysis of early effects on magnetic properties in laminated sediments from Southern Gulf of California. *Advances in Geosciences. European Geosciences Union.*
- Pérez-Cruz, L., G.E., Villagrán-de-la-Cruz y L.E. Gómez-Lizárraga, 2009. Radiolarios en los sedimentos marinos del Cuaternario Tardío del Golfo California: Paleoceanografía y Paleoclimatología. *En: Monografías del Instituto de Geofísica, Gogichaisvilli, A. (ed.). UNAM, 15:72pp.*
- Petrushevskaya, M.G., 1971a. Spumellarian and Nassellarian Radiolaria in the plankton and bottom sediments of the Central Pacific. *In: Funell, B.M. y W.R. Riedel (eds.). The micropaleontology of oceans. Cambridge University Press, 309-317.*
- Petrushevskaya, M.G., 1971b. Radiolaria in the plankton and recent sediments from the Indian Ocean and Antarctic. *In: Funell, B.M. y W.R. Riedel (eds.). The micropaleontology of oceans. Cambridge University Press, 319-329.*
- Pike, J. y A.E.S. Kemp, 1996. Records of Seasonal flux in Holocene laminated sediments, Gulf of California, *In: Kemp, A.E.S. (ed.). Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments. Geological Society of London Special Publication, 116:157-169.*

- Pike, J. y A.E.S. Kemp, 1997. Early Holocene decadal-scale ocean variability recorded in Gulf of California laminated sediments. *Paleoceanography*, 12 (2):227-238.
- Pisias, N.G., 1986. Vertical water circulation and the distribution of Radiolaria in surface sediments of the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 10:189-205.
- Pride, C., R. Thunell, D. Sigman, L. Keigwin, M. Altabet y E. Tappa, 1999. Nitrogen isotopic variations in the Gulf of California since the last deglaciation: Response to global climate change. *Paleoceanography*, 14: 397-409.
- Rind, D., 2002. The Sun`s Role in Climate Variations. *Science*, 296:673-677.
- Rogers, J. y P. De Deckker, 2007. Radiolaria as a reflection of environmental conditions in the eastern and southern sectors of the Indian Ocean: a new statistical approach. *Marine Micropaleontology*, 65:137-162.
- Romine, K. y T.C. Moore Jr., 1981. Radiolarian assemblage distributions and paleoceanography of the eastern equatorial pacific ocean during the last 127,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 35:281-314.
- Sancetta, C., 1995. Diatoms in the Gulf of California: Seasonal flux patterns and the sediment record for the last 15,000 years. *Paleoceanography*, 10:67-84.
- Sancetta, C., 1996. Laminated diatomaceous sediments: controls on formation and strategies for analysis. In: Kemp, A.E.S. (ed.). *Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments*. Geological Society of London Special Publication, 116:17-21.
- Santamaría-del-Ángel, E., S. Álvarez-Borrego y F.E. Müller-Karger, 1994. The 1982-1984 El Niño in the Gulf of California as seen in coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 94(C4):7423-7431.
- Staines-Urías, F., Douglas, R.G. y Gorsline, D.S., 2009. Oceanographic variability in the southern Gulf of California over the past 400 years: Evidence from faunal and isotopic records from planktic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 284: 337-354.
- Stuvier, M., P.J. Reimer, E. Bard, J.W. Beck, G.S. Burr, K.A. Hughen, B. Kromer, F.G. McCormac, J.V.D. Plicht y M. Spurk, 1998. INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40:1041-1083.
- Swanberg, N.R y D.A. Caron, 1991. Patterns of sarcodine feeding in epipelagic oceanic plankton. *Journal of Plankton Research*, 13(2):287-312.
- Tanaka, S. y Takahashi, K., 2008. Detailed vertical distribution of radiolarian assemblage (0-3000 m, fifteen layers) in the central subarctic Pacific, June 2006. *Memories of the Faculty of Sciences, Kyushu University, Series D, Earth and Planetary Sciences*, 32:49-72.
- Takahashi, K y 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., 1987. Radiolarian Flux and seasonality: Climatic and El Niño response in the Subarctic Pacific, 1982-1984. *Global Biogeochemical Cycles*, 1(3):213-231.
- Takahashi, K., 1997. Time series fluxes of Radiolaria in the eastern subarctic Pacific Ocean. (10): 299-309.
- Thunell, R.C., C. Pride, P. Ziveri, F. Muller-Karger, C. Sancetta y D. Murray, 1996. Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *Journal of Plankton Research*, 18(11): 2017-2026.
- Thunell, R.C., 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Research*, IVV: 2059-2083.
- Trasviña-Castro, A., G. Gutierrez de Valasco, A. Valle Levinson, R. González Armas, A. Muhlia y M.A. Cosio, 2003. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57:149-162.
- van Andel, Tj.H., 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California. *In: van Andel, Tj.H. y G.G. Shor (eds.). Marine Geology of the Gulf of California: American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 3:216-310.
- Wanner H., J. Beer, J. Bütikofer, T. J. Crowley, U. Cubasch, J. Flückiger, H. Goosse, M. Grosjean, F. Joos, J. O. Kaplan, M. Küttel, S. A. Müller, I. C. Prentice, O. Solomina, T. F. Stocker, P. Tarasov, M. Wagner y M. Widmann, 2008. Mid to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1791-1828
- Warner, N.R. y E.W. Domack, 2002. Millennial- to decadal-scale paleoenvironmental change during the Holocene in the Palmer Deep, Antarctica, as recorded by particle size analysis. *Paleoceanography*, 17(3):5-1-5-10.
- Weinheimer, A.L., 2001. Radiolarians from Northern Cape Basin, Site 1082. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. Wefer G., W.H. Berger y C. Richter (eds.). College Station, TX (Ocean Drilling Program), 175:16pp.
- Welling, L.A. y N.G. Pisias, 1998. Radiolarian fluxes, stocks and population residence times in surface waters of the central equatorial Pacific. *Deep-Sea Research I*, 45:639-671.
- Welling, L.A., N.G. Pisias, E.S. Johnson y J.R. White, 1996. Distribution of polycystine radiolaria and their relation to the physical environment during the 1992 El Niño and following cold event. *Deep-Sea Research II*, 43:1413-1434.
- Welling, L.A., N.G. Pisias y A.K. Roelofs, 1992. Radiolarian microfauna in the northern California Current System: indicators of multiples processes controlling productivity. *In: Summerhayes C.P., W.L., Prell y K.C., Emeis (eds.). Upwelling Systems: Evolution since Early Miocene, Special Publication, Geological Society of London*, 64:177-195.
- Yamashita, H., K. Takahashi y N. Fujitani, 2002. Zonal and vertical distribution of radiolarians in the western and central Ecuatorial Pacific in January 1999. *Deep-Sea Research II*, 49, 2823-2862.

