



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**Registro de radiolarios en la región occidental de
la cuenca Guaymas (golfo de California, México)
durante el Cuaternario tardío.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

MAURICIO OMAR VELÁZQUEZ AGUILAR

TUTORA:

DRA. LIGIA LUCINA PÉREZ CRUZ

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017





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.

1. Datos del alumno

Velázquez

Aguilar

Mauricio Omar

63 66 14 99

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

306325456

2. Datos del tutor

Dra.

Ligia Lucina

Pérez

Cruz

3. Datos de sinodal 1

Dra.

María Luisa

Machain

Castillo

4. Datos del sinodal 2

Dr.

Frank Raúl

Gío

Argáez

5. Datos del sinodal 3

Dr.

David Alberto

Salas

De León

6. Datos del sinodal 4

Dr.

Francisco

Sour

Tovar

7. Datos del trabajo escrito

Registro de radiolarios en la región occidental de la cuenca Guaymas
(golfo de California, México) durante el Cuaternario tardío.

86 p.

2017

Este trabajo está dedicado a la persona más importante para mí, aquella que siempre me ha apoyado y me ha demostrado el verdadero significado de la palabra amor, mi madre.

Ese momento en el que sabes que no eres una triste historia. Estás vivo. Y ves las luces en los edificios y todo te maravilla, y estás escuchando esa canción con la gente que más quieres...y en ese momento juro...somos infinitos.

Stephen Chbosky, The perks of being a wallflower.

Agradecimientos académicos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por dejarme ser parte de la máxima casa de estudios y por permitirme culminar los estudios de licenciatura; por todo el conocimiento adquirido y por brindarme una de las mejores experiencias que he tenido: el orgullo de ser azul y oro.

A la Facultad de Ciencias, mi segunda casa, porque me brindó los espacios necesarios para realizar mis estudios, porque en ella crecí y porque fue testigo del cambio ocurrido en mí desde aquella primera vez que entré como estudiante de biología hasta el día de mi titulación. Simplemente, porque no hay mejor facultad.

A la Dra. Ligia Lucina Pérez Cruz, agradezco infinitamente el haberme permitido formar parte del equipo de trabajo del Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas del Instituto de Geofísica, UNAM., y por haberme aceptado en el taller Principios de Paleoceanografía y Paleoclimas, y una vez en él, por contribuir de gran manera a la culminación de este trabajo. Gracias por todo el apoyo brindado, el conocimiento, la dirección, los consejos, los ánimos, y por todas las experiencias compartidas, así como por considerarme para la campaña oceanográfica PALEOMAR 2, por la RAUGM 2016, y por ser un ejemplo a seguir para cualquier estudiante que tiene como meta dedicarse a la investigación; pero más allá, por ser un ejemplo de cómo la constancia, la dedicación y el esfuerzo pueden llevar a alguien a cumplir sus sueños.

A mis sinodales, Dra. María Luisa Machain Castillo, Dr. Frank Raúl Gío Argáez, Dr. David Alberto Salas de León y Dr. Francisco Sour Tovar, agradezco todos los comentarios y observaciones realizados a este trabajo, gracias por el interés y por el tiempo tomado para leerlo, sin sus comentarios este trabajo no sería el mismo.

Al Dr. John A. Barron, por brindar las muestras del núcleo sedimentario MD02-2515 al Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas, las cuales fueron el objeto de estudio de este trabajo.

A la M. en C. Ana Roberta Escalante Ruiz por la excelente preparación y el montaje de las placas microfaunísticas estudiadas en este trabajo, el cual sin su ayuda no habría sido posible.

A todos mis profesores de la carrera, por brindarme las bases necesarias del conocimiento para comprender el amplio mundo de la biología y para desarrollarme profesionalmente; principalmente, agradezco a aquellos que me permitieron conservar su amistad y a los que me demostraron que la mejor manera de transmitir el conocimiento es haciéndolo con pasión y ganas: Enrique Méndez Ríos, María Luisa García López-Galván, Fermín Garrido Vizcarra, María Edith Ponce Márquez, Raúl Contreras Medina, Carlos Alberto Ruiz Jiménez, Laura Guadalupe Escobar de María y Campos, Olivia Yañez Ordoñez, Marcia María Ramírez Sánchez, Ramiro Cruz Durán, Adriana Muñoz Hernández, Itzia Erendira Nieto López, Adriana Yanet Miranda Martínez, Rodolfo Salas Lizana, Brian Urbano Alonso, Livia León Paniagua, Miguel Ángel Torres Martínez, María de Lourdes Barbosa Saldaña, Cinthia Rocío Juárez Tapia, Víctor Antonio Mejía Roa, Adriana García Alarcón, Ángel Alejandro Ramírez Velasco, René Hernández Rivera, Hermelinda Margarita Villegas Ríos, Francisco Eduardo Pérez Pasos, Eduardo Alberto Pérez García, Nancy Raquel Mejía

Domínguez, Elsa Arellano Torres, Leticia Plascencia Gaspar, María Adela Monreal Gómez y Alejandro Rodríguez Ramírez.

Al Dr. Kjell R. Bjørklund por las clases impartidas en el Laboratorio de Paleoceanografía y Paleoclimas, por el conocimiento brindado y por los consejos; por compartir la experiencia de una campaña oceanográfica a bordo del B/O “El Puma”.

A la tripulación del B/O “El Puma” por hacer de la campaña PALEOMAR 2 una experiencia enriquecedora, única e inolvidable.

Al Museo del Instituto de Geología, UNAM., agradezco la beca otorgada como parte del Programa de Anfitriones y Apoyo a la Difusión, porque durante mi estancia en este recinto logré relacionar a la biología con otras áreas, desarrollar habilidades para la transmisión y difusión de conocimiento, particularmente de índole geológico; y porque todas las experiencias y el aprendizaje obtenido no los cambiaría por nada.

Al Dr. Sergio Rafael Silvestre Cevallos Ferriz, por permitirme realizar mi servicio social en el Laboratorio de Paleobotánica del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología, UNAM. Particularmente, agradezco a Enoch, por todo lo aprendido durante la realización del servicio, por la flexibilidad en horarios, por el apoyo brindado, y porque hizo que mi estancia en este laboratorio fuera muy interesante y enriquecedora.

Este proyecto se llevó a cabo gracias al proyecto interno G118 del Instituto de Geofísica: Paleoceanografía y paleoclimas del Pacífico Ecuatorial.

Agradecimientos personales

A mi familia, por ser las personas que me cuidan y se preocupan por mí en todo momento. Gracias a mi mamá, Blanca Sara Aguilar Pichardo, porque además de ser mi madre eres mi amiga, porque durante toda mi vida me has demostrado que el amor de madre es incondicional; te agradezco por todo el apoyo y cariño que me has dado, por todos los consejos, por tu sabiduría, por ser mi confidente, por ser mi pilar, por tu sencillez, por siempre estar al pendiente de mí y por la confianza depositada; no tengo palabras para agradecer todo lo que has hecho ni para expresar todo lo que significas, gracias por ser la mejor madre que alguien pudiera pedir. Gracias a mi padre, Jorge Velázquez Hernández, por enseñarme que lo único que se necesita para hacer las cosas son ganas y actitud, y que la inteligencia por sí sola no basta, el esfuerzo y la constancia son indispensables. Gracias a mi hermano, Jorge Esteban Velázquez Aguilar, por ser mi mejor amigo y cómplice de travesuras, por cuidarme y protegerme en todo momento, porque siempre fuiste, y sigues siendo, un ejemplo a seguir, sinceramente puedo decir que no pude tener un mejor hermano. A Noemí, porque eres la nueva integrante de la familia y te has ganado a pulso el lugar, gracias por todo el apoyo brindado, por la solidaridad, la calidez, y por estar presente en las buenas y las malas. A Martín, porque me enseñaste que la humildad y sencillez son la mejor carta de presentación, porque nos contagiaste a todos con tu optimismo y porque nos enseñaste grandes lecciones de vida; sé que desde donde estás cuidas de nosotros.

Gracias a mis amigos de la Escuela Nacional Preparatoria N° 2 “Érasmo Castellanos Quinto”: José Antonio Martínez Diez Barroso, Itzel Sánchez Cruz, María Monserrat Barajas Vargas, Itzel Elena Portillo Yáñez, Alma Vázquez Máfara, Carlos Alberto Contreras Verdi, Juan Manuel Torres Flamenco, Mayra Suhey Rivas, Reyna Karen Lee Villamar, José Antonio “Skippy” Sánchez Huerta, Guadalupe Libertad Roldán Díaz, Giovanni Granados Macías, Evelyne García, Gerardo Rosales Vara, y a todos aquellos que no menciono y que hicieron de esos años una de las mejores etapas de mi vida.

A mis colegas de generación de licenciatura, porque todos aquellos que conocí aportaron algo en mí, pero especialmente a mis amigos biólogos, aquellos con los que compartí triunfos y derrotas, lagrimas y risas: Marcela “Mochis” Aragón, gracias por ser mi primera amiga en la facultad, porque aquella confusión de salón nos llevó a compartir muchísimas cosas durante la carrera, gracias por tus consejos y ánimos, por darme hogar y por ser excelente amiga. Nadia “Nanis” Castro, gracias por ser como eres, porque tu espontaneidad siempre lograba arrancarme una sonrisa, porque me enseñaste que cada quien se toma el tiempo necesario para cumplir sus metas, gracias por tu amistad constante y por todos esos cigarros consumidos acompañados de una buena taza de café, que servían como pretexto para platicar de mil y un cosas diferentes. Kenia “Kenyita” Montes de Oca, gracias por todas las aventuras compartidas, por ser una de mis mejores amigas, por estar conmigo en casi todas las clases, por las prácticas de campo, por las risas, por los consejos, por ser una excelente compañía en este capítulo de mi vida. Oscar “Chu” Sánchez, gracias por ser uno de mis mejores amigos y una excelente persona, por la confianza depositada, por todos los buenos momentos, por abrirme las puertas de tu casa y dejarme conocer a tu maravillosa familia, por animarme a seguir en este camino. David “Marmota” Torres, gracias por aportar tu espíritu vivaracho y lleno de alegría al grupo, porque contigo uno podía olvidarse de los malos momentos y dejarse

llevar por tu alegría. Iván Reyes, gracias por ser el papá que cuidaba de los demás en todas las reuniones, por ese sentido del humor tan característico y por hacernos reír en los momentos más extraños (jamás olvidaré cómo se rompió el cascarón), gracias por ser un gran amigo. A todos ustedes, gracias por compartir conmigo esta aventura llamada Biología, los quiero.

Agradezco a todos aquellos que quizá no conocí durante toda la carrera pero que aportaron mucho a mi persona: Pablo Colunga, Cecilia Echeverría, Daniel Sokani, Daniel Manzur, Natalia López, Pamela Narváz, David Ferreira, Gustavo Ruiz, Rodrigo Pacheco, Andrea Garciafarré, Armando Trejo y Nashla Pérez.

Agradezco a cuatro personas muy importantes para mí: Gloria Guadalupe Reyes Gómez, simplemente por ser mi amiga, por complementarme, por ser tan directa y honesta, por todas las cosas compartidas y por todo el apoyo brindado. Omar Rafael Regalado Fernández, gracias por ser mi salvavidas académico y personal en más de una ocasión, por ser un excelente amigo, un gran apoyo y por conservar esta amistad aunque nos separe un océano entero. José Luis Bautista Tiscareño, gracias por las experiencias compartidas que nos hicieron madurar, por todo lo vivido y por esta amistad. Antonio “Canchanchan” Sánchez Cevallos, gracias por estar presente en una etapa muy importante, por todo lo que compartimos y por enseñarme que hasta el momento más sencillo puede ser especial y estar lleno de magia.

A mis amigos biólogos de generaciones distintas: Mariana Zamudio, Armando López, Iraís Vilchis, Mariana López, Liliana Cedillo, Carlos Coffeen, Cinthia Durán y a Eduardo Gómez de la Peña (CT), por las risas y porque me permitieron conocerlos y aprender mucho de ustedes. Gracias por ser mis hermanos académicos pequeños.

A los miembros de “El consejo”: Alberto Alanis Pavón, por ser mi amigo y cómplice de tantas cosas, por hacer bastante divertida la estancia en el museo, por todas las experiencias compartidas, por todos nuestros momentos de sana recreación y esparcimiento; Luz Valeria Martínez Nuñez, gracias por ser tan genuina, porque con tu forma de ser me matas de risa, por ser igual de *hater* que yo. A los dos, les agradezco muchísimo la amistad brindada durante este tiempo, y por el tiempo que falta.

A mis amigos del Museo del Instituto de Geología: Manuel Alberto Ayala Ramos, Israel Porras Toribio, Erika Chantal Baez Ortiz, Sandra Pérez Hernández, David de Jesús Pastén Téllez, Alina Hernández Barbosa, Christopher Peña y Claudia Ochoa, por el tiempo compartido y las enseñanzas.

A mis amigos de Francés: Iván Quesada, porque tu forma de ser traía calma a mi ser; a Diana Hernández, por ser tan tierna y linda conmigo, porque de ti jamás recibí algo que no fueran palabras de apoyo y de ánimo; a Antonio Flores, por darme la oportunidad de conocerte y encontrar a una de las mejores personas que conozco, por hacerme entender que las personas valen por lo que son por dentro, y por siempre brindarme tu apoyo. Gracias a los tres, son personas excepcionales.

Por último, pero no menos importante, a mis amigos del laboratorio: Ana Escalante, Luz Arredondo, Celia Gama, Mariana Marca y Juan José Suárez, por la relación fraternal que tuvimos y porque siempre trabajamos como un equipo, presente en las buenas y malas, porque compartimos aciertos y errores, alegrías y frustraciones; porque vivimos juntos la experiencia de realizar una tesis, y porque así como empezamos juntos, terminamos juntos.

ÍNDICE

Resumen	
Introducción	1
Justificación	2
Hipótesis.....	2
Objetivos.....	3
Objetivo general	3
Objetivos particulares	3
Capítulo 1. Antecedentes	4
1.1 Radiolarios	4
1.1.1 Ubicación taxonómica	4
1.1.2 Organización celular	5
1.1.3 Esqueleto	7
1.1.4 Pared del esqueleto	7
1.1.5 Espinas	7
1.1.6 Sistema de flotación	9
1.1.7 Nutrición y simbiosis.....	9
1.1.8 Reproducción y ciclo de vida	11
1.1.9 Longevidad.....	11
1.1.10 Principales criterios de clasificación	11
1.1.11 Superorden Polycystina	12
1.1.12 Distribución.....	14
1.1.13 El uso de radiolarios como proxy paleoceanográfico	16
1.2 Área de estudio.....	17
1.2.1 El Golfo de California	17
1.2.2 Cuenca Guaymas	18
1.2.3 Sedimentos en el Golfo de California	21
1.3 Variabilidad climática durante el Cuaternario.....	24
1.3.1 Las glaciaciones cuaternarias.....	25
1.3.3 Variabilidad climática durante la última glaciación.....	27
1.3.4 El Último Máximo Glaciar	29
1.3.5 Bølling-Allerød	30

1.3.6 Younger Dryas.....	30
1.3.7 La entrada al interglaciar: el Holoceno.....	30
1.3.8 El evento de 8.2 ka AP	31
1.4 Estudios previos.....	31
1.4.1 Estudios taxonómicos.....	32
1.4.2 Estudios ecológicos en columna de agua	32
1.4.3 Estudios realizados en sedimentos marinos.....	33
1.4.4 Estudios realizados en el núcleo sedimentario MD02-2515	36
<i>Capítulo 2. Materiales y métodos.....</i>	<i>37</i>
2.1 Preparación y montaje de las placas microfaunísticas.....	38
2.2 Conteo y determinación taxonómica	39
2.3 Análisis estadísticos	39
2.4 Afinidades ecológicas	40
<i>Capítulo 3. Resultados y discusión</i>	<i>41</i>
3.1 Determinación taxonómica	41
3.2 Distribución de los radiolarios en el núcleo sedimentario	41
3.3 Radiolarios más representativos del núcleo MD02-2515.....	43
3.4 Análisis de factores.....	46
3.5 Afinidades ecológicas e interpretaciones paleoceanográficas.....	49
3.6 Inferencias paleoceanográficas	59
<i>Capítulo 4. Conclusión.....</i>	<i>63</i>
Literatura citada	64
Anexo I	
Anexo II	
Anexo III	
Anexo IV	
Anexo V	

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1. Esquema de corte longitudinal del citoplasma de radiolarios policistinos. (Modificada de De Wever *et al.*, 2001).

Figura 2. Principales tipos de pared de radiolarios policistinos. Diferentes tipos de pared reticulada representadas con poros de tamaño similar en cada caso (a, b y c), el tamaño de poro puede ser mayor o menor en comparación con la pared perforada (d). Se esquematiza el marco poligonal de los poros (a), se representan tecas con pared delgada (b), pared gruesa (c) y pared esponjosa (e) (Tomada de De Wever *et al.*, 2001).

Figura 3. Forma y estructura de los tipos de espinas en radiolarios: (a, b) espinas huecas, (a) espina subcilíndrica con ramas irregulares, (b) espina tubular, (c, d) espinas con forma de varilla, (d) espina con forma de varilla reforzada con soportes basales, (e, f) espinas cónicas, (f) espina cónica con terminación en forma de pelo, (g, h, i) espinas trirradiadas, (g) espina trilobulada, (h) espina en forma de "Y", (i) espina con forma de espiral, (j) espina con apófisis, (k) espina cubierta por sobrecrecimiento de tejido esquelético de la teca externa (Afanasieva, 2007).

Figura 4. Estrategias alimenticias reportadas para radiolarios (Modificada de Matsuoka, 2007).

Figura 5. Representación gráfica del esqueleto de Spumellaria (Tomada de De Wever *et al.*, 2001).

Figura 6. Representación gráfica del esqueleto de Nassellaria (Tomada de De Wever *et al.*, 2001).

Figura 7. Representación esquemática del sistema espicular cefálico interno de Nassellaria (Tomada de Suzuki *et al.*, 2012).

Figura 8. Mapa de producción anual de sílice biogénico ($\text{g/m}^2/\text{año}$) (Modificada de Lisitzin 1971).

Figura 9. Localización y batimetría del Golfo de California (Tomada de Lavin & Marinone, 2003).

Figura 10. Ubicación del Centro Atmosférico de Alta Presión (CAAP) durante invierno y ubicación de la ITCZ y patrón general de vientos en el Golfo de California durante invierno y verano (Modificada de Pérez-Cruz, 2013).

Figura 11. Principales fuentes y patrones de transporte de los sedimentos marinos actuales (Modificada de Hay, 1974).

Figura 12. Distribución porcentual de los radiolarios (de la fracción 60-250 μm) en sedimentos superficiales del Golfo de California (Benson, 2005).

Figura 13. Temperatura del aire cerca de la Antártica de los últimos 150,000 años, inferidas de las mediciones de la relación de hidrógeno/deuterio en el núcleo de hielo de la estación Vostok (Bradley & Eddy, 1991 en Pérez-Cruz *et al.*, 2009).

Figura 14. Parámetros orbitales: A. Excentricidad=0, B. Excentricidad= 0.5, C. Oblicuidad y D. Precesión (Tomada de Goddard, 2015 en www.nasa.gov).

Figura 15. Registro de isótopos de oxígeno del GISP II de los últimos 55 ka. MIS: Estadios Isotópicos Marinos, IS: Interestadiales, H0-H5a: Eventos Heinrich, BA: Bølling-Allerød, YD: Younger Dryas (Tomada de Barron *et al.*, 2014).

Figura 16. Modelo de edad del núcleo MD02-2515, establecido por datación de radiocarbono, los puntos rojos corresponden a las dataciones que utilizaron radiocarbono y foraminíferos (Tomada de Pichevin *et al.*, 2012).

Figura 17. Ubicación geográfica del núcleo sedimentario MD02-2515 (Modificada de Cheshire *et al.*, 2005).

Figura 18. Diagrama de flujo que sintetiza el método utilizado en este trabajo (recuadros blancos).

Figura 19. Abundancia relativa de los radiolarios policistinos de los órdenes Nassellaria y Spumellaria en el núcleo MD02-2515.

Figura 20. Especies de radiolarios más representativas. 1) *Acantosphaera actinota*, 2) *Acrobotrys teralans*, 3) *Amphiplecta acrostoma*, 4) *Anthocyritidum zanguebaricum*, 5) *Arachnocorallium calvata*, 6) *Botryostrobus auritus-australis*, 7) *Carpocanistrum* spp., 8) *Cladoscenum* sp. cf. *C. tricolpium*, 9) *Clathrocircus stapedius*, 10) *Cycladophora*

davisiana, 11) *Dictyophimus* sp. cf. *D. tripus*, 12) *Eucyrtidium acuminatum*, 13) *Hexacontium laevigatum*, 14) *Lamprocyclus maritalis* grupo, 15) *Larcopyle buetschlii*, 16) *Larcospira minor*. La barra equivale a 100 μm .

Figura 20 (cont.). Especies de radiolarios más representativas. 17) *Lithomelissa laticeps*, 18) *Lithomelissa pentacantha*, 19) *Lithomelissa setosa*, 20) *Lithomelissa thoracites*, 21) *Lophophaena nadezdae*, 22) *Peridium longispinum*, 23) *Peridium* sp. cf. *P. longispinum*, 24) *Phormospyris stabilis scaphipes*, 25) *Phormosticoartus corbula*, 26) *Plectacantha* sp., 27) *Pseudocubus obeliscus*, 28) *Siphocampe lineata*, 29) *Stylochlamydidium venustum*, 30) *Tetrapyle octacantha*, 31) *Trisulcus triacanthus*. La barra equivale a 100 μm .

Figura 21. Distribución de las asociaciones de radiolarios a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515. En amarillo se muestran los interestadiales, el Bølling-Allerød (BA) y el Holoceno (Hol); en verde se muestra el evento del 8.2 ka; en morado se muestra el Último Máximo Glaciar (LGM); en azul se muestran los Eventos Heinrich (incluyendo el Younger Dryas, YD).

Figura 22. *Factor scores* de las especies de radiolarios representativas de la asociación 1.

Figura 23. Especies de radiolarios que, a partir del Análisis de Factores modo “Q”, conforman a la asociación 1. La línea equivale a 100 μm .

Figura 24. *Factor loadings* de la asociación 1 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515.

Figura 25. *Factor scores* de las especies de radiolarios representativas de la asociación 2.

Figura 26. Especies de radiolarios que, a partir del Análisis de Factores modo “Q”, conforman a la asociación 2. La línea equivale a 100 μm .

Figura 27. *Factor loadings* de la asociación 2 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515.

Figura 28. *Factor scores* de las especies de radiolarios representativas de la asociación 3.

Figura 29. Especies de radiolarios que, a partir del Análisis de Factores modo “Q”, conforman a la asociación 3. La línea equivale a 100 μm .

Figura 30. *Factor loadings* de la asociación 3 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515.

Figura 31. Comparación de la carga de la asociación 1 con *Roperia tessellata*, *Dictyocha stapedia* y sílice biogénico (Modificada de Barron *et al.*, 2004)

Figura 32. Comparación de la asociación 2 obtenida en este trabajo con la abundancia de *Distephanus speculum* determinada en el estudio de Barron *et al.*, 2014.

Figura 33. Distribución de la asociación 3 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515. En azul se señalan el YD y los Eventos Heinrich; en verde se muestra el evento del 8.2 Ka AP y; en morado se marca el Último Máximo Glaciar.

