



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Radiolarios de la Cuenca del Carmen y su relación con las condiciones oceanográficas durante el Holoceno Tardío

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

ANGEL EMMANUEL FRANCO TORRES



DIRECTORA DE TESIS:

Dra. LIGIA L. PÉREZ CRUZ

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

<p>1.- Datos del Alumno Apellido paterno Apellido materno Nombre(s) Teléfono Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Carrera Numero de cuenta</p>	<p>1.- Datos del Alumno Franco Torres Angel Emmanuel 56 44 65 52 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 30232951-7</p>
<p>2.- Datos del Tutor Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>2.- Datos del Tutor Dra. Ligia Lucina Pérez Cruz</p>
<p>3.- Datos del Sinodal 1 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>3.- Datos del Sinodal 1 Dra. María Adela Monreal Gómez</p>
<p>4.- Datos del Sinodal 2 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>4.- Datos del Sinodal 2 Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi</p>
<p>5.- Datos del Sinodal 3 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>5.- Datos del Sinodal 3 Dr. David Alberto Salas De León</p>
<p>6.- Datos del Sinodal 4 Grado Nombre(s) Apellido paterno Apellido materno</p>	<p>6.- Datos del Sinodal 4 Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy</p>
<p>7.- Datos del Trabajo escrito Título Subtítulo Numero de paginas Año</p>	<p>7.- Datos del Trabajo escrito Radiolarios de la Cuenca del Carmen y su relación con las condiciones oceanográficas durante el Holoceno Tardío. 88pp. 2010</p>

Gracias a la vida...

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

A la Dra. Ligia Pérez, por la excelente dirección del presente trabajo de tesis, por su infinita paciencia, dedicación y entrega para la finalización de este escrito. Gracias por los comentarios académicos y personales que ahora forman parte de mi vida, gracias por su gran cariño, confianza y amistad incondicional.

Al comité revisor de esta tesis:

A la Dra. María Adela Monreal Gómez, por sus oportunas y acertadas correcciones a este escrito.

Al Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi, por sus valiosos comentarios para mejorar la tesis, así como por permitirme utilizar las instalaciones y el equipo de la Nucleoteca II del Programa Universitario de Perforaciones en Océanos y Continentes.

Al Dr. David Alberto Salas de León, por la detallada revisión a la tesis y sus acertadas sugerencias que permitieron enriquecer la interpretación de los resultados de este trabajo.

Al Dr. Priyadarsi Debajyoti Roy, por su entusiasmo en la revisión de este trabajo y sus valiosas sugerencias al mismo.

A aquellos profesores de la Facultad de Ciencias, de la UNAM, que me motivaron a adentrarme en el campo de la Biología, y por sembrar el gusto por el conocimiento científico.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Nacional Autónoma de México, que me ha brindado la oportunidad de desarrollarme académica y personalmente.

Este trabajo de tesis de licenciatura se desarrolló dentro del marco de los siguientes proyectos de investigación: DGAPA-UNAM (PAPIIT IN 115206 y PAPIIT IN107709) y CONACyT (81288)

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Deseo externar mi más sincero agradecimiento a Mis padres, gracias por su confianza, amor y apoyo brindado durante esta magnífica etapa de mi vida, los amo.

A mi hermano Jeffrey, por sus consejos y apoyo incondicional.

A mis abuelos, tíos, primos y sobrinos que desde siempre me han impulsado a seguir adelante en mis estudios, gracias por creer en mí.

A mis amigos de toda la vida, Gloria Valerio, Gallegos Francisco, Itzel Galván, Eder Antuñano y Rosario Gutiérrez, gracias por tan bellos recuerdos a su lado, por las enseñanzas de vida, por la sinceridad de su amistad y por el continuo crecimiento de la misma.

A mis amigos y compañeros Biólogos de la Facultad de Ciencias, Alan López, Laura Ortega, Andrés González, Diana Castañeda, Paulina Heredia, Oscar Sánchez, Johana Deciga, Daniela Díaz, Gloria Sarraga, Ulises Bautista, Ernesto Garfías, Alejandro García, Beatriz González María Cauich, Paola Flores, Samantha García, Arturo Roldan, Carolina Fuentes y demás personajes importantes de la Facultad que comparten el gusto por esta maravillosa carrera y que compartieron conmigo un semaforonte de su vida, fue un magnifico tiempo a su lado y siempre será un gusto encontrarme de nuevo con ustedes.

A Rocío Torres, una mujer muy especial en mi vida, que ha caminado junto a mí de principio a fin durante la realización de este trabajo. Gracias amor, por tu paciencia, confianza y ánimo continuo.

A los amigos y compañeros de la Nulceoteca II, Marysol, Malena, Paty, Gladys, Laura, Daniela, Ricardo, Rafael, Edgar, Alejandra, Hugo y Manuel, quienes comparten el gusto por la oceanografía y la climatología del pasado. Espero esta tesis les sea de utilidad y sea un ejemplo de entrega y perseverancia, gracias por su apoyo sincero y oportuno.

ÍNDICE

Resumen	
Introducción	1
Objetivos	3
Generales	
Particulares	
Antecedentes	4
Biología de los Radiolarios polycystinos	
Morfología celular	14
Estructura	16
Alimentación	18
Movilidad	18
Reproducción	19
Sistemática	19
Ecología y Biogeografía	23
Origen y Evolución	25
Bioestratigrafía	26
Condiciones de preservación	26
Aplicaciones en paleoceanografía	28
Marco Oceanográfico del área de estudio	
Características generales	29
Climatología	29
Circulación	31
Circulación Temohalina	32
Masas de Agua	33
Productividad	36
Sedimentos	37
Batimetría	39
Historia Climática del Holoceno Tardío	42
Materiales y Métodos	
Muestreo a bordo	45
Descripción de la secuencia sedimentaria	45
Marco Cronológico	45
Muestreo en laboratorio	46
Preparación de las muestras	46
Identificación taxonómica	47
Análisis estadísticos	47
Resultados y Discusión	
Descripción de la secuencia sedimentaria	49
Modelo de edad	50
Análisis de Factores	50
Interpretación Paleoceanográfica	50
Tratamiento matemático	59
Conclusiones	63
Literatura Consultada	65
Anexos	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxa predominantes del Golfo de California, se muestra el puntaje de los taxa definidos por Benson, 1966.	4
Tabla 2. Taxa predominantes en el sur del Golfo de California, se muestra su puntaje (Benson, 1966).	5
Tabla 3. Abundancias relativas de los radiolarios dominantes en los sedimentos superficiales del Golfo de California (Benson, 1966). Se muestran los porcentajes promedio de las especies por estación y el número de estaciones en las que estuvo presente el taxón (Benson, 1983).	6
Tabla 4. Taxa predominantes para cada factor de acuerdo con el análisis de factores modo “Q” (Molina-Cruz, 1986).	7
Tabla 5. Asociaciones de radiolarios en sedimentos varvados superficiales en el Golfo de California (Pisias, 1986).	8
Tabla 6. Distribución de radiolarios en la columna de agua para las cuencas del Carmen, Guaymas y Pescadero en el Golfo de California (Molina-Cruz <i>et al.</i> 1999).	10
Tabla 7. Factores que caracterizaron la Cuenca Alfonso, se muestran las especies que definen cada factor (Pérez-Cruz, 2006).	11
Tabla 8. Análisis de componentes principales en la Cuenca del Carmen. Especies representativas de cada componente (Villagrán de la Cruz <i>et al.</i> 2008).	12
Tabla 9. Principales masas de agua en la zona de la boca del Golfo de California según Lavín <i>et al.</i> (2009) se muestran sus propiedades y su distribución en la Columna de agua.	35
Tabla 10. Factores definidos en el análisis de Factores, se muestran los “eigenvalues” o valores propios y la varianza total de cada factor.	50
Tabla 11. <i>Factor loadings</i> calculados en el Factor 1.	61

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema celular de un corte transversal de un radiolario. se muestran los principales componentes del endoplasma y del ectoplasma (Tomado de De Wever *et al.* 2001). 15
- Figura 2. Diferentes tipos de tecas de los radiolarios polycystinos.
a) Pared con entramado grueso, se observan los marcos poligonales. b, c y d) Tecas con entramado de distinto grosor con distinto arreglo y tamaño de los poros.
e) teca esponjosa (Tomado de De Wever *et al.* 2001). 17
- Figura 3. Diferentes tipos de espinas, mostrando corte horizontal
a) Espina homogénea circular. b) Espina con surcos restringidos a la base. c) Espina con surcos distribuidos en toda la longitud de la espina. d) Espina trirradiada (Tomado de De Wever *et al.* 2001). 17
- Figura 4. Esquema de un esqueleto de un Spumellaria (Tomado De Wever *et al.* 2001). 21
- Figura 5. Espícula inicial. MB= barra media, A= espina apical, D= espina dorsal, V= espina ventral, LL= espinas laterales primarias, ll= espinas laterales secundarias Ax= espina axial, a= apófisis apical, p= apófisis pectoral (Tomado de De Wever *et al.* 2001). 21
- Figura 6. Esquema de un Nassellario. Se aprecia el arreglo de la espícula en el céfalis (Modificado de Dolven *et al.* 2009). 22
- Figura 7. Esquema que muestra las provincias biogeográficas más conspicuas de los radiolarios en el océano mundial (Modificado de Boltovskoy y Pujana, 2008). 24
- Figura 8. Diversidad relativa de Radiolarios, para los ordenes Spumellaria y Nasellaria, comparado con otros grupos planctónicos. a) Spumellaria. b) Nassellaria. c) Dinoflagelados y d) Diatomeas; el grosor de las barras indica la diversidad de especies (Modificado de Anderson, 1983). 25
- Figura 9. Esquema de los principales mecanismos de distorsión del registro planctónico en el proceso de sedimentación y fosilización (Tomado de Boltovskoy y Pujana, 2008). 27
- Figura 10. Regiones y batimetría en el Golfo de California, según Lavín *et al.* (1997). Se muestran las distintas profundidades en metros y los nombres de las principales cuencas (Modificado de Lavín y Marinone, 2003). 41

Figura 11. Ubicación de la Cuenca del Carmen en el Golfo de California e imagen de la secuencia sedimentaria K58.	49
Figura 12. A) Esquema de La secuencia sedimentaria K58. B) Representación esquemática de la secuencia K58, se muestra la estructura laminada. C y D) Representación en sentido estratigráfico de los <i>factor loadings</i> de los factores 1 y 2 (se muestran las especies asociadas a cada uno). E) Comunalidades de dos factores.	51
Figura 13. “Factor scores” de las especies asociadas al Factor 1 “Divergencias”.	52
Figura 14. Posible escenario oceanográfico figurado para el periodo definido por el Factor 1 “Divergencias”, se muestra la distribución en profundidad de las especies asociadas al factor.	55
Figura 15. “Factor scores” de las especies asociadas al Factor 2 “Estratificación”.	56
Figura 16. Posible escenario oceanográfico figurado para el periodo definido por el Factor 2 “Estratificación”, se muestra la distribución en profundidad de las especies asociadas al factor.	58
Figura 17. <i>Factor loadings</i> observados vs. <i>Factor loadings</i> calculados en el Factor 1.	62

RESUMEN

El presente estudio decadal, presenta una reconstrucción de las condiciones oceanográficas y climáticas de los últimos 263 años en la Cuenca del Carmen (Sur del Golfo de California), a través de la interpretación de las asociaciones de radiolarios polycystinos en una secuencia de sedimentos laminados (varvas) de 31 cm de longitud, la cual se colectó a una profundidad de 710 m en el año 2006 al occidente de la Cuenca del Carmen a bordo del B/O “EL PUMA”.

La datación de la secuencia K58 se realizó en 13 muestras superficiales, mediante el método radiométrico de ^{210}Pb , a partir de éste, se estimó una tasa de sedimentación de 1.14 mm/año.

Teniendo como base algunos estudios previos realizados con radiolarios polycystinos en el sur del Golfo de California, este estudio comprendió la identificación de 37 taxa de radiolarios polycystinos (orden Nassellaria y Spumellaria) en los 31 cm de la secuencia K58.

A través de un Análisis de Factores modo “Q”, se definieron 2 factores o asociaciones de radiolarios, los cuales en conjunto explican el 89.37% de la variabilidad total de los datos. Con base en las afinidades ecológicas de las especies asociadas a los factores, se infieren dos escenarios oceanográficos en el área de estudio para los últimos 263 años.

El primer escenario oceanográfico (Factor 1) fue denominado “Divergencias”, comprende dos periodos, de 1740 a 1801 A.D. y de 1915 a 2003 A.D., estuvo definido por las especies *Arachnocorallium calvata*, *Clathrocircus stapedius* y *Lithomelissa pentacantha*. Las afinidades ecológicas de estas especies sugieren condiciones homogéneas en la capa superficial del mar debido probablemente a los procesos internos de mezcla y circulación en la región de estudio, mismos que resultaron de una mayor intensidad de los vientos invernales provenientes del Noroeste.

El segundo escenario oceanográfico (Factor 2) denominado “Estratificación” comprende el periodo de 1810 a 1915 A.D. y estuvo definido por las especies *Tetrapyle octacantha* (grupo), *Phortidium pylonium* (grupo), *Druppatractus irregularis* y *Druppatractus variabilis*; las afinidades ecológicas de estos taxa figuran un escenario oceánico estratificado, debido quizá a una lenta circulación en el área de estudio.

En particular, la gran abundancia de *T. octacantha* en el factor 2 sugiere una gran ocurrencia de una masa de agua cálida superficial y oligotrófica similar al Agua Tropical Superficial (ATS) en el mismo periodo definido por el factor, éste proceso se relaciona con una intensificación de los fenómenos de “El Niño”.

En el Factor 1 se encontró una ciclicidad en los datos observados y calculados referida a los cambios climática del área de estudio, ésta sugiere una relación con ciclos seculares de la variabilidad solar.

INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como propósito fundamental realizar la reconstrucción oceanográfica de los últimos 263 años de la Cuenca del Carmen, en el Golfo de California, a partir de la interpretación de las asociaciones de un grupo de protistas holoplanctónicos que se caracterizan por poseer complejas y diversas estructuras silíceas: los radiolarios polycystinos. En la primera parte de este trabajo se hace referencia a la biología de estos organismos, con énfasis en su aplicación como *proxies* oceanográficos y climáticos, ya que son una herramienta muy útil en las reconstrucciones paleoceanográficas y paleoclimáticas; así como también, en estudios bioestratigráficos, debido a su amplia distribución geográfica en todos los océanos del mundo y a su gran abundancia a partir del Cámbrico (Kling, 1978; Armstrong y Brasier, 2005). Cabe destacar que se distribuyen en todas las profundidades de la columna de agua; sin embargo, cada especie se restringe a cierta profundidad, dada su afinidad a distintos parámetros ambientales, como: temperatura, salinidad, oxígeno, nutrientes, etc. (Kling y Boltovskoy, 1995; Molina-Cruz *et al.* 1999; Pérez-Cruz, 2006). Al concluir su ciclo de vida, sus esqueletos de sílice opalino se acumulan en los sedimentos, proporcionando así, un registro natural de las variaciones oceánicas y climáticas del momento en que vivieron (Molina-Cruz *et al.* 1999; Armstrong y Brasier, 2005; Pérez-Cruz, 2006).

En los antecedentes, se incluye una revisión cuidadosa de los trabajos realizados con radiolarios en sedimentos y en la columna de agua del sur del Golfo de California, y se hace una síntesis de las especies y asociaciones que han sido reportadas como características del golfo, ya sea por su abundancia o significado ecológico y/o bioestratigráfico. Este grupo de especies de radiolarios polycystinos son la base de la interpretación de este estudio.

Asimismo, se hace una breve revisión de las características de la cuenca del Golfo de California la cual, por su localización geográfica y su comunicación directa con el Océano Pacífico, hace que los sedimentos del piso oceánico, no sólo conformen un registro de la variabilidad climática/oceánica en una escala local sino también, registran los cambios ocurridos a nivel regional.

Particularmente, se han realizado estudios paleoceanográficos y paleoclimáticos con sedimentos laminados de aporte diferencial estacional/anual (varvas) en las cuencas centrales y de la región sur del golfo como: Guaymas, Carmen y Pescadero (Molina-Cruz *et al.* 1999; Dean *et al.* 2004; Cheshire *et al.* 2005; Barron y Bukry, 2007; Pérez-Cruz *et al.* 2009). Específicamente, la secuencia estudiada se localiza en el talud de la parte occidental de la Cuenca del Carmen y está conformada por sedimentos laminados hemipelágicos. Las láminas oscuras están compuestas principalmente de sedimentos terrígenos, los cuales se depositan principalmente vía pluvial y/o eólica y, las láminas claras están constituidas principalmente de sílice biogénico (fundamentalmente diatomeas), resultado de la alta productividad en las aguas superficiales (Pérez-Cruz, com. pers.).

Dentro de este contexto, se llevó a cabo el estudio de los radiolarios presentes en los sedimentos laminados de la Cuenca del Carmen y a partir de la aplicación de un análisis estadístico multivariado (Análisis de Factores Modo “Q”) se determinaron dos escenarios paleoceanográficos. En el primer escenario oceanográfico se sugieren condiciones homogéneas en la capa superficial del mar, debido quizá a una intensificación de los procesos internos de mezcla y circulación de la región de estudio.

En el segundo escenario oceanográfico, se proponen condiciones oceánicas estratificadas, las cuales probablemente son el resultado de una lenta circulación en el área de estudio, además de una mayor ocurrencia de una masa de agua cálida superficial y oligotrófica similar al Agua Tropical Superficial (ATS), debido probablemente a una intensificación de los fenómenos de “El Niño”. Estos resultados concuerdan con estudios previos realizados en el sur del Golfo de California.

OBJETIVOS

General

- Documentar la variabilidad oceánica y climática en escala multidecadal, de aproximadamente los últimos 263 años en la región occidental de la Cuenca del Carmen (sur del Golfo de California), utilizando como proxy a los radiolarios polycystinos depositados en una secuencia de sedimentos laminados (núcleo K58).

Particulares

- Documentar la presencia y abundancia de los radiolarios polycystinos.
- Definir las asociaciones de radiolarios polycystinos más significativas en la región de estudio, por medio de un análisis estadístico multivariado (Análisis de Factores Modo “Q”).
- Proponer escenarios paleoceanográficos y paleoclimáticos a partir del análisis de las afinidades ecológicas de los radiolarios.

ANTECEDENTES

A continuación se describen brevemente algunos de los trabajos que se han realizado sobre radiolarios polycystinos en el Golfo de California y que sirvieron como base para el desarrollo de este estudio.

Benson en 1966 estudió 28 muestras de sedimentos superficiales (centímetros 1-5) distribuidas en la parte norte, sur y en la zona de entrada del golfo, en total identificó 147 taxa de radiolarios polycystinos. Diseñó un método sencillo de clasificación basado en los 10 taxa más abundantes para cada estación, con ello identificó a los radiolarios polycystinos predominantes de todo el Golfo de California (Tabla 1), específicamente los de la zona sur (Tabla 2).

Posteriormente, Benson (1983) listó las especies dominantes del Golfo de California partiendo de la abundancia relativa de su anterior clasificación (Benson, 1966), con ello obtuvo promedios para cada especie en cada estación y definió 26 taxa dominantes, los cuales están presentes en al menos 17 de las 28 estaciones en todo el Golfo de California (Tabla 3).

Tabla 1. Taxa predominantes del Golfo de California, se muestra el puntaje de los taxa definidos por Benson, 1966.

Taxón	Puntaje “Ranking score”
<i>Phortidium pylonium</i> (grupo)	184
<i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo)	178
<i>Druppatractus variabilis</i>	127
<i>Hexacantium</i> sp.cf. <i>H. giganteum</i>	124
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	118
<i>Stylodictya tenuispina</i> , <i>Stylochlamydidium asteriscos</i> , <i>S. venustum</i> (grupo)	114
<i>Spirocyrtes scalaris</i> , <i>Stichocorys seriata</i>	67
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	65
<i>Larospira minor</i>	45
<i>Pterocorys clausus</i> , <i>P. minythorax</i>	36
<i>Hexapyle dodecantha</i> (grupo)	29
<i>Ceratocyrtes histriocusus</i>	29
<i>Druppatractus irregularis</i>	28
<i>Cycladophora davisiana</i>	27
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	23

Tabla 2. Taxa predominantes en el sur del Golfo de California, se muestra su puntaje (Benson, 1966).

Taxón	Puntaje "Ranking score"
<i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo)	127
<i>Phortidium pylonium</i> (grupo)	109
<i>Drupptractus variabilis</i>	106
<i>Stylodictya tenuispina</i> , <i>Stylochlamyidium asteriscos</i> , <i>S. venustum</i> (grupo)	96
<i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i>	50
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	38
<i>Pterocorys clausus</i> , <i>P. minyborax</i>	36
<i>Larospira minor</i>	35
<i>Hexapyle dodecantha</i> (grupo)	29
<i>Drupptractus irregularis</i>	27
<i>Cycladophora davisiana</i>	27

Molina-Cruz en 1986 estudió 108 muestras de sedimentos superficiales en la región de la Cuenca de Guaymas y en la zona de entrada del golfo e identificó 49 especies de radiolarios. Usando un Análisis de Factores modo "Q" definió 6 factores, los cuales nombró según su distribución geográfica (Tabla 4). Éstos se explican a continuación:

El factor "Guaymas" se distribuyó principalmente sobre la cuenca del mismo nombre y representó el 31.3% de la variabilidad total de los datos, estuvo caracterizado por 2 especies, las cuales presentaron sus mayores abundancias sobre región norte de la Cuenca Guaymas, donde existe un cambio abrupto, batimétrico y morfológico.

El factor "Subtropical" explicó el 29% de la variabilidad total de los datos, se distribuyó desde la boca del golfo hasta los alrededores de la Cuenca Farallón, en la región sur. Las especies representativas de este factor son afines a las aguas subtropicales del Pacífico oriental.

El factor "Surgencias" comprendió el 20.9% de la variabilidad de los datos, se desarrolla notoriamente en la zona costera. La especie representativa de este factor, se ha asociado a zonas de surgencias costeras.

Los factores “Canal de ballenas”, “Transicional” y “Corriente de California”, representan en conjunto, el 9.8% de la variabilidad de los datos. En el factor “Canal de Ballenas”, se asoció a condiciones de mezclas intensas, presentes sobre los canales formados entre las islas de la Cuenca del Carmen y la península de Baja California.

Tabla 3. Abundancias relativas de los radiolarios dominantes en los sedimentos superficiales del Golfo de California (Benson, 1966). Se muestran los porcentajes promedio de las especies por estación y el número de estaciones en las que estuvo presente la especie (Benson, 1983).

Taxón	Promedio por estación (%)	Estaciones donde se presenta
<i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo)	6.8	26
<i>Phorticium pylonium</i> (grupo)	6.1	26
<i>Druppatractus variabilis</i>	4.6	25
<i>Hexacontium</i> sp.cf.H. <i>giganteum</i>	3.9	25
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	3.8	26
<i>Stylodictya tenuispina</i> , <i>Stylocblamydium asteriscus</i> , <i>S.</i>	3.8	26
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	2.7	23
<i>Spirocyrtes scalaris</i> , <i>Stichocorys seriata</i>	2.4	25
<i>Larcopele buetschlii</i> (grupo)	2.3	24
<i>Larospira minor</i>	2.1	25
<i>Hexapyle dodecantha</i> (grupo)	1.8	26
<i>Didymocyrtes tetrathalamus</i>	1.7	26
<i>Pterocorys clausus</i> plus <i>P. minyborax</i>	1.7	21
<i>Euchitonia</i> sp. Cf. <i>E. furcata</i>	1.6	26
<i>Peromelissa phalacra</i>	1.5	25
<i>Druppatractus irregularis</i>	1.5	23
<i>Lithomelissa pentacantha</i> (antes <i>Plectacantha oikiskos</i>)	1.4	16
<i>Ceratocyrtes histricosus</i> s.l.	1.4	22
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	1.4	23
<i>Actinosphaera acanthophora</i>	1.2	25
<i>Pterocanium auritum</i>	1.2	23
<i>Cycladophora davisiana</i> s.l.	1.0	18
<i>Spongodiscus biconcavus</i>	1.0	26
<i>Theopilium tricostatum</i>	1.0	23
<i>Actinomma antarcticum</i> , <i>A. medianum</i>	0.9	19
<i>Hexacontium laevigatum</i>	0.8	23
<i>Plectacantha</i> sp.	0.8	17
<i>Anomalacantha dentate</i>	0.7	20

El factor “Transicional” se ubicó sobre la Cuenca del Carmen, las especies representativas estuvieron también, significativamente presentes en el factor “Guaymas”, “Subtropical” y “Corriente de California”, el autor explicó que la Cuenca del Carmen es una región donde las aguas incursionantes del Pacífico son diluidas por las formadas en la Cuenca Guaymas o viceversa.