## ANEXO 1.

### LISTADO FAUNÍSTICO DE RADIOLARIOS POLYCYSTINOS IDENTIFICADOS EN LA SECUENCIA SEDIMENTARIA K7, CUENCA DE LA PAZ

**REINO PROTISTA** Haeckel, 1868

**PHYLUM SARCODINA** Hertwig y Lesser, 1876

**CLASE ACTINOPODA** Calkins, 1909

**SUBCLASE RADIOLARIA** Müller, 1958

**SUPERORDEN POLYCYSTINA** Ehrenberg, 1838 enmend. Riedel, 1967

#### **ORDEN SPUMELLARIA** Ehrenberg, 1875 enmend. De Wever *et al.*, 2001

ID	ESPECIE/TAXÓN	REFERENCIA
*1	<i>Acanthosphaera actinota</i> Haeckel, 1860	(4) Lám. 1, fig. 12
2	<i>Acanthosphaera dodecastyla</i> (Mast) 1910	(3) Fig. 15.26
3	<i>Acanthosphaera pinchuda</i> Boltovskoy y Riedel 1980	(3) Fig. 15.28
4	<i>Acrosphaera murrayana</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 2, fig. 3
5	<i>Actinomma antarcticum</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 3, figs. 2-3
6	<i>Actinomma boreale</i> Cleve, 1899	(1) Lám. 5, figs. 7-9
7	<i>Actinomma delicatulum</i> (Dogiel y Reschetnjak) 1952	(1) Lám. 5, figs. 3-4
8	<i>Actinomma leptoderma</i> (Jorgensen) 1900	(1) Lám. 5, fig. 6
9	<i>Actinomma leptoderma longispina</i> Cortese y Björklund, 1998	(2) Lám. VS-R 136b
10	<i>Actinomma medianum</i> Nigrini, 1967	(1) Lám. 2, fig. 14; Lám. 3 fig. 1
11	<i>Actinomma sol</i> Cleve, 1901	(1) Lám. 2, figs. 12-13
12	<i>Actinomma</i> sp. Benson, 2003	(1) Lám. 5 fig. 5
13	<i>Actinosphaera acanthophora</i> (Popofsky) 1912	(1) Lám. 2, figs. 8-10
14	<i>Amphirhopalum ypsilon</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 11, figs. 5-7
*15	<i>Amphitholus acanthometra</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 17, figs. 4-7
16	<i>Anomalacantha dentata</i> (Mast) 1910	(1) Lám. 5, figs. 10-11
17	<i>Cenosphaera</i> sp. aff. <i>C. perforata</i> Haeckel, Benson, 1966	(1) Lám. 2, figs. 6-7
18	<i>Cenosphaera</i> sp. Benson, 2003	(1) Lám. 2, fig. 11
19	<i>Circodiscus microporus</i> (Stöhr) 1880	(1) Lám. 9, figs. 7-8; Lám. 10, fig. 1
20	<i>Cladococcus abietinus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 6, figs. 2-3
21	<i>Cladococcus cervicornis</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 6, fig. 1
22	<i>Collosphaera</i> sp. Benson, 2003	(1) Lám. 2, figs. 1-2
23	<i>Cubotholus octoceras</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 17, fig. 8
24	<i>Cypassis irregularis</i> Nigrini, 1968	(1) Lám. 8, figs. 6-7
25	<i>Dictycoryne profunda</i> Ehrenberg, 1860	(1) Lám. 12, figs. 4-6
26	<i>Dictycoryne truncatum</i> (Ehrenberg) 1861	(1) Lám. 15, fig. 1
*27	<i>Didymocytis tetrathalamus</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 8, figs. 8-13; Lám. 9, figs. 1-2
28	<i>Dipylissa bensoni</i> Dumitrică, 1988	(1) Lám. 18, figs. 9-10
*29	<i>Drupptractus irregularis</i> Popofsky, 1912	(1) Lám. 7, figs. 7-11
*30	<i>Drupptractus variabilis</i> Dumitrică, 1973	(1) Lám. 7, figs. 2-6
31	<i>Euchitonia elegans/furcata</i> grupo Boltovskoy, 1998	(1) Lám. 14, figs. 1-2
32	<i>Euchitonia</i> sp. Benson, 1983	(1) Lám. 14, figs. 3-4
*33	<i>Euchitonia</i> sp. cf. <i>E. furcata</i> Benson, 1966	(1) Lám. 13, fig. 4-5
34	<i>Euchitonia triangulum</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 12, fig. 7; Lám. 13, figs. 1-3
35	<i>Heliodiscus asteriscus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 9, fig. 3
36	<i>Heliodiscus echiniscus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 9, fig. 4
*37	<i>Heliosphaera radiata</i> Popofsky, 1912	(1) Lám. 5, figs. 1-2
38	<i>Hexacontium arachnoidale</i> Hollande y Endumet, 1960	(1) Lám. 14, figs. 6-7
39	<i>Hexacontium laevigatum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 4, figs. 4-5
40	<i>Hexacontium melpomene</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 3, figs. 8-11
*41	<i>Hexacontium</i> sp. cf. <i>H. gigantbeum</i> Benson, 2003	(1) Lám. 3, figs. 13-14; Lám. 4, figs. 1-3
42	<i>Hexacontium</i> sp. cf. <i>H. heracliti</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 4, figs. 8-10