TABLAS

Tabla 1. Características de las masas de agua descritas para el Golfo de California (Tomada de Lavin *et al.*, 2009).

Tabla 2. Síntesis de trabajos paleoceanográficos realizados con radiolarios en el Golfo de California.

Tabla 3. Taxones de radiolarios que presentan una abundancia relativa promedio ≥ 1 .

Tabla 4. Resultados obtenidos a partir del Análisis de Factores modo “Q”.

Tabla 5. *Factor scores* obtenidos para las 31 especies más representativas en cada uno de los 3 factores a lo largo del núcleo sedimentario, se resaltan los valores de las especies representativas para cada una de las asociaciones (factores).

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio del núcleo sedimentario MD02-2515, colectado en la región occidental de la Cuenca Guaymas, en el Golfo de California, durante la campaña oceanográfica MONA realizada en junio del 2002 a bordo del B/O Marion Dufresne. El núcleo se colectó a 881 m de profundidad, a 27°29.01 latitud N y 112°04.64 longitud O. La longitud del núcleo es de 63.49 m y el alcance temporal es ~54000 a 6840 años cal AP.

A lo largo del núcleo se estudiaron 280 muestras y se determinaron 119 taxa de radiolarios, de las cuales 41 pertenecen al orden Spumellaria y 78 al orden Nassellaria, lo que indica que durante el Cuaternario tardío prevalecieron las condiciones oceánicas en la cuenca. Tomando en cuenta que la naturaleza de los radiolarios permite su uso como paleoindicador o *proxy*, se utilizaron las abundancias de los radiolarios identificados en el núcleo sedimentario para inferir algunas condiciones oceanográficas de la Cuenca Guaymas durante el Cuaternario tardío. Utilizando métodos estadísticos se seleccionaron las especies más representativas del núcleo, obteniendo un total de 31 taxa, las cuales fueron sometidas a un Análisis de Factores modo "Q"; el resultado del análisis indicó la dominancia de 3 asociaciones de radiolarios a lo largo del núcleo.

La asociación 1, integrada por las especies *Lithomelissa thoracites*, *L. setosa*, *L. pentacantha* y *Peridium longispinum*, está relacionada con un aumento en la productividad biológica de la cuenca, favorecida por el fortalecimiento de los vientos del NO, y el desarrollo de surgencias. Esta asociación es dominante de ~52270 a 52100, ~50270 a 50090, ~44170 a 39200, ~32900 a 32320, ~24430 a 23730, ~18260 a 17280, ~15140 a 13060 y de ~11670 a 7160; además se observan picos de la asociación a ~50980, ~48100, ~35120, ~30110, ~28980 y ~26320 años cal AP. La asociación 2, correspondiente a los radiolarios *Siphocampe lineata*, *L. setosa* y *L. thoracites*, se asocia con condiciones frías en la región de estudio. Se determinó que las cargas del factor 2, son significativas en los siguientes intervalos: de ~51920 a 51340, ~48810 a 48110, ~42430 a 41900, ~38110 a 37100, ~33530 a 32890, ~32130 a 31970, ~31500 a 31310, ~28710 a 26640 y de ~18180 a 16010; además de presentar picos a ~47400, ~40120, ~34810, ~29900, ~20320 y ~19510 años cal AP. La asociación 3, representada por los radiolarios *Acrobotrys teralans*, *L. thoracites* y *Botryostrobus auritus-australis*, se asocia con un ingreso de la Corriente de California hacia el interior del golfo. Las cargas de factor, a lo largo del núcleo sedimentario son significativas en los siguientes intervalos: de ~51340 a 49260, ~48100 a 46700, ~32320 a 29990, ~26320 a 18270 y de ~15090 a 13220; además, se presentan picos significativos de la asociación a ~43600, ~34590, ~27770, ~8100 y ~6900 años cal AP.

Con lo anterior es posible afirmar que durante el Cuaternario tardío, la Cuenca Guaymas presentó cambios climáticos bruscos, los cuales tuvieron efecto en la dinámica oceánica de la región, modificando las características de las masas de agua, y con ellas, las especies de radiolarios que las habitan; es por ello que el desarrollo de este trabajo puede ser considerado como un aporte para la actualización de la taxonomía y biogeografía del grupo, y como un estudio de interés paleoceanográfico que contribuye a mejorar el entendimiento de la variabilidad durante el Cuaternario tardío en la Cuenca Guaymas.

INTRODUCCIÓN

El Golfo de California es la cuenca oceánica más joven del planeta y se le considera un laboratorio único de diversos procesos naturales, por lo que es considerado un escenario de investigaciones científicas muy atractivo (Pérez-Cruz *et al.*, 2009). Parte de estas investigaciones se han enfocado en las reconstrucciones paleoceanográficas y paleoclimáticas de la cuenca, dichas reconstrucciones se realizan a partir del uso de paleoindicadores o *proxies*, que permiten inferir condiciones en el pasado que van más allá del registro instrumental. Parte de estos proxies son de naturaleza biológica, el uso de éstos se basa en el potencial de preservación en los sedimentos que poseen, así como en sus afinidades ecológicas; uno de estos grupos es el de los radiolarios.

Los radiolarios son un grupo de organismos marinos constituyentes del plancton y han existido desde comienzos de la Era Paleozoica (De Wever *et al.*, 2001), habitan en todos los océanos, se encuentran bien adaptados a aguas pelágicas, en un rango polar-ecuatorial y a profundidades desde la superficie hasta zonas abisales (Petrushevskaya, 1971; Molina-Cruz & Bjørklund, 2009; Suzuki & Not, 2015). La distribución geográfica de las especies superficiales y subsuperficiales está influenciada por variables oceánicas y climáticas, las cuales están asociadas con provincias biogeográficas que reflejan características de las diferentes masas de agua, de esta manera, los radiolarios como muchos otros protozoarios, responden a las variaciones en el clima y a las condiciones oceánicas; al morir éstos, sus esqueletos se acumulan lentamente en el fondo oceánico, formando parte del sedimento y, proporcionando así, un registro detallado de la variabilidad climática, resultado de los cambios paleoambientales (Lazarus, 2005; Pérez-Cruz *et al.*, 2009).

La distribución y concentración de los restos de los radiolarios en los sedimentos depende de cuatro factores principales: 1) la producción en la columna de agua, 2) el nivel de energía en el sitio de sedimentación, 3) el enmascaramiento de los esqueletos de radiolarios por otros componentes sedimentarios y 4) la disolución de ópalo biogénico (Bjørklund & Cortese, 2002).

El propósito principal de este trabajo es la determinación taxonómica de radiolarios presentes en los sedimentos de la Cuenca Guaymas (Golfo de California) durante el Cuaternario tardío (52-6 ka) para conocer su distribución temporal en la región de estudio, así como realizar inferencias paleoceanográficas a partir de sus afinidades ecológicas.

JUSTIFICACIÓN

Durante las últimas décadas los estudios de radiolarios han aumentado de manera significativa a escala global. En particular, en los sedimentos del Golfo de California del Cuaternario tardío, restos de estos organismos se encuentran bien preservados, lo cual hace posible su determinación taxonómica y, con base en sus afinidades ecológicas, la interpretación de la dinámica oceánica en el pasado y los cambios climáticos ocurridos. Por lo tanto, y con la finalidad de aumentar el conocimiento acerca de la variabilidad climática natural del planeta, resulta necesario realizar estudios paleoceanográficos que permitan inferir tales cambios.

HIPÓTESIS

A través del análisis de las tecas de radiolarios preservados en la secuencia sedimentaria MD02-2515, se podrán inferir cambios en la distribución y diversidad de la microfauna durante el Cuaternario tardío (52-6 Ka cal AP) y su relación con los cambios en la dinámica oceánica del sitio estudiado.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ✚ Documentar el registro de radiolarios para la región occidental de la Cuenca Guaymas (Golfo de California, México) durante el Cuaternario tardío (52-6 ka), y a partir de ellos realizar inferencias paleoceanográficas en la región de estudio.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ✚ Conocer la distribución temporal de los radiolarios policistinos durante el Cuaternario tardío en la Cuenca Guaymas, Golfo de California.
- ✚ Inferir cambios en las condiciones oceánicas a partir de las afinidades ecológicas de las asociaciones de radiolarios.
- ✚ Comparar las condiciones sugeridas por las asociaciones de radiolarios con las propuestas por otros indicadores biológicos estudiados previamente.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 RADIOLARIOS

Los radiolarios son protozoarios unicelulares holoplanctónicos con esqueletos de composición silíceo o de sulfato de estroncio, debido a su excelente registro fósil son un grupo de organismos atractivo para el estudio micropaleontológico, además de formar parte de las comunidades planctónicas, en donde desempeñan un papel importante en los ecosistemas oceánicos (Suzuki & Not, 2015).

Dentro de los organismos planctónicos, los radiolarios se consideran microzooplancton, su tamaño varía entre 30 μm -2 mm (De Wever *et al.*, 2001), aunque la mayoría se encuentra entre 50-150 μm (Lazarus, 2005). Son organismos exclusivamente marinos y se encuentran en todos los océanos, en todas las zonas termales y en todas las profundidades; en los trópicos se pueden encontrar hasta 18,000 individuos/ m^3 (Molina-Cruz & Bjørklund, 2009).

1.1.1 Ubicación taxonómica

La taxonomía de radiolarios fue establecida esencialmente por Haeckel cuando publicó su extensa monografía en 1887, basado en el material colectado durante la expedición del *Challenger* (1873-1876), el sistema propuesto no refleja una clasificación natural, sin embargo es un sistema de gran utilidad para agrupar morfotipos similares (Molina-Cruz & Bjørklund, 2009).

Durante la década de 1970 se desarrolló un sistema de carácter paleontológico (Riedel & Sanfilippo, 1971), basado en la evidencia filogenética de varios linajes fósiles, extraída a partir de las descripciones morfológicas hechas por Petrushevskaya (1971), este sistema es referido por De Wever *et al.* (2001) como se presenta a continuación:

Reino Protista Haeckel, 1868

Phylum Sarcodina Hertwig & Lesser, 1876

Clase Actinopoda Calkins, 1909

Subclase Radiolaria Müller, 1858.

Superorden Polycystina Ehrenberg, 1838, emend. Riedel, 1967.

Orden Spumellaria Ehrenberg, 1838, emend. Riedel, 1967.

Orden Nassellaria Ehrenberg, 1875, emend. De Wever *et al.*, 2001.

Esta clasificación se basa en el principio de que el elemento del esqueleto que se desarrolla primero es la estructura más conservativa que se presenta durante la evolución y por lo tanto las jerarquías taxonómicas de familia y súperfamilia están determinadas a partir de ella (De Wever *et al.*, 2001).

1.1.2 Organización celular

Los radiolarios constan de una parte blanda, y una parte rígida, la teca. El protoplasma se encuentra dividido en: núcleo, endoplasma, ectoplasma y pseudópodos. La pared de la cápsula divide al protoplasma en dos secciones: el endoplasma y el ectoplasma (Suzuki & Aita, 2011).

Núcleo. El núcleo de los radiolarios es una estructura de gran interés debido a la relación estrecha que mantiene con el esqueleto del individuo. En los espumelarios es común encontrar un solo núcleo central (Hollande & Enjumet, 1960; Suzuki *et al.* 2009). En algunas especies se puede encontrar un esqueleto formado por una red silíceo desarrollada en su totalidad en el interior de la testa, encontrándose el núcleo en el centro (Swanberg *et al.*, 1990 en Suzuki & Aita, 2011).

Endoplasma. El endoplasma está constituido por dos capas: una capa cortical de estructura fibrosa y una capa medular de estructura granular. Las funciones del endoplasma son la reproducción, respiración y metabolismo. En él se sitúan organelos vitales: mitocondrias, aparato de Golgi, vacuolas de diferente tamaño y composición química, uno o más núcleos y el axoplasto, que se encarga de controlar el tamaño y movilidad de los axópodos. Contiene glóbulos de grasa y cristales de albúmina que sirven como reserva, cristales de sulfato de estroncio y pigmentos autógenos (Molina-Cruz, 1977; Kling, 1978).

Pared de la cápsula. También llamada membrana capsular, es la división que existe entre el endoplasma y el ectoplasma. La pared de la cápsula es una envoltura celular firme, quitinosa o pseudoquitinosa. El grosor de la pared varía entre 30-500 nm, dependiendo de su estructura. El protoplasma ubicado entre el endoplasma y el ectoplasma facilita la comunicación entre ambas partes a través de complejos llamados fúsulas y fisuras (Suzuki & Aita, 2011). Las fúsulas son perforaciones a manera de poro que existen en la membrana capsular y cuya función es permitir el paso de los filamentos axiales de los axópodos (Anderson, 1983), por otro lado las fisuras son aberturas por medio de las cuales se comunican la intracápsula y la extracápsula (De Wever *et al.*, 2001).

Pseudópodos. Los radiolarios presentan dos tipos de pseudópodos (De Wever *et al.*, 2001):

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

Ectoplasma. Es el protoplasma que rodea la pared de la cápsula; las funciones del ectoplasma son flotabilidad, nutrición y la eliminación de desechos metabólicos (Kling, 1978; De Wever *et al.*, 2001). Generalmente es alveolado, transparente o de color blanquecino, y contiene vacuolas digestivas, de desecho y perialgales (Suzuki & Aita, 2011). Se encuentra conformado por 3 capas:

- 1) Sarcomatriz. Capa interna delgada que envuelve a la cápsula central, en esta zona se lleva a cabo la asimilación de nutrientes.
- 2) Calima. Capa central compuesta de citoplasma gelatinoso, contiene vacuolas digestivas, alvéolos y en algunos casos, algas simbiotas.
- 3) Sarcodictium. Capa externa en forma de malla sobre la superficie del calima que presenta abundantes filópodos.

Como se observa en la Fig. 1, la estructura citológica de los radiolarios es bastante compleja, y cada uno de los elementos mencionados previamente y que componen a los radiolarios se encuentran en estrecha relación con los otros.

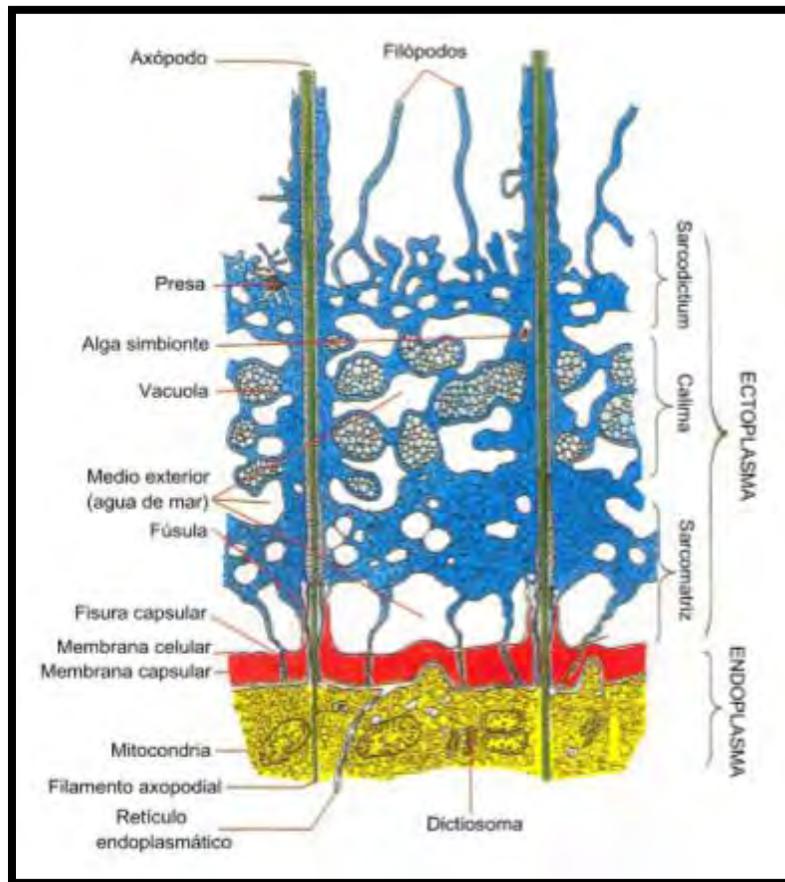


Figura 1. Esquema de corte longitudinal del citoplasma de radiolarios policistinos. (Modificada de De Wever *et al.*, 2001).

1.1.3 Esqueleto

Aunque algunas especies de radiolarios pueden carecer de esqueleto, muchos radiolarios son ejemplos notables y diversos de la complejidad arquitectónica de la mineralización biológica (Ishitani *et al.*, 2016).

La teca de los radiolarios puede estar formada por un aglutinamiento de fragmentos de otros organismos silíceos e incluso materia orgánica, sin embargo la mayoría tiene una teca de sílice amorfo (SiO₂) por lo que la constitución de las tecas es robusta (Lazarus, 2005). Casi toda la masa celular de los radiolarios se encuentra protegida dentro de un endoesqueleto, el cual se encuentra rodeado por citoplasma suave denominado citocalima, cuya función es evitar el contacto directo con el agua de mar, evitando de esta manera la disolución del esqueleto (Anderson, 1983). Los materiales mineralógicos que se requieren para la elaboración de la teca no son de origen biogénico, en su lugar se toman del medio y se almacenan en vesículas para su posterior utilización. La construcción de la teca es extracapsular, sin embargo en el orden Spumellaria eventualmente pueden construirse partes de la teca que queden internalizadas dentro de la cápsula central, a diferencia del orden Nassellaria, que se mantienen en la región extracapsular permanentemente (De Wever *et al.*, 2001).

1.1.4 Pared del esqueleto

Se ha observado que la construcción de la teca se puede dar a partir de la construcción de puentes sobre los poros y/o surcos, o a través del engrosamiento de espinas secundarias (Kling, 1978), lo cual genera distintos patrones de la pared del esqueleto (Fig. 2):

- 1) Pared reticulada. Consiste en una red de barras delimitada por poros, la forma básica de los poros es hexagonal pero el depósito al interior de los poros produce un contorno redondeado.
- 2) Pared esponjosa. Entramado de barras relativamente delgadas, entrelazadas en una red tridimensional, no se reconoce un patrón específico de los poros.
- 3) Pared perforada. Pared compacta y uniforme con poros espaciados.

1.1.5 Espinas

Los radiolarios presentan espinas externas de diversas formas, las cuales se encuentran funcionalmente conectadas con los axópodos, ayudando en el soporte de éstos. Las espinas principales se originan en la teca interna y se proyectan más allá de la teca externa, las espinas externas se originan en la superficie de la teca externa y las barras que soportan y conectan a las tecas entre sí se denominan barras radiales internas. Generalmente, las espinas de los radiolarios son sólidas, individuales y rectas, sin embargo también pueden presentarse espinas curvas, anastomosadas y con formas intrínsecas (Afanasieva, 2007). Los principales tipos de espinas radiales se describen brevemente a continuación (Fig. 3):

- 1) Espinas con formas de varilla. Son largas, delgas y su sección transversal es circular.
- 2) Espinas cónicas. Son fuertes y robustas, pueden ser curvas o rectas.
- 3) Espinas trirradiadas. Consisten en tres láminas fusionadas a lo largo de un eje. La sección transversal puede ser trilobulada, en forma de "Y" o en forma de espiral.

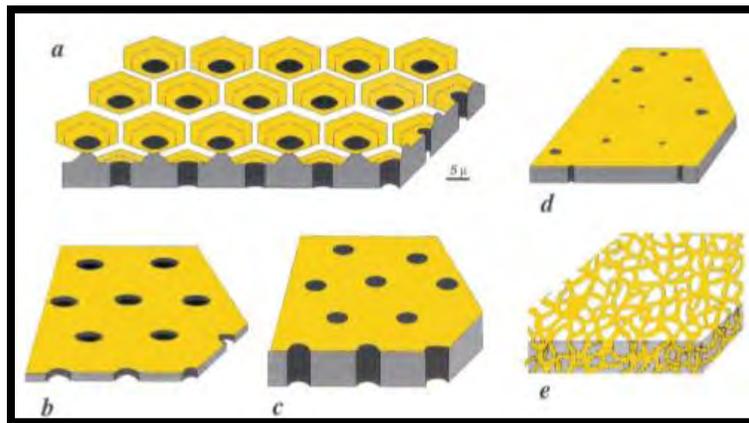


Figura 2. Principales tipos de pared de radiolarios policistinos. Diferentes tipos de pared reticulada representadas con poros de tamaño similar en cada caso (a, b y c), el tamaño de poro puede ser mayor o menor en comparación con la pared perforada (d). Se esquematiza el marco poligonal de los poros (a), se representan tecas con pared delgada (b), pared gruesa (c) y pared esponjosa (e) (Tomada de De Wever *et al.*, 2001).

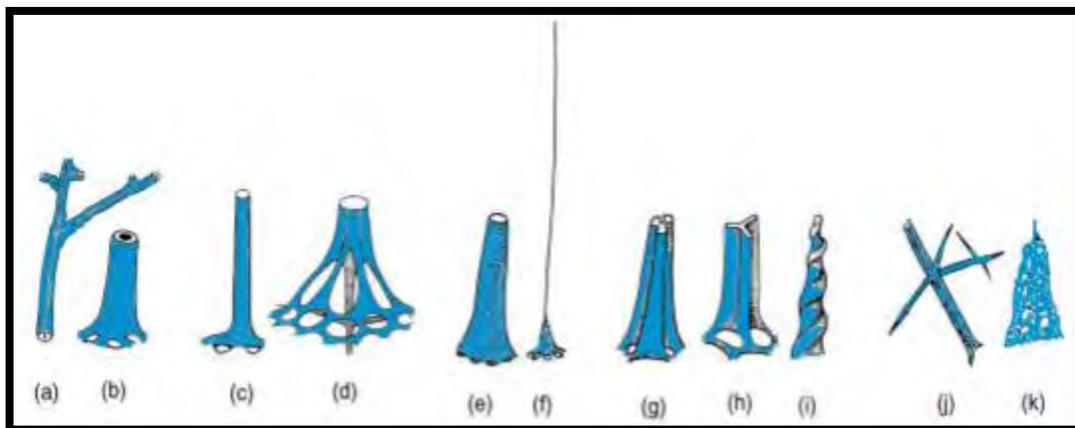


Figura 3. Forma y estructura de los tipos de espinas en radiolarios: (a, b) espinas huecas, (a) espina subcilíndrica con ramas irregulares, (b) espina tubular, (c, d) espinas con forma de varilla, (d) espina con forma de varilla reforzada con soportes basales, (e, f) espinas cónicas, (f) espina cónica con terminación en forma de pelo, (g, h, i) espinas trirradiadas, (g) espina trilobulada, (h) espina en forma de "Y", (i) espina con forma de espiral, (j) espina con apófisis, (k) espina cubierta por sobrecrecimiento de tejido esquelético de la teca externa (Afanasieva, 2007).