El factor “Corriente de California” presentó especies que han sido reportadas como afines a la Corriente de California. La asociación de este factor, se encontró principalmente en el margen occidental de la Cuenca del Carmen.

Tabla 4. Taxa predominantes para cada factor de acuerdo con el análisis de factores modo “Q” (Molina-Cruz, 1986).

	Factor Guaymas	Factor Subtropical	Factor Surgencias	Factor Transicional	Factor Canal de Ballenas	Factor Corriente de California
Taxa dominantes	<i>L. pentacantha</i> , <i>L. thoracites</i>	<i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo), <i>Ptyerocorys clausus</i> , <i>Drupptractus variabilis</i>	<i>Phortium pylonium</i> (grupo)	<i>Eucyrtidium hexagonatum</i> , <i>Drupptractus variabilis</i> , <i>Lithomelissa pentacantha</i> , <i>Pseudocubus obeliscus</i>	<i>Hexacantium</i> sp. Cf. <i>H. giganteum</i>	<i>Cycladophora davisiana</i> , <i>Drupptractus irregularis</i> , <i>Botryostrobus aquilonaris</i> , <i>Botryostrobus auritus australis</i> (grupo)

Pisias en 1986, aplicó un Análisis de Factores Modo “Q” a una población de radiolarios en 54 muestras de sedimentos superficiales de las aguas intermedias del Golfo de California. Esta investigación fue parte de un estudio de sedimentos varvados del golfo, en la plataforma continental la cual subyace a la zona de oxígeno mínimo, limitada a aguas profundas de 1000 m o menos. La Tabla 5 muestra las tres asociaciones de radiolarios identificadas por Pisias (1986).

En ese estudio, Pisias caracterizó las asociaciones como sigue: Las especies importantes de la asociación que el autor denominó “Factor Golfo” habitan zonas cercanas a la superficie y

tienen sus valores máximos entre 600 y 800 m de profundidad, el máximo de la asociación coincide con la profundidad en la cual hay un fuerte flujo de agua cálida y relativamente salina hacia el sur, fuera del golfo. Esta asociación fue más importante en la parte nor-central del golfo a la latitud de 28° N.

El segundo factor llamado “Factor Subtropical”, dominó la zona de la boca del golfo y disminuye significativamente hacia el norte. La asociación mostró un aparente incremento a lo largo del margen oriental del golfo, consistente con los patrones de flujo observados del agua superficial. Sus valores más altos fueron en sitios someros menores a 800 m y disminuyeron significativamente a profundidades intermedias.

La tercera asociación denominada “Factor California”, fue abundante en dos regiones: en la parte central del golfo, fuera de Guaymas y a lo largo del margen sur-occidental del golfo. Ambas áreas son centros de surgencias y de alta productividad superficial, las especies de esta asociación prefieren las aguas de las corrientes frías orientales del Pacífico abierto; sin embargo, el autor indicó que no era posible determinar si el conjunto estaba asociado con la incursión de la Corriente de California dentro del Golfo de California y señaló que la circulación vertical del golfo juega un papel importante en la distribución de las asociaciones de radiolarios.

Tabla 5. Asociaciones de radiolarios en sedimentos varvados superficiales en el Golfo de California (Pisias, 1986).

Taxa dominantes	Asociación del Golfo	Asociación Subtropical	Asociación de California
	<i>Lithomelissa pentacantha</i> , <i>Eucecryphalus clinatus</i> , <i>Spirocyrtilis scalaris</i> , <i>Stichocorys seriata</i> , <i>Arachnocorallium calvata</i> , <i>Peridium</i> sp. Cf. <i>P. longispinum</i> , <i>Pseudodictyophimus gracilipes</i> , <i>P. platycephalus</i> , <i>Lithomelissa thoracites</i>	<i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo) y <i>Octopyle stenozona</i>	<i>Hexacantium</i> sp. Cf. <i>H. giganteum</i> , <i>Encyrtidium hexagonatum</i> , <i>Actinosphaera acanthophora</i> , <i>Actinoma delicatum</i>

Más tarde, Molina-Cruz *et al.* (1999) analizaron la distribución de radiolarios en la columna de agua de 24 muestras verticales estratificadas desde la superficie hasta los 600 m de profundidad

en las Cuencas del Carmen y Guaymas y de la superficie a los 1000 m en la Cuenca Pescadero. A partir de un análisis de factores modo “Q” definieron 5 factores u asociaciones de radiolarios (Tabla 6) y con base en sus afinidades ecológicas investigaron como los procesos de circulación y de mezcla, modifican la tanatocenosis del grupo.

El primer factor denominado “Agua de Surgencias”, caracterizó la parte noroeste de la Cuenca del Carmen, cerca de la isla del Carmen. Este factor explicó el 37.78% de la variabilidad total de los datos. Los autores sugieren que la asociación de radiolarios presentes en este factor, se desarrolló bajo la influencia de procesos de surgencias costeras, entre los giros ciclónico y anticiclónico de las Cuencas Guaymas y del Carmen.

El segundo factor “Agua Intermedia” representó la incursión de la masa de agua intermedia del Pacífico (AIP) dentro del golfo, este factor comprende el 18.34% de la variabilidad de los datos y es muy importante por debajo de los 350 m de profundidad en la Cuenca Pescadero, cabe destacar que esta asociación también se encuentra más al norte.

El tercer factor “Agua Subtropical” explicó el 12.7% de la variabilidad total de datos y representó la masa de agua subtropical que proviene del Océano Pacífico e incursionó dentro del Golfo de California. La asociación de radiolarios que representa este factor, se encontró en la capa superficial y subsuperficial del agua subtropical, la cual presentó una distinta salinidad a los 70 m, esta masa de agua alcanza la parte norte de la Cuenca Farallón.

El cuarto factor “Agua del Golfo de California”, representó el 9.7% de la variabilidad total de los datos, presentó su carga más alta del factor “Factor Loadings” en la Cuenca Guaymas entre los 200 y 400 m de profundidad. El Agua del Golfo de California se hunde hacia el sur, como lo hace el agua de Guaymas, pero se forma más al norte que el agua de Guaymas.

El quinto factor “Agua de Guaymas”, presentó especies comunes a la capa de mezcla superficial de la Cuenca Guaymas y a las aguas subsuperficiales en el noroeste de la Cuenca del Carmen, este factor representa el 6.0% de la variabilidad de los datos. Molina-Cruz *et al.* (1999)

interpretan el origen de esta asociación como proveniente de la subducción de agua superficial evaporada, la cual se origina de la Cuenca Guaymas hacia el sur. Se sugirió que esta asociación pudo estar relacionada a procesos de mezcla y circulación (incluyendo surgencias costeras) y se vinculó con el movimiento de agua de noreste hacia el sureste en el golfo.

Tabla 6. Distribución de radiolarios en la columna de agua para las cuencas del Carmen, Guaymas y Pescadero en el Golfo de California (Molina-Cruz *et al.* 1999).

	Factor 1 Agua de surgencias	Factor 2 Agua intermedia	Factor 3 Agua subtropical	Factor 4 Agua del Golfo de California	Factor 5 Agua de Guaymas
Taxa dominantes	<i>Plectacantha sp.</i>	<i>Druppatractus variabilis, Stylochlamyidium venustum</i>	<i>Tetrapyle octacantha (grupo), Botryocirtis scutum, Arachnocorallium calvata</i>	<i>Pbortidium pylonium (grupo), Anomalacantha dentata, Spongopyle oculosa</i>	<i>Litbomelissa thoracites, Litbomelissa pentacantha, Peridium longispinum, Arachnocorallium calvata</i>

Pérez-Cruz (2006) estudió una secuencia sedimentaria del Holoceno Medio-Tardío en la Cuenca Alfonso (Bahía de la Paz) e identificó 137 taxa de radiolarios polycystinos en 212 intervalos. A partir de un análisis de factores modo “Q” definió tres asociaciones de radiolarios, las cuales relacionó con temperaturas superficiales, salinidad, productividad y masas de agua presentes en el Golfo (Tabla 7).

En sus resultados, el Factor 1 denominado “Golfo de California”, explicó el 5.4% de la variabilidad total de los datos y está representado por especies afines a aguas cálidas tropicales, subtropicales y ecuatoriales. Este factor, mostró sus valores más altos cerca del fondo de la secuencia sedimentaria.

El Factor 2 “Ecuatorial” representó el 70.7% de la variabilidad total de los datos y estuvo constituido principalmente por una especie afín a aguas cálidas subtropicales y ecuatoriales, misma que se ha visto abundante en la parte sur del golfo. Pérez-Cruz, sugirió una ocurrencia continua del Agua Superficial Ecuatorial en la región de estudio, para explicar su presencia.

El Factor 3 “Eventos fríos”, explicó el 6.2% de la variabilidad de los datos, esta asociación se mostró episódicamente a lo largo de la columna sedimentaria. Las especies representativas de este factor, se relacionan a masas de agua frías donde existe una mayor productividad.

Tabla 7. Factores que caracterizaron la Cuenca Alfonso, se muestran las especies que definen cada factor (Pérez-Cruz, 2006).

	Factor 1 “Ecuatorial”	Factor 2 “Golfo de California”	Factor 3 “Eventos fríos”
Taxa Dominantes	<i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo), <i>Theopilium tricostatum</i>	<i>Eucbitonia</i> sp., <i>Spongotrochus glaciales</i> , <i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo)	<i>Hexacantium entacanthum</i> , <i>Pylospira octopyle</i> , <i>Echinoma delicatum</i> , <i>Didymocyrtilis tetrathalamus</i>

Recientemente, Villagrán de la Cruz *et al.* (2008) documentaron la variabilidad oceanográfica y climática en la región Sur del golfo, por medio del estudio de radiolarios polycystinos en sedimentos laminados de la parte occidental de la Cuenca del Carmen. Identificaron 160 taxa de radiolarios presentes en la secuencia sedimentaria de 215 m; sin embargo, en el análisis e interpretación de las asociaciones de radiolarios polycystinos sólo se consideraron 37 taxa, debido a que solo 30 taxa presentaron un valor de ocurrencia mayor del 1% y las 7 especies restantes se seleccionaron dada su importancia ecológica anteriormente descrita para el Golfo de California, con estos taxa, se efectuó un análisis multivariado conocido como análisis de componentes principales, el cual definió tres componentes u asociaciones (Tabla 8).

El Componente principal 1 (CP1) “Agua del Golfo de California” explicó el 78% de la variabilidad total de los datos y definió tres intervalos en la secuencia sedimentaria, se sugirió que durante estos intervalos el clima era más cálido que el actual, lo cual permitiría una mayor

formación del Agua del Golfo de California, dado el aumento en la evaporación de las aguas superficiales.

El Cp2 “Surgencias” explicó el 3.8% de la variabilidad total de los datos, presenta cuatro intervalos representativos. La especie característica de este componente sugiere que durante estos episodios hubo un aumento en la intensidad de los procesos de surgencias y consecuentemente en la productividad biológica, propiciados por cambios en la circulación oceánica y en los patrones de vientos regionales.

El Cp3 “Agua Superficial Ecuatorial” comprendió el 6.1% de la variabilidad total de los datos, definió dos periodos y estuvo caracterizado por la dominancia de tres taxa, lo cual sugirió que durante los últimos 300 años, el ASE ha dominado la región de estudio y que los eventos de “El Niño” han sido más frecuentes e intensos durante el Holoceno tardío, lo cual coincide con reportes anteriores realizados por otros investigadores en el Golfo de California.

Tabla 8. Análisis de componentes principales en la Cuenca del Carmen, se muestran las especies representativas de cada componente (Villagrán de la Cruz *et al.* 2008).

	Cp1 "AGC"	Cp2 "Surgencias"	Cp3 "ASE"
Taxa Dominantes	<i>Druppatractus irregularis</i> , <i>Lithomelissa pentacantha</i>	<i>Phortidium pylonium</i> (grupo)	<i>Druppatractus variabilis</i> , <i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo), <i>Eucyrtidium hexagonatum</i>

A síntesis, a partir del análisis de los estudios de radiolarios polycystinos realizados en el Golfo de California, es posible identificar las especies que dominan las poblaciones de radiolarios, en la columna de agua y en los sedimentos, sobre todo de la región sur del Golfo.

Con base en los estudios previos fue posible identificar que 37 especies (o taxa) son los más conspicuos y dominantes en la región sur, los cuales caracterizan las asociaciones utilizadas para interpretaciones paleoceanográficas y paleoclimáticas, por lo que este trabajo de tesis se enfoca principalmente a la identificación e interpretación de estos taxa.

BIOLOGÍA DE LOS RADIOLARIOS

Los radiolarios son protistas marinos planctónicos, su tamaño oscila entre las 30 y 300 μm , aunque algunas formas coloniales, pueden llegar a medir más de 3 m (Boltovskoy y Pujana, 2008; Okazaki *et al.* 2004; 2005).

Morfología celular

Los radiolarios polycystinos presentan un cuerpo protoplasmático que se divide en dos partes, el endoplasma y el ectoplasma, separados por una cápsula central (membrana proteica perforada) que contiene al endoplasma.

El endoplasma o citoplasma intracapsular incluye: uno o varios núcleos, mitocondrias, el aparato de Golgi (dictiosomas), vacuolas y el axoplasto -del cual surgen los axopodios- (De Wever *et al.* 2001) (Fig. 1). Los axopodios son largos, delgados y rígidos, están constituidos de un hilo axial que está envuelto en el ectoplasma, son retráctiles en condiciones de estrés (por ejemplo, cuando ocurre un contacto inesperado). Son utilizados para atrapar presas y también ayudan a mantener la posición de los radiolarios en la columna de agua (posiblemente a través de la expansión y contracción de las vacuolas ectoplásmicas atrapadas entre axopodios) (Anderson, 1983). Los axopodios se originan cerca del centro celular y se proyectan hacia fuera de la pared capsular (Cachon y Cachon-Enjument, 1964 en De Wever *et al.* 2001).

El ectoplasma o cuerpo extracapsular está compuesto básicamente de inclusiones y pseudópodos. Es un cuerpo complejo de apariencia esponjosa, el cual es capaz de retraerse en una película delgada alrededor de la membrana capsular. En condiciones normales, el ectoplasma puede dividirse en tres capas, desde la parte interna a la más externa:

- La sarcomatriz, es la capa interna del ectoplasma, se compone de citoplasma granular pigmentado y está conectado a través de fúsculas con el endoplasma.
- El calymma, se localiza en la zona intermedia del ectoplasma entre la sarcomatriz y el sarcodictium, está compuesto de citoplasma gelatinoso y se caracteriza por contener

numerosas vacuolas digestivas y alvéolos. Generalmente, esta zona presenta el color de las inclusiones y simbiontes (como las algas zooxantelas).

- El sarcodictium, es una capa delgada de citoplasma reticular que envuelve al calymma (De Wever *et al.* 2001).

Los radiolarios poseen proyecciones citoplasmáticas denominadas filópodos, axópodos y axoflagelos. Los filópodos surgen del sarcodictium, a veces se anastomosan y son usados para atrapar a sus presas y llevarlos hacia sus vacuolas digestivas. Por otra parte, los axopodios, surgen del axoplasto y se sostienen por un filamento axial rígido, éste está conformado por el axoplasma y se encuentra rodeado de citoplasma móvil. El axoflagelo, se considera una fusión de varios axopodios (De Wever *et al.* 2001; Boltovskoy y Pujana, 2008).

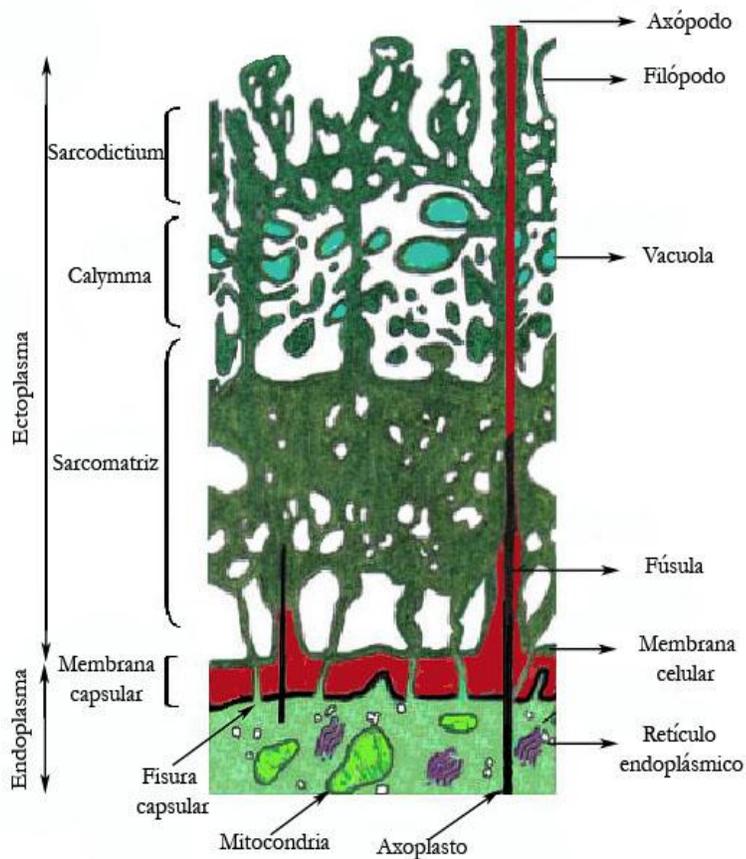


Figura 1. Esquema celular de un corte transversal de un radiolario. Se muestran los principales componentes del endoplasma y del ectoplasma (Tomado de De Wever *et al.* 2001).

Estructura

Los radiolarios polycystinos poseen un esqueleto que está formado de sílice amorfo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) autigénico, es decir proviene del sílice tomado del agua marina por el propio organismo. El esqueleto está embebido en el citoplasma, sus partes más internas están incluidas ocasionalmente en el endoplasma o hasta en el núcleo, por tanto, no está sujeto a disolución durante su vida. Este esqueleto silíceo, generalmente es llamado por los micropaleontólogos teca o testa (De Wever *et al.* 2001; Boltovskoy y Pujana, 2008).

Según De Wever *et al.* (2001) el crecimiento de la teca, es un fenómeno discontinuo que comprende una depositación rápida de sílice alternada con intervalos de reposo celular. Es muy incierta la formación de la teca; sin embargo, se cree que la esqueletogénesis de los radiolarios, puede ser resultado del crecimiento del organismo al desarrollar puentes sobre los poros o ranuras de la teca, o por un engrosamiento de varias estructuras secundarias.

Las tecas de los radiolarios se construyen de acuerdo a un patrón geométrico, éste es característico de cada especie y pueden ser esféricas, concéntricas, cónicas o más complejas y presentar espinas radiales (De Wever *et al.* 2001). Se conocen tres tipos de tecas, las que poseen un entramado, las perforadas y las esponjosas (Fig. 2).

Las tecas con entramado se forman por una red de barras, las cuales están delimitadas por poros, que generalmente son hexagonales, si la teca tiene una buena preservación, es posible observar un marco poligonal.

Una teca perforada puede presentar algunos o varios poros espaciados sin arreglo geométrico. Los poros de las tecas entramadas y de las tecas perforadas pueden ser circulares, de forma poligonal o irregular, de igual tamaño o desiguales, con arreglo geométrico o sin él.

La teca esponjosa, puede ser gruesa o delgada y está formada de una red irregular de barras cortas entrelazadas, las cuales siguen un patrón tridimensional.

La forma y arreglo de los poros, así como su ornamentación (espinas al borde de los poros) y el área entre el radio de los poros respecto a las barras, es de importancia taxonómica en algunas especies (De Wever *et al.* 2001).

Las espinas, cuando están presentes pueden ser circulares, con surco, trirradiadas o tetraradiadas (Fig. 3) éstas están rodeadas por pseudópodos, los cuales las usan como ejes.

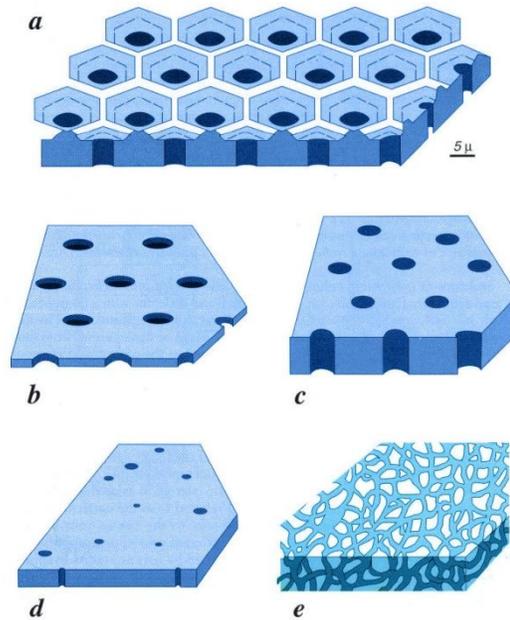


Figura 2. Diferentes tipos de tecas de los radiolarios polycystinos. a) Pared con entramado grueso, se observan los marcos poligonales. b, c y d) Tecas con entramado de distinto grosor con distinto arreglo y tamaño de los poros. e) Teca esponjosa (Tomada de De Wever *et al.* 2001).

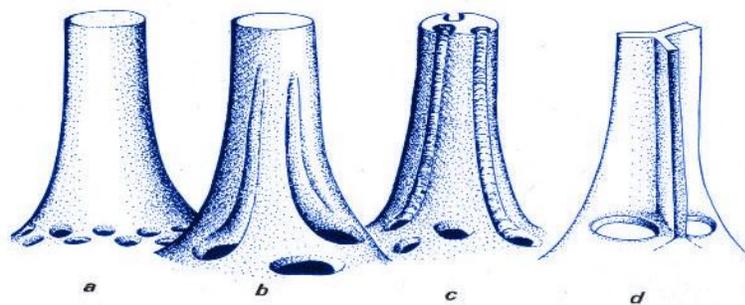


Figura 3. Diferentes tipos de espinas, mostrando corte horizontal. a) Espina homogénea circular. b) Espina con surcos restringidos a la base. c) Espina con surcos distribuidos en toda la longitud de la espina. d) Espina trirradiada (Tomada de De Wever *et al.* 2001).

Alimentación

Estos protistas se alimentan de una gran variedad de organismos que van desde organismos microscópicos, hasta organismos relativamente grandes (medidas de centímetro) como: silicoflagelados, tintínidos, diatomeas, algas, bacterias, formas activas de copépodos, larvas de medusas, entre otros (Anderson, 1978 en Anderson 1983). Generalmente, los copépodos son su mayor presa, ya que son la porción dominante de la biomasa (Swanberg *et al.* 1986 en De Wever *et al.* 2001). Capturan a sus presas con sus redes de pseudópodos, la presa es encerrada en una delgada membrana de vacuolas digestivas y se transporta hacia el ectoplasma donde se realiza la digestión, de ahí, los nutrientes pasan a través de la cápsula central hacia el endoplasma (Armstrong y Brasier, 2005).

Particularmente, el super orden Polycystina tiene asociaciones simbióticas, generalmente con el dinoflagelado *Scrippsiella nutricula*, aunque también alojan algas prymnesiofitas. Estas algas simbiotes y sus huéspedes mueren al mismo tiempo, indicando que las algas son ectosimbiontes, mientras que las bacterias simbiotes sobreviven y por tanto son endosimbiontes (Anderson, 1983; Anderson y Matsuoka, 1992 en De Wever *et al.* 2001).

Los simbiotes utilizan el producto de desecho del metabolismo del radiolario para su fotosíntesis. Se sabe que existe un sistema de diferenciación para prevenir la digestión de los simbiotes, los cuales, al igual que el alimento se aloja en vacuolas del ectoplasma; sin embargo, si el alimento en el medio disminuye es probable el consumo de estos simbiotes (Anderson, 1983; De Wever *et al.* 2001). Hay una interdependencia muy fuerte entre el simbiote y el hospedero, al parecer, esta relación es muy antigua y se ha mantenido desde el comienzo de la diversidad de radiolarios y dinoflagelados (De Wever *et al.* 2001).

Movilidad

En su mayoría, los radiolarios son organismos pelágicos que flotan pasivamente, generalmente dependen de las corrientes oceánicas para moverse de un lugar a otro. Poseen una limitada capacidad de movimiento vertical en la columna de agua, el cual al parecer en algunas especies, se realiza mediante la expansión y contracción de los alvéolos localizados en la región extracapsular (Anderson, 1983).

Presentan además, gotas lipídicas en su citoplasma vacuolar, lo cual les confiere flotabilidad, a pesar de la ausencia de aparatos hidrostáticos bien diferenciados, los radiolarios son capaces de sumergirse al eyectar su contenido vacuolar, haciendo su citoplasma más denso (Anderson, 1983).