LISTADO FAUNÍSTICO (CONTINUACIÓN)

ID	ESPECIE/TAXÓN	REFERENCIA
*43	<i>Hexapyle dodecantha</i> grupo Haeckel, 1887	(1) Lám. 8, figs. 14-16; Lám. 19, fig. 4; Lám. 18, figs. 11-13
*44	<i>Hexastylus triaxonius</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 3, figs. 6-7
45	<i>Hymeniastrum euclidis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 12, figs. 1-3
*46	<i>Larcopele buetschlii</i> grupo Dreyer, 1889	(1) Lám. 19, figs. 3, 5; Lám. 19, figs. 1-2
*47	<i>Larcospira minor</i> (Jørgensen) 1900	(1) Lám. 17, figs. 9-10; Lám. 18, figs. 1-4
48	<i>Larcospira quadrangula</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 18, figs. 7-8
*49	<i>Larcospira</i> sp. Bjørklund et al., 1998	(1) Lám. 18, figs. 5-6
50	<i>Octopyle stenozona</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 16, figs. 3-4
*51	<i>Phortidium pylonium</i> grupo Haeckel, 1887	(1) Lám. 16, figs. 5-9; Lám. 17, figs. 1-3
52	<i>Pylonium</i> sp. Benson, 1966	(1) Lám. 16, fig. 2
53	<i>Sphaerozoum punctatum</i> Müller, 1858	(1) Lám. 19, figs. 12-13
54	<i>Spongaster tetras</i> Ehrenberg, 1860	(1) Lám. 15, fig. 2
55	<i>Spongocore puella</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 8, figs. 1-3
56	<i>Spongodiscus biconcavus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 11, fig. 1
*57	<i>Spongodiscus resurgens</i> Ehrenberg, 1854	(3) Fig. 15.64
58	<i>Spongopyle osculosa</i> Dreyer 1889	(1) Lám. 11, figs. 2-3
*59	<i>Spongosphaera streptacantha</i> Haeckel, 1861	(1) Lám. 6, fig. 4; Lám. 7, fig. 1
60	<i>Spongotrochus glacialis</i> Popofsky, 1908	(1) Lám. 11, fig. 4
61	<i>Streblacantha circumtexta</i> Jørgensen, 1900	(4) Lám. 1, fig. 8
62	<i>Styloclamydium asteriscus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 10, fig. 6
*63	<i>Styloclamydium venustum</i> (Bailey) 1856	(1) Lám. 10, figs. 2, 4, 7
64	<i>Stylodictya tenuispina</i> Jørgensen, 1905	(1) Lám. 10, figs. 3, 5
65	<i>Stylodictya validispina</i> Jørgensen, 1905	(1) Lám. 9, figs. 5-6
*66	<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo Müller, 1858	(1) Lám. 15, figs. 3-10; Lám. 16, fig. 1
<b>ORDEN NASELLARIA</b> Ehrenberg, 1875 enmend. De Wever <i>et al.</i> , 2001		
*67	<i>Acanthodesmia vinculata</i> (Müller) 1858	(1) Lám. 21, figs. 6-8
*68	<i>Acrobotrys cribosa</i> (Popofsky) 1913	(1) Lám. 23, fig. 15
*69	<i>Acrobotrys teralans</i> Renz, 1976	(1) Lám. 23, figs. 13-14
70	<i>Amphiplecta acrostoma</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 32, fig. 2
71	<i>Amphiplecta</i> sp. Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 32, fig. 1
72	<i>Anthocyrtdium opbirensense</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 32, figs. 6-9
*73	<i>Anthocyrtdium zanguebaricum</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 32, figs. 3-5
*74	<i>Arachnocorallium calvata</i> Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 23, fig. 27; Lám. 24, figs. 1-3
*75	<i>Arachnocorys umbellifera</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 24, figs. 20-21
76	<i>Artopilium undulatum</i> Popofsky, 1913	(1) Lám. 34, figs. 1-2
77	<i>Artostrobos annulatus</i> (Bailey, 1856)	(3) Fig. 15.125
78	<i>Botryocytis quinaria</i> (?) Ehrenberg, 1872	(1) Lám. 23, fig. 17
*79	<i>Botryocytis scutum</i> (Harting) 1863	(1) Lám. 23, fig. 16
80	<i>Botryostrobos aquilonaris</i> (Bailey) 1856	(1) Lám. 35, figs. 18-20
*81	<i>Botryostrobos auritus-australis</i> grupo Nigrini, 1977	(1) Lám. 35, figs. 12-13
82	<i>Callimitra emmae</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 25, fig. 12
83	<i>Calocyclus monumentum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 31, figs. 2-3
84	<i>Campylacantha cladophora</i> Jørgensen, 1905	(5) Lám. 12, fig. 47
85	<i>Carpocanarium papillosum</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 29, fig. 13
86	<i>Carpocanistrum</i> sp. A (Nigrini) 1970	(1) Lám. 29, figs. 11-12
87	<i>Carpocanistrum</i> spp. (Nigrini) 1970	(1) Lám. 29, figs. 9-10
88	<i>Ceratocytis histicosus</i> (Jørgensen) 1905	(1) Lám. 31, figs. 4-5, 7-8
89	<i>Ceratospyrus</i> sp. cf. <i>C. borealis</i> Benson, 1983	(1) Lám. 21, figs. 9-10
*90	<i>Cladoscenium</i> sp. cf. <i>C. tricolpium</i> Benson, 1966	(1) Lám. 25, figs. 10-11
91	<i>Clathrocanium coarctatum</i> Ehrenberg, 1860	(1) Lám. 26, figs. 1-2