1.1.6 Sistema de flotación

Los radiolarios no cuentan con un sistema de movilidad propio, únicamente presentan adaptaciones a la flotación. Su sistema de flotación está constituido por glóbulos de grasa y las vacuolas que regulan la cantidad de CO₂ en el protoplasma, además de auxiliarse con pseudópodos que aumentan el área de superficie (Kling, 1978; Molina-Cruz, 1997). La resistencia a la fricción se incrementa por el desarrollo de axópodos que surgen de las espinas y la presencia de esqueletos perforados favorece una disminución en el peso del individuo. La forma de los radiolarios es una adaptación al medio planctónico, los esqueletos esféricos o discoidales favorecen la flotabilidad y los alargados parecen ser adaptaciones para áreas de corrientes ascendentes (Armstrong & Brasier, 2005). Además, los radiolarios presentan ciclos de migraciones verticales causadas por la simbiosis con las zooxantelas. Las algas consumen el CO₂ producido por el protoplasma de los radiolarios y generan el O₂ necesario para el organismo, sin embargo, este proceso depende de la luz diurna para generarse; el protoplasma extracapsular es el que contiene a las vacuolas de CO₂ que se generan y consumen relativamente rápido. Durante la noche, cuando la actividad de asimilación de las algas cesa, el CO₂ formado por la respiración se libera como numerosas vacuolas haciendo al radiolario más ligero y ocasionando su ascenso a la superficie, este CO₂ es asimilado completamente por las zooxantelas durante el día, las vacuolas desaparecen y el radiolario se hunde hacia la profundidad; la extensión de estas migraciones puede ser de 200 a 350 m (Pokorny, 1963; Molina-Cruz, 1997; De Wever *et al.*, 2001).

1.1.7 Nutrición y simbiosis

La nutrición de los radiolarios involucra una gran variedad de materiales incluyendo muchos grupos del zooplancton (copépodos, larvas de crustáceos, ciliados y flagelados), y organismos del fitoplancton (diatomeas, cocolitofóridos y dinoflagelados); además de consumir bacterias y detritus orgánicos. Los mecanismos de captura dependen de la habilidad para atrapar e inmovilizar a la presa mediante el uso de los axópodos, se ha observado que el tamaño máximo de la presa es de ~1 cm. Las partículas de comida son digeridas por vacuolas dentro del calima y los nutrientes pasan a través de la cápsula central perforada hacia el endoplasma (Anderson, 1983). Matsuoka (2007) reconoció 4 estrategias de alimentación, las cuales se describen a continuación (Fig. 4):

Naselarios multisegmentados. Este grupo de radiolarios presenta un esqueleto cónico multisegmentado. En el extremo distal de la testa cónica se presenta una abertura circular. El aparato de alimentación está compuesto de una proyección axial y proyecciones terminales, que se extienden desde la abertura. La proyección axial es uno de los pseudópodos más prominentes, llegando a ser en la mayoría de los casos, el más grueso y el más largo; esta proyección se extiende hacia el exterior a partir del centro de la abertura. Las proyecciones terminales generalmente se extienden hacia afuera y forman

un cono terminal, el cual rodea a la proyección axial. El tamaño de la presa debe ser menor que el diámetro de la abertura oral, ejemplo de lo anterior son algunos ciliados y flagelados (Fig. 4a).

Otros Naselarios. Otros radiolarios naselarios presentan un esqueleto compuesto de elementos espiculares o de un pequeño número de cámaras (una o dos). Este grupo de radiolarios extienden distalmente el cono terminal desde la abertura o desde la base de los elementos del esqueleto. El cono terminal consiste de un conjunto de axópodos y de una membrana que se sitúa entre ellos, semejando a una sombrilla. Una ventaja de esta estrategia es la posibilidad de capturar presas de pequeño tamaño como microflagelados y bacterias (Fig. 4b).

Espumelarios solitarios. Estos radiolarios presentan una gran variedad en la morfología de sus esqueletos. Los espumelarios solitarios poseen un gran número de axópodos radiando en todas direcciones. Pequeñas presas, incluyendo microalgas y bacterias, son tomadas por movimientos de contracción-extensión de los axópodos (Fig. 4c).

Radiolarios coloniales. Los radiolarios coloniales se dividen en dos tipos: los que presentan elementos espiculares en el esqueleto, y los que presentan una concha con una capa esférica. Las células de los radiolarios en ambos tipos se encuentran embebidas en una matriz gelatinosa que contiene numerosas algas simbióticas. No se ha podido observar alguna estrategia alimenticia en este grupo de radiolarios por lo que se infiere que dependen exclusivamente de la simbiosis con algas para su supervivencia (Fig. 4d).

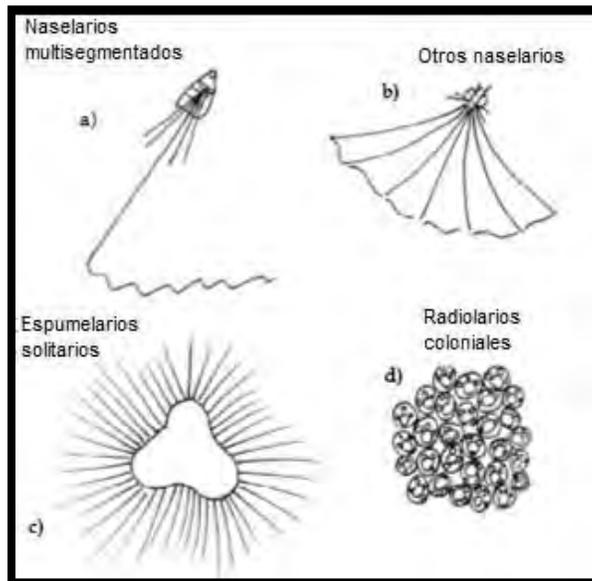


Figura 4. Estrategias alimenticias reportadas para radiolarios (Modificada de Matsuoka, 2007).

Los radiolarios pueden contener algas unicelulares endosimbióticas verdes o pardas y dinoflagelados, que se alojan en el citoplasma extracapsular (ectoplasma). Las especies coloniales siempre poseen simbioses, mientras que las especies solitarias pueden o no tenerlos. El número de simbioses asociados con radiolarios varía entre especies. Además, se ha reportado que los radiolarios pueden llegar a alimentarse de sus simbioses, una combinación de hábitos alimenticios autótrofos y heterótrofos, llamada simbiotrofia (Ishitani *et al.*, 2016).

1.1.8 Reproducción y ciclo de vida

Es poca la información que se tiene acerca de la reproducción y el ciclo de vida, debido a las dificultades técnicas de mantenerlos cautivos. Sin embargo, es conocido que presentan dos formas de reproducción: una reproducción asexual que se lleva a cabo por fisión binaria y fisiones múltiples (los procesos de fisión tienen lugar desde el núcleo hasta el ectoplasma, durante esta división una de las células conserva el antiguo esqueleto, mientras que la otra forma uno nuevo); y una reproducción sexual, la cual ocurre por células filamentosas flageladas (~5 µm) (Ishitani *et al.*, 2016).

1.1.9 Longevidad

La longevidad de los radiolarios ha sido poco estudiada, inicialmente se consideró que podían vivir desde unas cuantas horas hasta ~42 días (Casey, 1972); estudios más recientes sugieren un periodo de vida de alrededor de 3 semanas para la mayoría de las especies (Anderson, 1978; Matsuoka & Anderson, 1992 en De Wever *et al.*, 2001)

1.1.10 Principales criterios de clasificación

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

- 1) Presencia o ausencia de una espícula inicial.
- 2) Relación entre la espícula inicial y la teca interna.
- 3) Morfología de la teca interna.
- 4) Patrón de crecimiento del esqueleto.
- 5) Numero de tecas, cámaras o segmentos.
- 6) Numero de espinas o brazos.
- 7) Presencia de apertura o piloma.

1.1.11 Superorden Polycystina

Orden Spumellaria. El esqueleto de los espumelarios presenta una estructura concéntrica, ocasionando una apariencia del esqueleto esférica, elíptica, plana o cruzada (Suzuki & Not, 2015). Son formas generalmente solitarias, de simetría radial y que carecen de una espícula inicial, presentan una cápsula central simple perforada por numerosos poros finos (De Wever *et al.*, 2001; Arz, 2004;). El esqueleto está compuesto por dos tecas medulares (microsfera y macrosfera) y una teca cortical, además de contar con la presencia de barras radiales que conectan a las tecas entre sí, también presentan espinas principales y secundarias. El endoplasma generalmente se encuentra en la parte más interna del esqueleto, mientras que el ectoplasma presenta una posición variable. En caso de que presenten simbiontes algales, éstos se van a encontrar dentro de la teca cortical o a lo largo de los pseudópodos (Fig. 5). La clasificación taxonómica se basa esencialmente en las estructuras más internas de la testa. Los espumelarios existentes se dividen en 9 superfamilias, se reconocen ~30 familias, ~110 géneros y ~380 especies (Suzuki & Not, 2015).

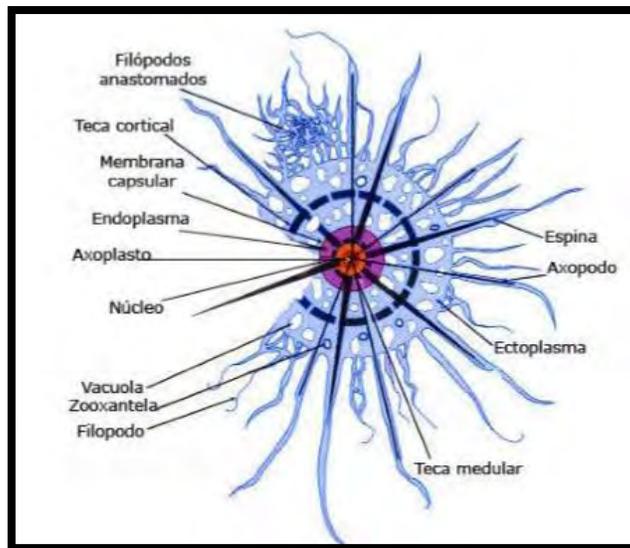


Figura 5. Representación gráfica del esqueleto de Spumellaria (Tomado de De Wever *et al.*, 2001).

Orden Nassellaria. El esqueleto de los nasselarios es heteropolar con uno o más segmentos alineados a lo largo de un eje; desde la región más estrecha, estos segmentos son llamados: céfalos, tórax, abdomen y segmentos postabdominales (Fig. 6) (De Wever *et al.*, 2001). La estructura esquelética más importante taxonómicamente, a nivel de familia o jerarquías taxonómicas mayores, es el sistema espicular cefálico interno constituido por una barra media (MB), un radio apical (A), un radio dorsal (D), un radio ventral (V), dos radios laterales en la región dorsal (Ll y Lr) y dos radios laterales en la región ventral (Lr y Ll) (Fig. 7) (Petrushevskaya, 1971).

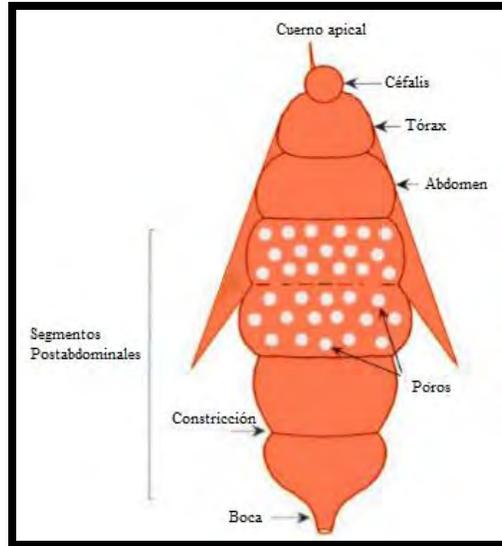


Figura 6. Representación gráfica del esqueleto de Nassellaria (Tomado de De Wever *et al.*, 2001).

El endoplasma se encuentra asociado a la MB, y tres o cuatro lobulos citoplasmáticos cuelgan del sistema espicular interno. El ectoplasma generalmente se localiza dentro de la testa y la membrana citoplasmática rodea el esqueleto completamente. Los pseudópodos se extienden desde la apertura del extremo distal de la testa (Matsuoka, 2007). Presenta un gran número de poros (Suzuki & Aita, 2011). La taxonomía de Nassellaria a nivel de familia se basa en el arreglo del sistema espicular cefálico interno (Petrushevskaya, 1971; De Wever *et al.*, 2001). Los naselarios existentes pueden ser divididos en 8 superfamilias, ~25 familias, ~140 géneros y ~430 especies (Suzuki & Not, 2015).

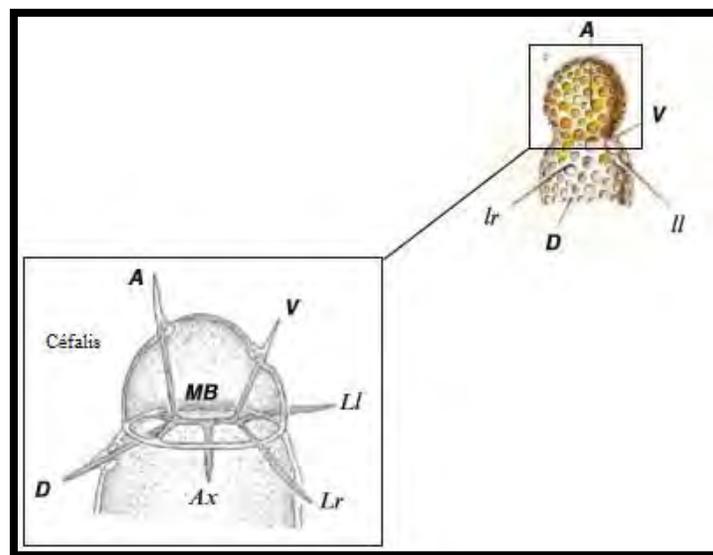


Figura 7. Representación esquemática del sistema espicular cefálico interno de Nassellaria (Tomada de Suzuki *et al.*, 2012).

1.1.12 Distribución

Los radiolarios se encuentran en todos los océanos y en la mayoría de las profundidades, encontrando especies de la capa superficial, hasta formas abisales en las cuencas profundas. La biogeografía de los radiolarios es compleja pero en general se encuentra cercanamente correlacionada con las masas de agua en las que viven (Lazarus, 2005).

Distribución geográfica. La distribución geográfica de los radiolarios está directamente relacionada con la circulación oceánica, masas de agua, patrones latitudinales y batimétricos. La abundancia y distribución de las especies varían estacionalmente como respuesta a la tolerancia que presentan a las condiciones cambiantes del medio (Kling, 1978). Solamente algunas especies de radiolarios son cosmopolitas en su distribución, la mayoría tienen una naturaleza provincial, más regional que local. Debido a su naturaleza planctónica, los radiolarios son fácilmente transportados y distribuidos sobre las áreas en donde las condiciones ecológicas dominantes permiten a las especies vivir y reproducirse (Pérez-Cruz *et al.*, 2009). De acuerdo a la latitud, se pueden distinguir asociaciones tropicales, subtropicales, templadas frías y polares, así como especies distintivas o asociaciones características de zonas de frentes oceánicos (Boltovskoy, 1998) y regiones de surgencia (Nigrini & Caulet, 1992).

Distribución vertical en la columna de agua. Los patrones de distribución vertical de los radiolarios se encuentran relacionados con características de la columna de agua: parámetros físicos (temperatura, salinidad, densidad), químicos (oxígeno, nutrientes) y biológicos (disponibilidad de alimento y relaciones simbióticas) (Pérez-Cruz *et al.*, 2009). Los radiolarios presentan varios patrones de distribución vertical; cada patrón es caracterizado por un máximo de abundancia ubicado por encima de un rango de profundidad restringida, fuera del cual, los niveles de abundancia para esas especies es cercano a cero. Estos estratos son más estrechos, con valores de abundancia máximos y límites más marcados, en los primeros cientos de metros de la columna de agua, donde las abundancias de radiolarios policistinos son mayores y la estructura física-biológica de las masas de agua es más compleja (Kling, 1979). En términos generales, la máxima abundancia de radiolarios policistinos se sitúa entre los 25 a 50 m de profundidad y entre los 200 a 300 m; en ambientes más profundos el número de organismos decrece drásticamente, aunque se ha reportado la presencia de naselarios en profundidades cercanas a los 4000 m (Arz, 2004). De ~50 a 200 m la distribución de los radiolarios se relaciona cercanamente con la termoclina y/o la picnoclina; este intervalo es influenciado por la penetración de la luz, lo que restringe la distribución de los radiolarios que establecen relaciones simbióticas con organismos fotosintéticos. La división de los 200 m corresponde a la capa inferior de la capa de mezcla y el comienzo de una estabilización de la termoclina. La división de los 400 m puede ser ocasionada por el límite entre dos masas de agua (Casey *et al.*, 1979). Los radiolarios del orden Spumellaria generalmente habitan zonas superficiales y se encuentran más estrechamente relacionados con parámetros hidrográficos específicos, ocasionando patrones estrictos de distribución geográfica. Se encuentran asociados a la zona fótica hasta poco menos

de 200 m de profundidad. Por su parte, los naselarios generalmente viven en zonas más profundas y presentan una mayor distribución cosmopolita en los océanos mundiales, dominando profundidades de hasta ~2000 m (Abelmann & Gowing, 1997; Armstrong & Brasier, 2005).

Distribución de los radiolarios en los sedimentos marinos. Después de su muerte los radiolarios suspendidos en la columna de agua comienzan a sedimentarse; debido a que las aguas se encuentran subsaturadas en sílice y a que la estructura silíceo del esqueleto no es estable, inicia el proceso de disolución. Sólo una pequeña fracción del total de esqueletos producidos en la columna de agua se preserva en el sedimento. La mayoría de los esqueletos (~90%) son disueltos o se fracturan antes de incorporarse al sedimento (Takahashi, 1991). El rápido hundimiento en agregados, como la nieve marina, es probablemente el mecanismo de transporte más importante (Lazarus, 2005). Takahashi (1991) estimó que el flujo de materia desde las masas de agua superficiales hacia aguas abisales ocurre en ~2 meses en la mayoría de las regiones oceánicas, por lo tanto, el transporte lateral de esqueletos a regiones lejanas de su localización original es mínima. Las regiones de alta productividad favorecen la preservación de los radiolarios en el sedimento, particularmente en los cinturones de surgencia tropical y polar, regiones en donde el flujo de ópalo biogénico es alto; por el contrario, en los sedimentos carbonatados que subyacen las regiones oceánicas oligotróficas, la preservación de radiolarios es menor (Fig. 8) (Lazarus, 2005).

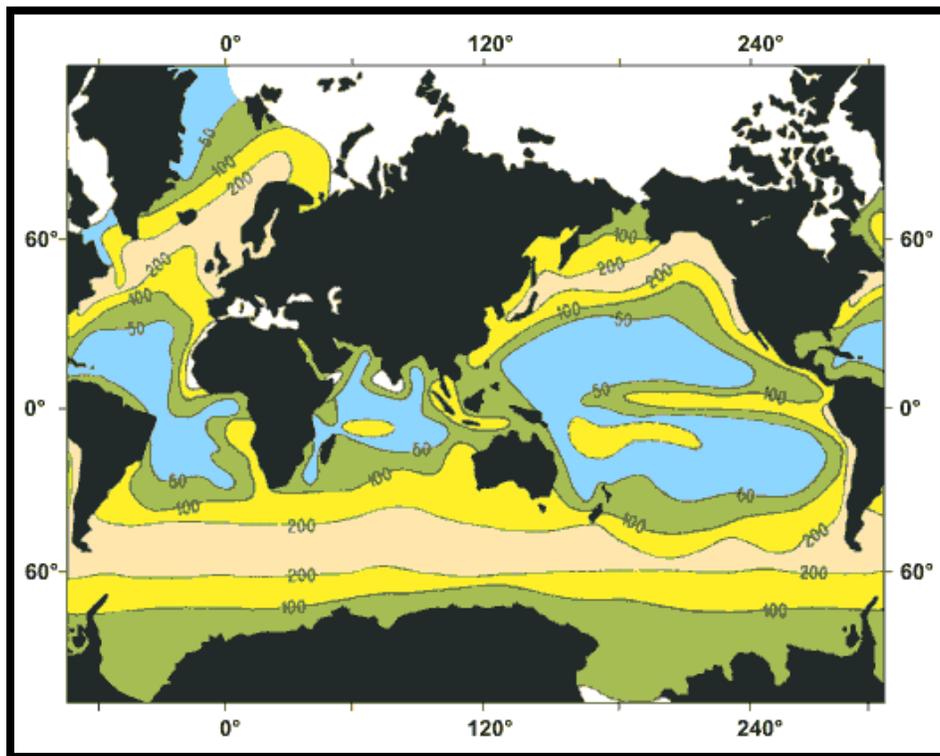


Figura 8. Mapa de producción anual de sílice biogénico ($\text{g/m}^2/\text{año}$) (Modificada de Lisitzin 1971).

Los sedimentos o lodos silíceos formados únicamente a partir de radiolarios son raros, generalmente se encuentran como componente secundario de otros fósiles silíceos, como las diatomeas. Sin embargo, los esqueletos de radiolarios pueden llegar a presentarse en concentraciones de hasta 100,000 esqueletos por gramo de sedimento seco en lodos silíceos de diatomeas, aunque generalmente no conforman más del 5-10% del total (Boltovskoy, 1998); en la actualidad, la acumulación del sílice moderno pertenece a las diatomeas, el cual comprende más del 70% y algunas veces alcanza hasta el 90%, los radiolarios ocupan el segundo lugar en importancia y el tercer puesto corresponde a los silicoflagelados. Dos parches importantes de sedimentos silíceos se encuentran fuera del cinturón de acumulación de sílice mundial, siendo el Golfo de California uno de ellos, donde el contenido máximo de sílice amorfo es mayor al 65% (Pérez-Cruz *et al.*, 2009), dado que funciona como un sumidero de sílice.

1.1.13 El uso de radiolarios como proxy paleoceanográfico

Los proxies son indicadores indirectos (extraídos de un archivo o registro climático) cuantificables que por su naturaleza física, química o biológica están relacionados con diferentes variables paleoclimáticas y sus oscilaciones reflejan los cambios temporales acontecidos en estas variables a través del tiempo (Cronin, 1999). Dentro de los proxies, se encuentran los de naturaleza biológica, siendo los radiolarios uno de los grupos más utilizados (Gornitz, 2009). Las características de los radiolarios que permiten su utilización como proxy son: la presencia de un esqueleto silíceo que favorece su preservación en el sedimento; el tamaño de los radiolarios (30-300 μm) que facilita la presencia de poblaciones estadísticamente representativas en muestras pequeñas; su amplia distribución geográfica horizontal y vertical; la alta especificidad a parámetros ambientales que ocasiona una rápida respuesta a cambios ambientales y, su alcance estratigráfico (Abelmann & Gowing, 1997; Boltovskoy, 1998; Kling, 1979; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Debido a que el plancton se encuentra estrechamente relacionado con las características de las masas de agua, sus restos en el registro sedimentario proporcionan una herramienta para descifrar las condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas (Weinheimer & Cayan, 1997). Se ha mostrado que el plancton refleja las condiciones oceánicas como si hubieran sido medidas con registros instrumentales (Baumgartner *et al.*, 1989). Algunas aplicaciones de los radiolarios han sido enfocadas en la estratigrafía, asimismo, han sido utilizados para inferir relaciones evolutivas del grupo. Desde una perspectiva paleoceanográfica, los radiolarios son utilizados como proxies de temperatura, salinidad, profundidad, nutrientes y clorofila (Lazarus, 2005).