Reproducción

Los radiolarios se reproducen asexualmente, principalmente por fisión binaria o por fisión múltiple, se reconoce una fisión binaria de la cápsula central y gemación, sobre todo en las formas coloniales. Durante la fisión binaria, la célula madre comparte su citoplasma entre sus dos hijas, sólo una de ellas hereda su esqueleto silíceo, mientras que la otra debe construir su propio esqueleto.

Se cree que posiblemente exista una reproducción sexual, la cual se realizaría por medio de cuerpos flagelados (Boltovskoy y Pujana, 2008).

La longevidad de estos organismos, se estima en un mes más menos un par de semanas, tales datos se basan en estudios de laboratorio utilizando especies de ambientes tropicales y subtropicales (Anderson, 1983; Caron y Swanberg, 1990 en De Wever *et al.* 2001).

Sistemática

Entre 1850 y 1900, Ehrenberg, Müller, Hertwig, Popofsky y especialmente Haeckel describieron miles de especies de radiolarios y propusieron los primeros esquemas de clasificación. Inicialmente se incluía a los radiolarios dentro del grupo Acantharia, sin embargo, el esqueleto de los Acantharios no es de sílice, sino de sulfato de estroncio (el cual es altamente soluble en agua de mar), por lo cual Schewiakoff en 1926 separó a los Radiolarios de los Acantharia (Boltovskoy y Pujana, 2008).

Se cree que probablemente existan más de 5000 especies recientes de radiolarios; sin embargo, el consenso entre los especialistas menciona que los océanos actuales están hábitados por unas 400-600 especies de radiolarios polycystinos, de las cuales sólo 150 sp. están bien definidas y su identidad es suficientemente firme para identificarlas (Boltovskoy y Pujana, 2008).

El esquema de clasificación propuesto por Boltovskoy y Pujana (2008) para las formas recientes, se basa en Riedel (1967; 1971 en Benson 2005) mientras que para las formas fósiles se basa en De Wever *et al.* (2001). Este último esquema de clasificación para el superorden polycystina, incluye 7 órdenes, 13 superfamilias, 131 familias, 32 subfamilias y 834 géneros:

Reino Protista

Phyllum Sarcodina

Clase Actinopoda

Subclase Radiolaria Müller 1858

Superorden Polycystina Ehrenberg 1838

Orden Collodaria

Orden Archaeospicularia

Orden Albaillellaria

Orden Latentifistularia

Orden Spumellaria

Orden Entactiniaria

Orden Nassellaria

Superorden Phaeodaria

Orden Phaeocystina

Orden Phaeosphaeria

Orden Phaeogromia

Orden Phaeoconchia

Este trabajo de tesis se enfoca principalmente a la identificación e interpretación del orden Spumellaria y Nassellaria, los cuales se describen a continuación.

El orden Spumellaria se compone de organismos solitarios que carecen de espícula inicial, generalmente presentan simetría esférica, radial o derivada de las anteriores (esferas concéntricas, discos biconvexos, placas cuadrangulares o trirradiadas, etc.). Presentan una cápsula central simple que está perforada de todos lados por finos poros, exhiben además un esqueleto espiralado, asimétrico discoidal o lenticular (biconvexo), triaxónico, cuadrangular de apariencia enrejada o esponjoso. Se originaron en el Paleozoico y actualmente existen 12 familias (Boltovskoy y Pujana, 2008) (Fig.4).

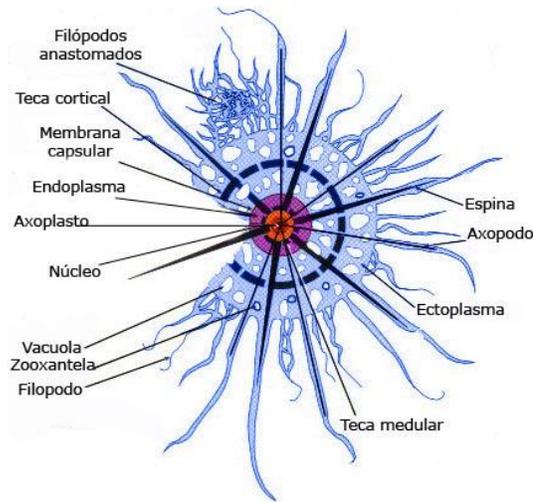


Figura 4. Esquema de un esqueleto de un Spumellaria (Tomado de De Wever *et al.* 2001).

El orden Nassellaria lo componen organismos que presentan una cápsula central heteropolar (perforada en un sólo polo) presentan un esqueleto generalmente cónico, el cual se origina a partir de una estructura inicial estable denominada espícula (Fig.5), ésta se compone de una barra media (MB), una serie de espinas impares, apical (A), dorsal (D) y ventral (V), espinas laterales pareadas primarias (LL), espinas laterales secundarias (ll), apófisis pectorales (p), apófisis axiales (a) y algunas veces una espina axial (Ax), la mayoría de estas espinas se conectan a través de arcos.

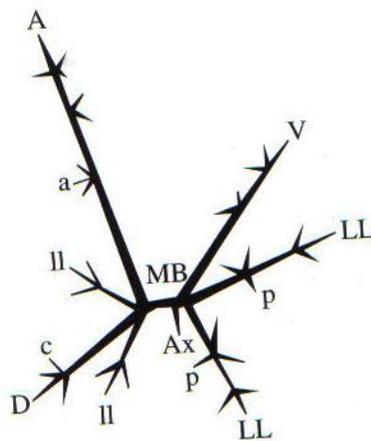


Figura 5. Espícula inicial. MB=barra media, A= espina apical, D= espina dorsal, V= espina ventral, LL=Espinas laterales primarias, ll= espinas laterales secundarias, Ax= espina axial, a= apófisis apical, p= apófisis pectoral (Tomado de De Wever *et al.* 2001).

El orden Nassellaria, presenta una simetría axial con uno o más segmentos y/o cámaras dispuestas a lo largo de un eje. El primer segmento o céfalis, es donde se contiene la espícula inicial, su forma puede ser esférico, sub-esférico o alargado, con o sin cuernos, espinas adicionales, túbulos etc., puede estar perforado por poros o carecer de ellos. El arreglo de la barra media y las espinas asociadas (barras primaria y secundaria, así como el arco) se conoce con el nombre de collar, ésta es una estructura ubicada entre el céfalis (primer segmento) y el tórax (segundo segmento) (Fig. 6).

Las espinas ventral, apical y lateral que provienen de la barra media y sus respectivos arcos dividen el céfalis en pequeñas unidades conocidas como lóbulos eucefálicos y antecéfálicos, los cuales pueden estar asociados con otras estructuras cefálicas tales como tubos ventrales.

El segmento que sigue del tórax es el abdomen del cual se separa la estructura lumbar. Todos los segmentos subsecuentes se conocen como post-abdominales, el segmento terminal puede poseer una estructura abierta o constreñida (anillo basal) que sujeta pequeñas proyecciones conocidas como dientes sub-terminales o dientes, éstos pueden ser puntiagudos o espatulados. Las espinas que se proyectan desde el tórax, se conocen como alas y las proyecciones de la parte distal del tórax o de cualquier segmento subsecuente se conocen como pies (De Wever *et al.* 2001). El orden Nassellaria apareció en el Devónico, actualmente se reconocen 54 familias (Boltovskoy y Pujana, 2008).

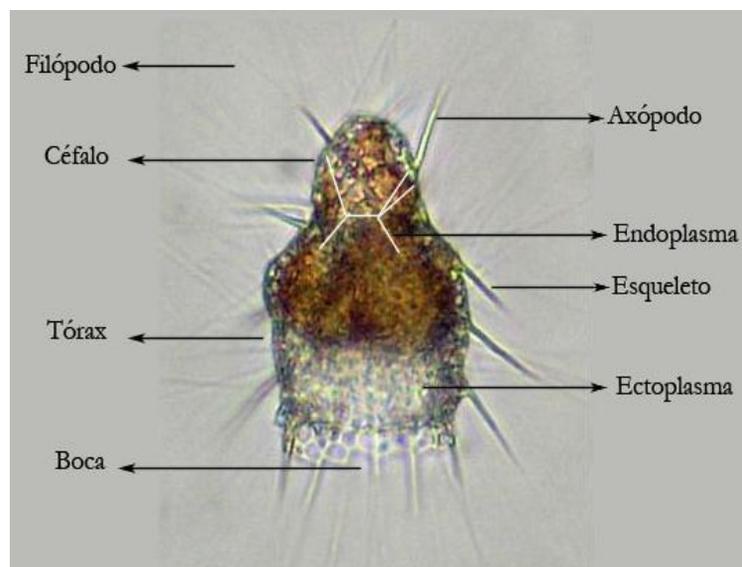


Figura 6. Esquema de un Nassellario. Se aprecia el arreglo de la espícula en el céfalis (Modificado de Dolven *et al.* 2009).

Se conoce muy poco sobre la ecología del Superorden Phaeodaria, debido a que la teca del organismo se disuelve rápidamente en la columna de agua y/o en la interfase agua-sedimento (Nimmergut y Abelman, 2002), además, las densidades de los Phaeodarios son de 5 a 10 veces menos abundantes que el superorden Polycystina (Boltovskoy y Pujana, 2008).

Sinonimias

La sistemática de algunos taxa de radiolarios polycystinos es confusa. Debido a su dificultad en la identificación, existe para algunas especies inseguridad en la nomenclatura, la cual se refleja en la existencia de más de un nombre asignado para un taxón (sinonimia).

En la actualidad, la nomenclatura zoológica (donde se incluye el suborden Radiolaria) se rige por el principio de prioridad, éste menciona que el nombre válido de una especie es el más antiguo, por consiguiente, todos los demás nombres asignados al taxón en cuestión se consideran sinónimos (Código Internacional de Nomenclatura Zoológica).

Varios taxones presentan grandes variedades morfológicas, debido a ello, algunos autores proponen considerar estos taxa como un grupo, este trabajo de tesis adopta esta posición. Los nombres de las especies registradas en este trabajo, están escritas de acuerdo con la designación actualizada de radiolaria.org realizada por Benson en 2005.

Ecología y Biogeografía

Los radiolarios están presentes en todos los océanos del mundo y se distribuyen principalmente en la zona epipelágica y mesopelágica (Kling, 1979; Kling y Boltovskoy, 1995; Molina-Cruz *et al.* 1999; Boltovskoy y Pujana, 2008).

La mayor concentración de radiolarios polycystinos ocurre entre los 50 y los 150-200 m de profundidad (Kling, 1979; Boltovskoy y Pujana, 2008).

Se ha registrado que la diversidad de radiolarios polycystinos es máxima en latitudes medias-bajas (20-35°) y que disminuye ligeramente hacia el ecuador y drásticamente hacia los polos. La cantidad de especies que habitan las aguas cálidas y templadas es de alrededor de 200 especies

mientras que las especies árticas y antárticas es de 40-60 especies (Boltovskoy, 1987). La región oceánica ecuatorial, muestra una alta productividad primaria y una gran diversidad de radiolarios (Takahashi, 1991).

Las zonas biogeográficas de los radiolarios se asemejan a las descripciones de los distintos grupos de zooplancton (Fig. 7). Los patrones de distribución se ven modificados por factores físicos y biológicos, siendo los más importantes, la temperatura, la salinidad y la disponibilidad de alimento entre otros (Boltovskoy y Pujana, 2008). Tales requerimientos ecológicos rigen una relación de especificidad de hábitat para cada taxón.

La mayoría de la información sobre la ecología de los radiolarios se ha obtenido al comparar asociaciones superficiales de sedimentos, con parámetros superficiales del mar, suponiendo un vínculo directo.

La información biogeográfica de los radiolarios polycystinos, deriva de muestras sedimentarias superficiales, ya que los datos de distribución de asociaciones vivas y especialmente los patrones de distribución vertical (especificidad de cada especie) son muy escasos y están restringidos en algunas áreas oceánicas (Boltovskoy y Pujana, 2008).

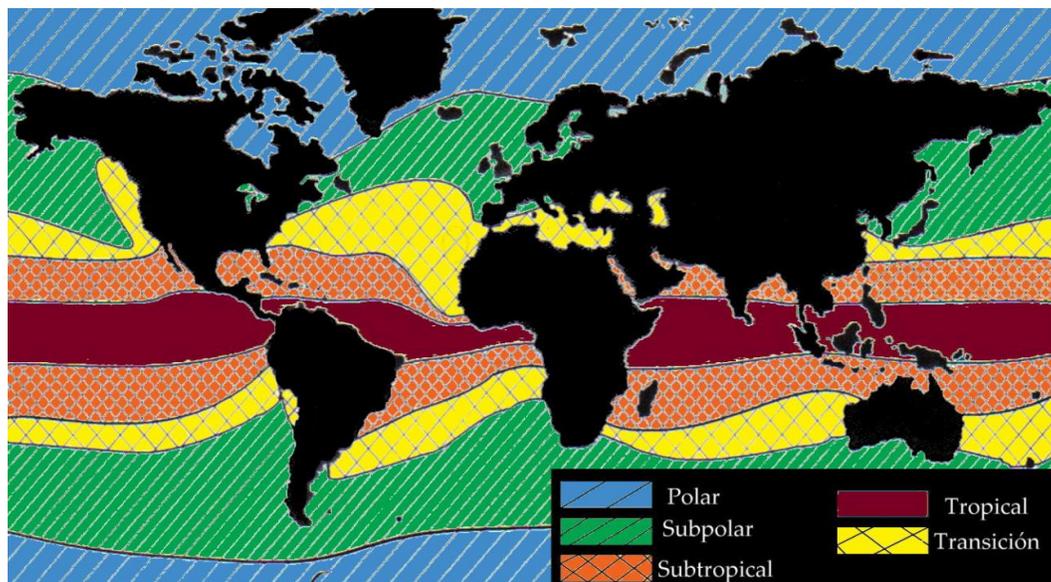


Figura 7. Esquema que muestra las provincias biogeográficas más conspicuas de los radiolarios en el océano mundial (Modificado de Boltovskoy y Pujana, 2008).

Origen y Evolución

Los restos más antiguos pertenecientes a radiolarios se encontraron en la región de Altai y datan del Cámbrico inferior (Nazarov, 1973; Obut e Iwata, 2000 en Boltovskoy y Pujana 2008), también se han encontrado estructuras que suponen un mayor vínculo con los radiolarios en las regiones de Australia y Canadá, los cuales datan del Cámbrico medio (Won y Below, 1999; Won e Iams, 2002 en Boltovskoy y Pujana 2008).

Se ha sugerido que el grupo de radiolarios pudo derivar de protistas con hábitos bentónicos; sin embargo, se cree existe una conexión filogenética con las esponjas. Estudios moleculares recientes, sugieren que los radiolarios presentan una mayor relación con los foraminíferos que con las esponjas (Nazarov, 1973; Petrushevskaya, 1977 en Boltovskoy y Pujana 2008). Estudios evolutivos recientes sobre la diversidad del grupo indican que durante todo el Paleozoico, la diversificación fue moderada y que para el periodo Triásico se produjo una notable expansión y que desde entonces se mantiene un balance con las especies que surgen y las que se extinguen, de manera que la gran diversidad general de radiolarios se mantiene hasta nuestros tiempos (Fig. 8) (Anderson, 1983).

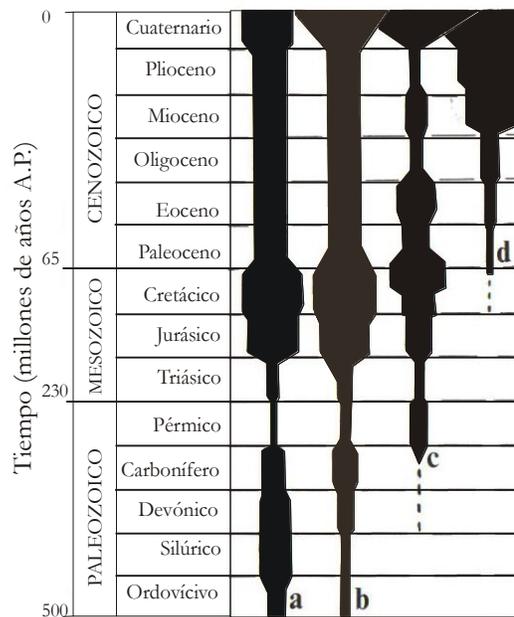


Figura 8. Diversidad relativa de Radiolarios para los órdenes Spumellaria y Nassellaria, comparado con otros grupos planctónicos. a) Spumellaria. b) Nassellaria. c) Dinoflagelados y d) Diatomeas. El grosor de las barras indica la diversidad de especies (Modificado de Anderson, 1983).

Bioestratigrafía

Las aplicaciones de los radiolarios en la bioestratigrafía se han limitado debido a la falta de estudios taxonómicos y al establecimiento de las líneas filogenéticas del grupo. A mediados del siglo XIX se han publicado varios trabajos bioestratigráficos con radiolarios en el Paleozoico Tardío. La bioestratigrafía del Mesozoico es muy abundante en el dominio alpino; sin embargo, se conoce muy poco del Triásico inferior (Arz, 2002).

La bioestratigrafía de los radiolarios para el Cenozoico, se basa en estudios de sedimentos oceánicos provenientes de una infinidad de secuencias sedimentarias recuperadas en los proyectos de estudio de los fondos marinos, en particular del “Deep Sea Drilling Project” y del “Ocean Drilling Program”.

La tasa evolutiva de los radiolarios se asemeja a la de otros microzooplancteres pelágicos, su alta diversidad, abundancia y frecuencia de aparición, los hace una herramienta estratigráfica muy útil; sin embargo, ambigüedades y confusiones en la taxonomía del grupo afectan el desarrollo de estas aplicaciones (Boltovskoy y Pujana, 2008).

Condiciones de preservación

El componente silíceo de los radiolarios polycystinos, es un compuesto soluble e inestable, el cual con el tiempo (40-60 ma) tiende a transformarse en compuestos más estables como calcedonia y/o cuarzo (Boltovskoy y Pujana, 2008).

Se calcula que menos del 10% de este sílice biogénico formado cerca de la superficie marina llega al fondo y que menos de una décima parte de esta última se preserva en el registro fósil, además, se cree que la disolución es más intensa en las capas superiores del océano formando una zona altamente corrosiva para el sílice de 1000 m, por debajo de la superficie (Takahashi, 1991).

Según Boltovskoy y Pujana (2008) los mecanismos más importantes que producen variación en la distribución de la biocenosis son (Fig. 9):

- La disolución en la columna de agua y en los sedimentos, la cual es selectiva, y depende de la robustez de los esqueletos.
- La sumersión y desplazamiento lateral (debido a las corrientes de fondo)
- La bioturbación, dada por organismos detritívoros bentónicos.
- La integración vertical, es la incorporación en el sedimento de organismos que provienen de distinta ubicación en la columna de agua.
- Reproducción, la cual está dada por el ritmo o modo de reproducción.
- Estacionalidad en la producción, ésta ocurre cuando se presenta en el sedimento una desproporcionalidad en conjuntos específicos de radiolarios.
- Pastoreo y fragmentación, al ser susceptibles a consumidores secundarios, ellos pueden fragmentar el esqueleto o dejarlo intacto constituyendo así un mecanismo de destrucción selectiva (Gersonde y Wefer, 1987 en Boltovskoy y Pujana 2008).

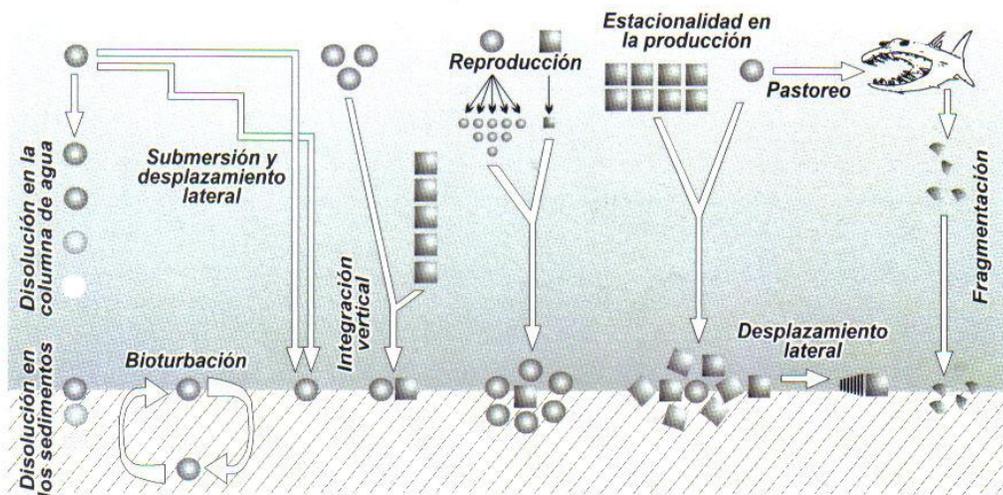


Figura 9. Esquema de los principales mecanismos de distorsión del registro planctónico en el proceso de sedimentación y fosilización (Tomado de Boltovskoy y Pujana, 2008).

Otras observaciones señalan que los esqueletos más frágiles son eliminados en altos porcentajes en comparación con los esqueletos más robustos. Los esqueletos del orden Nassellaria tienden a disolverse en los sedimentos más rápidamente que los del orden Spumellaria. Cabe destacar que es fundamental la correcta identificación tanto de sus estadios juveniles como de las sucesivas etapas de disolución *posmortem* (Takahashi, 1981 en Anderson 1983; Kling y Boltovskoy, 1995; Boltovskoy y Pujana, 2008).

Los radiolarios mejor preservados en los sedimentos son aquellos que se hunden más rápido al fondo marino y los que permanecen dentro de los pellets fecales de copépodos (Casey, 1977 en Anderson 1983). Existe una mayor preservación sedimentaria, donde las aguas superficiales son fértiles (con ritmo y aporte alto) y donde el ambiente bentónico es anóxico (Boltovskoy y Pujana, 2008).

Aplicaciones en Paleoceanografía

Los radiolarios polycystinos, se han utilizado ampliamente en estudios de cambio climático debido a que éstos presentan hábitats muy específicos y a que sus esqueletos se preservan muy bien en los sedimentos marinos (Molina-Cruz *et al.* 1999; Okasaki *et al.* 2004; Armstrong y Brasier, 2005; Lazarus, 2005; Pérez-Cruz, 2006).

Además, por medio de su utilización, es posible reconstruir condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas como: la fertilidad en las aguas, las variaciones de salinidad y temperatura en el mar, variaciones geográficas de las fuentes hidrológicas y patrones de circulación superficial y subsuperficial de las masas de agua (De Wever *et al.* 2001).

Se ha demostrado que existe un vínculo muy estrecho entre asociaciones de radiolarios polycystinos con las masas de agua de la Corriente de California, del Pacífico ecuatorial, de la región polar y subtropical del sur del Océano Atlántico y del Golfo de California (Kling y Boltovskoy, 1995; Welling *et al.* 1996; Molina-Cruz *et al.* 1999; Abelman y Growing, 1997 en De Wever *et al.* 2001).

Cabe mencionar que los radiolarios también se emplean, en dataciones bioestratigráficas del Cenozoico y de rocas sedimentarias más antiguas y en estudios macroevolutivos de especiación (Lazarus, 2005).

MARCO OCEANOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Características generales

El Golfo de California es una cuenca oceánica “joven” que inició su formación hace aproximadamente 4 millones de años, se ubica en la parte noreste del Océano Pacífico, en el noroeste de México, se localiza entre los 23° y 32° de latitud norte y los 107° y 114° longitud oeste, está situado entre 2 zonas áridas, la península de Baja California al occidente y los estados de Sonora y Sinaloa al oriente. Su extensión es de aproximadamente 150 km de ancho por 1200 km de longitud (presenta su eje mayor en dirección NW-SE).

Climatología

El clima del Golfo de California, está controlado por el Océano Pacífico tropical oriental, por el calentamiento diferencial del océano y de La Tierra y por la interacción estacional de la circulación atmosférica entre los trópicos y latitudes medias, lo cual resulta en un clima monzónico con vientos diferenciales en las estaciones secas y húmedas (Douglas *et al.* 2007).

Este clima monzónico, está determinado por la ubicación y migración estacional de la celda de alta presión subtropical, la intensidad y ubicación de esta zona de alta presión, depende del gradiente de temperatura meridional y del gradiente vertical de temperatura. El gradiente de temperatura está determinado por la cobertura de hielo en latitudes altas, mientras que el gradiente vertical se determina por la humedad atmosférica. Los cambios estacionales en ambos resultan en la contracción y migración hacia el norte de la celda durante el verano boreal (Cheshire *et al.* 2005).