LISTADO FAUNÍSTICO (CONTINUACIÓN)

ID	ESPECIE/TAXÓN	REFERENCIA
*92	<i>Clathrocircus stapedius</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 21, figs. 11-13; Lám. 22, figs. 1-2
*93	<i>Clathrocorys murrayi</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 25, figs. 13-15
*94	<i>Coracalyptra cervus</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 30, figs. 3-5
*95	<i>Coracalyptra kruegeri</i> Popofsky, 1913	(3) Fig. 15.136
*96	<i>Cornutella profunda</i> Ehrenberg, 1854	(1) Lám. 29, figs. 7-8
*97	<i>Cycladophora davisiana</i> Ehrenberg, 1862	(1) Lám. 29, figs. 14-16
98	<i>Cyrtopera laguncula</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 35, figs. 3-4
*99	<i>Dictyophimus histicosus</i> Jørgensen, 1905	(1) Lám. 31, fig. 6
*100	<i>Dictyophimus keillmari</i> (Renz) 1974	(1) Lám. 29, fig. 7
101	<i>Dictyophimus</i> sp. cf. <i>D. tripus</i> Benson, 1966	(1) Lám. 25, figs. 2-3
102	<i>Eucecryphalus clinatus</i> Takahashi, 1991	(1) Lám. 30, figs. 6-7
103	<i>Eucyrtidium annulatum</i> (Popofsky) 1913	(1) Lám. 34, figs. 13-14
104	<i>Eucyrtidium anomalum</i> Haeckel, 1861	(1) Lám. 34, figs. 4-5
*105	<i>Eucyrtidium erythromystax</i> Nigrini y Caulet, 1992	(1) Lám. 34, figs. 10-12
*106	<i>Eucyrtidium hexagonatum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 34, figs. 6-9
*107	<i>Eucyrtidium hexastichum</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 34, figs. 15-16
*108	<i>Lamprocyclus maritalis</i> grupo Haeckel, 1887	(1) Lám. 32, figs. 10-12; Lám. 33, fig. 1
*109	<i>Lamprocyrtis nigrinae</i> (Caulet) 1971	(1) Lám. 33, figs. 2-3
110	<i>Lampromitra cracenta</i> Takahashi, 1991	(1) Lám. 30, figs. 9-10
*111	<i>Lampromitra quadricuspis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 30, fig. 11; Lám. 31, fig. 1
112	<i>Lipmanella bombus</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 28, fig. 11
113	<i>Lipmanella dictyoceras</i> (Haeckel) 1861	(1) Lám. 28, figs. 8-10
114	<i>Liriospyris reticulata</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 20, figs. 2-7
115	<i>Litharachnium tentorium</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 29, figs. 5-6
116	<i>Lithomelissa laticeps</i> Jørgensen, 1905	(1) Lám. 24, figs. 14-15
*117	<i>Lithomelissa pentacantha</i> (Popofsky) 1913	(1) Lám. 24, figs. 6-9
*118	<i>Lithomelissa setosa</i> Jørgensen, 1900	(2) Lám. vs-r 192
*119	<i>Lithomelissa thoracites</i> Haeckel, 1862	(1) Lám. 24, figs. 10-12
120	<i>Lithostrobis hexagonalis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 35, figs. 1-2
121	<i>Lophocorys polyacantha</i> Popofsky, 1913	(1) Lám. 34, fig. 3
*122	<i>Lophophaena butschlii</i> Haeckel, 1887	(3) Fig. 15.108
*123	<i>Lophophaena hispida</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 24, fig. 19
*124	<i>Lophophaena nadezdae</i> Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 24, figs. 16-17
125	<i>Lophophaena witzjüi</i> Petrushevskaya, 1971	(1) Lám. 24, figs. 22-23; Lám. 25, fig. 1
126	<i>Lophospyris pentagona hyperborea</i> (Jørgensen)	(1) Lám. 22, figs. 17-18
*127	<i>Lophospyris pentagona pentagona</i> (Ehrenberg)	(1) Lám. 22, figs. 15-16
128	<i>Lophospyris pentagona quadriiformis</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 22, figs. 19-21
129	<i>Neosemantis distephanus distephanus</i> Goll, 1979	(1) Lám. 19, fig. 18; Lám. 20, fig. 1
*130	<i>Peridium longispinum</i> Jørgensen, 1900	(4) Lám. 12, fig. 5
*131	<i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i> Benson, 1966	(1) Lám. 24, figs. 4-5
*132	<i>Peromelissa palacra</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 24, fig. 13
*133	<i>Phormacantha hystrix</i> (Jørgensen) 1900	(1) Lám. 23, figs. 24-26
134	<i>Phormospyris</i> sp. Benson, 2003	(1) Lám. 22, fig. 22; Lám. 23, figs. 1-2
*135	<i>Phormospyris</i> sp. cf. <i>P. ophirensis</i> Ehrenberg, 1872	(1) Lám. 22, figs. 11-14
*136	<i>Phormospyris stabilis capoi</i> Goll, 1976	(1) Lám. 23, figs. 3-5
*137	<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 22, figs. 7-10
*138	<i>Phormospyris stabilis stabilis</i> Goll, 1976	(1) Lám. 23, figs. 6-8
*139	<i>Phormostichoartus corbula</i> (Harting) 1863	(1) Lám. 35, figs. 5-8
140	<i>Plectacantha</i> sp. Benson, 1966	(1) Lám. 23, figs. 21-23