1.2 ÁREA DE ESTUDIO

1.2.1 El Golfo de California

El Golfo de California es un mar marginal del océano Pacífico subtropical (Calvert, 1966), se encuentra ubicado entre los 23°-32° latitud norte y entre los 107°-115° longitud oeste. Tiene una longitud aproximada de 1400 km y un ancho promedio de 150-200 km, cubriendo un área cercana a los 210,000 km² (Fig. 9) (Roden & Groves, 1959). El golfo se encuentra limitado por dos regiones áridas; la península de Baja California bordeándolo por su margen occidental, y los estados de Sonora y Sinaloa al oriente. Hacia el sur, el Golfo de California se encuentra en comunicación abierta con el Océano Pacífico y en el norte limita con la desembocadura del Río Colorado (Lavin & Marinone, 2003).

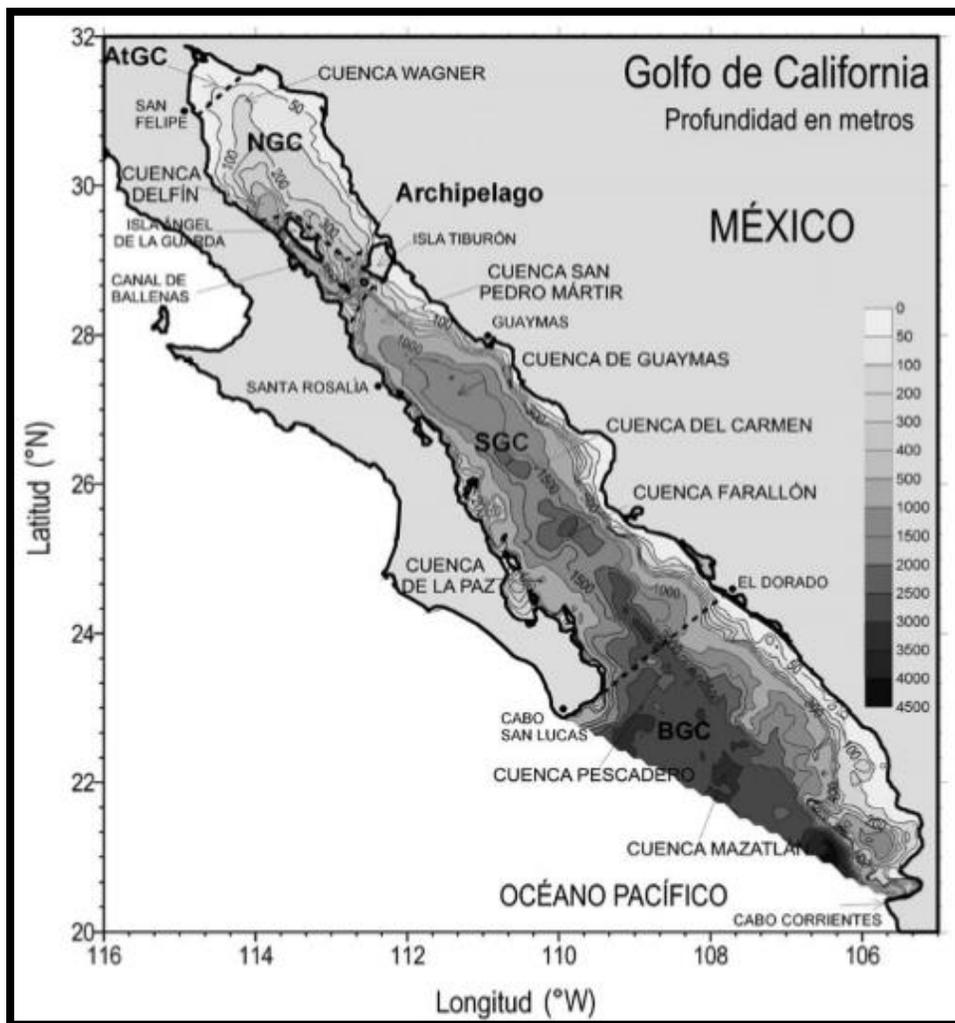


Figura 9. Localización y batimetría del Golfo de California (Tomada de Lavin & Marinone, 2003).

El Golfo de California se divide, batimétricamente, en varias provincias (Fig. 9) las cuales presentan un aumento gradual en profundidad hacia el interior del mismo (Lavin & Marinone, 2003):

- a) La zona de entrada (BGC) o boca externa es una región en donde la profundidad puede ser mayor a 3000 m, incluye a las Cuencas Pescadero y Mazatlán. En esta región existe un contacto entre varias masas de agua, lo que resulta en la formación de frentes oceánicos termohalinos.
- b) El Golfo de California Sur (SGC) o el área de la boca interna se delimita al sur por una línea que va desde Cabo San Lucas hasta El Dorado, y en su extremo norte está demarcado por la región de islas, esta provincia contiene varias cuencas cuya profundidad máxima disminuye hacia el interior del golfo: Pescadero (~3000 m), Farallón (~3000 m), Carmen (~2000 m), Guaymas (~2000 m) y San Pedro Mártir (~1000 m).
- c) El Archipiélago o zona de islas que contiene a las dos islas más grandes del territorio mexicano, Isla Tiburón e Isla Ángel de la guarda; la región se caracteriza por poseer una serie de canales angostos y umbrales someros que permiten una comunicación entre las partes norte y sur del golfo, facilitada por los umbrales.
- d) El Golfo de California Norte (NGC) es la región delimitada al sur por el Archipiélago y al norte por una línea que va desde San Felipe (Baja California) hasta Puerto Peñasco (Sonora); esta región es muy somera en comparación con SGC, presentando una profundidad media de ~200 m, y la mayor parte del piso marino forma parte de la plataforma continental. Las cuencas principales de esta región son: Tiburón (~400 m), Delfín (~600 m) y Wagner (~200 m).
- e) El alto Golfo de California (AtGC) es la región comprendida en el área triangular de ~70 m de lado con vértice en la desembocadura del río Colorado, es una zona muy somera de ~15 m de profundidad.

1.2.2 Cuenca Guaymas

La Cuenca Guaymas (27° N, ~ 112° O) es la más grande de una serie de fallas ubicadas dentro del Golfo de California. Hacia el sur presenta una profundidad de ~2000 m, lo que permite un acceso del Agua Intermedia del Pacífico (AIP) (500-1000 m) que es importada por el exceso regional de evaporación (Bray, 1988). Hacia el norte, la profundidad es de ~500 m, en esta región aguas ricas en nutrientes fluyen hacia la Cuenca Guaymas por la acción de las altas mareas en el AtGC (Lavin *et al.*, 1998; Lluch-Cota, 1999; Kowalewski *et al.*, 2000).

Batimétricamente, la Cuenca Guaymas pertenece al SGC; es una cuenca restringida que se localiza en la actual división subtropical húmedas/secas (~27°N) y su posición resulta estratégica para la detección de variaciones en el Centro Atmosférico de Alta Presión del Pacífico Norte. Las variaciones en el posicionamiento de este centro atmosférico tienen el potencial de impactar en las surgencias (productividad y preservación), lluvias/escorrentías (flujo de terrígenos) y estacionalidad (estructura del

sedimento). En las condiciones interglaciares actuales, la región es sensible a cambios en la radiación solar, variaciones significativas para la distribución de calor global, circulación oceánica, y el clima a escala global (Barron *et al.*, 2014).

Clima. En la actualidad, el Golfo de California, tiene un clima que es el resultado de diversos mecanismos de forzamiento: la insolación, la migración anual de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés), así como tres centros de presión atmosférica: 1) el Centro Atmosférico de Alta Presión del Pacífico Norte, ubicado aproximadamente a los 30°N en el océano Pacífico, 2) el Centro de Baja Presión Aleutiano, localizado próximo a las islas Aleutianas en el océano Pacífico y, 3) el Centro de Baja Presión Continental situado al suroeste de Norteamérica; los cuales estacionalmente presentan reacomodos en su posición, que definen los patrones de vientos, la precipitación y la circulación superficial (Barry & Chorley, 2003; Pérez-Cruz, 2013). El resultado es un clima monzónico de vientos que presentan cambios de dirección (Fig. 10) así como la existencia de dos estaciones muy bien definidas (Douglas *et al.*, 2007).

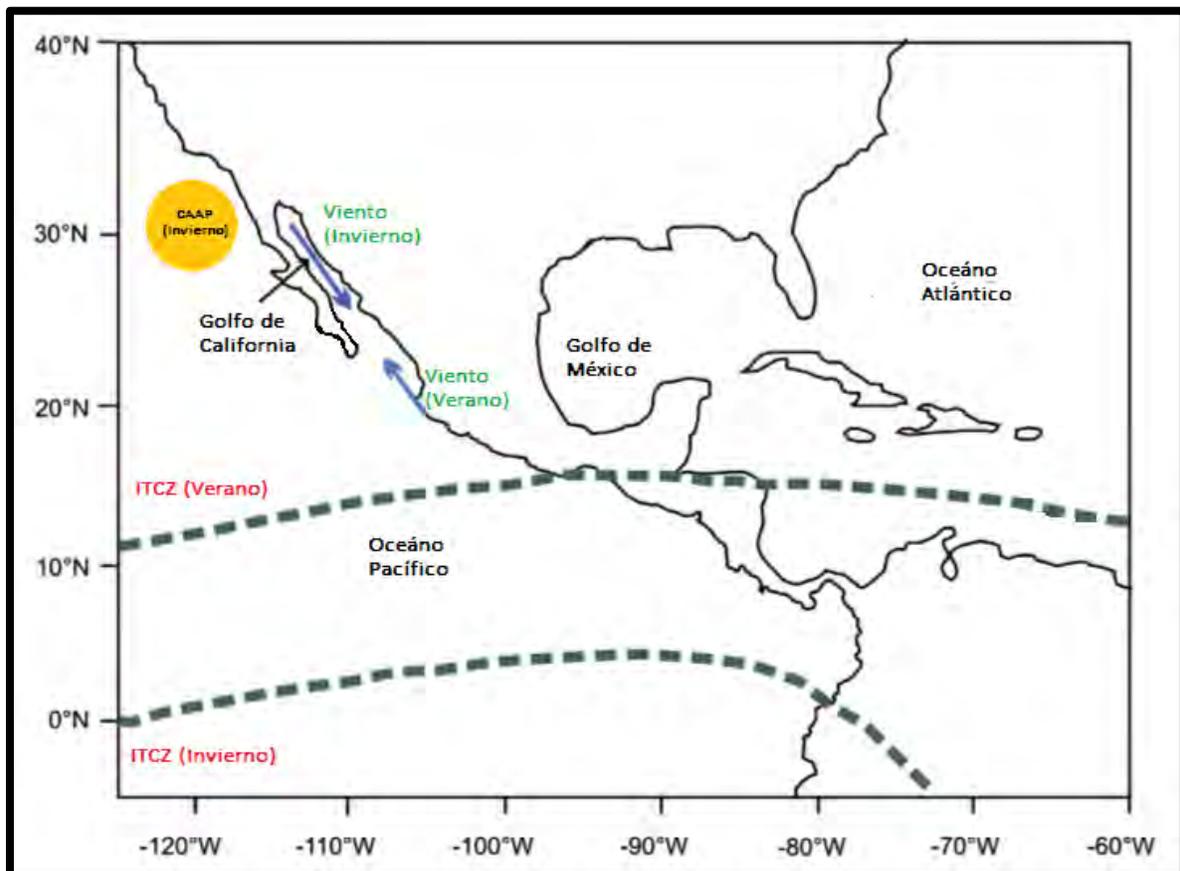


Figura 10. Ubicación del Centro Atmosférico de Alta Presión (CAAP) durante invierno y ubicación de la ITCZ y patrón general de vientos en el Golfo de California durante invierno y verano (Modificada de Pérez-Cruz, 2013).

Durante el final de invierno y el inicio de la primavera, dominan los vientos del NO en el Golfo de California, caracterizados por ser fríos y secos, en esta fase la ITCZ se desplaza hacia el ecuador (Cheshire *et al.*, 2005; Douglas *et al.*, 2007). El Centro Atmosférico de Alta Presión del Pacífico Norte concurre latitudinalmente con el Centro de Baja Presión Continental, ocasionando un gradiente barométrico que produce que los vientos geostróficos se hagan paralelos al eje axial del golfo y se intensifiquen, induciendo el transporte de agua superficial al sur y generando surgencias a lo largo de la costa oriental del golfo, lo que resulta en un aumento de la productividad biológica en las costas de Sonora y Sinaloa (Badan-Dangon *et al.*, 1991). Durante esta fase, los vientos son canalizados a lo largo del Golfo de California por la alta topografía de la península de Baja California y de la parte continental del territorio mexicano, estos vientos disminuyen la SST (temperatura superficial del mar, por sus siglas en inglés), generando una capa de mezcla de mayor espesor y un transporte de Ekman a lo largo del margen oriental del golfo, ocasionando un debilitamiento de la termoclina y una aparente desaparición de la misma durante los meses de enero a marzo (Thunnell *et al.*, 1996). Por otro lado, durante la fase de verano la temperatura es alta en el Golfo de California, así como la humedad y la precipitación. La circulación de los vientos, incluyendo el debilitamiento de los vientos del NO, es influenciada por la migración hacia el norte de la ITCZ y del Centro de Alta Presión del Pacífico Norte (Bordoni *et al.*, 2004), además de una migración del centro de baja presión del desierto de Sonora al norte del golfo, originando que los vientos provengan del sureste; en esta fase ocurre el transporte de las aguas superficiales tropicales hacia el interior del golfo, propiciado por la Corriente de Costa Rica, generando surgencias sobre la costa occidental y aumentando la SST hasta 28°C (Marinone, 2003). Durante la fase más cálida del verano, las aguas superficiales cálidas (de hasta 150 m de espesor) cubren las regiones centro y sur del golfo, permitiendo la formación de una termoclina profunda, retardando la advección de nutrientes a la superficie y por lo tanto, limitando la producción primaria de la región. En esta fase, las surgencias eólicas son débiles y se limitan al borde peninsular del golfo (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991; Bray & Robles, 1991).

Masas de agua. De acuerdo a Lavín *et al.* (2009) se han documentado 7 masas de agua en el Golfo de California (Tabla 1), las cuales se describen a continuación:

Tabla 1. Características de las masas de agua descritas para el Golfo de California (Tomada de Lavín *et al.*, 2009).

Masa de agua	Abreviación	Salinidad	Temperatura (°C)	Profundidad (m)
Agua Profunda del Pacífico	APP	34.5-34.7	4	>1200
Agua Intermedia del Pacífico	AIP	34.5-34.8	4-9	480-1200
Agua Subsuperficial Subtropical	ASsSt	34.5-34.9	9-18	50-480
Agua del Mínimo de Salinidad Somero	AmSS	34.1-34.5	16-25	10-110
Agua Superficial Tropical	AST	34.5-34.9	18-30	0-120
Agua Superficial Tropical Evaporada	ASTe	34.9-35.1	28-30	0-40
Agua del Golfo de California	AGC	34.9-35.3	14-29	0-180

Se ha documentado que las masas de agua permanentes y que están presentes en la Cuenca Guaymas son: el Agua Profunda del Pacífico (APP), el Agua Intermedia del Pacífico (AIP), el Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), el Agua Superficial Tropical (AST) y el Agua del Golfo de California (AGC) (Torres-Orozco, 1993), sin embargo es posible pensar que el Agua del Mínimo de Salinidad Somero, en ocasiones referida también como el Agua de la Corriente de California (ACC) tiene presencia en la cuenca, así como el Agua Superficial Tropical Evaporada, originada a partir de las altas tasas de evaporación reportadas para la Cuenca Guaymas, principalmente durante el verano (Bray, 1988).

Productividad biológica. La Cuenca Guaymas presenta altas tasas de productividad primaria, la circulación general del golfo está caracterizada por una entrada de agua profunda y una salida de aguas superficiales. Como consecuencia de la circulación, el agua profunda rica en nutrientes es llevada a la zona eufótica donde los nutrientes pueden ser utilizados por el fitoplancton (Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). A partir de datos obtenidos de trampas de sedimentos en la región (Thunell *et al.*, 1994; Sancetta, 1995; Thunell, 1998) se pudo observar que el carbono orgánico se encuentra suspendido en la columna de agua hasta los meses de julio y agosto, cuando se adhiere a partículas de limo originadas a partir del material exportado de las regiones desérticas adyacentes durante tormentas convectivas (Baba *et al.*, 1991), para posteriormente depositarse. Los sedimentos del Río Colorado quedan atrapados en la región norte del golfo (Lavin *et al.*, 1998; Álvarez *et al.*, 2009), y solamente una muy pequeña fracción de los sedimentos terrígenos modernos alcanza la Cuenca Guaymas por esta ruta, como lo propuesto por Dean y colaboradores (2004) para el Holoceno tardío. Otros estudios en trampas de sedimentos (Thunell *et al.*, 1996; Thunell, 1998) han revelado que los picos en los flujos de sílice biogénico ocurren en noviembre y diciembre, lo que es coincidente con el reforzamiento de los vientos del NO. Tales condiciones producen condiciones anóxicas de las aguas de fondo y una de las tasas de acumulación de sedimentos biogénicos más rápidas en el mundo. La productividad en la región y las condiciones de oxígeno mínimo hacen que los sedimentos que subyacen la Cuenca Guaymas sean registros de alta resolución muy importantes para las investigaciones paleoceanográficas, en particular del Cuaternario (Sancetta, 1995; Pike & Kemp, 1997; Pride *et al.*, 1999; Barron *et al.*, 2004).

1.2.3 Sedimentos en el Golfo de California

La clasificación de las partículas sedimentarias en los ambientes marinos, tiene su fundamento en el origen de las partículas mismas. Las cuatro fuentes principales de generación de sedimento marino son: (a) rocas pre-existentes (origen terrígeno o litogénico), (b) materia orgánica (origen biogénico), (c) compuestos disueltos en el agua (origen autigénico o hidrogénico), y (d) material proveniente del espacio exterior (origen cosmogénico) (Fig. 11) (Nuñez-Useche *et al.*, 2014). El Golfo de California es una depresión que funciona como un receptáculo para todo tipo de sedimentos. Se ha reportado que los sedimentos superficiales correspondientes a las fracciones más pequeñas (limo-arcilla) son principalmente de origen terrígeno, biogénico (síliceo y calcáreo) y, en algunas regiones, autigénico

(ricos en manganeso) (Baba *et al.*, 1991). La presencia de la desembocadura del Rio Colorado en la región más norte del golfo, ocasiona que en esta zona predominen los sedimentos terrígenos, la mayoría de ellos probablemente depositados durante el aumento del nivel del mar ocurrido después del Pleistoceno, y una pequeña parte perteneciente a sedimentos modernos (Byrne & Emery, 1960; Van Andel, 1964); en esta región domina el transporte longitudinal de sedimentos; por otra parte, en las regiones central y sur del golfo el transporte es de carácter lateral, proviniendo de ambos márgenes del golfo. El margen oriental del golfo promueve un mayor aporte de terrígenos debido a su alta precipitación y a los flujos hídricos permanentes, esto comparado con el margen occidental de la árida península de Baja California. La zona de sedimentos marinos derivados de la península es relativamente angosta y termina aproximadamente al pie del talud occidental. Las fuentes de aporte del margen oriental no solo forman las planicies costeras y cubren la plataforma y el talud, sino que se extienden a la mayor parte de las cuencas del golfo (Pérez-Cruz *et al.*, 2009).

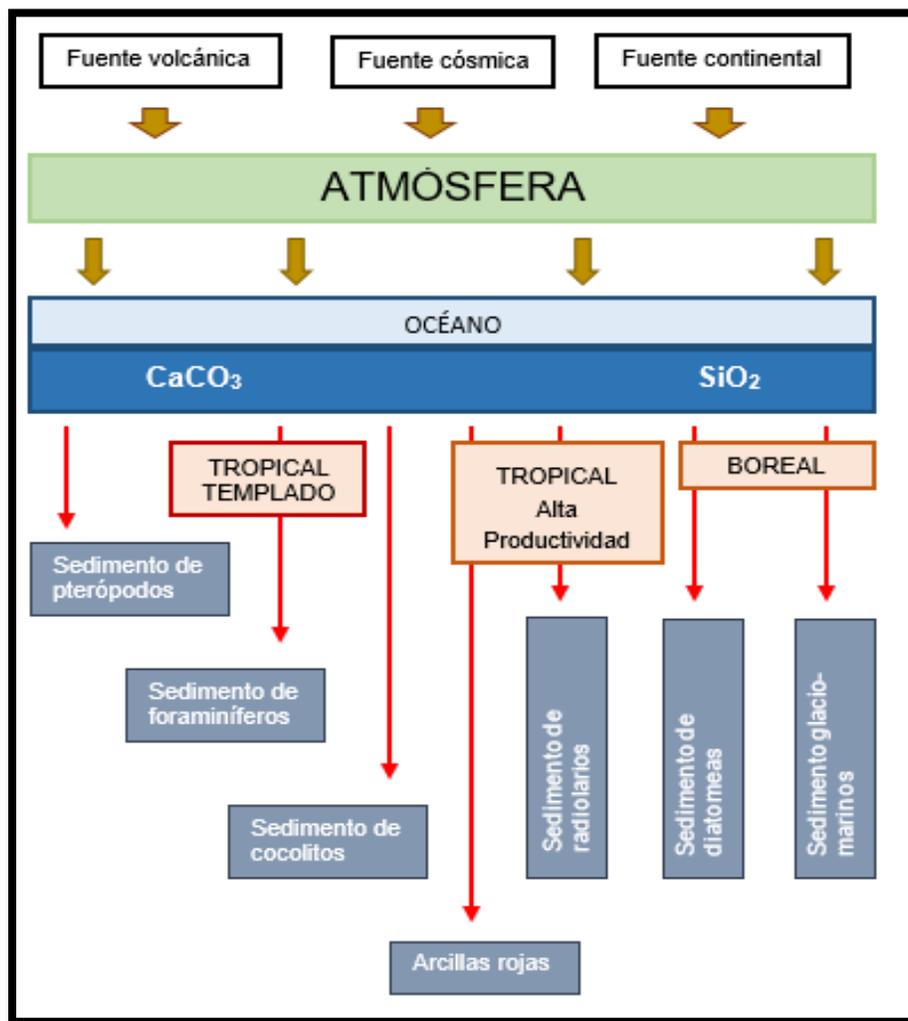


Figura 11. Principales fuentes y patrones de transporte de los sedimentos marinos actuales (Modificada de Hay, 1974).

Respecto a los sedimentos biogénicos síliceos, éstos se depositan en las costas orientales de los continentes y en los océanos polares, es decir, en zonas que se hallan bajo la influencia de corrientes de surgencia o de aguas frías, predominan en el Pacífico Ecuatorial y en el océano Índico (Tucker & Wright, 1990). En cuanto al Golfo de California, en ambos márgenes continentales ocurren procesos de surgencias oceánicas que ocasionan una de las más altas tasas de sedimentación de sílice biogénico en el mundo. La surgencia estacional es responsable de las condiciones eutróficas superficiales y del enorme crecimiento del plancton, especialmente de diatomeas y radiolarios, que se registran en esta zona (Fig. 12). La distribución de radiolarios en el golfo refleja una compleja interacción entre las aguas superficiales y subsuperficiales del Pacífico Tropical Oriental, del agua originada en el interior del Golfo de California y de la presencia episódica del agua de la Corriente de California (Álvarez-Arellano & Molina-Cruz, 1984).