El clima del Golfo de California, se divide en una fase invernal de mediana latitud y una fase subtropical en verano, ambas fases presentan una variación muy fuerte en la intensidad y duración de los vientos, lluvias y en la temperatura superficial del mar (Douglas *et al.* 2007; Bordoni *et al.* 2004 en Lavin *et al.* 2009).

Durante el invierno y primavera se presenta un clima frío y seco en el golfo debido a que el modo monzónico de invierno está dominado por vientos de flujo anticiclónico alrededor del sistema subtropical de alta presión en el este, ello se debe a que el sistema de alta presión del Pacífico y la Zona de Convergencia InterTropical (ZCIT) se retraen hacia el ecuador (Douglas *et al.* 2007; Chesire *et al.* 2005).

Los vientos superficiales que prevalecen durante el invierno y primavera provienen del noroeste y existe un transporte neto de aguas superficiales hacia afuera del golfo (Cheshire *et al.* 2005; Thunell, 1998). Cabe mencionar que el flujo de los vientos provenientes del noroeste es canalizado por la topografía de ambos lados del golfo, particularmente los vientos del lado peninsular son más fuertes que aquellos del lado continental (Douglas *et al.* 2007).

El patrón de los vientos y la media del gradiente de presión causan un vuelco en la columna de agua y resultan en un aumento en la producción de fitoplancton. Cabe mencionar que el patrón de circulación de los vientos, está interrumpido por breves vientos provenientes del sur, los cuales duran unos cuantos días y son causados por un giro anticiclónico el cual a menudo reside sobre el suroeste de los Estados Unidos de Norte América (Thunell, 1998; Badan-Dangon *et al.* 1991).

En contraste, el monzón de verano-otoño presenta un clima húmedo y cálido (Douglas *et al.* 2007), introduce temperaturas tropicales, alta humedad y lluvias. En estas estaciones, se establecen los vientos sureños con flujos débiles de oeste a este en el sur del Golfo y flujos transversales en el alto golfo. Este patrón de circulación de los vientos, se produce ya que la zona de alta presión del este del Pacífico y la ZCIT migran hacia el norte del ecuador (Bordoni *et al.* 2004 en Lavín *et al.* 2009). Dado el patrón de circulación de los vientos, las surgencias por viento son débiles y se limitan al margen peninsular (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

Durante el verano e inicios del otoño, la temperatura superficial del mar en la parte central y sur del golfo sobrepasa los 29° C debido al incremento en la radiación y a la introducción de las aguas superficiales del trópico por medio de la Corriente Costera de Costa Rica (Thunell, 1998; Douglas *et al.* 2007). Estas aguas cálidas hundren la termoclina hasta los 150 m (Robles y

Marinone, 1987 en Lavín *et al.* 1997) y retardan la advección vertical de nutrientes a la superficie.

En el núcleo del verano monzónico (junio-agosto) los vientos de alta elevación (troposfera media), tormentas convectivas y oleaje, se propagan por medio de sistemas ciclónicos en el Pacífico tropical del este, éste mecanismo transporta una carga de aire húmedo tropical dentro del golfo y produce del 60 al 80% de la lluvia estacional (Bordoni *et al.* 2004 en Lavín *et al.* 2009). Estos vientos cargados de humedad provocan precipitación en la costa oriental del Golfo, este ciclo del viento sobre el Golfo de California es conocido como “Monzón mexicano” (Douglas *et al.* 1993).

La mayor precipitación se registra en la parte sur del golfo en los meses de junio a octubre cuando predominan los vientos del sureste. En contraste, para las estaciones invierno-primavera y especialmente para el alto Golfo de California se genera muy poca precipitación (Lavín *et al.* 1997; Lavín y Marinone, 2003; Mitchell *et al.* 2002 en Lavín *et al.* 2009).

Por otra parte, la evaporación superficial del mar es un proceso muy importante ya que es responsable de la alta salinidad presente en las aguas superficiales del Golfo (Lavín *et al.* 1997; Lavín y Marinone, 2003). Roden (1958 en Lavín *et al.* 1997) estimó una velocidad de evaporación de $5.25 \times 10^{11} \text{ m}^3/\text{año}$ o $1.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Circulación

Jiménez *et al.* (2005) reportan que la circulación general del Golfo de California es afectada por el Océano Pacífico. Lavín y Marinone (2003) y Lavín *et al.* (1997) concluyeron que la termodinámica y la circulación estacional en el Golfo de California no está dominada únicamente por procesos locales (viento y flujo de calor vía la superficie) sino también, por la influencia del Océano Pacífico a través de la boca del golfo.

Las masas de agua que rodean la entrada del Golfo de California son desplazadas por el sistema de corrientes oceánicas del Pacífico tropical, las cuales tienen un comportamiento estacional muy marcado, reflejo de los cambios meteorológicos estacionales en la escala del Océano Pacífico (Baumgartner y Christensen, 1985; Strub y James, 2002 en Lavín *et al.* 2009).

El movimiento estacional de la Zona de Convergencia InterTropical (ZCIT) impone desplazamientos latitudinales al sistema de corrientes ecuatoriales, estos desplazamientos determinan que tan al sur llega la Corriente de California y que tan al norte llegará la Corriente Costera de Costa Rica, la cual conduce el Agua Tropical Superficial (ATS) al golfo. Esta variación estacional de las corrientes frente a las costas mexicanas es congruente con la variación de la posición de las masas de agua superficiales en el Golfo de California (Lavín *et al.* 1997; Wyrcki, 1967 en Lavín *et al.* 2009).

Durante el verano se presenta una circulación ciclónica que tiene un flujo de entrada del lado peninsular, esta circulación, presenta corrientes del orden de 30 cm s^{-1} . Por otro lado, durante el invierno el flujo de entrada es del lado continental y las corrientes para esta estación son en promedio muy similares a las del verano (Lavín *et al.* 1997; Beier, 1997 en Lavín *et al.* 2009).

Lavín *et al.* (2009) reportan una corriente costera en el lado continental del Golfo, la cual se dirige hacia el Noroeste y viaja a una velocidad de 0.55 ms^{-1} , además, se contrae conforme avanza hacia el interior del Golfo.

Circulación termohalina

La circulación termohalina resulta de los flujos de calor y agua (evaporación y precipitación) a través de la superficie. Estos flujos cambian la densidad del agua en las capas superiores del Golfo de California (Roden, 1958 en Lavín *et al.* 1997).

El flujo de calor a través de la superficie es sumamente importante en el golfo y está íntimamente ligado a las condiciones meteorológicas. El calentamiento solar es el flujo de calor más importante y la mayor pérdida de calor se debe a la evaporación. El promedio anual de flujo de calor a través de la superficie del Golfo de California representa una ganancia neta de calor a través de la superficie (Castro *et al.* 1994 en Lavín *et al.* 1997) el cual es exportado a través de las corrientes marinas especialmente por la circulación termohalina (Lavín *et al.* 1997). La estructura termohalina de las capas superficiales en la zona de entrada donde se realiza la comunicación con el Océano Pacífico es muy compleja, debido a la confluencia de aguas superficiales como el Agua Tropical Superficial (ATS), el Agua de la Corriente de California

(ACC) de origen subártico y el Agua del Golfo de California (AGC) las cuales presentan características contrastantes (Castro *et al.* 2000; Lavín y Marinone, 2003). Las diferencias de temperatura, salinidad y densidad entre estas masas de agua superficiales causan marcados frentes termohalinos los cuales desarrollan estructuras a mesoescala como remolinos, chorros y meandros, mismos que están presentes en toda el área de la entrada del golfo (Lavín *et al.* 2009).

Se han reportado giros geostróficos hasta de 50-150 km de diámetro en el golfo, se cree que son un componente muy importante en la circulación termohalina y que probablemente dominan a mesoescala en la región marítima (Lavín y Marinone, 2003; Navarro-Olache *et al.* 2004 en Lavín *et al.* 2009).

Masas de Agua

En un trabajo reciente realizado por Lavín *et al.* (2009) se llevo a cabo la revisión de la clasificación de las masas de agua en la zona sur del Golfo y en la zona de transición subtropical-tropical del Pacífico tropical oriental. La clasificación se muestra en la Tabla 9 y se describe brevemente a continuación:

Los autores sugieren que la masa de agua conocida como Agua del Golfo de California (AGC), involucra dos distintas masas de agua.

La primera denominada Agua del Golfo de California (AGC) se ubica en el lado peninsular y en las secciones interiores de la zona de entrada del golfo, presenta salinidades que van de 34.9 a 35.35, temperaturas de 14 a 29.5° C y ocupa la capa de la superficie hasta los 100-150 decibares. Se ha observado que fluye hacia fuera del golfo como una corriente estrecha y profunda. Cabe destacar que esta masa de agua, se forma en el norte del golfo por convección en la estación invernal.

La segunda masa de agua se denomina Agua Tropical Superficial Evaporada (ATSe) presenta salinidades entre 34.9-35.1, temperaturas de 28 a 30° C y se encuentra de 0 a 40 decibares en la parte continental y en el centro de la boca del Golfo. Esta masa de agua fluye hacia dentro del

Golfo. El ATSe, es Agua Tropical Superficial (ATS) que ha estado sujeta a evaporación, su alta temperatura la mantiene en la capa superficial.

El ATS proviene de la región ecuatorial, presenta salinidades que oscilan entre los 34.5 y los 34.8, tiene temperaturas que van de los 18 a los 30° C y se distribuye de 0 a 120 m de profundidad.

La extensión del ATS hacia el interior del golfo tiene una clara señal estacional con su máxima intrusión en verano (puede llegar hasta la Cuenca Guaymas) y la máxima retracción en invierno (se encuentra cerca de la zona de entrada del Golfo) (Torres-Orozco, 1993 en Lavín *et al.* 1997).

Los autores describen una masa de agua con salinidades relativamente bajas (<34.5) y temperaturas que fluctúan entre los 17 y 24° C, de acuerdo con la antigua clasificación, esta masa de agua podría ser denominada como ATS; sin embargo, al realizar mediciones de salinidad y oxígeno disuelto, los autores sugieren una distinta denominación.

Estudios previos (Castro *et al.* 2000, 2006) también han encontrado intrusiones de baja salinidad e identificaron esa masa de agua como ACC. Por su parte, Roden (1971,1972 en Lavín *et al.* 2009) llamó a estas intrusiones de mínimo de salinidad (34.5-34.7) a profundidades de 50 a 100 m como el “mínimo somero de salinidad”. Warsh *et al.* (1973 en Lavín *et al.* 1997) argumentaron que la masa de agua en cuestión es una mezcla de agua subsuperficial del ACC y de ATS (la denominaron “agua de transición A”), encontraron además, que está asociada a un máximo de oxígeno.

Lavín *et al.* (2009) proponen que es mejor identificarla como el Agua del Mínimo de Salinidad Somero (AmSS) la cual presenta salinidades que van de los 34.1 a los 34.5, temperaturas de los 9 a 18° C y se distribuye de 10-110 m de profundidad en 2 núcleos distintos, uno cerca de la península (Min. S~34.2) y otra cubriendo desde la parte continental a la parte marítima del centro de la boca del Golfo (Min. S~34.4). El núcleo oeste del AmSS es más amplio desde punta Pescadero B.C.S. a la Reforma, Sinaloa, en contraste, la porción este del AmSS se extiende hasta las cercanías de la Cuenca Farallón; sin embargo, está muy restringida a la zona de la plataforma del continente.

El Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt) también presente en el Golfo, se encuentra entre los límites de temperatura de 9-18° C, presenta salinidades de 34.5 a 34.9 y se distribuye a una profundidad de 50 a 480 m, ésta subyace a las aguas superficiales antes descritas.

Según Torres-Orozco (1993 en Lavín *et al.* 1997) el ASsSt presenta su máxima intrusión en la parte norte del Golfo en las estaciones de otoño e invierno y se extiende hasta la isobata de 150 m (~150 km del delta del río Colorado) mientras que en primavera-verano, se retrae hasta la isobata de 300 o 350 m (250-300 km del delta).

A profundidades mayores de 400 m y menores de ~1200 m se encuentra el Agua Intermedia del Pacífico (AIP) la cual ocupa el 33% del volumen del Golfo y presenta salinidades de 34.5 a 34.8 con temperaturas que van de 4 a 9° C.

Por último, el Agua Profunda del Pacífico (APP), se distribuye desde el fondo hasta los ~1200 m de profundidad, ocupa un gran volumen del Golfo (41%) y exhibe salinidades que van de los 34.5-34.7, es importante resaltar que esta masa de agua se delimita por la isoterma de 4° C (Torres-Orozco, 1993 en Lavín *et al.* 1997).

Tabla 9. Principales masas de agua en la zona de la boca del Golfo de California según Lavín *et al.* (2009) se muestran sus propiedades y su distribución en la columna de agua.

Masa de agua	Abr.	S	T (°C)	Profundidad (m)
Agua del Golfo de California	AGC	34.9-35.35	14-29.5	0-180
Agua Tropical Superficial Evaporada	ATSe	34.9-35.1	28-30	0-40
Agua Tropical Superficial	ATS	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	400<D<1200
Agua Profunda del Pacífico	APP	34.5- 34.7	<4	1200- Fondo

Productividad

El Golfo de California presenta una alta productividad primaria la cual se sustenta principalmente con los procesos de surgencia presentes en el golfo, éstos generan un aporte de nutrientes hacia la zona fótica y favorecen el florecimiento del plancton (Roden, 1972 en Lavín *et al.* 2009).

Además, las surgencias juegan un papel muy importante en la exportación de carbono y el intercambio de Dióxido de Carbono (CO_2) en la interfase atmósfera-océano, la intensidad y duración de las surgencias, se determinan por la circulación atmosférica global, mismas que están directamente relacionadas con el cambio en el curso de los vientos en el norte del Océano Pacífico (Juillet-Leclerc, 1987; Benson, 2005; Goñi *et al.* 2006).

Roden (1964 en Lavín *et al.* 2009) estima para el sur del Golfo de California una velocidad media de surgencias de 1-3 m por día. Fernández-Barajas *et al.* (1994 en Lavín *et al.* 2009) reportan fuertes afloramientos entre las Cuencas Guaymas y del Carmen, dado que existe una interacción entre la circulación de giros ciclónico y anticiclónico.

Los rangos de productividad en el Golfo, pueden ser mayores a $1\text{g C/m}^2/\text{día}$ y pueden excederse a $4\text{g C/m}^2/\text{día}$, lo cual lo convierte en una de las áreas mas productivas del mundo (Álvarez- Borrego y Lara Lara, 1991; Thunell, 1998).

Las surgencias generadas en las costas orientales del Golfo de California, son más evidentes en las estaciones de invierno y primavera a consecuencia del cambio de dirección de los vientos. En estas estaciones se presenta una disminución rápida de la temperatura superficial del mar y ocurre que las aguas subsuperficiales ricas en nutrientes son llevadas a la superficie dado el desplazamiento por viento de las aguas superficiales (Molina Cruz, 1984; Pike y Kemp, 1996; Goñi *et al.* 2006).

En cambio, la producción primaria en el centro y en la parte occidental del Golfo, es baja en las estaciones de verano-otoño, cuando los vientos débiles provienen del sur y se introduce al golfo, una masa de agua cálida y oligotrófica que proviene del Pacífico ecuatorial, esta masa de agua estratifica la columna de agua y hunde la termoclina hasta 150 m o más (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991), los posibles mecanismos para el movimiento de nutrientes hacia la zona

fótica dadas las condiciones anteriores, estarían dados por ondas costeras atrapadas y por mareas internas, los cuales generarían turbulencia que puede transportar nutrientes del fondo hacia la cima de la columna de agua (Douglas *et al.* 2007).

Cabe destacar que el Golfo de California presenta giros geostroficados, los cuales están vinculados a plumas y filamentos, éstos fungen entre otras cosas como generadores de surgencias y transportadores de agua rica en nutrientes y en detritos planctónicos, el número, tamaño y ocurrencia de los giros y de las plumas asociadas son características importantes en el golfo (Douglas *et al.* 2007). Existen tres grandes remolinos con rotación alternada (ciclónica, anticiclónica y ciclónica) en el centro y sur del Golfo de California (Fernández-Barajas *et al.* 1994 en Lavín *et al.* 2009), los cuales varían según la estacionalidad de la locación y no se encuentran correlacionados con la batimetría de las Cuencas (Figuerola *et al.* 2003 en Lavín *et al.* 2009).

Imágenes satelitales en el Golfo, revelaron que existen dos sitios principales de productividad primaria representadas por plumas de surgencias costeras para las estaciones de invierno-primavera junto a la parte continental de la zona sur y boca del golfo dispuestas al este de las Cuencas del Carmen, Guaymas y Pescadero (Santamaría-del-Ángel *et al.* 1994 en Lavín *et al.* 1997).

Sedimentos

El Golfo de California presenta un gran aporte de sedimentos provenientes del occidente y oriente del golfo; sin embargo, el margen oriental, aporta una mayor cantidad de material terrígeno debido a sus condiciones hidrográficas, en comparación con el árido margen occidental.

El material sedimentario que se deposita al norte del Golfo de California, presenta en su mayoría, sedimentos provenientes de la descarga del Río Colorado, mientras que las cuencas y pendientes del sur y centro del golfo, presentan sedimentos limo-arcillosos (Van Andel, 1964 en Benson 2005). Cabe destacar que al sur de la latitud 26° N, se encuentran grandes concentraciones de sílice biogénico éste, se compone casi exclusivamente de esqueletos de radiolarios, mismos que decrecen en cantidad hacia el norte del golfo, además, se ha observado

una mayor concentración de radiolarios en las pendientes de las cuencas que en el fondo de las mismas (Benson, 2005).

Los sedimentos del Golfo de California sobre los cuales se ha realizado un mayor número de estudios, son los sedimentos laminados de la región sur del golfo, éstos pueden ser depositados diferencialmente de forma no-anual (Cuenca Alfonso) y sedimentos laminados de aporte diferencial estacional/anual (Cuenca Guaymas, del Carmen y Pescadero) ambos registran la variabilidad climática, oceanográfica y ecológica del pasado en escalas que van de estacionales a milenarias, por ello, documentan la variabilidad del sistema climático (Weinheimer y Cayan, 1997; Molina-Cruz *et al.* 2002; Douglas *et al.* 2007; Pérez-Cruz y Urrutia-Fucugauchi, 2010).

De acuerdo con Pérez-Cruz y Herguera (en prensa) los sedimentos del Golfo de California se componen de material biogénico y litogénico y presentan información relativa a:

- Los procesos climáticos y ecológicos sobre el continente
- La dinámica oceanográfica y biológica en la superficie del mar
- Los fenómenos de reciclaje y transferencia que ocurren en la columna de agua y en la interfase agua-sedimento
- Las transformaciones diagenéticas en los sedimentos

La composición de sedimentos laminados que se depositan anualmente, se atribuye al ciclo anual de aporte diferencial de sedimentos biogénicos –laminas de color pálido-olivo- y litogénicos –laminas de color café-olivo- (Pike y Kemp, 1996). La formación de éstos sedimentos laminados se debe principalmente a la presencia de una alta productividad en las aguas superficiales y a una zona de oxígeno mínimo bien diferenciada con bajos niveles de oxígeno disuelto en la interfase agua-sedimento, cuando esta zona incide sobre el talud de la cuenca, inhibe la actividad bentónica y consecuentemente la alteración del sedimento laminado (Kemp 1996; Weinheimer y Biondi 2003; Pérez-Cruz *et al.* 2009).

Estos sedimentos laminados de aporte diferencial anual también conocidos como “varvas”, se ha descrito en los fiordos de Noruega, Canadá, Chile, en la Cuenca de Santa Bárbara (Corriente de California), en la Cuenca de Guaymas (Golfo de California) en la Cuenca Cariaco (Caribe

Venezolano), en el margen continental de la Antártida y en algunas localidades del margen Arábigo (Océano Indico).

En el Golfo de California, los estudios de sedimentos laminados se han concentrado en algunas cuencas del Golfo de California como Guaymas, del Carmen, Pescadero y Alfonso (Pérez-Cruz y Herguera, en prensa).

En particular, la Cuenca del Carmen esta localizada en el talud de la parte central del golfo, presenta un gran aporte de material terrígeno proveniente de las descargas del delta del río mayo en el margen oriental del golfo y material biogénico que se deposita en el fondo como resultado de la alta productividad biológica de las aguas superficiales. Los altos niveles de productividad en la cuenca, se mantienen gracias a los procesos de surgencias que son más intensos durante el invierno y principios de primavera. Esta cuenca presenta laminaciones anuales (varvas) de aproximadamente 1 mm de espesor.

La zona sur del Golfo de California, presenta una capa de oxígeno mínimo a una profundidad de 500 a 1100 m, donde la cantidad de oxígeno disuelto es de 0.08-0.15 ml/L (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991) la morfología marina del Golfo de California y sus cuencas escalonadas inhiben la comunicación directa entre las aguas profundas de las cuencas y el mar abierto (Baumgartner *et al.* 1985). Bajo estas circunstancias, el oxígeno disponible se repone y las aguas profundas de las cuencas por debajo del umbral son propensas de ser anóxicas (Kemp, 2003).

Batimetría

Lavín *et al.* (1997) y Lavín y Marinone (2003), dividen el Golfo de California según su batimetría en cinco regiones, éstas se describen a continuación (Fig. 10):

La zona de la boca o zona de entrada, está limitada por las líneas que unen a Cabo San Lucas, B.C.S. con Cabo Corrientes; a Cabo San Lucas con El Dorado, Sinaloa y la línea de costa entre El Dorado y Cabo Corrientes (profundidad ~3000 m) e incluye parte de la Cuenca Pescadero y de la Cuenca Mazatlán. Cabe destacar que en esta zona entran en contacto varias masas de agua con características contrastantes, las cuales generan frentes termohalinos.

La zona sur del Golfo de California es la más extensa, abarca desde la línea Cabo San Lucas-El Dorado hasta los umbrales de las grandes islas, en esta zona están contenidas 5 cuencas en serie, Pescadero (3000 m), Farallón (3000 m), del Carmen (2000 m), Guaymas (2000 m) y San Pedro Mártir (1000 m), las cuales decrecen en profundidad hacia el interior del golfo.

La zona del Archipiélago o la zona de islas, contiene 2 de las islas más grandes de México (isla Tiburón e isla Ángel de la Guarda) éstas presentan zonas con canales muy estrechos y umbrales con profundidades máximas entre 300-600 m que conectan las zonas sur y norte del golfo.

La zona norte del Golfo de California abarca desde las grandes islas hasta la línea que va de San Felipe Baja California a Puerto Peñasco Sonora, esta área es más somera que la zona sur, su profundidad media es de ~200 m y la mayor parte del fondo marino puede clasificarse como parte de la plataforma continental. Las cuencas inmersas en esta zona son: Tiburón, Delfín y Wagner con 400, 600 y 200 metros de profundidad respectivamente.