LISTADO FAUNÍSTICO (CONTINUACIÓN)

ID	ESPECIE/TAXÓN	REFERENCIA
*141	<i>Pseudocubus obeliscus</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 22, figs. 3-6
*142	<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i> (Bailey) 1856	(1) Lám. 25, figs. 4-6
*143	<i>Pseudodictyophimus platycephalus</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 25, figs. 7-9
*144	<i>Pterocanium auritum</i> Nigrini y Caulet, 1992	(1) Lám. 26, figs. 5-6
145	<i>Pterocanium elegans</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 27, figs. 1-2
146	<i>Pterocanium praetextum eucolpum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 27, figs. 3-5
147	<i>Pterocanium praetextum praetextum</i> (Ehrenberg, 1872)	(1) Lám. 27, fig. 6; Lám. 28, fig. 1
148	<i>Pterocanium trilobum</i> (Haeckel) 1861	(1) Lám. 27, fig. 4; Lám. 28, figs. 2-3
149	<i>Pterocorys clausus</i> (Popofsky) 1913	(1) Lám. 33, fig. 4
150	<i>Pterocorys bertwigii</i> (Haeckel) 1887	(1) Lám. 33, figs. 6-7
*151	<i>Pterocorys minythorax</i> (Nigrini) 1968	(1) Lám. 33, fig. 5
152	<i>Sethoconus anthocyrtris</i> Haeckel, 1887	(3) Fig. 15.150
153	<i>Sethophormis aurelia</i> Haeckel, 1881	(3) Fig. 15.121
154	<i>Sethophormis rotula</i> Haeckel, 1881	(3) Fig. 15.124
155	<i>Siphocampe arachnea</i> (Ehrenberg, 1838)	(3) Fig. 15.167
156	<i>Siphocampe lineata</i> (Ehrenberg) 1838	(1) Lám. 35, figs. 10-11
*157	<i>Siphocampe</i> sp. (Benson) 1966	(1) Lám. 35, fig. 9
*158	<i>Spirocyrtris scalaris</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 35, figs. 15-17
*159	<i>Stichocorys seriata</i> Jørgensen, 1905	(1) Lám. 35, fig. 14
160	<i>Stichopilium bicorne</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 29, figs. 1- 2
*161	<i>Theocorys veneris</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 33, figs.12-1 3
162	<i>Theocorythium trachelium trachelium</i> (Ehrenberg) 1872	(1) Lám. 33, figs. 8-9
*163	<i>Theopilium tricostatum</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 30, figs.1-2
164	<i>Tholospyrus baconiana baconiana</i> Goll, 1972	(1) Lám. 23, figs. 10-12
165	<i>Tholospyrus devexa</i> Goll, 1969	(1) Lám. 20, figs. 13-14; Lám. 21, figs. 1-4
*166	<i>Tholospyrus procera</i> Goll, 1969	(1) Lám. 20, figs. 8-12
*167	<i>Tholospyrus rhombus</i> Goll, 1972	(1) Lám. 19, figs. 16-17
*168	<i>Trisulcus triacanthus</i> Popofsky, 1913	(3) Fig. 15.106
169	<i>Verticillata hexacantha</i> Popofsky, 1913	(1) Lám. 26, fig. 3
*170	<i>Zygocircus productus capulosus</i> Goll, 1979	(1) Lám. 19, figs. 14-15

Nota: A cada especie/taxón se le asignó un número de identificación. Los números en paréntesis indican autor(es) de las referencias consultadas: 1) Benson, 1966, 2) Benson, 2003, 3) Boltovskoy 1998 y 4) Boltovskoy y Jankilevich, 1985. El asterisco indica los taxa utilizados en el Análisis de Factores modo "Q".