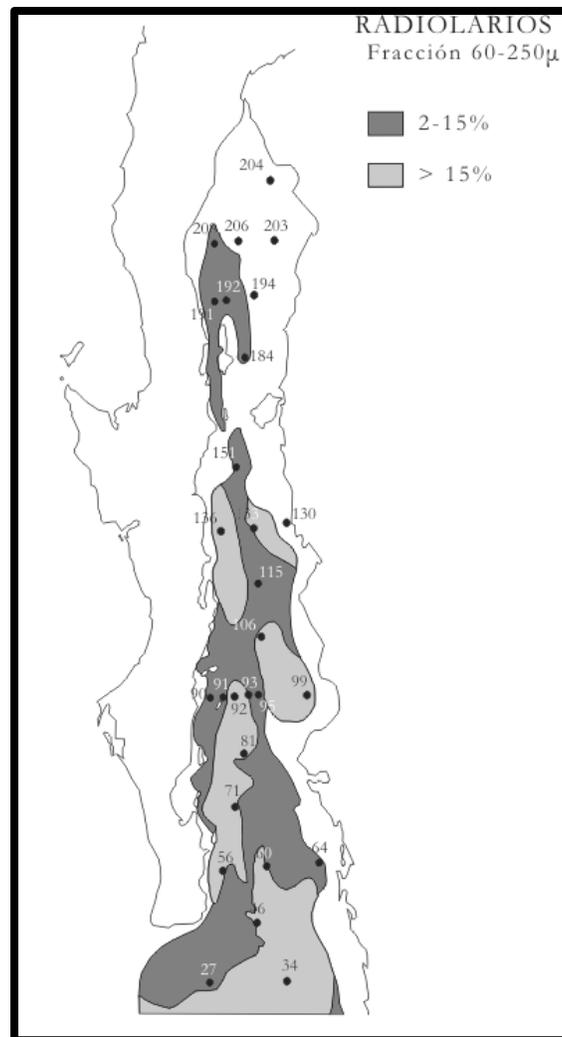


Figura 12. Distribución porcentual de los radiolarios (de la fracción 60-250 μ m) en sedimentos superficiales del Golfo de California (Benson, 2005).

Sedimentos laminados. En algunas regiones del sur y centro del Golfo de California, la Zona de Oxígeno Mínimo coincide con los sedimentos del talud, la poca bioturbación existente hace posible la preservación de sedimentos laminados, generalmente varvas. Una varva se define como un par de capas de color y textura contrastantes, que representan un año (verano e invierno). Su formación ha sido atribuida a un ciclo anual de aporte diferencial de sedimentos litogénicos (colores más oscuros) y biogénicos (color verde olivo a grisáceo) (Pérez-Cruz *et al.*, 2009). El origen de estos sedimentos laminados es el resultado de procesos que ocurren de manera independiente y que se conjuntan en el Golfo de California: las altas tasas de sedimentación de materiales terrígenos provenientes del continente y originados a partir del arrastre por aguas que son descargadas cada verano por el Monzón Mexicano y, de sedimentos biogénicos, que resultan de procesos de surgencias, que transportan aguas subsuperficiales a la superficie, aportando nutrientes a la zona fótica y promoviendo una alta productividad primaria en la región. A partir de lo anterior, se han realizado estudios de secuencias sedimentarias utilizando a estas laminaciones como geocronómetros (Hay *et al.*, 1991), particularmente para la Cuenca Guaymas se ha reportado que existe un acuerdo entre las cronologías derivadas de los conteos de las láminas y varias técnicas radiométricas como ^{210}Pb y ^{137}Cs (Baumgartner *et al.*, 1985; Juillet-Leclerc *et al.*, 1991).

1.3 VARIABILIDAD CLIMÁTICA DURANTE EL CUATERNARIO

El Periodo Cuaternario es un intervalo geológico perteneciente a la Era Cenozoica, se divide en dos épocas: el Pleistoceno (2.58 Ma – 11.7 Ka) y el Holoceno (11.7 ka – Presente). Hace 2.5 Ma las condiciones climáticas frías favorecieron la acumulación de nieve en altas latitudes, formando espesos mantos de hielo en Norteamérica y en el norte de Europa, añadidos a los que ya existían de forma permanente sobre la Antártida y Groenlandia. Estos mantos de hielo, denominados Laurentino y Finoescandinavo respectivamente, crecían y avanzaban hacia el sur y cuando llegaban a un máximo de volumen acumulado invertían la tendencia, hasta que desaparecían por completo durante unos periodos cortos, de unos cuantos miles de años de duración, denominados interglaciares. Desde entonces, el clima de la Tierra ha estado marcado por una sucesión continua de periodos glaciares e interglaciares (Marshall, 2009). El Periodo Cuaternario es, por lo tanto, una época de inestabilidad climática y de bruscos e importantes cambios ambientales (Fig. 13) que han afectado con mayor o menor intensidad a todas las latitudes (Uriarte, 2010).

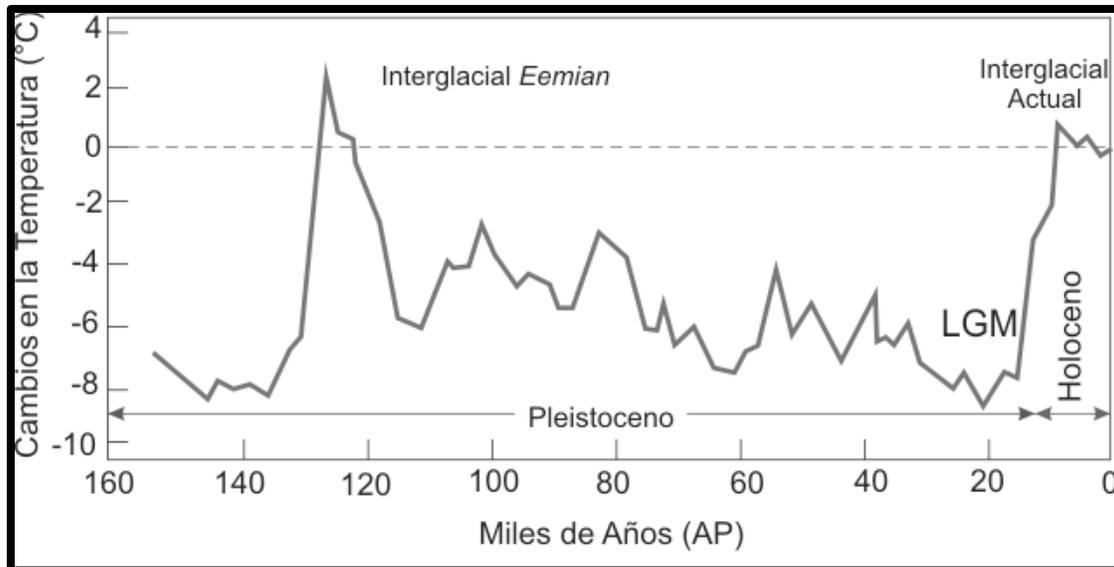


Figura 13. Temperatura del aire cerca de la Antártica de los últimos 150,000 años, inferidas de las mediciones de la relación de hidrógeno/deuterio en el núcleo de hielo de la estación Vostok (Tomada de Bradley & Eddy, 1991 en Pérez-Cruz *et al.*, 2009).

1.3.1 Las glaciaciones cuaternarias

La característica fundamental del Cuaternario es la presencia de ciclos glaciares-interglaciares, que se atribuyen principalmente al forzamiento climático ocasionado por los cambios en los parámetros orbitales de la Tierra, también llamados ciclos de Milankovitch, los cuales se habrían visto favorecidos por los mecanismos de retroalimentación que transforman cambios relativamente pequeños en la insolación hacia una variabilidad climática de mayor escala (Maslin, 2009). Los 3 parámetros orbitales principales o ciclos de Milankovitch son la excentricidad, la oblicuidad o inclinación del eje terrestre y la precesión, los cuales se describen a continuación (Fig. 14) (Loutre, 2009a, b, c):

Excentricidad. La órbita de la Tierra alrededor del Sol es elíptica, pero la excentricidad es variable, con dos periodicidades primarias de 100,000 y 400,000 años. Las variaciones en la excentricidad afectan de manera notable a la diferencia de energía solar que incide en el perihelio y en el afelio en la atmósfera. Esta diferencia de insolación aumenta cuando la excentricidad es mayor, y disminuye cuando es menor. En los periodos de excentricidad máxima, la diferencia de insolación incidente en la atmósfera entre el día del perihelio y el del afelio alcanza un valor de un 30%. El aumento de la excentricidad de la órbita terrestre provoca el incremento del contraste verano-invierno en un hemisferio y la reducción de ese contraste en el otro, dependiendo en cada caso de las estaciones en que ocurran el afelio y el perihelio.

Oblicuidad. El ángulo de inclinación del eje terrestre de rotación varía con una periodicidad de ~41.000 años. Cuando el valor es alto, la diferencia de insolación estacional es grande y, de manera inversa, si el

ángulo decrece el contraste estacional entre los hemisferios es menor. El valor actual es de 23.4° y durante los últimos 2.5 Ma ha variado entre un valor máximo de 24.5° y un mínimo de 21.5° .

Precesión. En un ciclo de unos 23,000 años, el eje de rotación de la Tierra va describiendo una figura cónica alrededor de una recta perpendicular al plano de la eclíptica. Este lento movimiento es debido a que la Tierra no es perfectamente esférica. Por otra parte, la propia elíptica tiene también un lento movimiento de rotación, motivado por los cambios gravitatorios ejercidos sobre la Tierra por el resto de los planetas, que contribuye también a modificar la posición de los solsticios y de los equinoccios. Hace 11.7 ka el perihelio ocurría en junio y el afelio en diciembre, situación inversa a lo ocurrido en la actualidad.

Combinando los efectos de la excentricidad, la oblicuidad y la precesión, es posible calcular la insolación solar para cualquier latitud a lo largo del tiempo geológico. Milankovitch (1949) propuso que la insolación de verano recibida a los 65°N durante el Cuaternario fue crítica en el control de los ciclos glaciares-interglaciares, sugiriendo que una insolación de verano reducida podría permitir la permanencia de la nieve precipitada durante invierno, facilitando la formación de una capa de hielo. La reducción de la insolación de verano podría ser causada por una elongación de la distancia Tierra-Sol durante el verano, una oblicuidad baja, y un movimiento de precesión que posiciona la estación de verano a una distancia mayor Tierra-Sol, producida por la excentricidad. Milankovitch (1949) propone al hemisferio Norte como el lugar de inicio del aumento de las capas de hielo; al permanecer la nieve acumulada durante verano, comenzó a expandirse sobre los continentes del norte. Con la acumulación de las capas de hielo, el albedo producido fue aumentando, promoviendo la acumulación de más hielo.

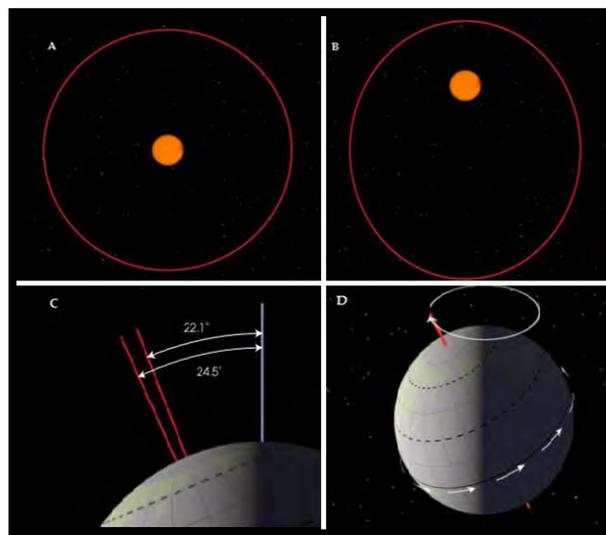


Figura 14. Parámetros orbitales: A. Excentricidad=0, B. Excentricidad= 0.5, C. Oblicuidad y D. Precesión (Tomada de Goddard, 2015 en www.nasa.gov).

Por otro lado, el aumento en la extensión de los mantos de modificó la dinámica de las corrientes oceánicas, evitando la penetración de la Corriente del Golfo a latitudes altas, como ocurre en la actualidad. Estos cambios en la superficie oceánica y el incremento de agua derretida en los mares Nórdicos y el océano Atlántico finalmente redujeron la producción de agua profunda, lo que a su vez redujo el flujo de agua cálida hacia el norte, permitiendo el enfriamiento del hemisferio Norte y la expansión de las capas de hielo (Maslin, 2009).

1.3.2 La última glaciación

Hace 115 ka finalizó el interglaciar Eemiense y comenzó el último periodo glaciario, denominado Glaciación Würm o Glaciación Wisconsin, para Europa y América, respectivamente (Marshall, 2009). Debido a los ciclos de Milankovitch, particularmente la excentricidad de la órbita terrestre, durante el transcurso del interglaciar se produjo en latitudes altas del hemisferio norte una transición rápida en la insolación veraniega recibida, pasando de una insolación fuerte a otra más débil. En poco más de 10 Ka, entre el 125 Ka y el 115 Ka AP, hubo una disminución de más de 100 W/m^2 en la intensidad de radiación solar recibida en 65°N (Uriarte, 2010). Al mismo tiempo, la oblicuidad era menor y el perihelio de la órbita terrestre ocurría en el invierno del hemisferio norte mientras que el afelio se producía en el verano del hemisferio norte. Estos factores reunidos producían un menor contraste estacional que el existente hoy en el hemisferio norte, es decir, una insolación invernal más alta y una insolación veraniega más baja (Maslin, 2009).

1.3.3 Variabilidad climática durante la última glaciación

Hace 115 ka, en los océanos se pasó del estadio isotópico marino (MIS, por sus siglas en inglés) 5e al 5d, mostrando un descenso significativo en el $\delta^{18}\text{O}$, debido a la disminución en el volumen de agua de los océanos por la rápida acumulación de hielo continental que ocasionó (Dorale, 2010). Entre los 80 ka y los 30 ka AP, hubo una gran acumulación de hielo en los continentes, con un descenso del nivel del mar de 20 m. Los parámetros de Milankovitch favorecían el continuo crecimiento de los casquetes de hielo en el hemisferio norte. Entre los 30 ka y los 19 ka AP, ocurrió la fase más fría de la glaciación, con su fase más aguda en el llamado Último Máximo Glaciario (UMG) entre el 22 Ka y el 18 Ka, esta fase corresponde al final del MIS 3 y primera parte del MIS 2. El nivel del mar bajó hasta un nivel situado ~ 120 metros por debajo del actual. A lo largo de la glaciación el enfriamiento no se produjo de forma uniforme, sino que existieron episodios milenarios de agudización del frío, denominados estadiales. Al final de los estadiales se producían a veces en el Atlántico norte grandes derrumbes hacia el mar de icebergs procedentes de los mantos continentales, llamados eventos Heinrich. El frío de los estadiales era interrumpido por periodos de brusco calentamiento, llamados tradicionalmente interestadiales, también llamados eventos de calentamiento Dansgaard-Oeschger. Durante los interestadiales las temperaturas

continentales y marinas eran muy superiores a las de los estadales y a veces, en periodos cortos seculares, casi alcanzaban las de los interglaciares (Fig. 15) (Rahmstorf, 2003).

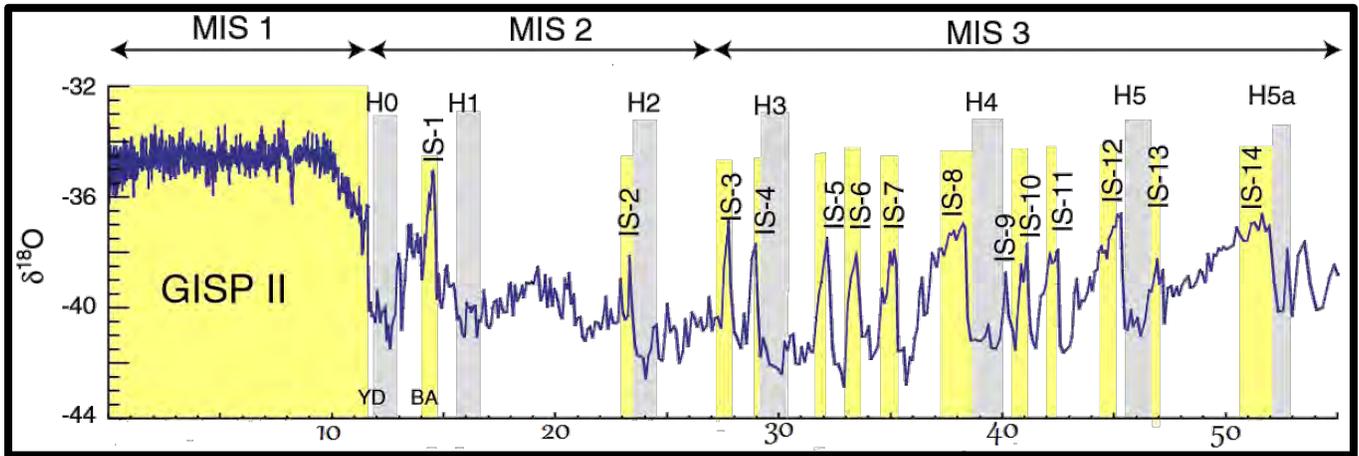


Figura 15. Registro de isótopos de oxígeno del GISP II de los últimos 55 ka. MIS: Estadios Isotópicos Marinos, IS: Interestadales, H0-H5a: Eventos Heinrich, BA: Bølling- Allerød, YD: Younger Dryas (Tomada de Barron *et al.*, 2014).

La variabilidad climática durante la Última Glaciación pudo ser ocasionada por rápidos cambios en el tamaño de los grandes mantos de hielo del hemisferio norte, lo que a su vez provocó variaciones en la circulación atmosférica y oceánica, especialmente en el Atlántico norte (Dokken & Jansen, 1999; Schmittner, 2002). También es posible que las acumulaciones y fusiones sucesivas de los mantos de hielo hubieran provocado cambios en la salinidad del Atlántico norte, lo que afectó al sistema de la Circulación Termohalina (Clark, 2002). El manto Laurentino experimentaba repetidos periodos de crecimiento, llegando a superar el espesor de hielo los 3,000 m de altura en los tiempos más fríos, seguidos de periodos de rápida descarga, tras los cuales la altura del domo se reducía en más de 1,000 metros (McAyeal, 1993). Estas variaciones topográficas hacían que se modificara la trayectoria de los vientos del oeste, afectando no sólo al Atlántico sino también al Pacífico. Se modificaba la posición y fuerza del Centro de Alta Presión del Pacífico Norte, así como la circulación oceánica de la región.

Eventos Heinrich. Los eventos Heinrich son pulsos intensos, cuasi-periódicos de desprendimiento de hielo derivados principalmente del manto de hielo Laurentino; estos eventos representan una expresión breve de las condiciones glaciares más extremas alrededor del Atlántico Norte. Las estimaciones del descenso térmico de la temperatura atmosférica son de 3-6°C de las condiciones glaciares ya presentes, mientras el océano redujo su salinidad hasta en 4 unidades (Hemming, 2009). Los eventos Heinrich ocurrieron en promedio cada 7,200 años \pm 2400 años cal, entre 70 y 10.5 ka. A lo largo de la Última Glaciación hubo 6 eventos Heinrich (Heinrich, 1988), en los que se depositaron en el fondo del Atlántico, en una zona comprendida entre los 40°N y los 55°N, cantidades anormalmente grandes de detritos rocosos transportados por icebergs (*ice rafted debris*). Los témpanos de hielo que venían del norte, al

llegar a aguas más cálidas, se derretían y los materiales rocosos, que habían arrancado del sustrato continental antes de su caída al mar y que había luego transportado, se soltaban, se hundían y se depositaban en el fondo del Atlántico (Dansgaard *et al.*, 1993). El por qué ocurrían estos deshielos se explica a partir del manto de hielo Laurentino, que al crecer demasiado, se desequilibraba y producía enormes derrumbes de hielo que formaban grandes flotillas de témpanos a la deriva en el Atlántico (Uriarte, 2010). Al finalizar los eventos Heinrich se producía de nuevo un incremento en la salinidad de las aguas del Atlántico Norte, permitiendo la reanudación de la circulación termohalina. Ocurría que, tras las descargas de icebergs, disminuía en muchas partes la masa de hielo, así como el aporte de agua dulce al mar y, en consecuencia, aumentaba de nuevo la salinidad del Atlántico Norte. Entonces se reanudaba con rapidez la circulación de la circulación termohalina y se intensificaba la Corriente del Golfo, ocasionando un aumento brusco de las temperaturas en las latitudes medias-altas (Maslin, 2009).

Eventos Dansgaard-Oeschger. Los ciclos Dansgaard-Oeschger (D-O) son oscilaciones del sistema climático durante la Última Glaciación, durante la cual el clima fluctuó pasando de condiciones glaciares frías a condiciones más cálidas, estos ciclos se caracterizan por ser eventos de calentamiento rápido. Tales eventos ocurrieron en 24 ocasiones durante la última glaciación. La transición climática hacia los eventos D-O era rápida, llegando a ocurrir en intervalos de 20-50 años, después del rápido calentamiento, éste persistía por cientos o miles de años. Durante los eventos D-O puede observarse un leve descenso en la temperatura, hasta que finalmente, ocurría un regreso a las condiciones frías glaciares. Se ha propuesto la presencia de hielo marino como un posible mecanismo que habría influenciado la convección de agua profunda y por lo tanto, habría favorecido la circulación termohalina, facilitando el cambio a condiciones cálidas (Mogensen, 2009).

1.3.4 El Último Máximo Glaciar

El Último Máximo Glaciar ocurrió cuando las capas de hielo y los glaciares a través del mundo alcanzaron su máxima extensión durante la última era de hielo. De acuerdo a Clark & Mix (2002), se ha estipulado que esto ocurrió entre 22 y 18 Ka. La magnitud del enfriamiento durante el UMG, fue diferente según la latitud, siendo más drástico en el hemisferio norte. El enfriamiento progresivo del aire resultó en que hace 18 Ka se alcanzará el punto más frío, cuando la temperatura media de la superficie del planeta fue de hasta 7°C menor a la existente al inicio de la glaciación (Allen, 1999). Cuando finalizó el UMG, inició un proceso de calentamiento que marca el comienzo de la desglaciación. La fusión de los casquetes de hielo en el hemisferio norte se inició hace 18 Ka (Clark, 2009), las posibles causas de lo anterior son: 1) causa astronómica, de acuerdo a las estimaciones realizadas a partir de los ciclos de Milankovitch, hace 20 Ka la insolación de verano recibida a los 65°N comenzó a incrementar, lo que habría favorecido la fusión estival de los mantos de hielo de las altas latitudes del hemisferio norte; 2) disminución del albedo, debido al retroceso de los hielos en los bordes meridionales de los mantos, se produjo un efecto de retroalimentación; en las altas latitudes de Norteamérica y de Eurasia disminuyó el albedo del paisaje,

por un lado debido a la disminución de los mantos y, por otro lado, el aumento de bosque boreal tuvo un efecto de disminución del albedo, permitiendo una mayor insolación; 3) disminución de la banquisa marina, el aumento de calor estival en las regiones subárticas hizo que disminuyera la extensión de la banquisa ártica, que durante la glaciación actuaba como un aislante térmico entre el mar y el aire, además de la disminución del albedo ocasionada; 4) cambios en la circulación de vientos, la pérdida de altura del manto Laurentino modificó las corrientes de vientos, especialmente los de las latitudes medias y; 5) el aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero como el CO₂, metano, óxido nítrico y vapor de agua, lo cual reforzó decisivamente el efecto invernadero y la tendencia climática hacia las condiciones cálidas (Paillard, 2009).