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

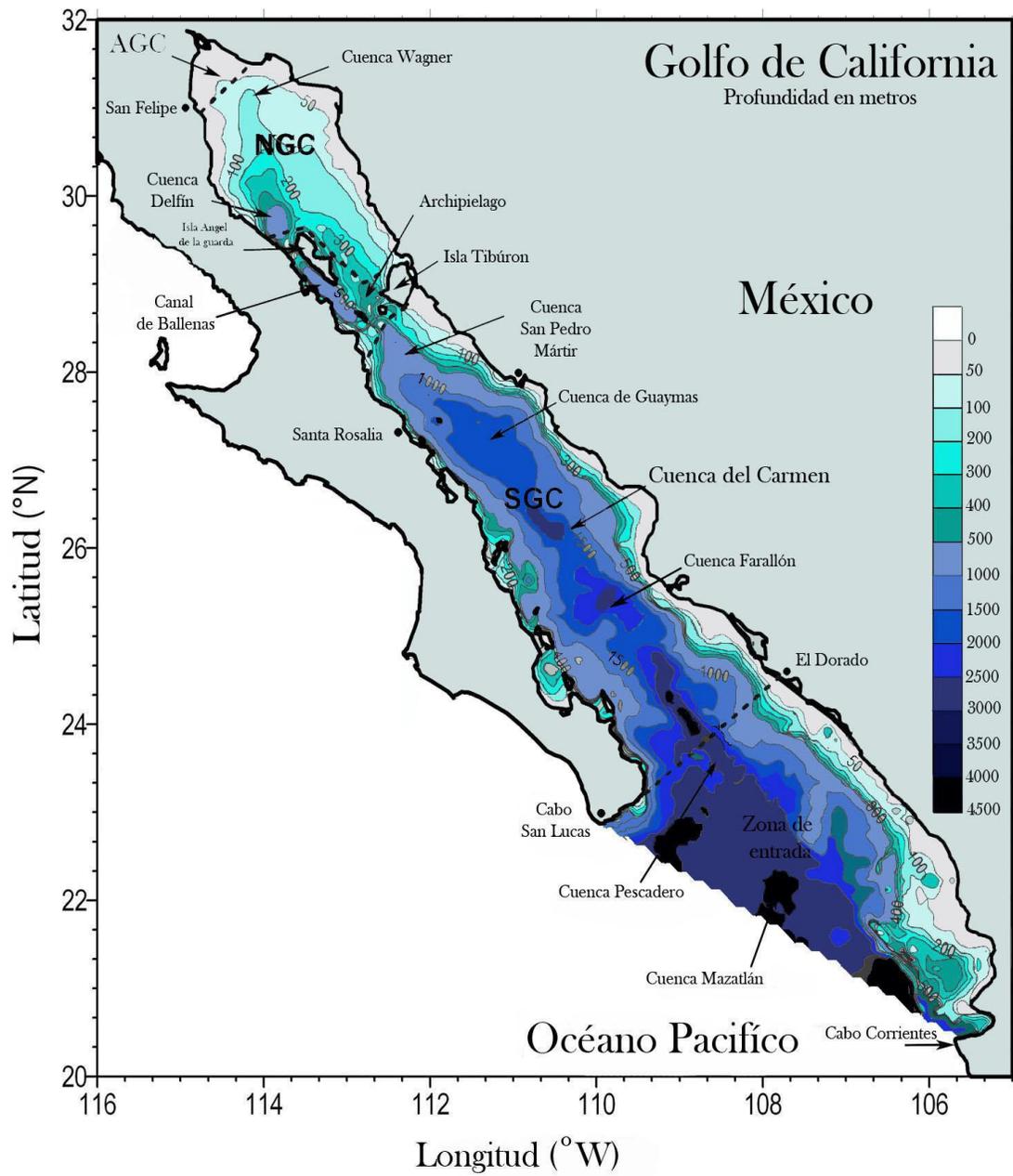


Figura 10. Regiones y batimetría en el Golfo de California según Lavín *et al.* (1997). Se muestran las distintas profundidades en metros y los nombres de las principales cuencas (Modificado de Lavín y Marinone, 2003).

HISTORIA CLIMÁTICA DEL HOLOCENO TARDÍO

Considerando que el alcance temporal de este estudio es aproximadamente de los últimos 270 años, a continuación se describen los cambios climáticos más importantes ocurridos dentro del contexto del Holoceno Tardío.

El Holoceno es una época interglacial que comprende los últimos 10 000 años, es la última época del periodo Cuaternario y se diferencia del Pleistoceno por sus climas relativamente cálidos (Cronin, 1999). La época del Holoceno no se divide en sub-etapas (Bowen, 1978 en Cronin 1999); sin embargo, existe un consenso que lo divide en Holoceno Temprano (10 a 8 mil años), Holoceno Medio (8 a 4 mil años) y Holoceno Tardío (4 mil años al presente) (Cronin, 1999).

La variabilidad secular del Holoceno Tardío está caracterizada principalmente por 2 grandes periodos climáticos contrastantes, el denominado Periodo Cálido Medieval (PCM) y la Pequeña Edad de Hielo (PEH). El PCM también conocido como el Óptimo Climático Medieval (definido por Lamb, 1965 en Cronin 1999) se presentó en el intervalo de 950 a 1250 A.D. (Mann *et al.* 2009), éste se caracterizó por presentar temperaturas cálidas en el verano austral y boreal (Hughes y Díaz, 1994 en Uriarte 2003). Las temperaturas en el Hemisferio Norte fueron 2° C más altas que el promedio de temperaturas del siglo XV y XIX (Mann *et al.* 1999).

Posterior a este periodo cálido, entre los años de 1400 y 1700 A.D. (Mann *et al.* 2009) se presentó un periodo frío denominado “La Pequeña Edad de Hielo”, durante el cual, la temperatura promedio fue 1° C menos con respecto a la temperatura del siglo XX (Mann *et al.* 1999). Algunos autores mencionan que la PEH sólo afectó las estaciones invernales del Hemisferio Norte y en particular, de la porción europea (Cronin, 1999; Uriarte, 2003).

Dentro de la variabilidad decadal del Holoceno Tardío, se destaca en el Océano Pacífico un fenómeno conocido como “La Oscilacion Decadal del Pacífico” (ODP) el cual causa

variabilidad climática y oceánica principalmente en la porción norte del continente americano y en el Océano Pacífico (Mantua *et al.* 1997 en Cronin 1999). La ODP, presenta una fase positiva y una fase negativa, las cuales oscilan entre 20 y 30 años (Biondi *et al.* 2001). Se ha reportado que su mayor intensidad es durante los meses de octubre a marzo, cerca de los 20° de latitud, así mismo, se ha observado que cuando presenta su fase positiva y coincide con el fenómeno de “El Niño” se intensifican los efectos en ambos hemisferios y se generan mayores alteraciones oceánicas y climáticas (Mantua *et al.* 1997 en Cronin 1999).

Por otra parte, la anomalía denominada “El Niño Oscilación del Sur” (ENOS) es un fenómeno de carácter interanual que modifica las condiciones climáticas y oceánicas en el trópico, sub-trópico, algunas regiones de latitud media (Bjerknes, 1966, 1969 en Cronin 1999) y se cree que también las regiones templadas (Philander, 1990 en Cronin 1999). Según Markgraf y Díaz (2000) el fenómeno de “ENOS” es irregular y se alterna entre 2 fases conocidas como “El Niño” y “La Niña” las cuales se presentan entre ~2-7 años. Los eventos de la fase “El Niño” se caracterizan por generar temperaturas superficiales cálidas en el occidente del Pacífico y en el Océano Índico, además, también produce cambios en la profundidad de la termoclina e intensificación de corrientes oceánicas superficiales (Cronin, 1999).

En el Golfo de California, el fenómeno de ENOS causa una mayor incursión del Agua Tropical Superficial (ATS), la cual es cálida y oligotrófica (Baumgartner y Christensen, 1985; Lavín *et al.* 1997), como consecuencia, se registra baja salinidad superficial, elevación del nivel del mar y hundimiento de la piconclina (Robles y Marinone, 1987 en Lavín *et al.* 1997). Estas condiciones, modifican el ciclo anual del Golfo (Lavín *et al.* 1997; Castro *et al.* 2000) generan baja productividad superficial, poco flujo de CO₂ a la atmósfera y lluvias de verano más intensas (Baumgartner *et al.* 1985).

Numerosos estudios han reportado que durante los últimos 200 años la temperatura media de la superficie terrestre subió ~0.7° C; sin embargo, cabe destacar que la tendencia a lo largo de estos años no ha sido uniforme, ni en tiempo ni en espacio (Uriarte, 2003).

Particularmente, en la zona sur y de entrada del Golfo de California se han realizado diversos estudios paleoclimáticos y paleoceanográficos con diferentes alcances estratigráficos durante el Holoceno, estos estudios, evidencian la presencia de aguas cálidas superficiales desde hace poco más de 500 años, la mayoría de estos estudios ha registrado un calentamiento superficial continuo desde los inicios del siglo XX, algunos autores han atribuido esta predominancia de aguas cálidas superficiales de origen tropical al fenómeno de “El Niño” (Juillet-Leclerc y Shrader, 1987; Herguera *et al.* 2003; Staines-Urías y Douglas, 2005), a la ODP (Herguera *et al.* 2003; Dean *et al.* 2004) y/o a la variabilidad solar (Goñi *et al.* 2001 ; Barron y Bukry, 2007; Staines-Urías *et al.* 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo a bordo

La secuencia sedimentaria K58, objeto de este estudio, fue colectada en el Golfo de California dentro de la Cuenca del Carmen (Latitud 26° 00' 670'', Longitud 110° 59' 708'' a una profundidad de 710 m), a bordo del B/O "EL PUMA" de la UNAM, en la Campaña Oceanográfica "Dinámica Oceánica y Paleoceanográfica del Golfo de California I" (DIPAL-I) realizada en Febrero del año 2006.

La secuencia K58 se obtuvo con un Nucleador de gravedad tipo "Kasten" el cual contenía en su interior 5 camisas de acrílico de 14.5 cm de ancho y 50 cm de altura –las camisas de acrílico son útiles ya que facilitan el transporte de los sedimentos-. Cada camisa de acrílico se marcó e identificó con un número secuencial de la base a la cima y se almacenó en un cuarto frío para su posterior análisis.

Descripción de la secuencia sedimentaria

- La secuencia sedimentaria se describió considerando las siguientes características:
- Textura y composición del sedimento.
- Color del sedimento (con base en la tabla de colores de Munsell (1995)).
- Presencia de cenizas volcánicas, nódulos, inclusiones, etc.
- Estructura (masiva, laminar etc.)
- Evidencias de bioturbación
- Pérdida de sedimento o perturbación de la secuencia durante su recuperación y/o traslado al laboratorio

Marco Cronológico

En un estudio previo realizado por Villagrán de la Cruz *et al.* (2008) se definió la cronología de la secuencia sedimentaria mediante el método del ^{210}Pb . Se tomaron 14 muestras superficiales para su datación por este método y se enviaron al laboratorio MicroAnalytic de Miami, Florida. La tasa de sedimentación se estimó siguiendo el modelo: "Tasa Constante de Aporte" descrito por Stratton *et al.* (2000), el cual se basa en las suposiciones de que:

- El ^{210}Pb exportado es transportado al sedimento a una tasa constante a través del tiempo
- La concentración inicial del ^{210}Pb en el sedimento es variable
- La tasa de entrada de los sedimentos es variable

El ^{210}Pb es un isótopo natural inestable con una vida media de 22.26 años. Su vida media relativamente corta permite su utilización en la determinación de la edad absoluta de registros sedimentarios que abarcan aproximadamente los últimos 200 años y es frecuentemente utilizado para determinar el marco geocronológico en sedimentos lacustres y marinos (Oldfield y Appleby, 1984; Appleby y Oldfield, 1992).

Muestreo en Laboratorio

Se llevó a cabo el muestreo de la primera sección de la secuencia en el Laboratorio de Paleomagnetismo y Paleoambientes (Nucleoteca II; Programa Universitario de Perforaciones en Océanos y Continentes), del Instituto de Geofísica. Se realizaron cortes cada centímetro de los primeros 31 cm de la secuencia y se tomaron muestras de cada intervalo con dos anillos metálicos de volumen conocido (1.782 cm^3) resultando un volumen total de 3.564 cm^3 .

Preparación de las muestras

Las muestras se procesaron de acuerdo a la técnica de Moore (1973 en Anderson 1983) y Roelofs y Piasis (1986) la cual se describe brevemente a continuación:

Cada muestra procedente de los anillos, se colocó en un vaso de precipitados de 500 ml previamente etiquetado y se le añadió 100 ml de agua corriente. Posteriormente, se agregaron 25 ml de Agua oxigenada (H_2O_2 al 30 %) y 25 ml de Acido Clorhídrico (HCl al 37.7%) al vaso contenedor de la muestra. El procedimiento se realizó sobre una parrilla eléctrica a una temperatura de $\sim 250^\circ\text{C}$ con el objetivo de acelerar la reacción química y eliminar materia orgánica y carbonatos presentes en la muestra.

Al término de la reacción, cada muestra se lavó con agua corriente sobre un tamiz con apertura de malla de 34 micras (μm).

Se prosiguió con la preparación de las placas micropaleontológicas, que consistió en colocar un anillo de teflón con dos portaobjetos previamente etiquetados (original y duplicado) dentro de un vaso de precipitados de 1000 ml, al vaso se le agregaron 800 ml de agua corriente y se vació la muestra previamente tamizada. Al concluir este procedimiento, se agitó aleatoriamente el contenido del vaso y se dejó sedimentar la muestra durante 40 minutos.

Transcurrido el tiempo se cuidó de no perturbar la muestra depositada en los portaobjetos. Con ayuda de un sifón se drenó el agua sobrante y se prosiguió a secar cada muestra en una estufa a 40° C durante 1 hora.

Por último, se montaron las placas micropaleontológicas, cada placa se fijó con Bálsamo de Canadá y se dejó secar nuevamente en la estufa a 40° C durante 1 h. Finalmente cada placa se limpió perfectamente con una solución de Xilol (al 100%) para su consecutiva observación al microscopio.

Identificación taxonómica de los radiolarios polycystinos

La determinación taxonómica de los radiolarios polycystinos se basó en los trabajos previos de identificación realizados por Nigrini y Moore (1979), Boltovskoy y Riedel (1980), Boltovskoy y Jankilevich (1985) y Benson (1966, 2005) mediante la utilización de un microscopio óptico (Axioskop 40 Carl Zeiss) con los objetivos A-plan de 10x, 20x y 40x.

Se revisó cada placa original y en ocasiones el duplicado de la muestra hasta completar por lo menos 300 organismos. Según Sachs (1973) este número es estadísticamente representativo en una población de microfósiles.

Análisis estadístico

Se elaboró una matriz de datos con las abundancias absolutas de los radiolarios en las 31 muestras (Anexo I). A partir de estos datos, se calculó la abundancia relativa de cada una de las especies (Anexo II) y se realizó un análisis de estadística descriptiva.

Utilizando las abundancias relativas se generó una matriz de datos de especies (casos) por muestras (variables) y se aplicó un análisis estadístico multivariado conocido como Análisis de Factores en su modo “Q”.

El Análisis de Factores modo “Q” es una técnica estadística utilizada para estudiar las relaciones entre las variables medidas en un conjunto de datos (Johnson, 1998), la cual origina asociaciones denominadas Factores. El número de “Factores” se determina comúnmente al considerar su valor propio “eigenvalues”, mientras mayor sea el “eigenvalue” más importante es el Factor en el análisis (Molina-Cruz *et al.* 1999).

Los Factores se interpretan con base en los “Factor Loading” o cargas del factor y los “Factor Scores” o puntajes factoriales. Un “Factor Loading” representa la importancia de las muestras, mientras más grande sea el “Factor Loading” más dominante será en la muestra. Por otra parte, los “Factor Scores” identifican la importancia de cada especie asociada al Factor resultante, mientras más alto sea el valor del “Factor Score” mayor importancia tendrá en el Factor (Molina-Cruz *et al.* 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de la secuencia sedimentaria

La secuencia sedimentaria K58 estuvo conformada por sedimentos limo-arcillosos y se caracterizó por tener una estructura laminada, la cual es posible observar a simple vista. Presenta una alternancia de láminas claras y oscuras distribuidas a lo largo de toda la secuencia, cuyo espesor varía de 1 a 3 mm. Las laminaciones claras se componen de sedimentos biogénicos (predominantemente material silíceo, diatomeas en su mayoría) mientras que las láminas oscuras, se componen básicamente de material terrígeno (Fig.11).

Con base en la Tabla de Colores Munsell (1995) se determinó el color de las láminas, las claras tuvieron un color olivo, HUE 5Y 5/3 y las oscuras presentaron distintas tonalidades que van desde el verde olivo-oscuro al verde olivo-gris, HUE 5Y 3/2.

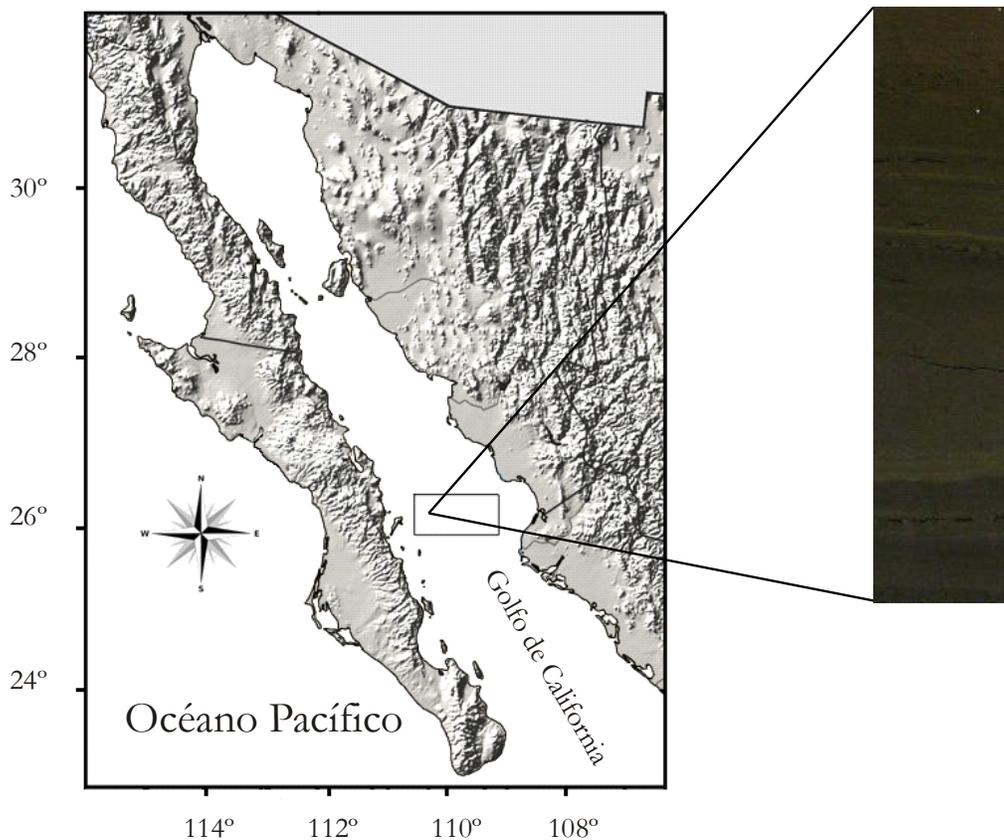


Figura 11. Ubicación de la Cuenca del Carmen en el Golfo de California e imagen de la secuencia sedimentaria K58.

Modelo de Edad

Con base en la datación de ^{210}Pb , se estimo una tasa de sedimentación de 1.14 mm/año, por lo que la secuencia estudiada de 31 cm tiene un alcance aproximado de 263 años.

Análisis de Factores

A través del Análisis de Factores modo “Q” se determinaron 2 factores, los cuales explican en conjunto el 89.37% de la variabilidad total de los datos (Tabla 10). Los “Factor loadings” de cada factor (Anexo III) se graficaron en sentido estratigráfico para mostrar su distribución e importancia a lo largo de la columna, así mismo, se graficaron las comunales, que indican que tan bueno es el ajuste (Fig. 12); se obtuvieron además los “Factor scores”, con los cuales se definieron las especies características de cada factor (Anexo IV, Anexo V).

En referencia a los procesos oceánicos descritos por las especies asociadas a los factores, el factor 1 fue denominado “Divergencias” y el factor 2 “Estratificación”.

Tabla 10. Factores definidos en el análisis. Se muestran los “eigenvalues” y la varianza total de cada factor.

Factor	“Eigenvalue”	Varianza total (%)	“Eigenvalue” Acumulado	% Acumulado
1	24.12	77.83	24.12	77.83
2	3.57	11.54	27.70	89.37

Interpretación Paleoceanográfica

El Factor 1 denominado “Divergencias” explica el 77.83% de la variabilidad total de los datos, presenta sus valores más significativos en dos intervalos de la secuencia, de 1740 a 1801 A.D. y de 1915 a 2003 A.D. (Anexo III, Fig. 12). Las especies asociadas a este Factor son *Arachnocrallium calvata*, *Clathrocircus stapediis* y *Lithomelissa pentacantha*, con “Factor scores” de 5.29, 1.13 y 1.01, respectivamente (Fig. 13; Anexo IV y V).

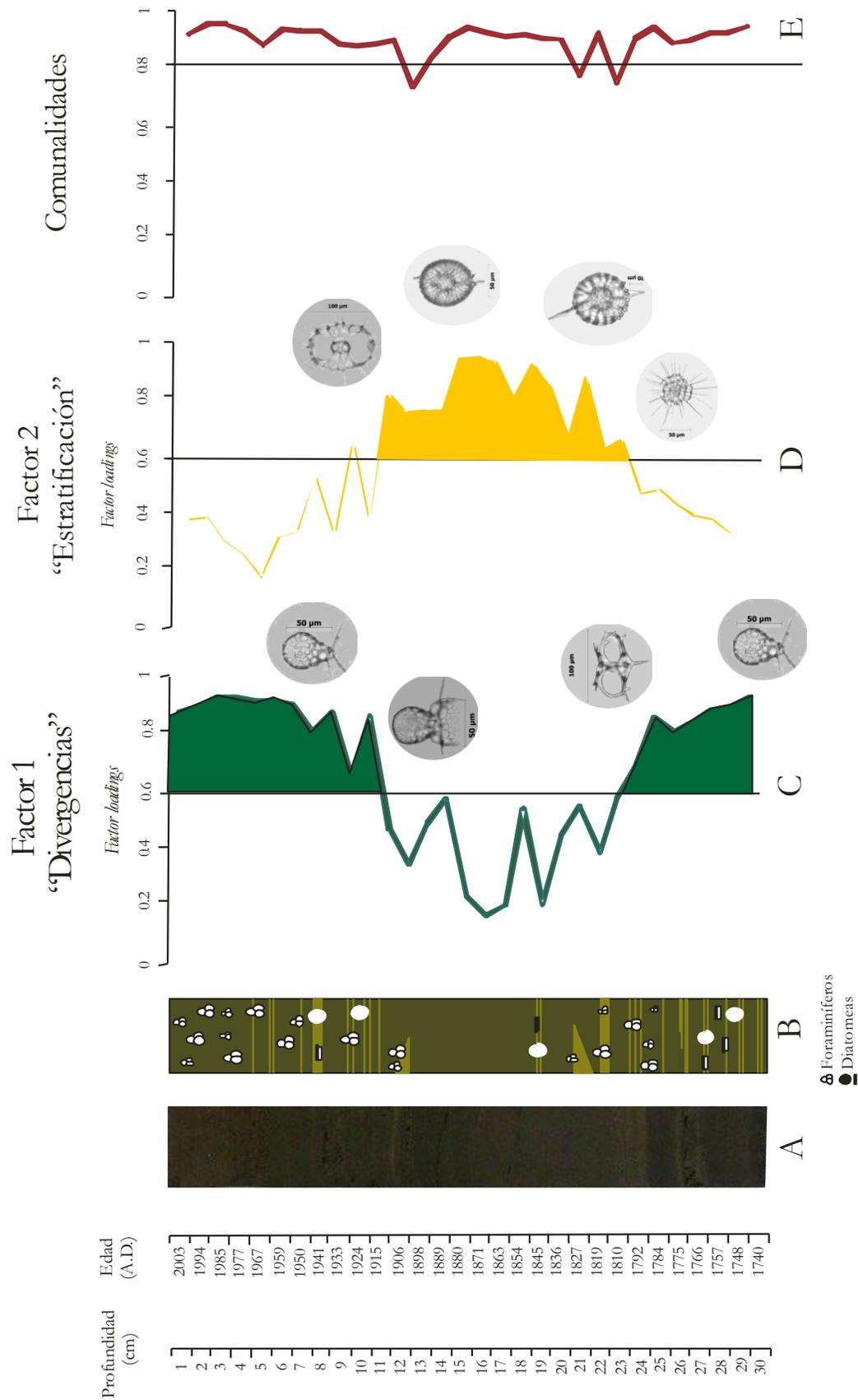


Figura 12. A) Esquema de la secuencia sedimentaria K58. B) Representación esquemática de la secuencia K58, se muestra la estructura laminada. C y D) Representación en sentido estratigráfico de los *factor loadings* de los factores 1 y 2 (se muestran las especies asociadas a cada uno). E) Comunalidades de los factores.

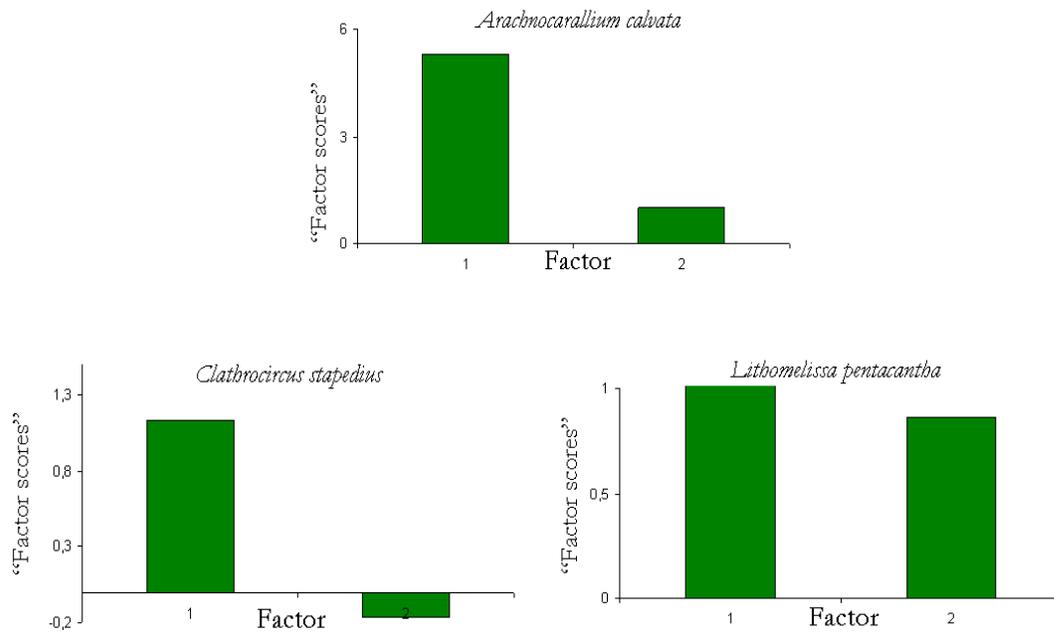


Figura 13. “Factor scores” de las especies asociadas al Factor 1 “Divergencias”.