**ANEXO 2.**  
**FACTOR LOADINGS.**

Edad (AD)	Profundidad (cm)	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Edad (AD)	Profundidad (cm)	Factor 1	Factor 2	Factor 3	
2001	0	0.49110	0.36174	<b>0.61572</b>	1261	57	0.49917	0.46272	0.56023	
1988	1	0.47568	0.34666	<b>0.62868</b>	1222	60	0.53785	0.28876	<b>0.68118</b>	
1975	2	<b>0.61042</b>	0.25627	0.56320	1184	63	0.50869	0.38028	<b>0.64608</b>	
1962	3	<b>0.67501</b>	0.27121	0.47860	1158	65	0.54769	0.58103	0.14352	
1949	4	<b>0.85343</b>	0.29057	0.25110	1145	66	0.41556	0.39711	<b>0.61795</b>	
1936	5	0.40836	0.30758	<b>0.73536</b>	1106	69	0.43214	0.52091	0.54375	
1923	6	0.55848	0.29493	<b>0.63053</b>	1093	70	0.58140	<b>0.69495</b>	0.09200	
1910	7	<b>0.75490</b>	0.11749	0.39394	1067	72	0.59197	0.39575	0.52260	
1884	9	0.52989	0.37209	<b>0.64402</b>	1028	75	0.58035	0.35659	<b>0.63883</b>	
1871	10	<b>0.66114</b>	0.43819	0.44063	989	78	<b>0.57021</b>	0.42393	0.55716	
1858	11	<b>0.67867</b>	0.27270	0.56386	963	80	0.27705	<b>0.81425</b>	0.26137	
1845	12	<b>0.61956</b>	0.40073	0.47497	911	84	0.56419	0.41116	0.52839	
1832	13	<b>0.62923</b>	0.28130	0.58164	898	85	0.59131	<b>0.69993</b>	0.15603	
1819	14	<b>0.69179</b>	0.29184	0.58248	872	87	0.59378	0.51632	0.41465	
1806	15	0.38660	0.49412	<b>0.64664</b>	833	90	0.26472	0.08105	0.54502	
1767	18	0.22324	0.23161	<b>0.82776</b>	794	93	0.58361	0.57725	0.23578	
1741	20	0.51723	0.46724	<b>0.61112</b>	768	95	0.20588	<b>0.62968</b>	0.42195	
1729	21	0.44777	0.38556	<b>0.61157</b>	755	96	<b>0.73229</b>	0.28716	0.43196	
1716	22	<b>0.63015</b>	0.31022	0.57102	716	99	<b>0.75820</b>	0.36224	0.28849	
1703	23	0.59763	0.32010	<b>0.60181</b>	703	100	0.47096	<b>0.72428</b>	0.26628	
1690	24	0.57163	0.31206	<b>0.67769</b>	678	102	<b>0.70694</b>	0.44140	0.41170	
1677	25	0.47011	0.31931	<b>0.69583</b>	639	105	0.31590	0.46854	0.56290	
1651	27	0.30918	0.22921	<b>0.77939</b>	600	108	0.49645	0.27553	<b>0.70493</b>	
1612	30	0.38639	0.17172	<b>0.80966</b>	574	110	0.21234	<b>0.80384</b>	0.41042	
1573	33	<b>0.64019</b>	0.29307	0.48712	561	111	0.46812	0.42354	<b>0.67860</b>	
1547	35	0.44352	0.47956	0.28944	522	114	0.43028	0.39683	<b>0.67004</b>	
1534	36	0.31474	0.31080	<b>0.76982</b>	509	115	0.21197	<b>0.75274</b>	0.42873	
1521	37	<b>0.64304</b>	0.44460	0.51318	483	117	<b>0.60444</b>	0.44104	0.48699	
1508	38	<b>0.64914</b>	0.41348	0.41470	444	120	0.38676	0.35513	<b>0.72028</b>	
1495	39	0.33126	0.45637	<b>0.67938</b>	405	123	0.42113	0.33152	<b>0.65509</b>	
1482	40	0.03186	0.46854	<b>0.68392</b>	379	125	0.27305	<b>0.72427</b>	0.41220	
1456	42	<b>0.70579</b>	0.39006	0.44542	366	126	0.52255	0.43726	0.50258	
1417	45	0.18492	0.34704	<b>0.76487</b>	327	129	0.57232	0.19903	<b>0.62069</b>	
1391	47	<b>0.79775</b>	0.36637	0.18677	314	130	0.25830	<b>0.73520</b>	0.42299	
1378	48	<b>0.66647</b>	0.52460	0.40873	288	132	<b>0.69581</b>	0.23728	0.56214	
1352	50	0.44382	<b>0.66781</b>	0.33380	249	135	0.53846	0.28663	<b>0.66959</b>	
1339	51	0.54251	0.42889	0.54417	210	138	<b>0.74934</b>	0.26793	0.41460	
1326	52	0.30788	0.47789	<b>0.63592</b>	184	140	0.47995	<b>0.60811</b>	0.16634	
1313	53	<b>0.62462</b>	0.33192	0.39981	172	141	0.26832	0.41546	<b>0.67348</b>	
1300	54	0.26675	0.59746	0.54595	146	143	0.55085	0.33450	<b>0.68348</b>	
1287	55	0.59661	0.53875	0.39337	120	144	0.17426	0.57299	0.47864	
							Expl.Var	22.82767	16.22872	24.58014
							Prp.Totl	0.27839	0.19791	0.29976