1.3.5 Bølling-Allerød

El Bølling-Allerød (BA) es un evento climático de ascenso abrupto de la temperatura en el hemisferio norte durante la parte final de la Última Glaciación. El inicio de este evento se marca hace ~14700 años AP y finalizó hace ~12800 años AP. El aumento en las concentraciones de CO₂ atmosférico desempeñó un papel importante en el aumento térmico del planeta, asimismo, el fortalecimiento en la circulación del Atlántico Norte, como resultado del cese de la producción de agua de deshielo de los glaciares, facilitó el intercambio de calor entre ambos hemisferios (Liu, 2005).

1.3.6 Younger Dryas

El Younger Dryas (YD) es un evento climático frío ocurrido entre ~12800 y 11600 años AP. Hace ~15000 años AP, mientras las capas de hielo del norte de Europa retrocedían, ocurrían breves periodos de retorno a condiciones frías, de estos periodos, el más pronunciado es el YD (Peteet, 2009). La principal hipótesis que explica el enfriamiento del hemisferio norte se relaciona con la liberación del agua dulce del lago Agassiz hacia el Atlántico, que habría modificado la circulación termohalina, reduciendo la densidad y frenando la producción de la NADW, que ocasionó un debilitamiento de la Corriente del Golfo, y por lo tanto, un enfriamiento de Atlántico Norte.

1.3.7 La entrada al interglaciar: el Holoceno

El Holoceno es la época más reciente de la historia de la Tierra, su inicio está marcado por el fin de la última glaciación. Estimaciones actuales para el inicio del Holoceno, basadas en anillos de árboles y capas anuales de hielo, lo colocan alrededor de ~11700 años cal AP (Alley, 1993). De acuerdo con los estudios realizados a partir de proxies se ha podido inferir que la entrada a este periodo interglaciar fue causada por la influencia de los ciclos de Milankovitch y las variaciones del ciclo solar, regulando ambos la cantidad de radiación solar recibida por la Tierra, así como su distribución (Mayewski *et al.*, 2004). El Holoceno ha sido dividido en: Holoceno Temprano (11.7 – 8 Ka cal AP), Holoceno Medio (8-3.7 Ka cal AP) y Holoceno tardío (3.7 Ka cal AP-reciente) (Cortese *et al.*, 2005).

1.3.8 El evento del 8.2 Ka AP

A partir de los estudios realizados en los núcleos de hielo de Groenlandia se ha podido documentar que hace ~8200 años cal AP ocurrió un cambio climático abrupto. Los estudios de múltiples registros paleoclimáticos del hemisferio norte muestran un evento de enfriamiento corto (de ~200 años) (Alley & Ágústsdóttir, 2005). La evidencia geológica indica que el drenaje final de los lagos glaciares Agassiz y Ojibway, hacia la Bahía de Hudson, ocurrió casi al mismo tiempo (Teller *et al.*, 2002). La coincidencia temporal de estos fenómenos sugiere que fue el aporte de agua dulce el catalizador de este cambio climático (Barber, 1999). Lo anterior se explica a partir de los cambios producidos en la circulación termohalina como consecuencia del aporte de agua dulce de los lagos previamente mencionados, que habría ocasionado un decremento en la salinidad del agua superficial, y esto a su vez en la densidad del agua superficial del océano Atlántico. La consecuencia inmediata del descenso en la salinidad, es la reducción de la producción de agua profunda del Atlántico norte, ocasionado una ralentización de la circulación termohalina y un debilitamiento de la Corriente del Golfo (Uriarte, 2010), lo cual habría resultado en una reducción de 1 a 2°C en el Océano Atlántico Norte y masas continentales cercanas, llegando hasta los 6°C en Groenlandia (LeGrande, 2009). Una vez finalizado el aporte de agua dulce proveniente de los lagos, la reanudación de la circulación termohalina habría ocurrido, y como resultado, un incremento en la temperatura global.

1.4 ESTUDIOS PREVIOS

Los estudios de radiolarios en el Golfo de California son relativamente pocos, éstos han sido realizados tanto en columna de agua como en sedimentos, y los objetivos de estas investigaciones van desde la sistemática del grupo (Benson, 1966; 2003 a y b; Molina-Cruz, 1997), la documentación de sus alcances bioestratigráficos (Molina-Cruz, 1982; 1986 a y b), la definición de sus distribuciones verticales en la columna de agua (Boltovskoy & Riedel, 1987; Kling & Boltovskoy, 1995), y en los sedimentos superficiales (Benson, 1966; 1983; Pisias, 1986), y finalmente, aquellos trabajos enfocados en la utilización de radiolarios como proxies para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas en distintos escenarios temporales (Molina-Cruz, 1986a; Pisias, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999; Pérez-Cruz, 2000; 2006; Villagrán-de-la-Cruz *et al.*, 2007; Pérez-Cruz & Villagrán-de-la-Cruz, 2008; Pérez-Cruz *et al.*, 2008).

Debido al carácter taxonómico y paleoceanográfico de este trabajo, se hará énfasis en los trabajos basados en radiolarios con importancia en estas áreas, por lo que se revisarán brevemente y de manera puntual distintas investigaciones realizadas en el Golfo de California, sin embargo debe reconocerse la importancia de los trabajos realizados en otras localidades, y su contribución al aumento del estado de conocimiento del grupo.

1.4.1 Estudios taxonómicos

Desde una perspectiva taxonómica, uno de los trabajos más significativos es el elaborado por Benson (1966), el cual refleja la información acerca del Golfo de California, y el estado de la taxonomía de radiolarios disponible para la época.

Por su parte, Molina-Cruz (1997) elaboró un catálogo taxonómico y biogeográfico de radiolarios para CONABIO (Comisión Nacional para el Uso y Manejo de la Biodiversidad), este catálogo contribuye a difundir el conocimiento taxonómico y biogeográfico de la mayoría de las especies de radiolarios policistinos presentes en el Golfo de California, considera diagnosis taxonómicas que permiten una rápida identificación de los radiolarios, así como abundancias relativas por especies y un glosario de términos.

Los datos provienen de 121 muestras de sedimento superficial, colectadas por medio de un nucleador de 12 cm de diámetro durante 8 campañas oceanográficas. Para formar el catálogo, se identificaron un total de 21,385 especímenes, agrupándose en 23 familias, 117 géneros y 176 especies.

En el trabajo de Pérez-Cruz *et al.* (2009) se realizó una revisión sobre las investigaciones de radiolarios en el Golfo de California, con la finalidad de dar a conocer el grupo de los radiolarios, así como hacer notar su utilidad como proxy de la dinámica oceánica y de la variabilidad del clima. Además, se resalta la importancia de los sedimentos depositados en las cuencas de la región sur del Golfo de California debido a que preservan con alta fidelidad los cambios oceánicos y climáticos ocurridos.

Por otra parte, se hace énfasis en mostrar la variabilidad y los eventos climáticos más sobresalientes durante los últimos 20,000 años. Finalmente, y con la intención de resaltar la diversidad de radiolarios en el golfo, se incluye una sección sobre sistemática, acompañada de imágenes de microscopía de luz y de microscopía electrónica de barrido, que muestra la diversidad de radiolarios presentes en estudios del golfo.

1.4.2 Estudios ecológicos en columna de agua

Boltovskoy & Riedel (1987) realizaron el análisis de 155 especies de radiolarios colectadas a partir de muestras de plancton (0-100 m), el estudio se realizó entre los meses de enero a noviembre de 1972, en la región de la Corriente de California, la cual se caracteriza por presentar un régimen hidrológico complejo e inestable. Una de las primeras observaciones fue que en una escala temporal anual las abundancias de radiolarios difieren significativamente, a inicio del año las abundancias son menores, contrastando con los meses finales en donde las abundancias aumentan.

Además, se delimitaron tres zonas faunísticas; se encontró que la región más al norte estaba dominada por especies transicionales subárticas, la región central por radiolarios afines a masas de agua transicionales, y finalmente, la región sur se encontró dominada por especies cálidas de radiolarios. Otra

observación fue que los taxa encontrados en este trabajo diferían significativamente de lo que esperaban encontrar, lo cual de acuerdo a los autores se debe a la inestabilidad del régimen hidrológico.

En 1995, Kling & Boltovskoy realizaron una investigación acerca de la distribución vertical de radiolarios en la región de la Corriente de California, la identificación se realizó en radiolarios colectados en 36 muestras de plancton (0-2000 m de profundidad), durante los meses de noviembre y diciembre de 1977.

El total de especies identificadas fue de 136, sin embargo solo 40 especies correspondían al 90% de todos los individuos identificados. Encontraron que la mayor abundancia de radiolarios ocurría en los primeros metros de la zona fótica (25-50 m); basados en las distribuciones verticales de los radiolarios se definieron 3 intervalos mayores de profundidad en los primeros 300 m: 0-50 m, 100 m y 200-300 m, además encontraron especies cuyos picos de abundancia alcanzaban el máximo debajo de los 300 m, de las cuales 11 probablemente sean especies de agua profunda; en los 25 m superiores se encontró que las especies dominantes eran afines a aguas cálidas, mientras que las especies de la capa intermedia (25-50 m) presentaban afinidades por aguas frías, por otro lado, las afinidades ecológicas de las especies encontradas a profundidades mayores a 50 m dependían del sitio de muestreo, y si su posición era oceánica o costera.

Los autores concluyen que la distribución vertical de las especies se debe a los procesos oceánicos de la región, incluyendo los movimientos horizontales de las masas de agua y las surgencias ocasionadas por el movimiento hacia el sur de la Corriente de California.

1.4.3 Estudios realizados en sedimentos marinos

En México, las primeras investigaciones paleoceanográficas del Cuaternario utilizando radiolarios se realizaron en la década de los ochenta en el Golfo de California, a partir de esto los trabajos realizados en los sedimentos marinos del golfo han aumentado significativamente, ya que los sedimentos depositados en algunas cuencas del golfo son considerados registros geológicos de alta resolución. Aunado a lo anterior, la posición geográfica del golfo es ideal para monitorear cambios a escala de cuenca en el océano Pacífico nororiental (Pérez-Cruz *et al.*, 2009). Debido a los propósitos de este trabajo a continuación se muestra una tabla que sintetiza los trabajos más representativos realizados en distintas cuencas del Golfo de California, así como las inferencias paleoceanográficas obtenidas de los mismos (Tabla 2).

Tabla 2. Síntesis de trabajos paleoceanográficos realizados con radiolarios en el Golfo de California.

Autor	Área geográfica y tipo de muestreo	Asociación	Inferencias paleoceanográficas
<p>Molina-Cruz, 1986a</p>	Sedimentos superficiales	<p>Factor Guaymas <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Lithomelissa thoracites</i></p>	Se distribuye principalmente en la zona de mezcla ubicada al norte de la Cuenca Guaymas.
	Secuencias sedimentarias: BAP83-7, BAP83-17 y sitio 476 de la etapa 64 del IPOD-DSDP.	<p>Factor subtropical <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Pterocorys clausus</i> <i>Drupptractus variabilis</i></p>	Especies afines a aguas subtropicales, se extiende desde el océano Pacífico hasta el norte de la Cuenca Farallón. Asociación más estable durante el Holoceno.
	Boca del Golfo de California	<p>Factor surgencias <i>Phorticium pylonium</i> grupo</p>	Se sugiere que la incursión de la Corriente de California favoreció una alta productividad biológica de ~20 a 11 ka.
		<p>Factor transicional <i>Eucyrtidium hexagonatum</i> <i>Drupptractus variabilis</i> <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Pseudocubus obeliscus</i></p>	Se distribuye en la Cuenca Carmen, en donde ocurre el encuentro de masas de las regiones norte y sur del Golfo de California.
		<p>Factor Canal de Ballenas <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i></p>	Se distribuye en los canales formados entre las islas de la Cuenca Carmen y la península de Baja California, zona de mezcla intensa.
			<p>Factor Corriente de California <i>Cycladophora davisiana</i> <i>Drupptractus irregularis</i> <i>Botryostrobus auritus-australis</i></p>
<p>Pisias, 1986</p>	Sedimentos superficiales	<p>Factor Golfo <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Eucecryphalus clinatus</i> <i>Spirocyrtis scalaris</i> <i>Stichocorys seriata</i> <i>Arachnocorallium calvata</i> <i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i> <i>Pseudodictyophimus gracilipes</i> <i>Pseudodictyophimus platycephalus</i> <i>Lithomelissa thoracites</i></p>	Especies que habitan zonas cercanas a la superficie, domina en la región nor-central del golfo a la latitud de 28°N. El máximo de la asociación coincide con la profundidad a la cual hay un fuerte flujo de agua cálida y salina hacia el sur, fuera del golfo.
	<p>54 muestras de sedimentos superficiales.</p> <p>Regiones de plataforma continental en el Golfo de California.</p>	<p>Factor Subtropical <i>Tetrapyle octacantha</i> <i>Octopyle stenozonea</i></p>	Domina la boca del golfo y disminuye significativamente hacia el norte. La asociación mostró un incremento a lo largo del margen oriental del golfo. Sus valores más altos fueron en profundidades menores a 800 m.

		Factor California <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Actinosphaera acanthophora</i> <i>Actinomma delicatulum</i>	Abundante en dos regiones: en la parte central del golfo, fuera de Guaymas y, a lo largo del margen suroccidental del golfo. Está asociado con centros de surgencia y alta productividad superficial. Especies con afinidad por las aguas de corrientes frías orientales del Pacífico abierto.
Molina-Cruz, 1999	Muestras de plancton y sedimentos superficiales	Factor surgencias <i>Plectacantha</i> sp.	Ubicado en la región nor-oriental de la Cuenca Carmen. Asociado a surgencias.
	Secuencias sedimentarias: BAP83-17, BAP83-24 y BAP83-30	Factor Agua Intermedia <i>Druppatractus variabilis</i> <i>Stylochlamydidium venustum</i>	Representa la masa de agua intermedia del Pacífico, es importante debajo de los 350 m de profundidad.
	Cuencas Guaymas, Carmen y Pescadero.	Factor Agua Subtropical <i>Tetrapyle octacantha</i> <i>Octopyle stenozona</i> <i>Botryocyrtis scutum</i> <i>Arachnocorallium calvata</i>	Representa la incursión de agua subtropical desde el océano Pacífico. Son especies de aguas superficiales y subsuperficiales. La masa de agua alcanzó la región más norte de la Cuenca Farallón.
		Factor Agua del Golfo de California <i>Phorticium pylonium</i> <i>Spongopyle osculosa</i>	Tiene una mayor representación en la Cuenca Guaymas, de 200 a 400 m de profundidad en la columna de agua. Esta masa de agua se hunde y fluye hacia el sur.
		Factor Agua de Guaymas <i>Lithomelissa thoracites</i> <i>Lithomelissa pentacantha</i> <i>Peridium longispinum</i> <i>Arachnocorallium calvata</i>	Especies superficiales de Cuenca Guaymas y subsuperficiales de Cuenca Carmen. La asociación se explica debido a los procesos de evaporación de las aguas superficiales que se hunden y fluyen al sur.
Pérez-Cruz, 2006	Secuencia sedimentaria: BAP96-CP	Factor Golfo de California <i>Euchitonia</i> sp. <i>pentacantha</i> <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Spongotrochus glacialis</i>	Condiciones ambientales áridas y dominancia del AGC. Incursión mínima de las aguas tropicales en el Golfo de California.
	Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz	Factor Ecuatorial <i>Tetrapyle octacantha</i> grupo <i>Theopilium tricostatum</i>	Condiciones ambientales cálidas y presencia del ASE en la cuenca.
		Factor Eventos Fríos <i>Hexacantium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> <i>Pylospira octopyle</i> <i>Actinomma delicatulum</i> <i>Didymocyrtis tetrathalamus</i>	Condiciones oceánicas frías, similares a los procesos de surgencias como resultado de los cambios en la circulación de los patrones de viento, promoviendo la intensificación de los vientos del NO en el Golfo de California.

1.4.4 Estudios realizados en el núcleo sedimentario MD02-2515

A partir de la colecta del núcleo MD02-2515, el cual fue utilizado en este trabajo, se realizaron una serie de trabajos enfocados en las reconstrucciones paleoclimáticas y paleoceanográficas de la cuenca.

Marco Cronológico del Núcleo MD02-2515. Para establecer el modelo de edad del núcleo se utilizó la técnica de datación por radiocarbono AMS (Pichevin *et al.*, 2012), obteniendo un rango de edad de ~54600 a 5800 años cal AP (Anexo I) (Fig. 16).

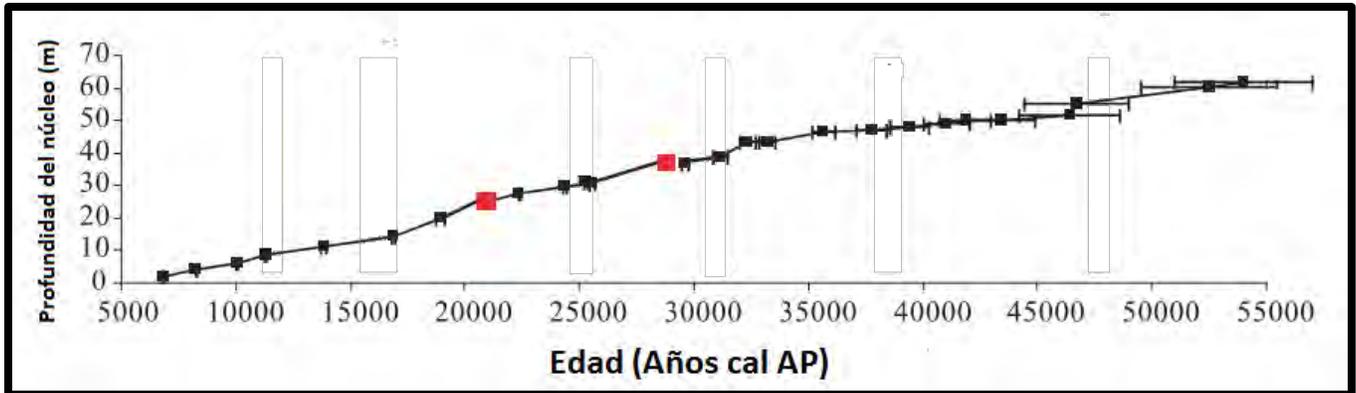


Figura 16. Modelo de edad del núcleo MD02-2515, establecido por datación de radiocarbono, los puntos rojos corresponden a las dataciones que utilizaron radiocarbono y foraminíferos (Tomada de Pichevin *et al.*, 2012).

Otros estudios. De los trabajos realizados con el núcleo, destacan el de Cheshire *et al.* (2005) y Cheshire & Thurow (2013) que evaluaron el cambio climático registrado en el núcleo MD02-2515. Se realizaron análisis de reflectancia de color, susceptibilidad magnética y densidad de sedimento, combinados con un escaneo de fluorescencia de rayos X. Los resultados en la región occidental de la Cuenca Guaymas indican que durante el UMG, ocurrieron una serie de eventos parecidos al Younger Dryas caracterizados por una baja productividad biológica y un aumento en la entrada de terrígenos a la cuenca. El clima y los cambios en la productividad parecen haber sido causados por el desplazamiento hacia el sur del Centro de Alta Presión del Pacífico Norte.

Por otro lado, Barron y colaboradores (2014) realizaron el estudio de diatomeas y silicoflagelados presentes en el núcleo, lo que permitió realizar las inferencias paleoceanográficas de la cuenca durante los últimos 55 Ka; los resultados indican la alternancia entre condiciones de alta productividad biológica, la penetración de masas de agua fría y baja salinidad, así como condiciones oligotróficas y de aguas estratificadas, probablemente ocasionados por la migración del Centro de Alta Presión del Pacífico Norte. Los resultados de este trabajo serán retomados más adelante.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Estudios previos en los sedimentos del núcleo MD02-2515 se mencionan en el Anexo II.

Debido a la importancia para este trabajo, se detallará brevemente el sitio de la colecta, así como algunas generalidades del núcleo.

La colecta se realizó en la región occidental de la Cuenca Guaymas (Lat. 27°29.01'N, Long. 112°04.64'O) durante la campaña oceanográfica MONA (Marges Ouest Nord Américaine) (International Marine Global Changes-IMAGES VIII) a bordo del B/O Marion Dufresne, en junio del 2002 (Fig. 17). La recuperación del núcleo sedimentario se realizó con un nucleador de pistón tipo Calypso, a 881 m de profundidad, recuperando una longitud de 63.49 m de sedimento.

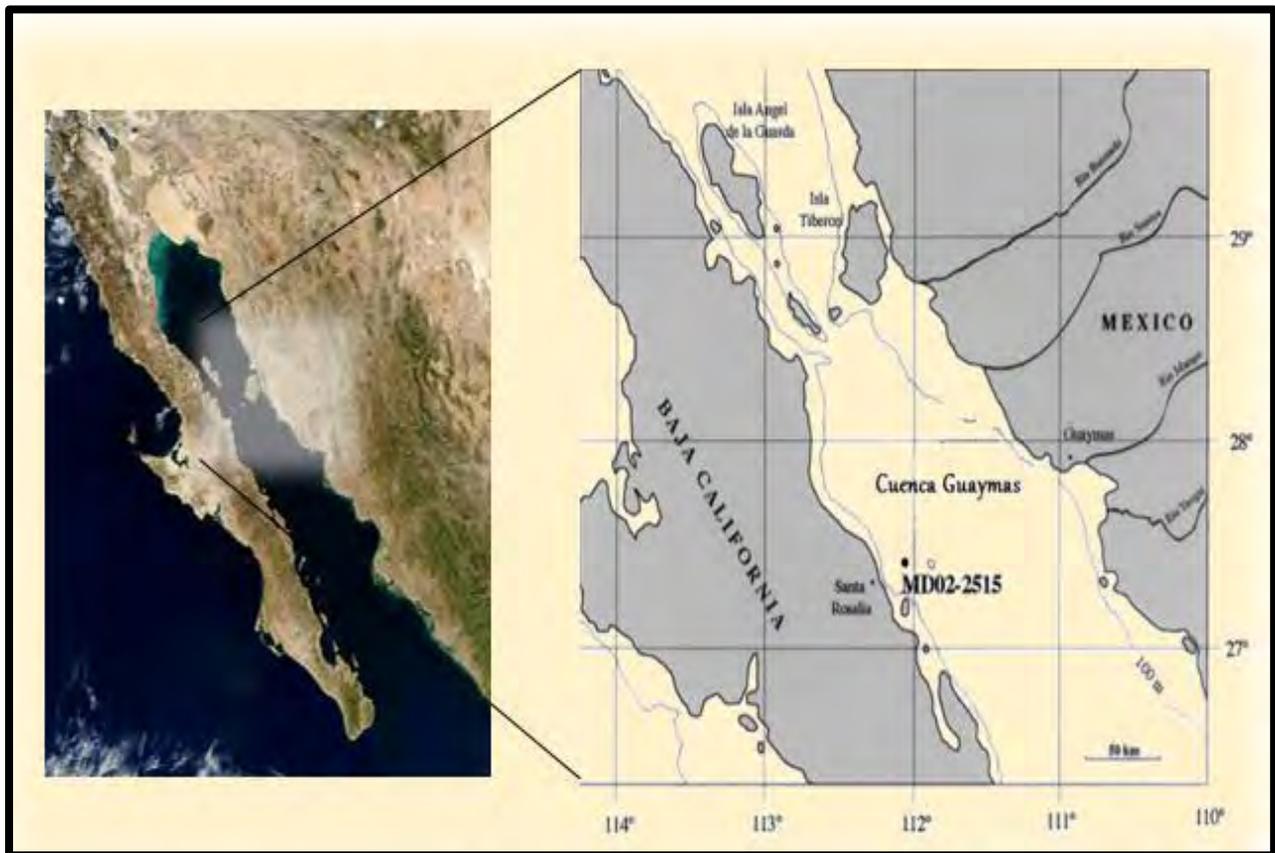


Figura 17. Ubicación geográfica del núcleo sedimentario MD02-2515 (Modificada de Cheshire *et al.*, 2005).