Arachnocorallium calvata se observó en la columna de agua y en los sedimentos superficiales en varias cuencas del centro y sur del Golfo de California (Pescadero, Farallón, del Carmen y Guaymas). Se encontró junto con otras especie de radiolarios, como: *Lithomelissa thoracites* y *Peridium longispinum*, y si bien fue un taxa importante del factor denominado “Agua de Guaymas”, también se le encontró asociada a otro factor denominado “Agua del Golfo de California”, los cuales sugieren condiciones oceánicas diferentes. Por lo anterior, se le consideró como una especie cosmopolita de aguas superficiales (Molina-Cruz *et al.* 1999).

En el Pacífico centro-occidental, *A. calvata* (referida como *P. spinites*) es muy abundante a profundidades de 0 a 120 m, por lo que dada su distribución vertical y horizontal en la columna de agua, se sugirió que esta especie tolera un amplio rango de temperaturas (Yamashita *et al.* 2002).

Con respecto a *Clathrocircus stapedius* se tiene muy poca información sobre sus afinidades ecológicas; sin embargo, en un trabajo reciente de sedimentos en la Cuenca de la Paz (Gómez-Lizárraga *et al.* 2008) se definió como parte importante de una asociación de radiolarios, en donde la especie dominante fue *Lithomelissa thoracites*, la cual se ha encontrado en sedimentos superficiales del Golfo de California subyacentes a áreas de surgencias, por lo cual, se cree que responde a procesos de surgencias. Se sugiere que su mayor distribución en la columna de agua está influenciada por procesos de mezcla y circulación superficial en la región central y sur del golfo. Por su parte, *Lithomelissa penthacantha* se ha registrado en forma abundante en facies de diatomitas en el Golfo de California, ello sugiere un vínculo muy estrecho entre procesos de surgencias y productividad (Benson, 1966).

Específicamente, *L. thoracites*, *L. penthacantha* y *L. monoceras* fueron definidas dentro de una misma asociación, la cual junto con *A. calvata* (referida como *P. spinites*) se distinguió por su afinidad a la capa de mezcla superficial ~75 m de profundidad (Martínez-Sepúlveda, 1994 en Lavín *et al.* 1997) de la Cuenca Guaymas y al ambiente sub-superficial del noroeste de la Cuenca del Carmen (Molina-Cruz *et al.* 1999).

Cabe destacar, que en los primeros 3 cm de la secuencia estudiada se observó comúnmente al foraminífero planctónico *Globigerina bulloides* (Pérez-Cruz, com. pers). Esta especie habita en la parte superficial de la columna de agua (es más común en los primeros 50 m) y prolifera en la capa de mezcla superficial sobre la termoclina (Bemis *et al.* 1998; Marchant *et al.* 2004; Mohtadi *et al.* 2005 en Staines Urias *et al.* 2009), además, es una especie indicadora de zonas de alta productividad (Thunell y Reynolds, 1984; Thunell y Sautter, 1992 en Staines-Urias *et al.* 2009).

Dentro de este contexto, se sugiere que durante los intervalos que definen el Factor 1, las condiciones oceánicas superficiales (tal vez los primeros 100 m) se caracterizaron por una capa bien mezclada, debido probablemente a una intensificación de los procesos internos de mezcla y de circulación en la región de estudio, lo cual produjo el crecimiento de las especies que definen a este factor (Fig. 14).

Estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Barron *et al.* (2003) en la Cuenca Guaymas, en el cual registraron los cambios climáticos y paleoceanográficos de los últimos 2000 años utilizando las abundancias relativas de diatomeas y silicoflagelados. Este estudio registró grandes abundancias de la diatomea *Roperia tesselata* (afín a aguas bien mezcladas) en el intervalo de 1550 a 1800 A.D. Cabe destacar que en ese intervalo también se encontraron altos porcentajes de sílice biogénico (>30%). Los autores proponen que la alta productividad registrada en el área de estudio, se debió a un aumento en la intensidad de los vientos provenientes del noroeste durante el invierno.

Por otra parte, Herguera *et al.* (2003) realizaron un estudio en la Cuenca de la Paz con registros instrumentales (temperatura superficial del mar) y el registro isotópico de *G. bulloides*. Los autores reconocieron inviernos más fríos en los años de 1700 a 1830 A.D. y sugieren que ello se debe a cambios (interanuales y/o decadales) de la temperatura superficial del mar durante el invierno, debidos quizá a una mayor intensidad de los fenómenos de “El Niño”/ “La Niña”.

Goñi *et al.* (2006) realizaron un análisis de alta resolución utilizando alkenonas (paleotermómetro basado en ΔU_{37^k}), en dos secuencias sedimentarias tomadas en las cuencas Guaymas y Cariaco. Los autores documentaron que durante los últimos 50 años, los patrones de circulación del viento intensificaron las surgencias en la Cuenca Guaymas y sugieren que estas surgencias generadas por viento, se deben a un cambio en posición de la zona de alta presión ubicada al este del Pacífico.

Recientemente, Staines-Urías *et al.* (2009) estudiaron asociaciones de foraminíferos e isótopos estables, para reconstruir las condiciones oceanográficas de la temperatura superficial del mar (TSM) de los últimos 400 años en el sur del golfo. Este estudio registró que el periodo comprendido entre 1700 y 1800 A.D. estuvo caracterizado por una alta abundancia del foraminífero *Globigerina bulloides*, los autores sugieren fuertes surgencias invernales para explicar estas abundancias.

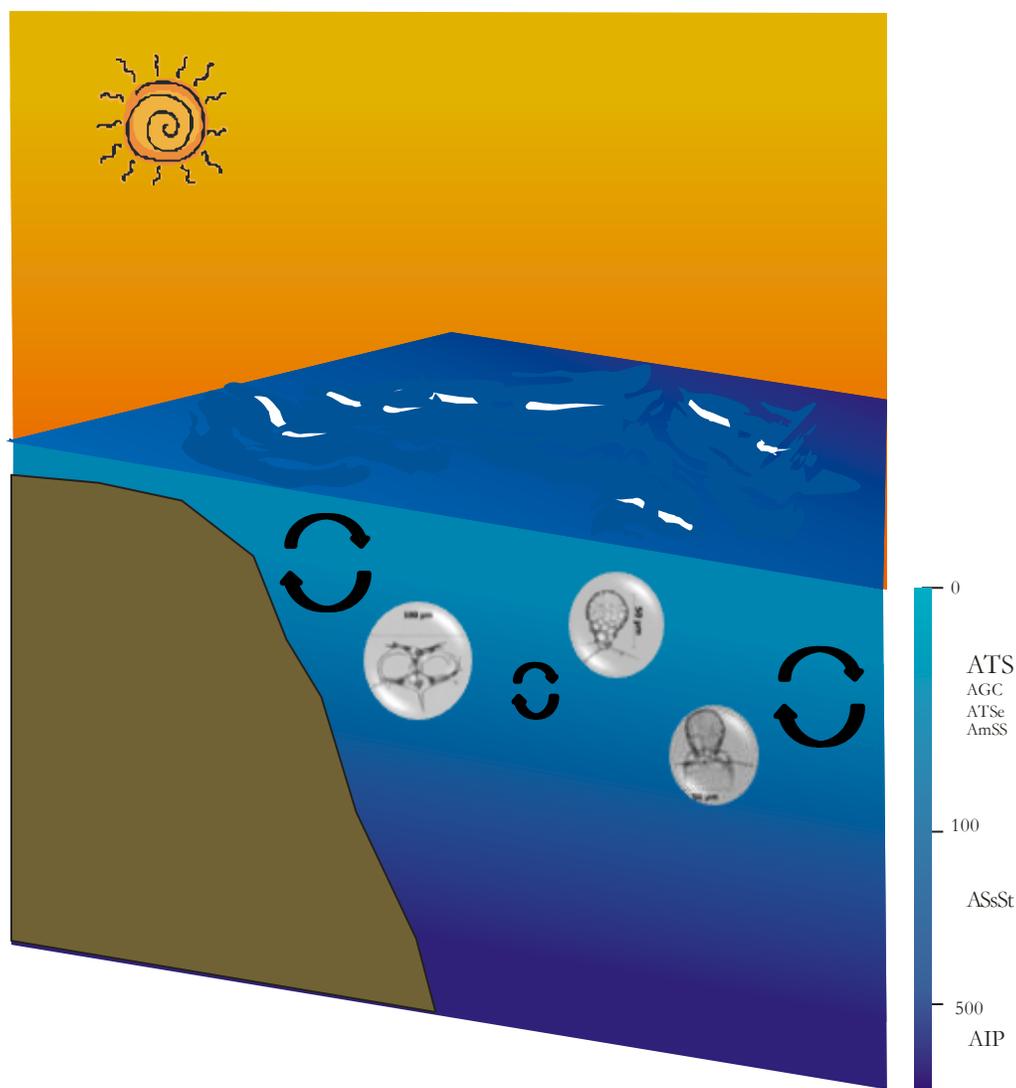


Figura 14. Posible escenario oceanográfico figurado para el periodo definido por el Factor 1 “Divergencias”, se muestra la distribución en profundidad de las especies asociadas al factor.

El Factor 2 “Estratificación” explica el 11.54% de la varianza total de los datos y está representado por las especies *Tetrapyle octacantha* (grupo), *Phorticium pylonium* (grupo), *Drupptractus irregularis* y *Drupptractus variabilis*, presentan “Factor scores” de 3.83, 2.77, 1.50 y 1.12 respectivamente (Fig. 15; Anexo IV y V). Este Factor se distribuye casi al centro de la secuencia en el periodo que abarca los años de 1801 a 1915 A.D. (Anexo III, Fig. 12).

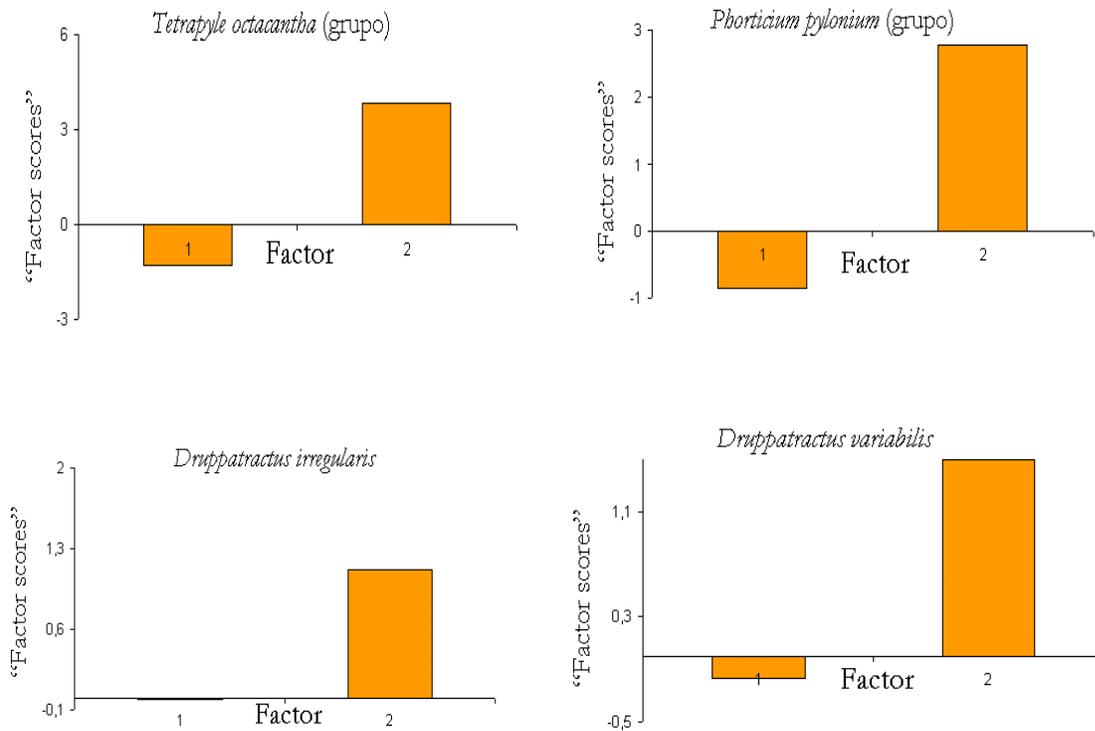


Figura. 15. “Factor scores” de las especies asociadas al Factor 2 “Estratificación”

Tetrapyle octacantha ha sido correlacionada con aguas cálidas en el Golfo de California, como el Agua Tropical Superficial (ATS) (Nigrini y Moore, 1979; Molina-Cruz, 1984, 1986 y Álvarez-Arellano y Molina-Cruz, 1986). Además, ha sido clasificada latitudinalmente como una especie tropical y subtropical (Okazaki *et al.* 2005).

Por otra parte, estudios realizados en el Pacífico ecuatorial (Welling *et al.* 1996; Yamashita *et al.* 2002), en el norte del Pacífico central (Kling, 1979), en la región de la Corriente de California (Boltovskoy y Riedel, 1987; Kling y Boltovskoy, 1995), en el mar de Okhotsk (Nimmergut y Abelmann, 2002) y en la región de Oyashio (Okazaki *et al.* 2004), registraron altas abundancias de *T. octacantha* a una profundidad de 0 a 50 m. Cabe mencionar, que sus abundancias máximas se han encontrado en el Pacífico ecuatorial-central; sin embargo y a diferencia de otras especies, también ha encontrado habitando aguas oligotróficas de la alberca cálida del Pacífico Occidental (Yamashita *et al.* 2002). Además, se ha documentado que posterior a un evento de “El Niño” existe una mayor abundancia de esta especie (Okazaki *et al.* 2005).

Phorticum pylonium se relacionó a zonas de surgencias en el golfo y en la Corriente de California (Benson, 1966). *P. pylonium* (grupo) constituyó más del 10% del total de radiolarios en la Cuenca Guaymas y se distribuyó a una profundidad de 200 a 400 m en las cuencas de Guaymas y del Carmen (Molina-Cruz *et al.* 1999).

Molina-Cruz *et al.* (1999) encontraron que *Druppatractus variabilis* era la especie representativa de un factor al cual ellos denominaron “Agua Intermedia”, este factor presentó sus cargas más altas por debajo de los 350 m en la Cuenca Pescadero, cabe mencionar que las abundancias de las especies asociadas a ese factor se mantuvieron relativamente altas en aguas subsuperficiales hasta la región de la Cuenca Guaymas.

Druppatractus irregularis se encontró de 400 a 700 m de profundidad en el Golfo de California (Molina-Cruz *et al.* 1999). A esa profundidad se encuentra el Agua Intermedia del Pacífico (AIP), la cual presenta salinidades de 34.5 a 34.8 y temperaturas de 4 a 9° C (Lavín *et al.* 2009).

Dentro de este factor se encuentra una asociación caracterizada tanto por especies que habitan aguas superficiales cálidas y oligotróficas como es *Tetrapyle octacantha*; así como, especies que habitan aguas subsuperficiales e intermedias, relativamente frías y con un bajo contenido de oxígeno, como *P. pylonium*, *D. irregularis* y *D. variabilis*. Lo cual sugiere que las condiciones oceánicas en el área de estudio durante este periodo eran marcadamente estratificadas. Dentro de este contexto, la clara dominancia de *T. octacantha* en el factor, 2 indicaría la presencia de aguas cálidas superficiales con características similares al Agua Superficial Tropical, la cual, como se menciona en la sección del área de estudio incursiona hasta la Cuenca Guaymas durante el verano, su incursión y dominancia es mayor y más evidente durante la ocurrencia del fenómeno de “El Niño” (Fig. 16).

Las condiciones oceánicas que prevalecen en el Golfo de California cuando se presenta “El Niño”, es una mayor incursión de aguas superficiales cálidas de origen ecuatorial, con ello, un aumento en el nivel del mar, baja salinidad superficial, profundización de la termoclina hasta 150 m y poca productividad superficial (Castro *et al.* 2000). Lo anterior sugiere que durante el periodo que abarca de 1801 a 1915 A.D., los eventos de “El Niño” fueron más intensos y probablemente más frecuentes.

Los resultados antes descritos concuerdan con los registros de “El Niño”, los cuales evidencian “Niños” con una intensidad de moderada a muy fuerte para el periodo definido por el Factor 2 “Estratificación” (Quinn *et al.* 1987; Quinn, 1993; Gergis y Fowler, 2009).

El estudio de Herguera *et al.*, (2003) documentó un calentamiento superficial continuo desde los inicios del siglo XIX, el cual relacionó con una intensificación del fenómeno de ENOS.

Por otro lado, el estudio de alta resolución realizado por Barron y Bukry (2007) en donde compararon 3 secuencias sedimentarias (Cuencas Guaymas, del Carmen y Pescadero) registró altos porcentajes de silicoflagelados y diatomeas afines a aguas cálidas oligotróficas provenientes del Pacífico Ecuatorial durante el intervalo de 1807 a 1907 A.D.

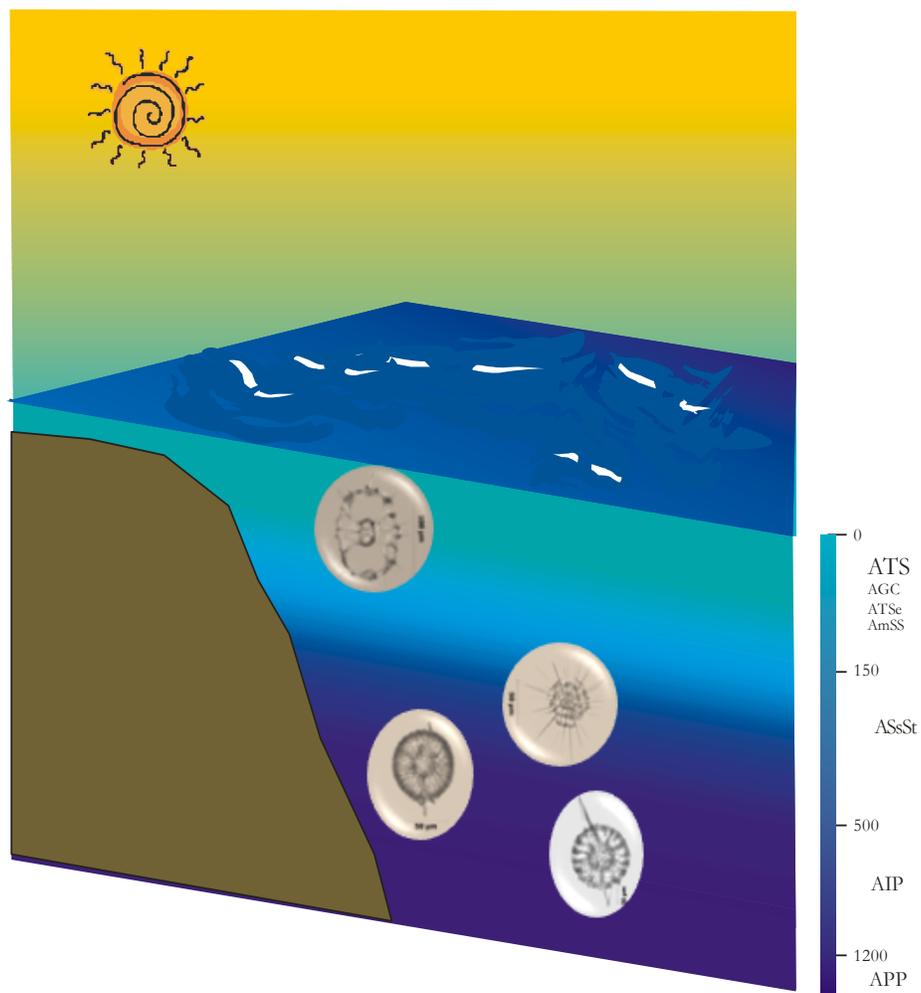


Figura 16. Posible escenario Oceanográfico figurado para el periodo definido por el Factor 2 “Estratificación”, se muestra la distribución en profundidad de las especies asociadas al factor.

Tratamiento Matemático

La curva del Factor 1 en función del comportamiento ondulatorio periódico sugiere una aparente ciclicidad. A partir de esta suposición es posible plantear condiciones oceanográficas y climáticas a futuro, con base en la estimación de la periodicidad.

Debido a que el periodo medio de la onda del Factor 1, de 1810 a 1915 AD, abarca 105 años, es posible inferir que la continuación de la curva se extenderá al año 2020 A.D.

La curva presenta un comportamiento sinusoidal a través del tiempo, por lo que para conocer el comportamiento de la misma en el futuro, se realizó un ajuste de la curva de los datos observados a una función seno-coseno y se realizó una extrapolación de datos por medio de la ecuación de movimiento armónico simple, la cual se describe como:

$$F\ell = A \text{ sen } (\omega t) \quad (1)$$

En donde:

$F\ell$ = *factor loading* calculado

A = amplitud, es la distancia desde el centro de la onda hacia su cresta y es igual a 1.6

T = periodo, es el tiempo que tarda una perturbación en recorrer una longitud de onda y coincide con el tiempo que tarda un punto en realizar una vibración completa = 210 años

f = frecuencia, es el número de ondas que pasan por un punto en particular en una unidad de tiempo = $1/T = 1/210 = 0.0047619$

ω = frecuencia angular = $2\pi f = 2(3.14159) * 0.0047619 = 0.02992$

t = tiempo

Entonces:

$$F\ell = 1.6 \text{ sen } (0.02992) t$$

Se debe considerar que el año 2020 es el año cero (t), ya que al cabo de cierto tiempo (t'), un punto será alcanzado por otra perturbación y oscilará con el movimiento armónico simple pero segundos mas tarde, de acuerdo a lo anterior $t-t'$, por lo tanto, el año 2019 será el tiempo 1, el año 2018 será el tiempo 2 y así sucesivamente hasta el año 1810.

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 1 se obtiene una serie de *factor loadings* calculados (Tabla 11), los cuales al graficarse (Fig. 17) ajustan con los valores observados del Factor 1.

A partir del ajuste de la curva, es posible inferir que hacia el año 2020 prevalecerán condiciones de mezcla en la capa superficial del mar, vientos intensos durante el invierno (provenientes del noroeste) y procesos de circulación dinámicos en el área de estudio. Con lo anterior, se comprueba que al cabo de un cierto tiempo, se repite el mismo patrón observado en el Factor 1.

La ciclicidad generada a partir de los datos observados, aunada al ajuste de la curva, sugieren que la variabilidad oceánica y climática -inferida a partir de las asociaciones de radiolarios polycystinos- en la Cuenca del Carmen, podría estar relacionada con la actividad solar.

En particular, en este estudio se sugiere un posible vinculo con el ciclo solar denominado Gleissburg, el cual ocurre cada 101 años (Le y Wang, 2003) e implica bajos niveles de actividad solar (Friss-Christensen y Lassen, 1991).

Tabla. 11. *Factor loadings* calculados en el factor 1.