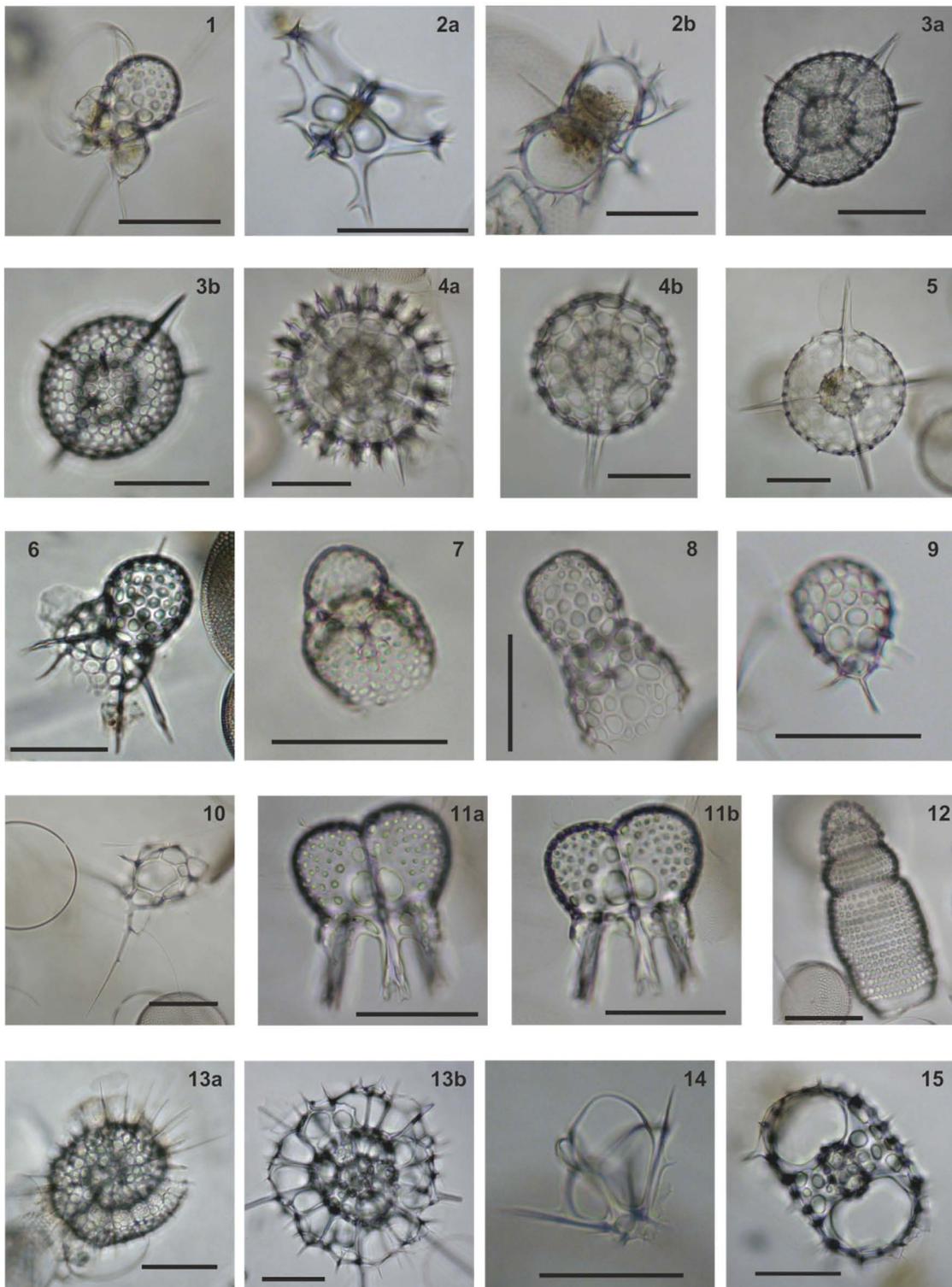
En negritas se indican los *factor loadings*  $\geq 0.6$