2.1 PREPARACIÓN Y MONTAJE DE LAS PLACAS MICROFAUNÍSTICAS

Para la elaboración de las muestras se realizó un submuestreo del núcleo, éste se realizó en promedio cada 50 cm aproximadamente a lo largo del núcleo, obteniendo un total de 140 muestras. El proceso para el montaje de las placas microfaunísticas se describe a continuación:

1. En un vaso de precipitados de 500 ml se colocó la muestra del sedimento (para cada una de las muestras se utilizó una medida estándar de 3.5 cm³, obtenida con un aro de aluminio) y se agregaron 100 ml de agua destilada para hidratar la muestra y facilitar la disgregación de las partículas.
2. Posteriormente se adicionaron 25 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 37.7% y 25 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%, con la finalidad de disolver carbonatos presentes y eliminar materia orgánica. Para acelerar la velocidad de reacción los vasos de precipitados se colocaron sobre una parrilla a ~300°C.
3. El contenido de los vasos se agitó ocasionalmente y, en caso de observar una reacción de alta intensidad, se adicionó agua destilada; el tiempo de reacción fue de dos horas, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente.
4. El material resultante se pasó por un tamiz con apertura de malla de 34 µm con la finalidad de obtener los esqueletos de los radiolarios y eliminar las partículas de sedimento más finas (limos y arcillas).
5. Posteriormente se colocaron dos portaobjetos rotulados con el número de muestra y el nombre del núcleo (muestra y duplicado), los cuales fueron sujetados con tornillos sobre un anillo de teflón, y se posicionaron horizontalmente en un vaso de precipitados de 1000 ml previamente aforado, se vació el contenido obtenido del tamizado y se agitó para favorecer una distribución aleatoria del material sobre los portaobjetos; el material se dejó sedimentar por 40 minutos.
6. A partir de un matraz Erlenmeyer de 1000 ml y un tapón de hule bihoradado se realizó un sifón que fue utilizado para drenar el agua del vaso de precipitados de 1000 ml, una vez que el nivel del agua quedó por debajo del anillo de teflón, éste último se extrajo del vaso de precipitados cuidando que el material de los portaobjetos no fuera perturbado.
7. Los portaobjetos se secaron a temperatura ambiente y fueron fijados con Entellan, se colocaron los cubreobjetos evitando la formación de burbujas y se colocaron en un horno a 40°C por 48 horas, lo anterior con la finalidad de permitir el secado de la resina. Finalizado el proceso anterior, los portaobjetos se limpiaron y se retiró el exceso de Entellan.

2.2 CONTEO Y DETERMINACIÓN TAXONÓMICA

Para realizar la determinación taxonómica de los radiolarios presentes, se observaron al microscopio óptico las placas microfaunísticas obtenidas, para lo cual fue utilizado un microscopio óptico® Carl Zeiss modelo Axioscop 40; utilizando los aumentos de 20x y 40x y mediante la consulta de diagnosis e imágenes de distintos catálogos y material especializado (Benson 1966; 2003a, b; Boltovskoy, 1998; Pérez-Cruz *et al.*, 2009) se realizó la determinación taxonómica a nivel de especie de los radiolarios. Cabe mencionar que se realizó un conteo de más de 350 individuos por placa microfaunística, alícuota estadísticamente representativa (Sachs, 1973; Fatela & Taborda, 2000). Además, las formas juveniles no fueron contadas debido a la dificultad que presentan para ser identificadas, y de esta manera, se evitó la alteración de los datos por determinaciones taxonómicas erróneas.

2.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

A partir de las abundancias absolutas obtenidas de la determinación, se realizaron una matriz de abundancias absolutas y una matriz de abundancias relativas, permitiendo la integración de los datos en casos (especies) y variables (muestras). Posteriormente, se aplicó un filtro estadístico de presencia/persistencia (Correa-Metrio *et al.*, 2010), con la finalidad de eliminar especies poco comunes que pudieran interferir en los análisis estadísticos posteriores; en el filtro aplicado la presencia indica el porcentaje o abundancia relativa de cada una de las especies en las muestras, por su parte, la persistencia se refiere al número de muestras en las que la especies están presentes. Estadísticamente, estos filtros consideran a toda especie que tenga una presencia ≥ 1 y una persistencia ≥ 5 ; de manera que todas las especies que tengan una abundancia relativa ≥ 1 en al menos 5 muestras serán consideradas. Con las especies seleccionadas a partir del filtro de presencia/persistencia se elaboró una nueva matriz de datos, a la cual se le aplicó un análisis estadístico multivariado, el Análisis de Factores modo “Q”, utilizando el modelo de componentes principales y una VARIMAX normalizada.

El análisis de factores es considerado una técnica cuantitativa utilizada para simplificar y evidenciar tendencias de datos multivariados, explicando las relaciones de muchas variables de manera resumida. De manera concisa, este análisis agrupa datos con base en sus índices de correlación, resultando una matriz de vectores en donde los datos son estadísticamente independientes. El modo “Q” del análisis de factores hace énfasis en las correlaciones existentes entre muestras, produciendo resultantes (factores) conceptualmente significativos y relativamente independientes uno de otro, que explican el comportamiento de las variables originales (Pisias, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999). Los factores se interpretan con base en el *factor loading*, que indica el grado de importancia del factor en la muestra, y en el *factor score*, que indica las especies representativas de cada uno de los factores resultantes (Welling *et al.*, 1996).

2.4 AFINIDADES ECOLÓGICAS

De las especies de radiolarios representativas de los factores obtenidos se realizó una búsqueda bibliográfica para conocer las afinidades ecológicas de cada una de ellas, para esto, se utilizaron trabajos con radiolarios realizados en columna de agua, sedimento superficial, núcleos sedimentarios y trampas de sedimento. Se hizo énfasis en los trabajos realizados en el Golfo de California, así como en el Pacífico tropical, sin embargo para algunas de las especies fue necesario consultar trabajos realizados en otras regiones del planeta.

Con las afinidades ecológicas delimitadas para cada una de las especies fue posible realizar las inferencias paleoceanográficas de la región occidental de la Cuenca Guaymas durante el Cuaternario tardío. Una síntesis del método descrito previamente se muestra a continuación (Fig. 18).

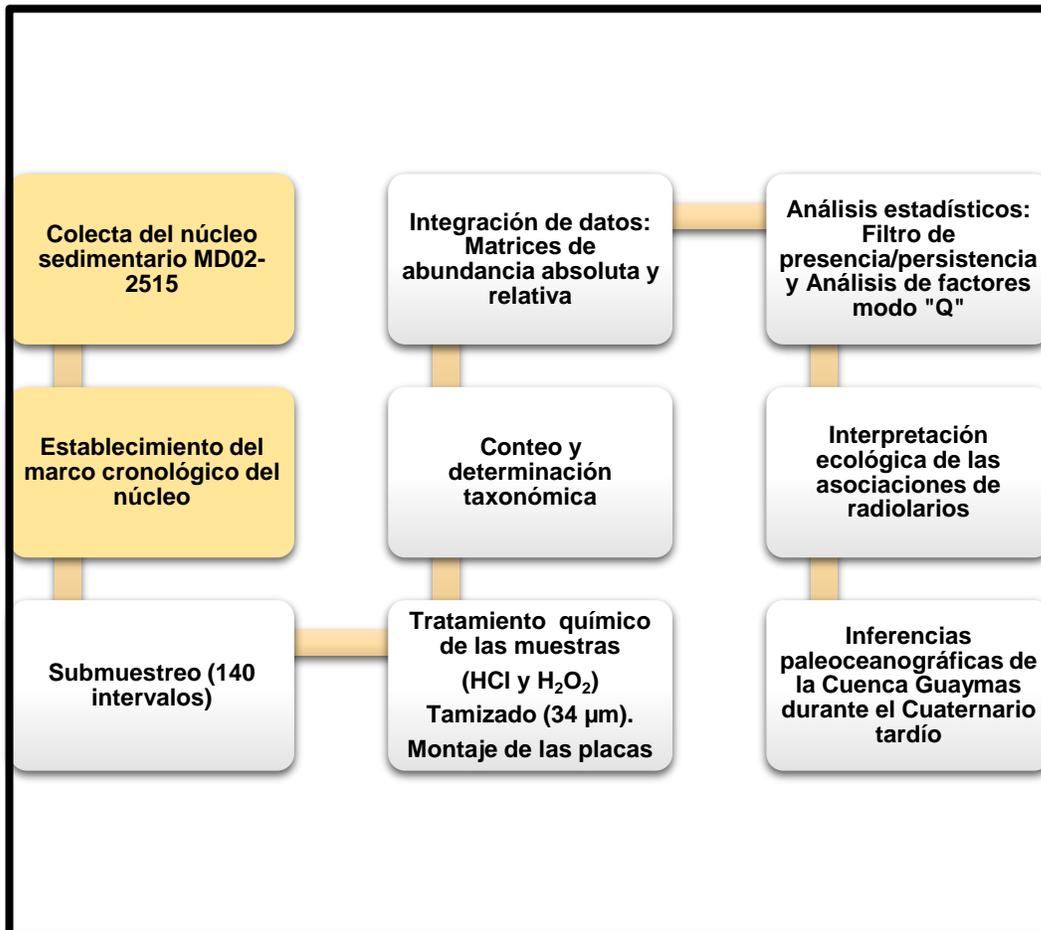


Figura 18. Diagrama de flujo que sintetiza el método utilizado en este trabajo (recuadros blancos).

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados y el análisis de los mismos, en el siguiente orden: Determinación taxonómica, distribución de los radiolarios en el núcleo sedimentario, radiolarios más representativos del núcleo MD02-2515, Análisis de Factores modo “Q”, afinidades ecológicas e interpretaciones paleoceanográficas e, inferencias paleoceanográficas. Debido a la estructura del capítulo la discusión se realizará a lo largo del mismo.

3.1 DETERMINACIÓN TAXONÓMICA

Se observaron un total de 280 placas microfaunísticas correspondientes a 140 muestras intercaladas aproximadamente cada 50 cm en el núcleo MD02-2515, se cuantificaron y determinaron por lo menos 350 especímenes que representan una alícuota estadísticamente representativa de la población de radiolarios (Sachs, 1973; Fatela & Taborda, 2002) en cada muestra.

La preservación de los esqueletos de radiolarios observada en el sedimento fue, de manera general, muy buena. Lo anterior permitió la clara identificación de algunas estructuras delicadas características de organismos adultos y fundamentales para la determinación taxonómica. Además, las formas juveniles no fueron tomadas en cuenta debido a la dificultad que presentan para ser determinadas correctamente.

De la observación de las placas se logró realizar la determinación de un total de 119 taxa de radiolarios, correspondientes a 77 géneros, y a 14 familias que se ubican en dos órdenes: Nassellaria y Spumellaria.

Del total de especies encontradas 78 especies corresponden al orden Nassellaria y 41 especies pertenecen al orden Spumellaria. La determinación taxonómica de los radiolarios encontrados se realizó siguiendo la clasificación establecida para el grupo de los radiolarios por De Wever *et al.* (2001); los taxa identificados en el núcleo sedimentario MD02-2515 se muestran en el Anexo III.

3.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS RADIOLARIOS EN EL NÚCLEO SEDIMENTARIO

A partir de la matriz de abundancias absolutas registradas para las especies de radiolarios presentes en el núcleo, se elaboró una matriz de abundancias relativas con la finalidad de poder evaluar la distribución de los radiolarios en función del porcentaje. La distribución de las abundancias relativas de los radiolarios pertenecientes a los órdenes Nassellaria y Spumellaria a lo largo de la secuencia sedimentaria se ve dominado por los radiolarios del orden Nassellaria presentando una abundancia relativa promedio del 82%, mientras que el orden Spumellaria presenta una abundancia relativa promedio del 18% (Fig. 19).

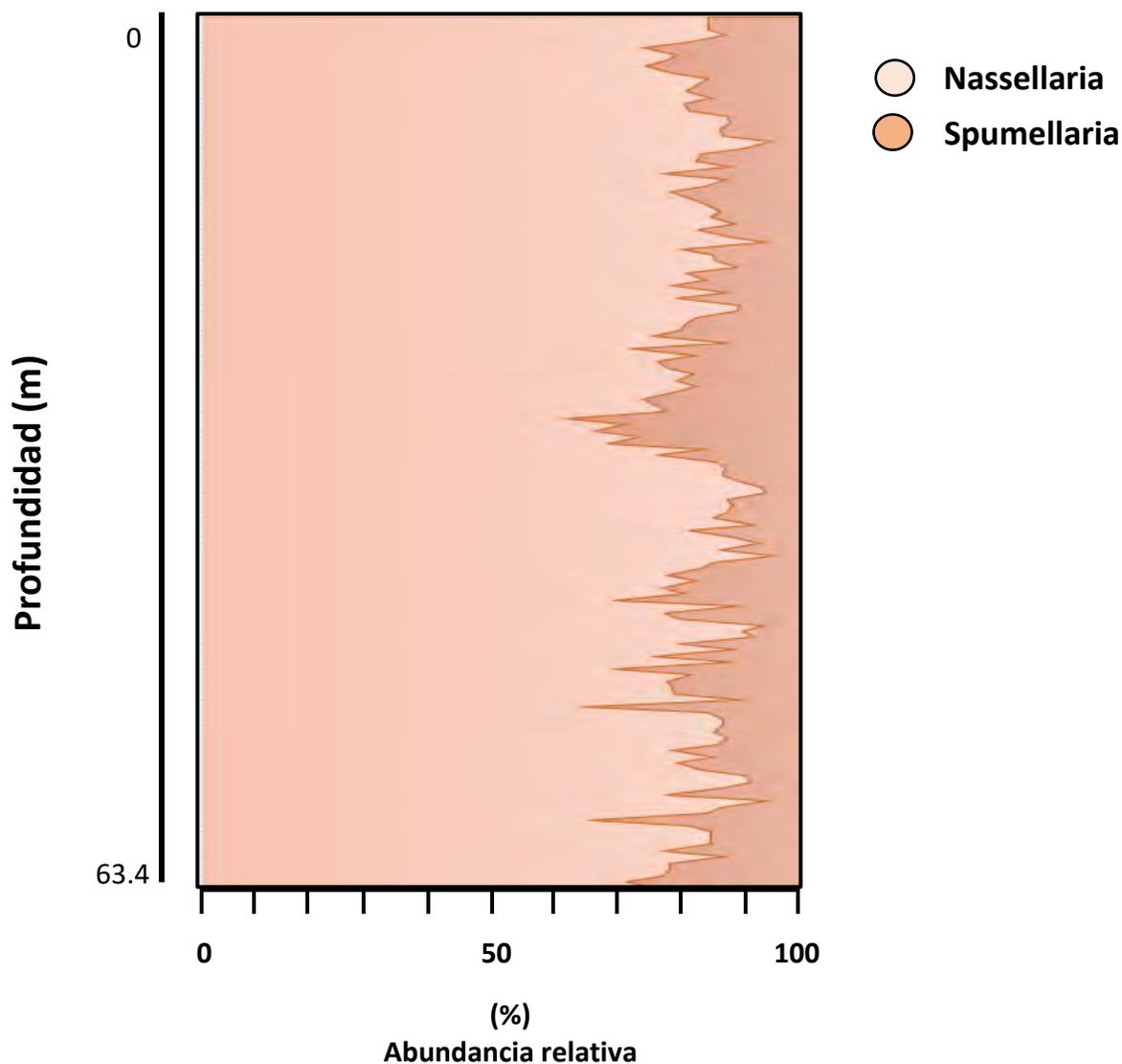


Figura 19. Abundancia relativa de los radiolarios policistinos de los órdenes Nasellaria y Spumellaria en el núcleo MD02-2515.

La dominancia del orden Nasellaria a lo largo de la secuencia sedimentaria indica que en la región occidental de la Cuenca Guaymas prevalecieron condiciones oceánicas, lo anterior se explica a partir de la distribución cosmopolita que presentan los radiolarios naselarios, así como la capacidad que presentan para crecer y desarrollarse a grandes profundidades, presentando preferencia por los ambientes mesopelágicos y batipelágicos (Arz, 2004; Jones, 2006), a diferencia de los radiolarios del orden Spumellaria que generalmente son organismos que habitan la zona superficial (Abelmann & Gowing, 1997; Armstrong & Brasier, 2005).

3.3 RADIOLARIOS MÁS REPRESENTATIVOS DEL NÚCLEO MD02-2515

Utilizando como base la matriz de abundancias relativas, se elaboró una matriz transpuesta que fue sometida a un filtro estadístico de presencia/persistencia (Correa-Metrio *et al.*, 2010). Como resultado del filtro aplicado se obtuvieron un total de 31 especies que presentaban una abundancia relativa promedio ≥ 1 , consideradas como las especies más representativas a lo largo del núcleo sedimentario. La lista de especies seleccionadas se muestra a continuación (Tabla 3) (Fig. 20).

Tabla 3. Taxa de radiolarios que presentan una abundancia relativa promedio ≥ 1 .

Orden	Taxón	Abundancia relativa promedio (%)
S	<i>Acantosphaera actinota</i>	1.20
N	<i>Acrobotrys teralans</i>	6.38
N	<i>Amphiplecta acrostoma</i>	1.00
N	<i>Anthocyrtdium zangueboricum</i>	1.73
N	<i>Arachnocorallium calvata</i>	2.66
N	<i>Botryostrobos auritus-australis</i>	3.89
N	<i>Carpocanistrum</i> spp.	2.37
N	<i>Cladoscenium</i> sp cf. <i>C. tricolpium</i>	1.45
N	<i>Clathrocircus stapedius</i>	1.37
N	<i>Cycladophora davisiana</i>	1.88
N	<i>Dictyophimus</i> sp. cf. <i>D. tripus</i>	1.45
N	<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	1.17
S	<i>Hexacantium laevigatum</i>	2.87
N	<i>Lamprocyclas maritilis</i> *	0.97
S	<i>Larcopyle buetschlii</i>	1.11
S	<i>Larcospira minor</i>	2.05
N	<i>Lithomelissa laticeps</i>	3.44
N	<i>Lithomelissa pentacantha</i>	5.69
N	<i>Lithomelissa setosa</i>	7.28
N	<i>Lithomelissa thoracites</i>	13.14
N	<i>Lophophaena nadezdae</i>	1.59
N	<i>Peridium longispinum</i>	3.18
N	<i>Peridium</i> sp cf <i>P. longispinum</i>	1.75
N	<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	1.16
N	<i>Phormosticoartus corbula</i>	1.78
N	<i>Plectacantha</i> sp.	1.26
N	<i>Pseudocubus obeliscus</i>	1.66
N	<i>Siphocampe lineata</i>	5.77
S	<i>Stylochlamydidium venustum</i>	1.62
S	<i>Tetrapyle octacantha</i> *	0.93
N	<i>Trisulcus triacanthus</i>	1.55

*: Especies seleccionadas por presentar un valor muy cercano a 1. N= Nassellaria; S= Spumellaria.

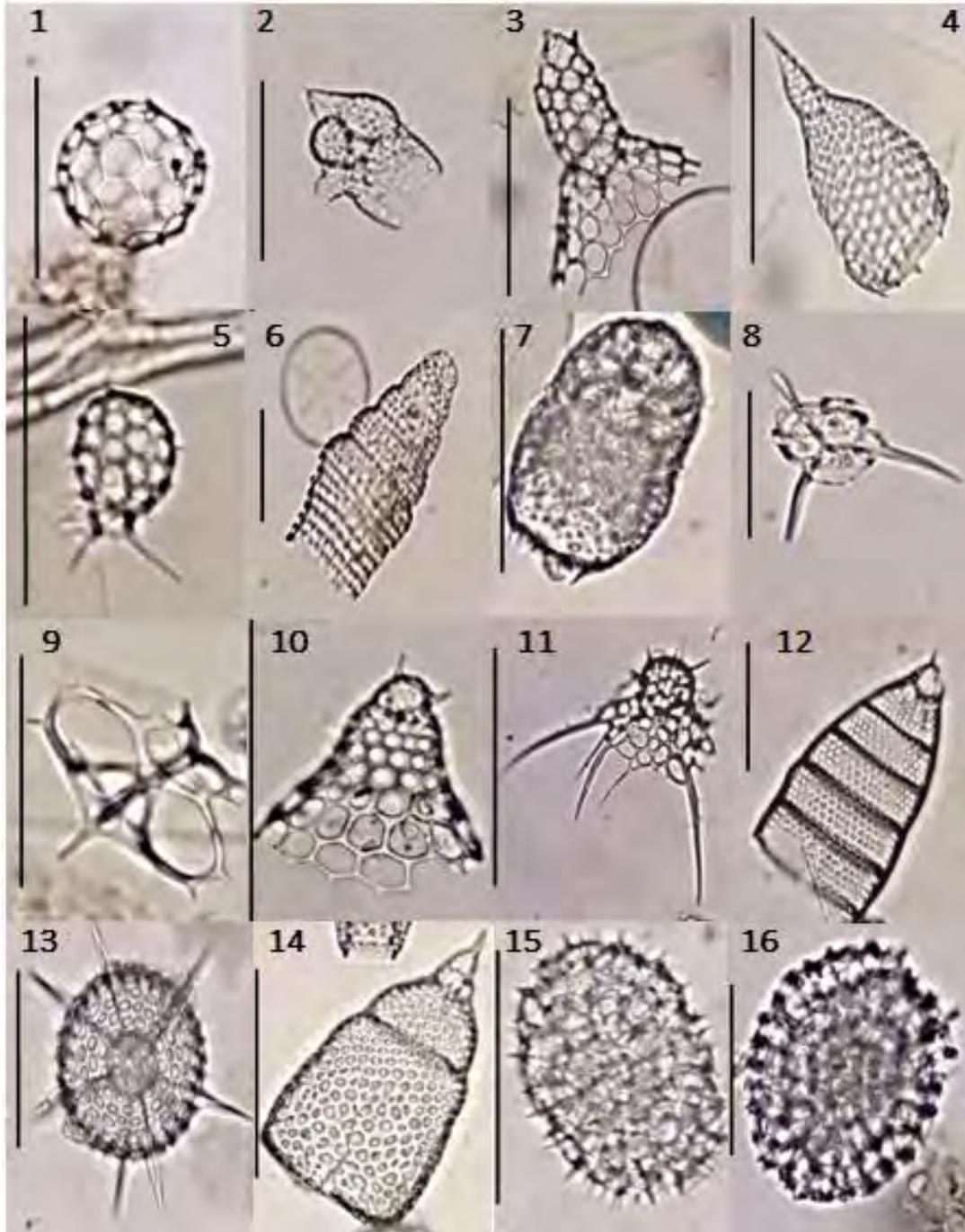


Figura 20. Especies de radiolarios más representativas. 1) *Acantosphaera actinota*, 2) *Acrobotrys teralans*, 3) *Amphiplecta acrostoma*, 4) *Anthocrytidum zanguebaricum*, 5) *Arachnocorallium calvata*, 6) *Botryostrobos auritus-australis*, 7) *Carpocanistrum* spp., 8) *Cladoscenum* sp. cf. *C. tricolpium*, 9) *Clathrocircus stapedius*, 10) *Cycladophora davisiana*, 11) *Dictyophimus* sp. cf. *D. tripus*, 12) *Eucyrtidium acuminatum*, 13) *Hexacontium laevigatum*, 14) *Lamprocyclas maritalis* grupo, 15) *Larcopyle buetschlii*, 16) *Larcospira minor*. La barra equivale a 100 μm .