Año	Tiempo	<i>Factor loadings</i> calculados	Año	Tiempo	<i>Factor loadings</i> calculados	Año	Tiempo	<i>Factor loadings</i> calculados
2020	0	0.048	1949	71	1.335	1879	141	-1.431
2019	1	0.096	1948	72	1.308	1878	142	-1.452
2018	2	0.143	1947	73	1.280	1877	143	-1.471
2017	3	0.191	1946	74	1.251	1876	144	-1.489
2016	4	0.238	1945	75	1.221	1875	145	-1.506
2015	5	0.286	1944	76	1.189	1874	146	-1.522
2014	6	0.333	1943	77	1.156	1873	147	-1.536
2013	7	0.379	1942	78	1.123	1872	148	-1.549
2012	8	0.426	1941	79	1.088	1871	149	-1.560
2011	9	0.472	1940	80	1.053	1870	150	-1.570
2010	10	0.517	1939	81	1.016	1869	151	-1.578
2009	11	0.562	1938	82	0.979	1868	152	-1.586
2008	12	0.607	1937	83	0.940	1867	153	-1.591
2007	13	0.651	1936	84	0.901	1866	154	-1.596
2006	14	0.694	1935	85	0.861	1865	155	-1.598
2005	15	0.737	1934	86	0.821	1864	156	-1.600
2004	16	0.779	1933	87	0.779	1863	157	-1.600
2003	17	0.821	1932	88	0.737	1862	158	-1.598
2002	18	0.861	1931	89	0.694	1861	159	-1.596
2001	19	0.901	1930	90	0.651	1860	160	-1.591
2000	20	0.940	1929	91	0.607	1859	161	-1.586
1999	21	0.979	1928	92	0.562	1858	162	-1.578
1998	22	1.016	1927	93	0.517	1857	163	-1.570
1997	23	1.053	1926	94	0.472	1856	164	-1.560
1996	24	1.088	1925	95	0.426	1855	165	-1.549
1995	25	1.123	1924	96	0.379	1854	166	-1.536
1994	26	1.156	1923	97	0.333	1853	167	-1.522
1993	27	1.189	1922	98	0.286	1852	168	-1.506
1992	28	1.221	1921	99	0.238	1851	169	-1.489
1991	29	1.251	1920	100	0.191	1850	170	-1.471
1990	30	1.280	1919	101	0.143	1849	171	-1.452
1989	31	1.308	1918	102	0.096	1848	172	-1.431
1988	32	1.335	1917	103	0.048	1847	173	-1.409
1987	33	1.361	1916	104	0.000	1846	174	-1.386
1986	34	1.386	1915	105	-0.048	1845	175	-1.361
1985	35	1.409	1914	106	-0.096	1844	176	-1.335
1984	36	1.431	1913	107	-0.143	1843	177	-1.308
1983	37	1.452	1912	108	-0.191	1842	178	-1.280
1982	38	1.471	1911	109	-0.238	1841	179	-1.251
1981	39	1.489	1910	110	-0.286	1840	180	-1.221
1980	40	1.506	1909	111	-0.333	1839	181	-1.189
1979	41	1.522	1908	112	-0.379	1838	182	-1.156
1978	42	1.536	1907	113	-0.426	1837	183	-1.123
1977	43	1.549	1906	114	-0.472	1836	184	-1.088
1976	44	1.560	1905	115	-0.517	1835	185	-1.053
1975	45	1.570	1904	116	-0.562	1834	186	-1.016
1974	46	1.578	1903	117	-0.607	1833	187	-0.979
1973	47	1.586	1902	118	-0.651	1832	188	-0.940
1972	48	1.591	1901	119	-0.694	1831	189	-0.901
1971	49	1.596	1900	120	-0.737	1830	190	-0.861
1970	50	1.598	1899	121	-0.779	1829	191	-0.821
1969	51	1.600	1898	122	-0.821	1828	192	-0.779
1968	52	1.600	1897	123	-0.861	1827	193	-0.737
1967	53	1.598	1896	124	-0.901	1826	194	-0.694
1966	54	1.596	1895	125	-0.940	1825	195	-0.651
1965	55	1.591	1894	126	-0.979	1824	196	-0.607
1964	56	1.586	1893	127	-1.016	1823	197	-0.562
1963	57	1.578	1892	128	-1.053	1822	198	-0.517
1962	58	1.570	1891	129	-1.088	1821	199	-0.472
1961	59	1.560	1890	130	-1.123	1820	200	-0.426
1960	60	1.549	1889	131	-1.156	1819	201	-0.379
1959	61	1.536	1888	132	-1.189	1818	202	-0.333
1958	62	1.522	1887	133	-1.221	1817	203	-0.286
1957	63	1.506	1886	134	-1.251	1816	204	-0.238
1956	64	1.489	1885	135	-1.280	1815	205	-0.191
1955	65	1.471	1884	136	-1.308	1814	206	-0.143
1954	66	1.452	1883	137	-1.335	1813	207	-0.096
1953	67	1.431	1882	138	-1.361	1812	208	-0.048
1952	68	1.409	1881	139	-1.386	1811	209	0.000
1951	69	1.386	1880	140	-1.409	1810	210	0.000
1950	70	1.361						

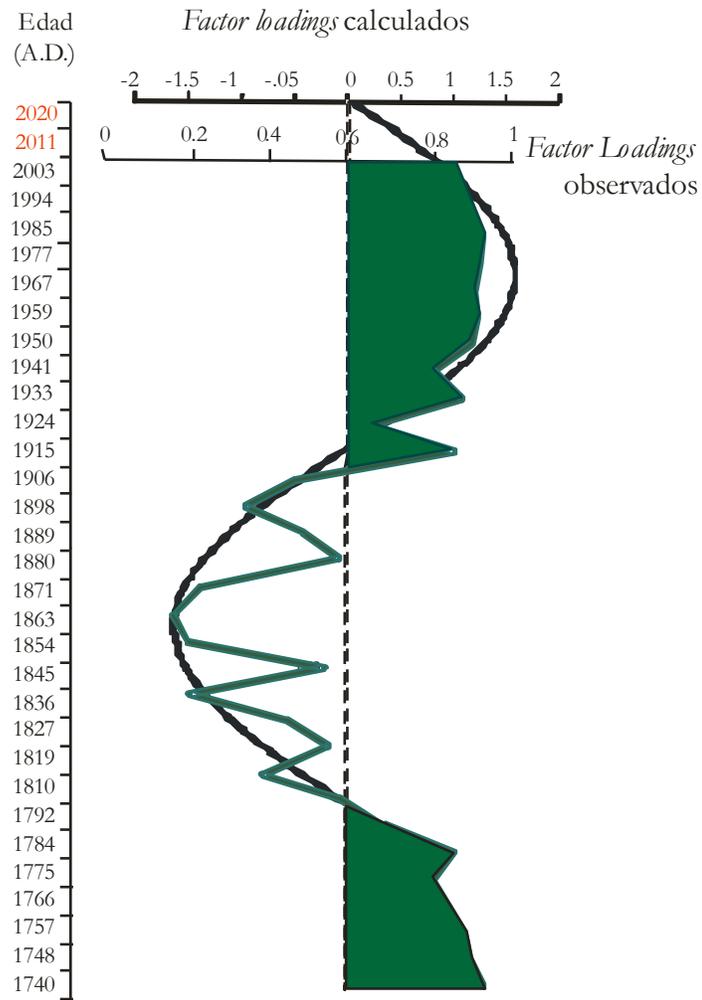


Figura 17. *Factor loadings* observados vs. *Factor loadings* calculados en el Factor 1.

CONCLUSIONES

La secuencia sedimentaria K58 colectada en la Cuenca del Carmen (sur del Golfo de California) abarca los últimos 263 años del Holoceno Tardío. La datación de la secuencia se obtuvo mediante el método radiométrico de ^{210}Pb , a partir del cual se estimó una tasa de sedimentación de 1.14 mm/año.

La secuencia se caracteriza por presentar una estructura laminada (varvas) y está conformada por sedimentos hemipelágicos.

Se identificaron 36 taxa de radiolarios polycystinos. A partir de sus abundancias relativas se construyó una matriz de datos, a la cual, se le aplicó un Análisis de Factores modo “Q”. Con base en éste se definieron 2 asociaciones de radiolarios polycystinos.

Se sugieren dos escenarios oceanográficos a partir del análisis de las afinidades ecológicas de las especies que conforman cada factor.

El primer escenario oceanográfico (Factor 1) está representado por las especies *Arachnocorallium calvata*, *Clathrocircus stapedioides* y *Lithomelissa pentacantha* en el intervalo de 1740 a 1801 A.D. y de 1915 a 2003 A.D., fue denominado “Divergencias”. Las especies que lo caracterizan sugieren condiciones oceánicas en donde ocurrieron probablemente procesos internos de mezcla y divergencias en la región de estudio, mismos que quizá resultaron de una mayor intensidad de los vientos en invierno provenientes del Noroeste.

El segundo escenario oceanográfico (Factor 2) comprendió el periodo de 1810 a 1915 A.D., fue denominado “Estratificación” ya que las afinidades ecológicas de las especies que definen al factor (*Tetrapyle octacantha* (grupo), *Phortidium pylonium* (grupo), *Drupptractus irregularis* y *Drupptractus variabilis*) sugieren condiciones oceánicas estratificadas, las cuales probablemente son el resultado de una lenta circulación en el área de estudio. En particular, la dominancia de *T. octacantha* en esta asociación, sugiere una mayor ocurrencia de una masa de agua cálida superficial y oligotrófica similar al Agua Tropical Superficial (ATS), su presencia y permanencia en el área de estudio resultó probablemente de una intensificación de los fenómenos de “El Niño” durante ese periodo.

El presente estudio, es un análisis de alta resolución que permite una visión más detallada de la climatología y oceanografía en la Cuenca del Carmen en los últimos ~263 años. Permite evidenciar una mayor intensidad del fenómeno de “El Niño” en el periodo definido por el Factor 2 “Estratificación”.

La ciclicidad generada a partir de los datos observados, aunada al ajuste de la curva, sugieren que la variabilidad oceánica y climática -inferida a partir de las asociaciones de radiolarios polycystinos- en la Cuenca del Carmen, podría estar relacionada con la actividad solar.

LITERATURA CONSULTADA

- 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. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: Simoneit. B. y J. Dauphin (Editores), *The Gulf and Peninsula, Province of the Californias*. American Association of Petroleum Geologists, Memoria 47: 555-568.
- Anderson O. R. 1983. *Radiolaria*. Springer-Verlag, New York. 365 pp.
- Appleby P.G. y F. Oldfield. 1992. Application of lead-210 to sedimentation studies. En: M. Ivanovich y R.S. Harmon (Editores), *Uranium-series Disequilibrium: Application to Earth, Marine, and Environmental Sciences*. Clarendon Press, Oxford: 731-778.
- Armstrong H. A. y M.D. Brasier. 2005. *Microfossils*. Second edition Blackell publishing Ltd. 296 pp.
- Arz J. A. 2002. Radiolarios. En: Molina Eustoquio (Editor), *Micropaleontología*. Prensas Universitarias de Zaragoza, España: 247-264.
- Badan-Dangon A., Dorman C.E., Merrifield M.A. y C.D. Wianat. 1991. The lower atmosphere over the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 96(C9): 16877-16896
- Barron J. A., Bukry D. y J. L. Bischoff. 2003. A 2000-YR-long record of climate from the Gulf of California. En: West, G. J. y N. L. Blomquist (Editores), *Proceedings of the Nineteenth Pacific Climate Workshop, Asilomar, CA, March 3-6, 2002*, Technical Report 71 of the Interagency Ecological Program for the San Francisco Estuary (2003): 11-21.
- Barron J. A. y D. Bukry. 2007. Solar forcing of Gulf of California climate during the past 2000yr suggested by diatoms and silicoflagellates. *Marine Micropaleontology*, 62: 115-139.
- Baumgartner T.R., Ferreira-Bartrina V., Schrader H. 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. y N. Christensen Jr. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Journal of Marine Research*, 43: 825-848.
- Benson R.N. 1966. Recent Radiolaria from the Gulf of California. Ph.D. Thesis University of Minnesota, Minnesota, unpublished, 577 pp.
- Benson R.N. 1983. Quaternary Radiolarians from the Mouth of the Gulf of California, Leg 65 of the the Deep Sea Drilling Project. http://www.radiolaria.org/references.htm?sp_id=15&division=67.
- Benson Richard N. 2005. Holocene radiolaria from sediments of the Gulf of California. <http://www.radiolaria.org/index.htm?division=68&view=info>.

- Biondi F., Gershunov A. y D.R. Cayan. 2001. North Pacific decadal climate variability since 1661. *Journal of Climate*, 14: 5-10.
- Boltovskoy D. 1987. Sedimentary record of radiolarian biogeography in the equatorial to Antarctic western Pacific ocean. *Micropaleontology*, 33: 267-281.
- Boltovskoy D. y W.R. Riedel. 1980. Polycystine Radiolaria from the Southwestern Atlantic Ocean plankton. *Revista española de Micropaleontología*, 12(1): 99-146.
- Boltovskoy D. y S.S. Jankilevich. 1985. Radiolarian distribution in East equatorial plankton. *Oceánica 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. e I. Pujana. 2008. Radiolaria. En: Camacho H.H. y Longobucco M.I. (Editores), *Los Invertebrados fósiles*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara, Universidad Maimónides, Buenos Aires: 101-132.
- Castro R., Mascarenhas A., Durazo R. y C. Collins. 2000. Seasonal variation of the temperature and salinity at the entrance to the Gulf of California, México. *Ciencias Marinas* 26(4): 561-583.
- Castro R., Durazo R., Mascarenhas A., Collins C.A. y A. Transviña. 2006. Thermohaline variability and geostrophic circulation in the southern portion of the Gulf of California. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53(1): 188-200.
- Cheshire Heather, Thurow Jürgen y Alexandra J. Nederbragt. 2005. Late Quaternary climate change record from two long sediments cores from Guaymas Basin, Gulf of California. *Journal of Quaternary Science*, 20 (5): 457-469.
- Cronin M. T. 1999. *Principles of Paleoclimatology*. Columbia University Press. New York: 259-319.
- De Wever P., Dumitrica P., Caulet J.P., Nigrini C. y M. Caridroit. 2001. Radiolarians in the sedimentary record. Gordon and Breach, Amsterdam, 533 pp.
- Dean W., Pride C. 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.
- Dolven J. K., Kjell R. B., Jon B., Anders K. K., Dag K., y K. Shalchian-Tabrizi. 2009. Polycystina. Polycystine radiolarians. Version 29 October 2009 (en construcción). http://tolweb.org/Polycystine_radiolarians/121189/2009.10.29
- Douglas M.W., Maddox R.A., Howard K. y S. Reyes. 1993. "The Mexican Monsoon". *Journal of Climate*, 6: 1665-1677.
- Douglas R.G., González-Yajimovich O., Ledesma-Vázquez J. y F. Staines-Urías. 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Reviews*, 26: 115-129.

- Friis-Christensen E. y K. Lassen. 1991. Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate. *Science*, 254(5032): 698-700.
- Gergis J. L. y M. A. Fowler. 2009. A history of ENSO events since A.D.1525: implications for future climatic change. *Climatic Change Editor Springer Netherlands*, 92: 343-387.
- Goñi M.A., Hartz D.M, Thunell R.C. y E. Tappa. 2001. Oceanographic considerations for the application of the alkenone-based paleotemperature Uk37 index in the Gulf of California. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65: 545-557.
- Goñi M.A., Thunell R.C., Woodwort M.P. y F.E. Müller-Karger. 2006. Changes in wind-driven upwelling during the last three centuries: Interoccean teleconnections. *Geophysical Research Letters*, 33, (L15604). doi:10.1029/2006GL026415.
- Gómez-Lizárraga L.E., Pérez-Cruz L., Monreal Gómez A. y D.A. Salas de León. 2008. Los radiolarios polycystinos de la Cuenca de la Paz, Golfo de California: su significado oceanográfico y climático en el Holoceno Tardío. En: *Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana A.C. (Editores)*, 28 (2): 182.
- Herguera J., Bernal Franco G. y A. Molina-Cruz. 2003. Decadal surface ocean variability in the lower Gulf of California: records for the past 300 years. *Geofísica Internacional*, 42 (3): 397-406.
- Jiménez A., Marinone S.G. y A. Parés Sierra. 2005. Efecto de la variabilidad espacial y temporal del viento sobre la circulación en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 31(002): 357-368.
- Johnson D. E. 1998. *Applied multivariate methods for data analysts*. Daxbury Resource center publisher. Kansas. U.S.A. 592 pp.
- Juillet-Leclerc A. y Hans Schrader. 1987. Variations of upwelling intensity recorded in varved sediment from the Gulf of California during the past 3,000 years. *Nature*, 329(10): 146-148.
- Kemp A.E.S. 1996. Laminated sediments as palaeo-indicators. En: Kemp A.E.S. (Editor), *Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments*. Geological Society Special Publication, Geological Society (1996): 7-12.
- Kemp Alan E.S. 2003. Evidence for abrupt climate changes in annually laminated marine sediments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 361: 1851-1870.
- Kling S. A. 1978. Radiolaria. En: B. Haq and A. Boersma, (Editores), *Introduction to Marine Micropaleontology*, Elsevier, Amsterdam, New York: 203-244.
- Kling S.A. 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*, 42(2): 191-231.
- Lavín M.F., Beier E. y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. En: M.F. Lavín, (Editor) *Contribuciones a la oceanografía física en México, Monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana*: 141-171.

- Lavín M.F. y S.G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. En: O.U. Velasco, J. Sheinbaum y J. Ochoa (Editores) *Nonlinear processes en Geophysical Fluid Dynamics*, Springer, New York: 173-204.
- Lavín M.F., Castro R., Beier E., Godínez V.M., Amador A. y P. Guest. 2009. SST, termohaline structure, and circulation in the southern Gulf of California in June 2004 during the north American monsoon experiment. *Journal of Geophysical Research*, 114: doi: 10.1029/2008JC004896.
- Lazarus D. 2005. A brief review of radiolarian research. *Paläontologische Zeitschrift*, 79(1):183-200
- Le Gui-Ming y Wang Jia-Long. 2003. Wavelet analysis of several important periodic properties in the relative sunspot numbers. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3(5): 319-394.
- Mann M.E. Bradley R.S. y M.K. Hughes. 1999. Northern hemisphere temperatures during the past millenium: inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 26(6): 759-762.
- Mann M. E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R. S., Hughes M. K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G. y Ni Fenbiao. 2009. Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science*, 326: 1256-1260.
- Markgraf V. y H. Díaz. 2000. The past-ENSO record: a review. En: Markgraf V. y Diaz, H. (Editores) *El Niño and the Southern Oscillation; multiscale variability and global and regional impacts*. Cambridge University Press, New York: 465–488.
- Molina-Cruz A. 1984. Radiolaria as indicators of upwelling processes: the Peruvian connection. *Marine Micropaleontology*, 9: 53-75.
- Molina-Cruz A. 1986. Evolución oceanográfica de la boca del Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 13(2): 95-120.
- Molina-Cruz A., Welling L. y A. Caudillo-Bohórquez. 1999. Radiolarian distribution in the water column, southern Gulf of California, and its implication in thanatocoenose constitution. *Marine Micropaleontology*, 37(2): 149-171.
- Molina-Cruz A., Pérez-Cruz L. y 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: 1401-1410.
- Nigrini C. y T.C. Moore. 1979. A guide to modern Radiolarian. Special Publication 16 of the Cushman Foundation. *Foraminiferal Research* Washington D.C. 260 pp.
- Nimmergut A. y A. Abelmann. 2002. Spatial and seasonal changes of radiolaria standing stocks in the Sea of Okhotsk. *Deep-Sea Research I*, 49: 463-493.
- Oldfield F. y P.G. Appleby. 1984. Empirical testing of ^{210}Pb -dating models for lake sediments. En: E.Y. Hayworth and J.W.G. Lund (Editores), *Lake Sediments and Environmental History*, Leicester University Press, Leicester: 93–124.

- Okazaki Y., Takahashi K., Itaki T. 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 Island. *Marine Micropaleontology*, 51: 257-284.
- Okazaki Y., Takahashi K., Ondera J. y C. M. Honda. 2005. Temporal and spatial flux changes of radiolarians in the northwestern Pacific Ocean during 1997-2000. *Deep-Sea Research II*, 52: 2240-2274.
- Pérez-Cruz L. 2006. Climate and ocean variability during the middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, México. *Quaternary Research*, 65: 401-410.
- Pérez-Cruz L., Villagrán de la Cruz G. y L. Gómez-Lizárraga. 2009. Radiolarios en los sedimentos marinos del Cuaternario Tardío del Golfo de California -Paleoceanografía y Paleoclimatología-. Monografía Numero 15 del Instituto de Geofísica, UNAM México. 69 pp.
- Pérez-Cruz L. y J. Urrutia-Fucugauchi. 2010. Holocene laminated sediments from the southern Gulf of California: geochemical, mineral magnetic and microfósil study. *Journal of Quaternary Science*. doi:10.1002/jqs.1386.
- Pérez-Cruz L. y J.C. Herguera. Génesis de los sedimentos laminados en el Golfo de California: Implicaciones climáticas y oceanográficas. En: Escenarios de cambio ambiental: Registros del Cuaternario en America Latina. Fondo de Cultura Económica. (En prensa).
- Pike J. y A. Kemp. 1996. Records of seasonal flux in Holocene laminated sediments, Gulf of California. *Geological Society, London, Special Publications*, 116(1): 157-169.
- 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.
- Quinn W.H.. 1993. The large scale ENSO event of the El Niño and other important features. *Bulletin Institut Francais, etudes Andines*, 22(1): 13-34.
- Quinn W.H., V.T. Neal y S. Antunez de Mayolo. 1987. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *Journal of Geophysical Research*, 92(c13): 14449-14461.
- Roelofs A.K. y N.G. Pisias. 1986. Revised technique for preparing quantitative radiolarian slides from deep-sea sediments. *Micropaleontology*, 32(2): 182-185.
- Sach H.M. 1973. North Pacific radiolarian assemblages and their relationship to oceanographic parameters. *Quaternary Research*, 3: 73-88.
- Staines-Urías F. y R.G. Douglas. Climatic-related variations in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in benthic and planktic foraminifera from the Gulf of California. En: Proceedings of the 19th PACLIM Workshop, Asilomar (En prensa).
- 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(3-4): 337-354.

- Stratton-Noller J., Sowers J. M. y W. R. Lettis. 2000. Quaternary geochronology: methods and applications. American Geophysical Union. Washington, D.C. 579 pp.
- Takahashi K. 1991. Radiolaria: flux, ecology, and taxonomy in the Pacific and Atlantic. En: S. Honjo (Editor), Ocean Biocoenosis Series (3), Woods Hole Oceanographic Institution Press. 303 pp.
- The Geological Society of America. 1991. Rock-Color Chart with genuine Munsell color chips. Boulder, Colorado.
- Thunell R.C. 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Research I*, 45: 2059-2083.
- Uriarte Cantolla A. 2003. Historia del Clima de la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 306 pp.
- Villagrán de la Cruz G.E., Pérez-Cruz L., Machain Castillo M.L. y P. Cervantes Hernández. 2008. Los radiolarios policistinos en los sedimentos laminados de la Cuenca del Carmen, su significado paleoceanográfico. En: Boletín Informativo de la Unión Geofísica Mexicana A.C. (Editores), 28(2): 182.
- Weinheimer A.L. y D.R. Cayan. 1997. Radiolarian assemblages from Santa Barbara Basin sediments: recent interdecadal variability. *Paleoceanography*, 12(5): 658-670.
- Weinheimer A. y F. Biondi. 2003. Paleoclimatology: Varves. En: J.R. Holton, J.A. Pyle and J.A. Curry (Editores), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, Academic Press, London, 4: 1680-1684.
- Welling L. A., Pisias N. G., Johnson E. S. y R. J. 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(4-6): 1413-1434.
- Yamashita H., Takahashi K. 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 I

Abundancias Absolutas de los radiolarios polycystinos determinados en la secuencia sedimentaria K58.

Especies/ Niveles (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Espumelarios																															
<i>Didymocyrtis tetrathalamus</i>	11	6	2	2	2	3	5	9	5	5	5	2	8	6	4	3	11	4	14	6	4	6	3	7	8	8	5	3	5	2	2
<i>Drupptractus irregularis</i>	4	9	6	3	3	2	8	24	46	35	40	35	59	49	37	26	7	12	9	11	11	11	13	15	5	15	24	0	20	26	4
<i>Drupptractus variabilis</i>	6	5	8	2	8	14	8	23	13	12	16	34	41	32	33	39	27	15	14	17	14	8	24	22	29	31	36	48	9	15	10
<i>Heliosphaera radiata</i>	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Hexacontium sp. cf. H. giganteum</i>	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	0	1	7	2	9	6	0	0	0	2	0	3
<i>Larcopyle buetschlii (grupo)</i>	5	8	9	4	2	5	18	11	6	5	9	12	18	21	16	21	9	9	12	6	9	5	13	7	16	4	7	11	8	4	3
<i>Phorticium pylonium (grupo)</i>	8	10	11	12	7	12	19	15	11	30	17	38	28	26	31	44	50	54	38	44	36	39	34	24	25	14	9	10	18	6	11
<i>Spongocore puella</i>	16	8	9	6	5	4	6	12	3	7	6	3	9	4	1	4	5	4	3	11	11	4	12	7	6	5	9	8	5	8	17
<i>Stylochlamydidium venustum</i>	4	2	1	1		5	9	10	12		10	3	7	2	6	2	6	4	2	1	1	2	5	4	11	5	3	4	4	2	5
<i>Tetrapyle octacantha (grupo)</i>	26	24	9	12	8	15	9	24	5	49	9	36	28	34	33	64	69	87	47	80	43	21	43	16	25	17	13	18	10	17	14

Abundancias Absolutas de los radiolarios polycystinos determinados en la secuencia sedimentaria K58 (Continuación).