**ANEXO 3.**  
**FACTOR SCORES.**

Taxón	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Taxón	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>Acanthosphaera actinota</i>	-0.59150	-0.13585	-0.62425	<i>Lophosphaera nadezdae</i>	-0.42067	0.39567	0.01899
<i>Druppatractus irregularis</i>	-0.62772	<b>1.44636</b>	0.18774	<i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i>	-0.25172	-0.41771	0.75951
<i>Druppatractus variabilis</i>	0.97527	<b>1.49126</b>	-0.96464	<i>Peridium longispinum</i>	-0.01780	-1.19175	<b>2.35440</b>
<i>Heliosphaera radiata</i>	0.04630	-0.58617	-0.56992	<i>Peromelissa phalacra</i>	-0.49206	-0.18269	-0.24971
<i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i>	<b>1.41067</b>	-0.17382	-0.47293	<i>Phormacantha hystrix</i>	-1.32845	<b>1.99048</b>	0.03385
<i>Hexastylus triaxonius</i>	0.03079	-0.61435	-0.67469	<i>Pseudocubus obeliscus</i>	-1.33545	<b>1.76906</b>	0.64033
<i>Spongosphaera streptacantha</i>	-0.25865	-0.67147	-0.01794	<i>Trisulus triacanthus</i>	-0.11758	-1.04202	0.56032
<i>Didymocyrtis tetrathalamus</i>	0.53943	-0.53147	-0.38893	<i>Anthocyrtidium zanguebaricum</i>	-0.09980	0.02502	-0.74518
<i>Larcopele butschlii</i> grupo	0.57656	-0.40664	0.14794	<i>Lamprocyclus maritalis</i> grupo	-0.20447	-0.47072	-0.54540
<i>Larospira minor</i>	-0.39167	-0.07350	-0.69619	<i>Lamprocyrtis nigriinae</i>	0.16108	0.25462	-0.36227
<i>Larospira</i> sp.	-0.37638	0.00795	-0.67542	<i>Pterocorys minyborax</i>	-0.08400	-0.32872	-0.03874
<i>Hexapyle dodecantha</i> grupo	0.29777	-0.04055	-0.69374	<i>Acanthodesmia vinculata</i>	0.24582	-0.54361	-0.65576
<i>Phorticum pylonium</i> grupo	<b>4.66344</b>	<b>3.14628</b>	-1.03957	<i>Clathrocircus stapedius</i>	0.06922	<b>3.73300</b>	0.95183
<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo	<b>5.41155</b>	-0.79821	-1.06117	<i>Lophospyris pentagona pentagona</i>	0.13841	-0.46203	-0.13430
<i>Euchitonina</i> sp. cf. <i>E. furcata</i>	0.06306	-0.46808	-0.64651	<i>Phormospyris</i> sp. cf. <i>P. ophirensis</i>	0.61372	-1.79720	0.91663
<i>Spongodiscus resurgens</i>	0.05390	-0.93757	-0.53374	<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	-0.72610	<b>1.87808</b>	0.18636
<i>Stylochlamyidium venustum</i>	0.75356	-0.47707	-0.49238	<i>Phormospyris stabilis capoi</i>	-0.52742	-0.07403	-0.57581
<i>Amphibolus acanthometra</i>	0.04629	-0.83011	-0.58840	<i>Phormospyris stabilis stabilis</i>	-0.28801	-0.15356	-0.20846
<i>Botryostrobos auritus-australis</i> grupo	-0.69621	0.45678	-0.11765	<i>Tholospyris procera</i>	-0.81065	0.17738	-0.66365
<i>Phormostichoartus corbula</i>	0.09290	<b>1.13698</b>	0.72228	<i>Tholospyris rhombus</i>	-0.57226	-0.11266	-0.32483
<i>Siphocampe</i> sp.	-0.44168	-0.54141	-0.45575	<i>Zygocircus productus capulosus</i>	-0.36036	-0.78479	0.15910
<i>Spiroclytus scalaris</i>	-0.65623	0.51404	-0.39420	<i>Coracalyptra cervus</i>	0.31565	0.04790	0.02209
<i>Stichocorys seriata</i>	-0.49751	-0.04255	-0.31960	<i>Coracalyptra kruegeri</i>	-0.43683	-0.68709	-0.19874
<i>Acrobotrys cribosa</i>	-0.63347	-0.03450	0.01965	<i>Cornutella profunda</i>	-0.18763	-0.22889	-0.27483
<i>Acrobotrys teralans</i>	-0.25709	0.14463	-0.05742	<i>Cycladophora davisiana</i>	-0.55830	-0.13366	-0.52703
<i>Botryoclytus scutum</i>	-0.29522	-0.11176	-0.53448	<i>Dictyophimus bistricosus</i>	-0.44479	-0.05567	-0.45708
<i>Arachnocorallium cavata</i>	<b>1.12179</b>	0.32357	<b>5.89151</b>	<i>Dictyophimus killmari</i>	-0.66910	-0.23476	-0.20507
<i>Arachnocorys umbellifera</i>	-0.24267	-0.58028	-0.23038	<i>Encyrtidium erythromystax</i>	-0.31986	-0.34434	-0.12107
<i>Cladoscenium</i> sp. cf. <i>C. tricolpium</i>	-0.43792	-0.22382	-0.09621	<i>Encyrtidium hexagonatum</i>	0.55479	-0.08719	0.36045
<i>Clathrocorys murrayi</i>	-0.32888	-0.40031	-0.40514	<i>Encyrtidium hexastichum</i>	-0.43454	0.46372	-0.35778
<i>Lampromitra quadricuspis</i>	-0.38659	-0.09283	-0.15403	<i>Litharacnium tentorium</i>	-0.27521	-0.42549	-0.46678
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	-0.82665	<b>2.17962</b>	0.38534	<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i>	-0.09742	-0.34622	0.22374
<i>Lithomelissa setosa</i>	<b>1.11577</b>	-2.56266	<b>2.64484</b>	<i>Pseudodictyophimus platycephalus</i>	-0.11811	-0.54101	0.98555
<i>Lithomelissa thoracites</i>	0.19902	<b>1.66595</b>	<b>2.50771</b>	<i>Pterocanium auritum</i>	0.30111	-0.48445	-0.37032
<i>Lophosphaera butschlii</i>	-0.14120	-1.21149	0.35709	<i>Theocorys veneris</i>	-0.50950	-0.03707	0.09873
<i>Lophosphaera hispida</i>	-0.12934	0.15722	-0.16699	<i>Theopilium tricostatum</i>	0.10684	0.30822	-0.58091

En negritas se indican los factor scores  $\geq 1$

LÁMINA 1. Radiolarios que caracterizan las tres asociaciones definidas en este estudio.



1) *Arachnocorallium calvata*, 2) *Clathrocircus stapedius*, 3) *Drupptractus irregularis*, 4) *Drupptractus variabilis*, 5) *Hexacontium* sp. cf. *H. giganteum*, 6) *Lithomelissa pentacantha*, 7) *Lithomelissa setosa*, 8) *Lithomelissa thoracites*, 9) *Peridium longispinum*, 10) *Phormacantha hystrix*, 11) *Phormospyris stabilis scaphipes*, 12) *Phormostichoartus corbula*, 13) *Phortidium pylonium* grupo, 14) *Pseudocubus obeliscus*, 15) *Tetrapyle octacantha* grupo. Barra= 50  $\mu$ m