Especies/Niveles (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Naselarios																															
<i>Anthocyrtidium zanguebaricum</i>	0	1	1	0	4	5	7	2	2	1	2	2	3	1	9	0	0	0	6	2	2	1	8	3	3	3	1	1	2	0	5
<i>Arachnocorallium calvata</i>	101	116	94	100	99	92	82	79	96	102	97	53	42	58	66	46	41	51	64	45	46	48	40	40	62	86	80	113	97	130	120
<i>Arachnocorys umbellifera</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	1	2	0	1	0	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Botryostrobos auritus-australis</i>	1	2	1	2	3	2	1	0	0	4	3	9		2	2	3	4	0	0	2	0	0	0	0	3	0	2	1	2	3	1
<i>Ceratocyrtis histicosus</i>	0	0	6	15	9	3	3	2	6	0	4	1	2	0	0	0	2	0	1	0	2	5	1	4	4	0	2	3	2	0	1
<i>Clathrocircus stapedius</i>	31	21	33	22	19	36	33	18	25	8	34	21	10	8	13	6	8	12	16	4	22	10	16	25	18	34	15	17	19	6	27
<i>Clathrocorys murrayi</i>	0	1	2	5	3	0	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0
<i>Coracalyptra cervus</i>	0	1	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Cycladophora davisiana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eucyrtidium erythromystax</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	3	3	4	7	7	8	9	3	6	3	5	5	1	3	5	6	6	2	5	4		7		4	7	6	9	9	7	5	5
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>	4	2	7	2	10	3	8	3	2	0	3	0	0	0	2	3	0	2	1	0	1	2	10	9	2	4	1	4	0	2	
<i>Lampromitra quadricuspis</i>	2	1	3	4	0	1	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	3	3	2	4	1	0	1	1	0	1
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	17	32	38	35	16	20	21	18	16	4	10	13	19	14	18	19	17	20	33	33	27	35	35	47	21	32	47	35	55	52	42
<i>Lithomelissa thoracites</i>	7	8	5	7	7	10	4	14	8	2	13	1	1	10	3	0	2	0	0	0	0	0	1	4	0	6	5	0	4	5	13
<i>Lophocorys polyacantha</i>	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Peridium longispinum</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	2	0	5	0	4	1	2	3	1	0	0	2	0	0	3	1	0
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	4	5	5	7	2	8	5	4	3	12	3	7	5	5	10	6	3	5	17	7	6	3	3	4	8	6	5	1	9	5	6
<i>Plectacantha sp.</i>	3	0	10	0	10	9	4	4	1	0	4	1	0	0	0	1	0	1	2	7	12	4	2	2	1	3	0	0	0	0	
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	20	14	20	25	46	20	13	7	15	1	9	7	3	4	1	1	1	0	3	4	8	13	8	7	2	8	5	2	13	5	2
<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i>	0	0	0	3	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudodictyophimus platycephalus</i>	4	3	5	11	9	3	4	6	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	1	1	0	3
<i>Pterocanium auritum</i>	0	0	1	5	5	3	8	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	2	4	1	2	4	0	0	0	2	0	1
<i>Pterocorys clausus</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Theopilium tricostatum</i>	5	3	4	12	7	5	10	3	8	2	1	1	0	0	0	0	2	0	5	0	9	14	4	4	3	1	2	0	3	0	4
<i>Zygocircus productus capulosus</i>	22	15	13	4	9	5	7	5	6	23	2	12	12	21	14	8	15	21	21	19	28	32	22	28	16	15	20	13	11	10	13

ANEXO II

Abundancias Relativas de los radiolarios polycystinos determinados en la secuencia sedimentaria K58.

Especies/ Niveles (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Espumelarios																																
<i>Didymocyrtis tetralthamus</i>	3.61	2.00	0.65	0.65	0.65	1.00	1.61	3.01	1.62	1.63	1.64	0.66	2.67	2.00	1.29	1.00	3.65	1.32	4.27	2.00	1.33	1.99	1.00	2.33	2.67	2.65	1.63	1.00	1.57	0.66	0.63	
<i>Druppatractus irregularis</i>	1.31	3.00	1.95	0.97	0.98	0.66	2.57	8.03	14.94	11.44	13.11	11.59	19.67	16.33	11.94	8.67	2.33	3.97	2.74	3.67	3.67	3.65	4.33	5.00	1.67	4.97	7.82	0.00	6.29	8.61	1.27	
<i>Druppatractus variabilis</i>	1.97	1.67	2.61	0.65	2.61	4.65	2.57	7.69	4.22	3.92	5.25	11.26	13.67	10.67	10.65	13.00	8.97	4.97	4.27	5.67	4.67	2.66	8.00	7.33	9.67	10.26	11.73	16.00	2.83	4.97	3.16	
<i>Heliosphaera radiata</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Hexactinium sp. cf. H.</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.66	0.00	1.22	0.00	0.33	2.33	0.67	3.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.95
<i>Larcopele buetschlii (grupo)</i>	1.64	2.67	2.93	1.30	0.65	1.66	5.79	3.68	1.95	1.63	2.95	3.97	6.00	7.00	5.16	7.00	2.99	2.98	3.66	2.00	3.00	1.66	4.33	2.33	5.33	1.32	2.28	3.67	2.52	1.32	0.95	
<i>Phortidium pylonium (grupo)</i>	2.62	3.33	3.58	3.90	2.28	3.99	6.11	5.02	3.57	9.80	5.57	12.58	9.33	8.67	10.00	14.67	16.61	17.88	11.59	14.67	12.00	12.96	11.33	8.00	8.33	4.64	2.93	3.33	5.66	1.99	3.48	
<i>Spongocore puella</i>	5.25	2.67	2.93	1.95	1.63	1.33	1.93	4.01	0.97	2.29	1.97	0.99	3.00	1.33	0.32	1.33	1.66	1.32	0.91	3.67	3.67	1.33	4.00	2.33	2.00	1.66	2.93	2.67	1.57	2.65	5.38	
<i>Stylochlamydidium venustum</i>	1.31	0.67	0.33	0.32	0.00	1.66	2.89	3.34	3.90	0.00	3.28	0.99	2.33	0.67	1.94	0.67	1.99	1.32	0.61	0.33	0.33	0.66	1.67	1.33	3.67	1.66	0.98	1.33	1.26	0.66	1.58	
<i>Tetrapyle octacantha (grupo)</i>	8.52	8.00	2.93	3.90	2.61	4.98	2.89	8.03	1.62	16.01	2.95	11.92	9.33	11.33	10.65	21.33	22.92	28.81	14.33	26.67	14.33	6.98	14.33	5.33	8.33	5.63	4.23	6.00	3.14	5.63	4.43	

Abundancias Relativas de los radiolarios polycystinos determinados en la secuencia sedimentaria K58 (Continuación).

Especies/ Niveles (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Nasselarios																																
<i>Anthocyrtidium zanguibaricum</i>	0.00	0.33	0.33	0.00	1.30	1.66	2.25	0.67	0.65	0.33	0.66	0.66	1.00	0.33	2.90	0.00	0.00	0.00	1.83	0.67	0.67	0.33	2.67	1.00	1.00	0.99	0.33	0.33	0.63	0.00	1.58	
<i>Arachnocorallium calvata</i>	33.11	38.67	30.62	32.47	32.25	30.56	26.37	26.42	31.17	33.33	31.80	17.55	14.00	19.33	21.29	15.33	13.62	16.89	19.51	15.00	15.33	15.95	13.33	13.33	20.67	28.48	26.06	37.67	30.50	43.05	37.97	
<i>Arachnocorys umbellifera</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.33	0.67	0.00	0.32	0.00	0.33	0.00	0.61	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Botryostrobos auritus-australis</i>	0.33	0.67	0.33	0.65	0.98	0.66	0.32	0.00	0.00	1.31	0.98	2.98	0.00	0.67	0.65	1.00	1.33	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.65	0.33	0.63	0.99	0.32
<i>Ceratocyrtis hirsicosus</i>	0.00	0.00	1.95	4.87	2.93	1.00	0.96	0.67	1.95	0.00	1.31	0.33	0.67	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.30	0.00	0.67	1.66	0.33	1.33	1.33	0.00	0.65	1.00	0.63	0.00	0.32	
<i>Clathrocircus stapediis</i>	10.16	7.00	10.75	7.14	6.19	11.96	10.61	6.02	8.12	2.61	11.15	6.95	3.33	2.67	4.19	2.00	2.66	3.97	4.88	1.33	7.33	3.32	5.33	8.33	6.00	11.26	4.89	5.67	5.97	1.99	8.54	
<i>Clathrocorys murrayi</i>	0.00	0.33	0.65	1.62	0.98	0.00	0.96	0.33	0.32	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Coracalypta cervus</i>	0.00	0.33	0.00	0.00	0.33	0.66	0.00	0.33	0.32	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Cycladophora davisiana</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Eucyrtidium erythromystrax</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	0.98	1.00	1.30	2.27	2.28	2.66	2.89	1.00	1.95	0.98	1.64	1.66	0.33	1.00	1.61	2.00	1.99	0.66	1.52	1.33	0.00	2.33	0.00	1.33	2.33	1.99	2.93	3.00	2.20	1.66	1.58	
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Lamprocyrtis nigriniae</i>	1.31	0.67	2.28	0.65	3.26	1.00	2.57	1.00	0.65	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	0.65	0.67	1.00	0.00	0.61	0.33	0.00	0.33	0.67	3.33	3.00	0.66	1.30	0.33	1.26	0.00	0.63	
<i>Lampromitra quadricuspis</i>	0.66	0.33	0.98	1.30	0.00	0.33	0.32	0.00	0.65	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.33	0.00	0.00	0.33	1.00	1.00	0.67	1.33	0.33	0.00	0.33	0.31	0.00	0.32	
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	5.57	10.67	12.38	11.36	5.21	6.64	6.75	6.02	5.19	1.31	3.28	4.30	6.33	4.67	5.81	6.33	5.65	6.62	10.06	11.00	9.00	11.63	11.67	15.67	7.00	10.60	15.31	11.67	17.30	17.22	13.29	
<i>Lithomelissa thoracites</i>	2.30	2.67	1.63	2.27	2.28	3.32	1.29	4.68	2.60	0.65	4.26	0.33	0.33	3.33	0.97	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	1.33	0.00	1.99	1.63	0.00	1.26	1.66	4.11	
<i>Lophocorys polyacantha</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.66	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	
<i>Peridium longispinum</i>	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.99	0.00	0.00	0.65	0.00	1.66	0.00	1.22	0.33	0.67	1.00	0.33	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.94	0.33	0.00	
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	1.31	1.67	1.63	2.27	0.65	2.66	1.61	1.34	0.97	3.92	0.98	2.32	1.67	1.67	3.23	2.00	1.00	1.66	5.18	2.33	2.00	1.00	1.00	1.33	2.67	1.99	1.63	0.33	2.83	1.66	1.90	
<i>Plectacantha sp.</i>	0.98	0.00	3.26	0.00	3.26	2.99	1.29	1.34	0.32	0.00	1.31	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.30	0.67	2.33	3.99	1.33	0.67	0.67	0.33	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	6.56	4.67	6.51	8.12	14.98	6.64	4.18	2.34	4.87	0.33	2.95	2.32	1.00	1.33	0.32	0.33	0.33	0.00	0.91	1.33	2.67	4.32	2.67	2.33	0.67	2.65	1.63	0.67	4.09	1.66	0.63	
<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i>	0.00	0.00	0.00	0.97	0.00	0.33	0.96	0.33	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Pseudodictyophimus platycephalus</i>	1.31	1.00	1.63	3.57	2.93	1.00	1.29	2.01	1.30	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.67	0.67	0.00	0.00	0.00	0.33	0.31	0.00	0.95	
<i>Pterocanium auritum</i>	0.00	0.00	0.33	1.62	1.63	1.00	2.57	0.00	0.32	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.00	0.33	0.00	0.91	0.00	0.67	1.33	0.33	0.67	1.33	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.32	
<i>Pterocorys clausus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.32	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	
<i>Theophilium tricostatum</i>	1.64	1.00	1.30	3.90	2.28	1.66	3.22	1.00	2.60	0.65	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	1.52	0.00	3.00	4.65	1.33	1.33	1.00	0.33	0.65	0.00	0.94	0.00	1.27	
<i>Zygoircus productus capulosus</i>	7.21	5.00	4.23	1.30	2.93	1.66	2.25	1.67	1.95	7.52	0.66	3.97	4.00	7.00	4.52	2.67	4.98	6.95	6.40	6.33	9.33	10.63	7.33	9.33	5.33	4.97	6.51	4.33	3.46	3.31	4.11	

ANEXO III

Factor loadings y comunalidades registrados en la secuencia K58, se resaltan en color negro los valores mayores a 0.60

Intervalos de Profundidad (cm)	Factor 1	Factor 2	Comunalidades
0-1	0.88116	0.37481	0.916924
1-2	0.90507	0.38507	0.967428
2-3	0.93342	0.30119	0.961989
3-4	0.92864	0.25725	0.928542
4-5	0.91732	0.17594	0.872436
5-6	0.91887	0.31239	0.941910
6-7	0.90315	0.33592	0.928518
7-8	0.81184	0.52554	0.935274
8-9	0.87948	0.31975	0.875735
9-10	0.66176	0.65439	0.866154
10-11	0.86254	0.36468	0.876970
11-12	0.47038	0.82006	0.893759
12-13	0.35037	0.75120	0.687068
13-14	0.49015	0.76153	0.820178
14-15	0.57705	0.76020	0.910895
15-16	0.23870	0.94388	0.947894
16-17	0.17362	0.94466	0.922532
17-18	0.20447	0.93083	0.908253
18-19	0.53701	0.79493	0.920283
19-20	0.21034	0.92679	0.903188
20-21	0.44459	0.83637	0.897177
21-22	0.54433	0.66881	0.743609
22-23	0.38805	0.87950	0.924102
23-24	0.56960	0.62006	0.708912
24-25	0.68444	0.66113	0.905555
25-26	0.85149	0.47695	0.952519
26-27	0.80159	0.48807	0.880757
27-28	0.83875	0.43432	0.892130
28-29	0.88030	0.39376	0.929977
29-30	0.88774	0.37869	0.931492
30-31	0.91948	0.33069	0.954801

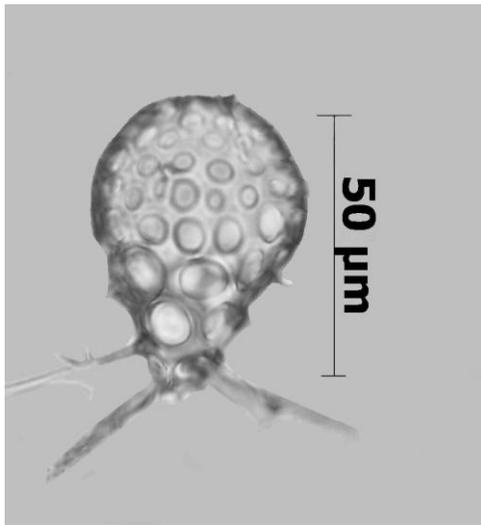
ANEXO IV

Factor Scores de las especies representativas de cada uno de los factores.

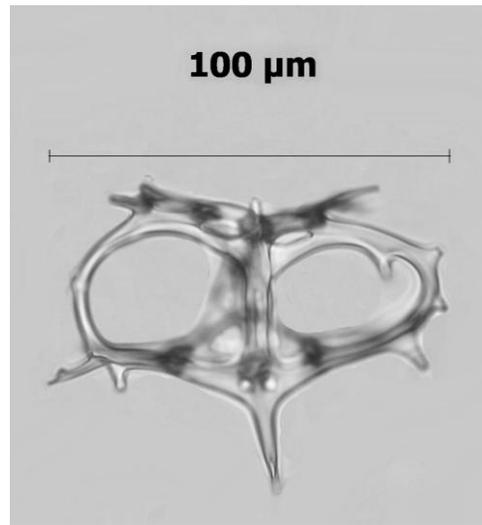
Especies características	Factor 1	Factor 2
<i>Didymocyrtis tetrathalamus</i>	-0.20281	-0.087750
<i>Druppatractus irregularis</i>	-0.01152	1.122712
<i>Druppatractus variabilis</i>	-0.16518	1.503894
<i>Heliosphaera radiata</i>	-0.33095	-0.516587
<i>Hexacantium sp. cf. H. giganteum</i>	-0.32264	-0.384201
<i>Larcopyle buetschlii</i> (grupo)	-0.22945	0.423066
<i>Phorticium pylonium</i> (grupo)	-0.85790	2.770447
<i>Spongocore puella</i>	-0.01197	-0.153606
<i>Stylochlamydidium venustum</i>	-0.10802	-0.318891
<i>Tetrapyle octacantha</i> (grupo)	-1.31225	3.832696
<i>Anthocyrtidium zanguebaricum</i>	-0.23545	-0.364959
<i>Arachnocorallium calvata</i>	5.29876	1.000679
<i>Arachnocorys umbellifera</i>	-0.34599	-0.480010
<i>Botryostrobos auritus-australis</i>	-0.29768	-0.401349
<i>Ceratocyrtis bistricosus</i>	-0.07854	-0.568250
<i>Clathrocircus stapedius</i>	1.13611	-0.166516
<i>Clathrocorys murrayi</i>	-0.25530	-0.555268
<i>Coracalyptra cervus</i>	-0.32003	-0.518424
<i>Eucyrtidium erythromystax</i>	-0.34017	-0.533370
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i>	-0.01139	-0.380700
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	-0.35567	-0.487971
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i>	-0.08576	-0.504616
<i>Lampromitra quadricuspis</i>	-0.27591	-0.480449
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	1.01272	0.860860
<i>Lithomelissa thoracites</i>	0.14921	-0.635041
<i>Lophocorys polyacantha</i>	-0.31708	-0.546758
<i>Peridium longispinum</i>	-0.36855	-0.392787
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	-0.15971	-0.100161
<i>Plectacantha sp.</i>	-0.14373	-0.459279
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	0.67683	-0.743268
<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i>	-0.29578	-0.556827
<i>Pseudodictyophimus platycephalus</i>	-0.07853	-0.640459
<i>Pterocanium auritum</i>	-0.21174	-0.516475
<i>Pterocorys clausus</i>	-0.32997	-0.531692
<i>Theopilium tricostatum</i>	-0.05368	-0.454369
<i>Zygocircus productus capulosus</i>	-0.16030	0.965678

ANEXO V

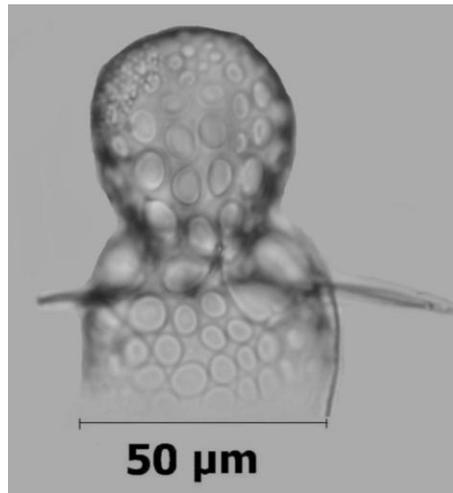
Lamina I. Radiolarios polycystinos asociados al Factor 1 "Divergencias".



Arachnocorallium calvata

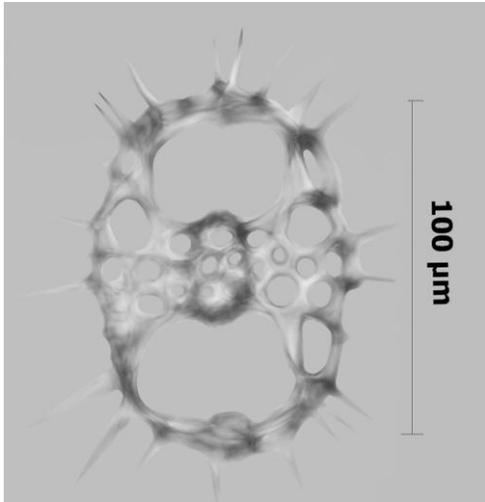


Clathrocircus stapedius

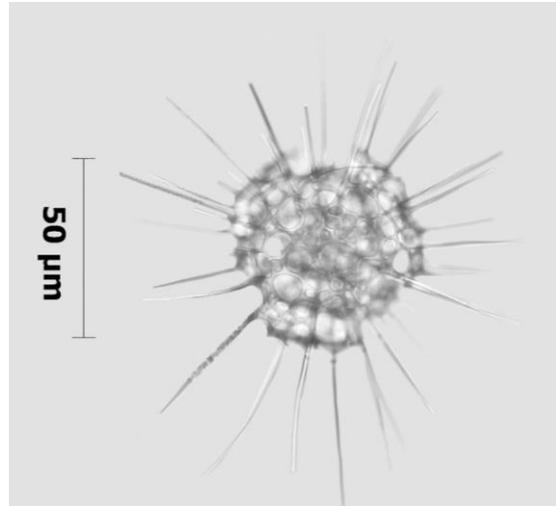


Lithomelissa pentacantha

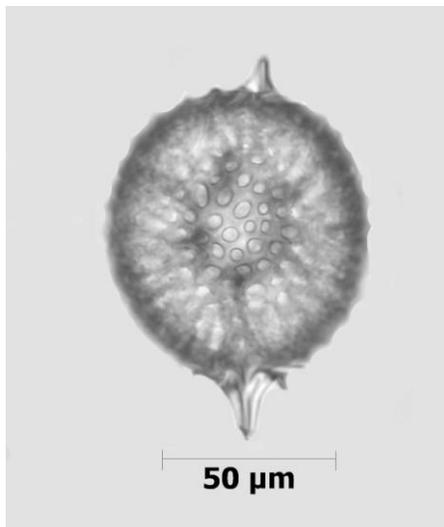
Lamina II. Radiolarios polycystinos asociados al Factor 2 “Estratificación”.



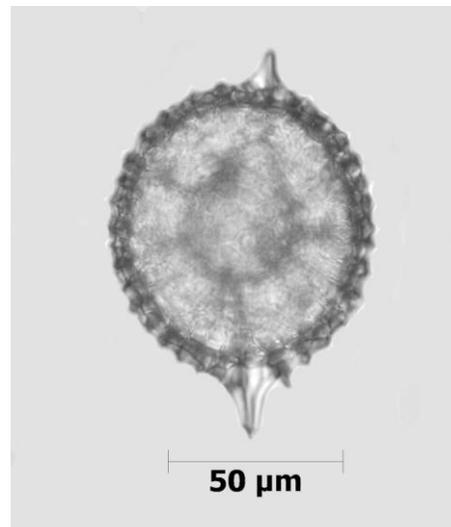
Tetrapyle octacantha (grupo)



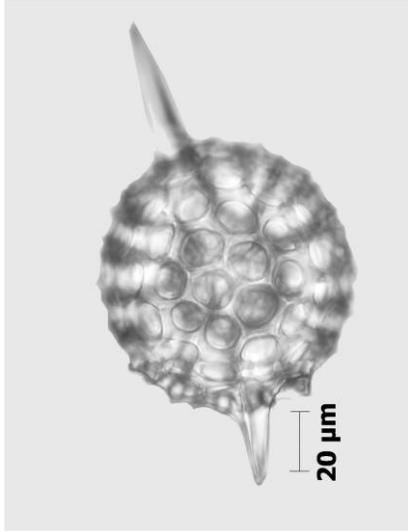
Phorticium pylonium (grupo)



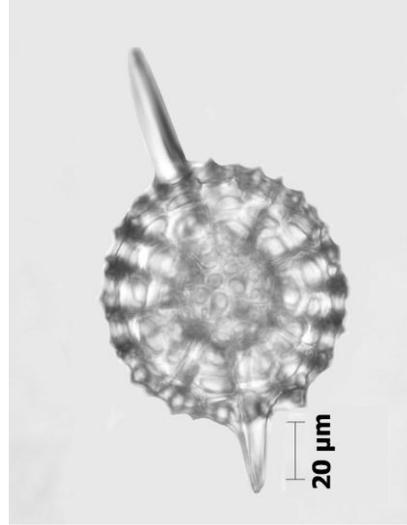
Druppatractus irregularis (teca cortical)



Druppatractus irregularis (teca medular)



Dupptractus variabilis (teca cortical)



Dupptractus variabilis (teca medular)