Figura 20 (cont). Especies de radiolarios más representativas. 17) *Lithomelissa laticeps*, 18) *Lithomelissa pentacantha*, 19) *Lithomelissa setosa*, 20) *Lithomelissa thoracites*, 21) *Lophophaena nadezdae*, 22) *Peridium longispinum*, 23) *Peridium* sp. cf. *P. longispinum*, 24) *Phormospyris stabilis scaphipes*, 25) *Phormosticoartus corbula*, 26) *Plectacantha* sp., 27) *Pseudocubus obeliscus*, 28) *Siphocampe lineata*, 29) *Stylochlamydidium venustum*, 30) *Tetrapyle octacantha*, 31) *Trisulcus triacanthus*. La barra equivale a 100 μ m.

3.4 ANÁLISIS DE FACTORES

A partir de la matriz de abundancias relativas del conjunto de especies más representativas en los sedimentos, se realizó un Análisis de Factores modo “Q”; de los resultados del análisis se identificaron 3 factores que explican el 65.91% de la varianza total de las muestras (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados obtenidos a partir del Análisis de Factores modo “Q”.

Factor	Valor propio	% de la varianza total	Valor propio acumulativo	% de la varianza acumulativo
1	66.80930	47.72093	66.80930	47.72093
2	14.29347	10.20962	81.10277	57.93055
3	11.18444	7.98888	92.28721	65.91944

A partir de los *factor scores* se reconocieron las especies representativas de cada una de las asociaciones (factores) (Tabla 5). Por otra parte, los *factor loadings* (Anexo IV) permitieron identificar la distribución de las distintas asociaciones en sentido estratigráfico (Fig. 22). Cabe mencionar que es de importancia considerar las especies que presentan *factor scores* con valores menores a -1, lo anterior debido a que la presencia de estas especies puede indicar que las condiciones ecológicas y ambientales de las asociaciones a las que pertenecen pueden ser antagónicas para su desarrollo y con eso, brindar información adicional para las inferencias paleocenográficas.

Con lo anterior, fue posible: 1) documentar la presencia de especies de radiolarios en la Cuenca Guaymas durante el periodo estudiado (52-6 ka) y, 2) a partir del conocimiento de sus afinidades ecológicas sugerir condiciones oceánicas y reconocer cambios climáticos.

Las afinidades ecológicas para cada una de las asociaciones se muestran a continuación, una síntesis de los trabajos consultados para definir las afinidades puede encontrarse en el Anexo V.

Tabla 5. Factor scores obtenidos para las 31 especies más representativas en cada uno de los 3 factores a lo largo del núcleo sedimentario, en rojo se resaltan los valores de las especies representativas para cada una de las asociaciones (factores).

Taxón	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>Acantosphaera actinota</i>	-0.67578	-0.146739	-0.16634
<i>Acrobotrys teralans</i>	-1.61175	0.413421	3.84126
<i>Amphiplecta acrostoma</i>	-0.14310	-0.545538	-0.47915
<i>Anthocyrtidium zanguebaricum</i>	-0.11741	0.019292	-0.47123
<i>Arachnocorallium calvata</i>	0.04832	-0.476937	0.50468
<i>Botryostrobus auritus-australis</i>	-0.48393	-0.000075	1.38216
<i>Carpocanistrum</i> spp.	-0.87699	0.589486	-0.00354
<i>Cladoscenium</i> sp. cf. <i>C. tricolpium</i>	-0.01063	-0.797181	-0.14225
<i>Clathrocircus stapedius</i>	-0.03230	-0.382748	-0.51587
<i>Cycladophora davisiana</i>	-0.89325	-0.033132	0.25387
<i>Dictyophimus</i> sp. cf. <i>D. tripus</i>	0.03758	-0.383524	-0.47449
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	-0.19057	-0.563261	-0.30468
<i>Hexacontium laevigatum</i>	0.21423	-0.324410	0.24241
<i>Lamprocyclas maritalis</i>	-0.39994	-0.338644	-0.47988
<i>Larcopele buetschlii</i>	-0.17320	-0.608849	-0.37787
<i>Larcospira minor</i>	-0.30721	-0.175687	0.07005
<i>Lithomelissa laticeps</i>	-0.19272	0.022357	0.67857
<i>Lithomelissa pentacantha</i>	1.58516	0.515362	-0.26520
<i>Lithomelissa setosa</i>	2.19963	1.887526	-1.33152
<i>Lithomelissa thoracites</i>	3.37373	1.268443	2.56147
<i>Lophophaena nadezdae</i>	-0.12225	-0.297755	-0.27732
<i>Peridium longispinum</i>	1.33994	-0.683581	-0.39561
<i>Peridium</i> sp cf <i>P. longispinum</i>	0.36402	-0.522941	-0.52427
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i>	-0.25941	-0.446595	-0.37009
<i>Phormosticoartus corbula</i>	0.31622	-0.535189	-0.46543
<i>Plectacantha</i> sp.	-0.48580	-0.500197	0.06029
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	0.37034	-0.701807	-0.42819
<i>Siphocampe lineata</i>	-1.72232	4.380245	-1.09390
<i>Stylochlamydidium venustum</i>	-0.58995	0.152861	-0.28437
<i>Tetrapyle octacantha</i>	-0.19846	-0.554060	-0.48827
<i>Trisulcus triacanthus</i>	-0.36223	-0.230145	-0.25531

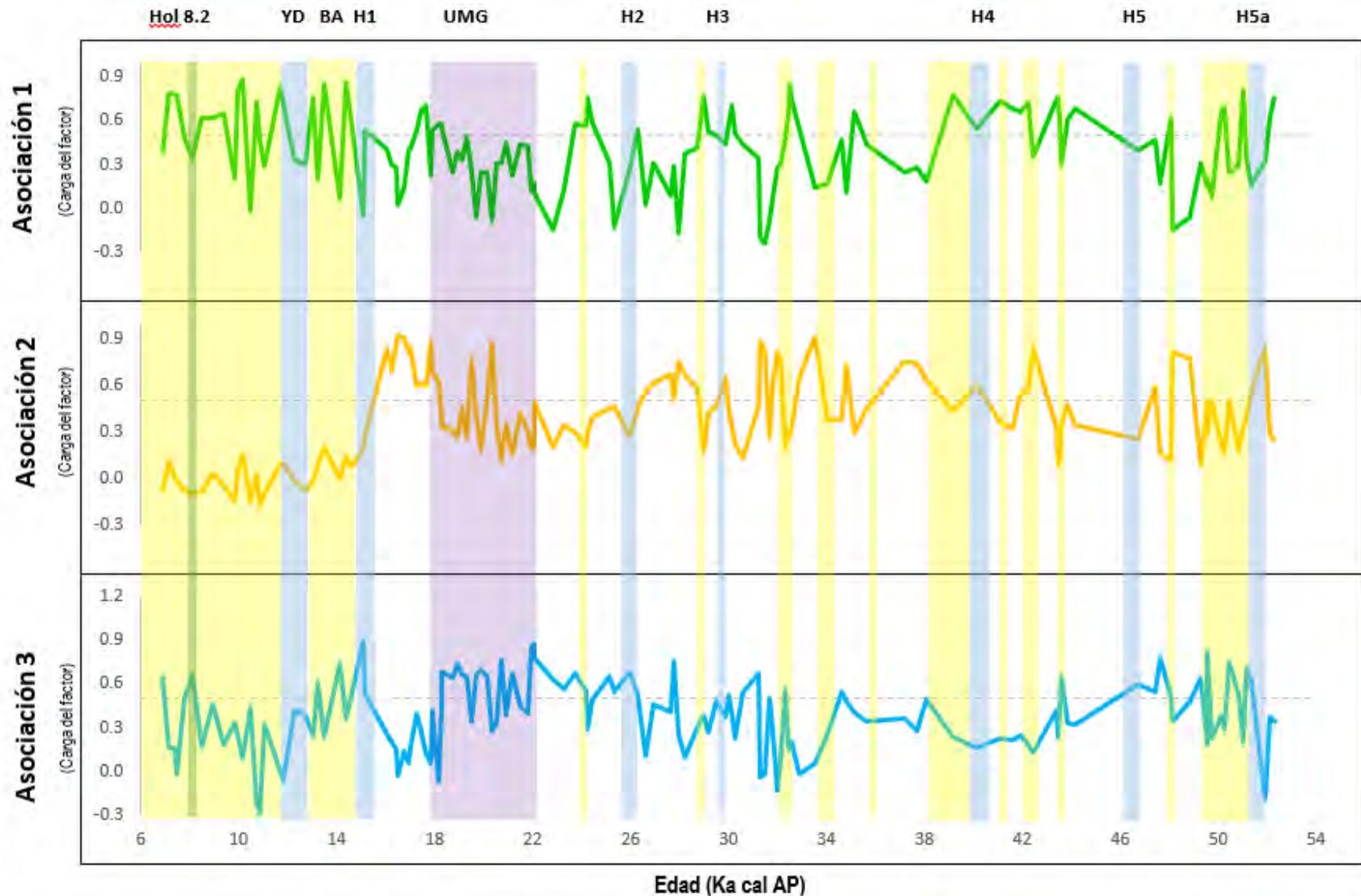


Figura 21. Distribución de las asociaciones de radiolarios a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515. En amarillo se muestran los interestadales, el Bølling-Allerød (BA) y el Holoceno (Hol); en verde se muestra el evento del 8.2 ka; en morado se muestra el Último Máximo Glaciar (LGM); en azul se muestran los Eventos Heinrich (incluyendo el Younger Dryas, YD).

3.5 AFINIDADES ECOLÓGICAS E INTERPRETACIONES PALEOCEANOGRÁFICAS

Asociación 1

La asociación 1 explica el 47.72% de la varianza total de las muestras (Tabla 4). Con base en los *factor scores*, los radiolarios que caracterizan a esta asociación son, en orden de importancia: *Lithomelissa thoracites* (3.37), *Lithomelissa setosa* (2.2), *Lithomelissa pentacantha* (1.59) y *Peridium longispinum* (1.34) (Figs. 22 y 23).

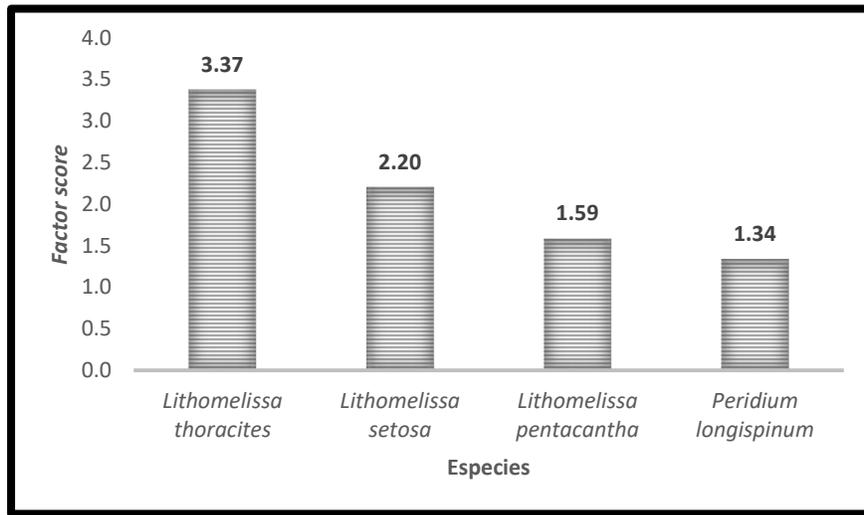


Figura 22. Factor scores de las especies de radiolarios representativas de la asociación 1.

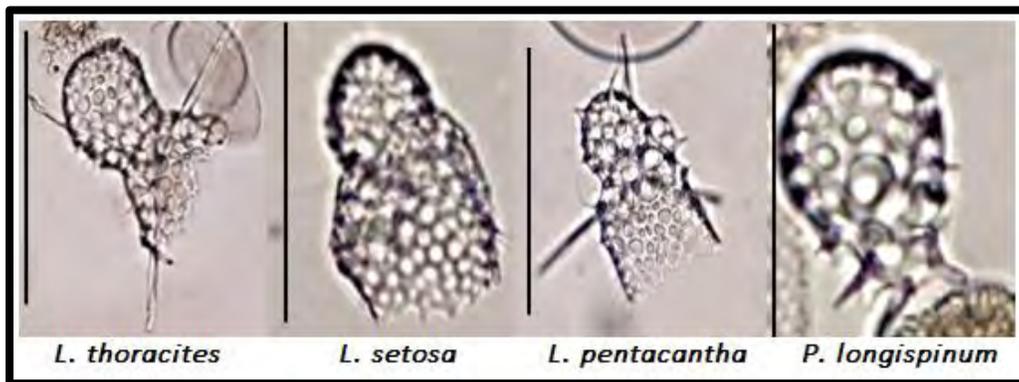


Figura 23. Especies de radiolarios que, a partir del Análisis de Factores modo “Q”, conforman a la asociación 1. La línea equivale a 100 μ m.

Lithomelissa thoracites

L. thoracites habita en profundidades superficiales no mayores a 100 m (Abelmann & Gowing, 1997; Molina-Cruz *et al.*, 1999); aunque algunas veces ha sido reportada a profundidades de 200 m (Petrushevskaya, 1971). En la Cuenca Guaymas se distribuye en la capa de mezcla superficial (Molina-Cruz *et al.*, 1999), en aguas con temperaturas mayores a 12°C y salinidad mayor a 35 (Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Se ha encontrado en los sedimentos superficiales de la región central-norte del Golfo de California (Pisias, 1986), comprendiendo más del 10% de las especies encontradas en las Cuencas Guaymas y San Pedro Mártir (Benson, 1966). *L. thoracites* ha sido encontrada en diatomitas, indicando su afinidad por áreas de alta productividad biológica (Benson, 1966; Pisias, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999) lo que coincide con la alta productividad biológica registrada para la Cuenca Guaymas durante todo el año (Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Lithomelissa setosa

L. setosa se ha encontrado en los primeros 120 m de la columna de agua (Kling & Boltovskoy, 1995; Yamashita *et al.*, 2002; Ishitani & Takahashi, 2007; Tanaka & Takahashi, 2008), distribuyéndose en la capa de mezcla por encima de la termoclina (Yamashita *et al.*, 2002). Es una especie que se alimenta preferentemente de fitoplancton, particularmente se considera nanoherbívora, aunque puede consumir bacterias y/o detritus (Casey *et al.*, 1979; Takahashi, 1987; 1997; Ishitani & Takahashi, 2007). El rango de temperatura de las masas de agua que habita es amplio, encontrándose en masas de agua de 3.5°C en el Pacífico Subártico (Tanaka & Takahashi, 2008). Asimismo, se registra una temperatura de las masas de agua que habita la especie de 14-29.5°C en el Pacífico Ecuatorial Oeste, mientras que la salinidad documentada es de 34 - 35.5 (Yamashita *et al.*, 2002); además, se ha documentado que la cantidad de oxígeno disuelto (OD) en las masas de agua que habita es de 7 ml/L, lo que indica masas de agua altamente oxigenadas (Tanaka & Takahashi, 2008).

Se caracteriza por ser una especie sensible a los cambios en la abundancia de productores primarios (Takahashi, 1987; Yamashita *et al.*, 2002); es una especie indicadora de surgencias, que además muestra correlaciones positivas con concentraciones de clorofila (Ishitani & Takahashi, 2007), y habita regiones donde las masas de agua presentan una alta cantidad de nitratos y silicatos, (Yamashita *et al.*, 2002; Suzuki & Not, 2015). Itaki *et al.* (2007) y Zhang *et al.* (2014) sugieren que está asociada a áreas costeras con alta productividad biológica y que sus abundancias incrementan durante periodos interglaciares. La especie ha sido utilizada como marcador de condiciones de primavera boreal, ya que sus picos de abundancia, en una escala anual, son en abril y mayo en el Pacífico Norte (Takahashi, 1987).

Lithomelissa pentacantha

L. pentacantha se distribuye en los primeros 200 m de la columna de agua (Petrushevskaya, 1971). Dentro del Golfo de California, presenta altas abundancias en las masas de agua superficiales en la Cuenca Guaymas y en las aguas subsuperficiales de la Cuenca Carmen (Molina-Cruz, 1999). La temperatura de las masas de agua que habita la especie es de 7-30°C y la salinidad es de 34.9-35.4 (Petrushevskaya, 1971). *L. pentacantha* es una especie ecológicamente afín a zonas de mezcla por surgencia, se encuentra en regiones de alta productividad y en flujos de agua cálidos y salinos (Welling *et al.*, 1992). A partir del estudio de sedimentos se ha reportado la abundancia de la especie en el Golfo de California en sedimentos de diatomita, indicando su afinidad por masas de agua que presentan una alta productividad biológica (Benson, 1966).

Peridium longispinum

A partir de estudios realizados en columna de agua se registró que la profundidad a la que habita corresponde a 100-150 m (Molina-Cruz *et al.*, 1999; Tanaka & Takahashi, 2008), habitando la capa de mezcla superficial. Se considera una especie de hábitos alimenticios herbívoros (Casey *et al.*, 1979). *P. longispinum* habita en aguas con temperaturas mayores a 12 °C, y salinidades mayores a 35 (Molina-Cruz *et al.*, 1999). Presenta afinidad por masas de agua altamente oxigenadas que presentan una concentración de OD de 5-7 ml/L (Tanaka & Takahashi, 2008).

A partir del estudio de sedimentos se ha documentado que es una especie importante en la región central-norte del Golfo de California (Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Interpretación paleoceanográfica de la asociación 1

Esta asociación es importante en los siguientes intervalos: de ~52270 a 52100, ~50270 a 50090, ~44170 a 39200, ~32900 a 32320, ~24430 a 23730, ~18260 a 17280, ~15140 a 13060 y de ~11670 a 7160 años cal AP; además se observan significativos a ~50980, ~48100, ~35120, ~30110, ~28980 y ~26320 años cal AP (Fig. 24).

Observando las afinidades ecológicas de las especies que conforman a la asociación 1, se infiere que durante los intervalos caracterizados por la presencia de las especies de la asociación, predominaron condiciones de mezcla -surgencias eólicas- que propiciaron la mezcla de las aguas superficiales. Las surgencias promovieron el aumento en la cantidad de nutrientes y los niveles de clorofila, favoreciendo el florecimiento de fitoplancton y, esto a su vez, a estas especies de radiolarios que fundamentalmente se alimentan de organismos herbívoros y nanoherbívoros. Al tomar en cuenta las especies de la asociación que presentan *factor scores* negativos (i.e. *A. teralans* y *S. lineata*), y tomando en cuenta las

afinidades ecológicas de las mismas, se corrobora la interpretación paleoceanográfica planteada previamente, ya que ambas son especies con ocurrencias significativas en episodios fríos mientras que la asociación 1 caracteriza periodos definidos climáticamente, de manera general, como cálidos.

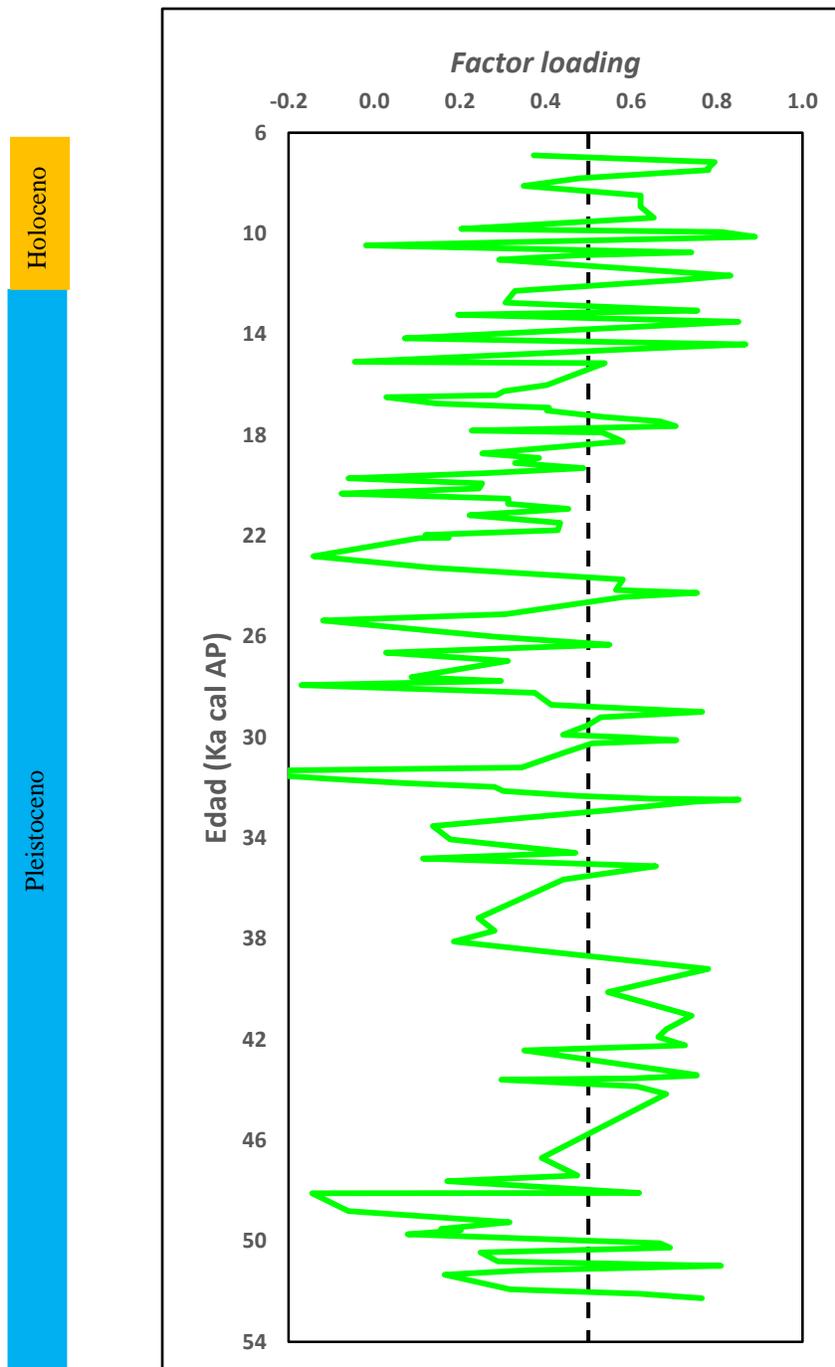


Figura 24. Factor loadings de la asociación 1 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515.

Asociación 2

La asociación 2 explica el 10.20% de la varianza total de las muestras (Tabla 4). Con base en los *factor scores* obtenidos, los radiolarios que caracterizan a esta asociación son, en orden de importancia: *Siphocampe lineata* (4.38), *Lithomelissa setosa* (1.88) y *Lithomelissa thoracites* (1.26) (Figs. 25 y 26).

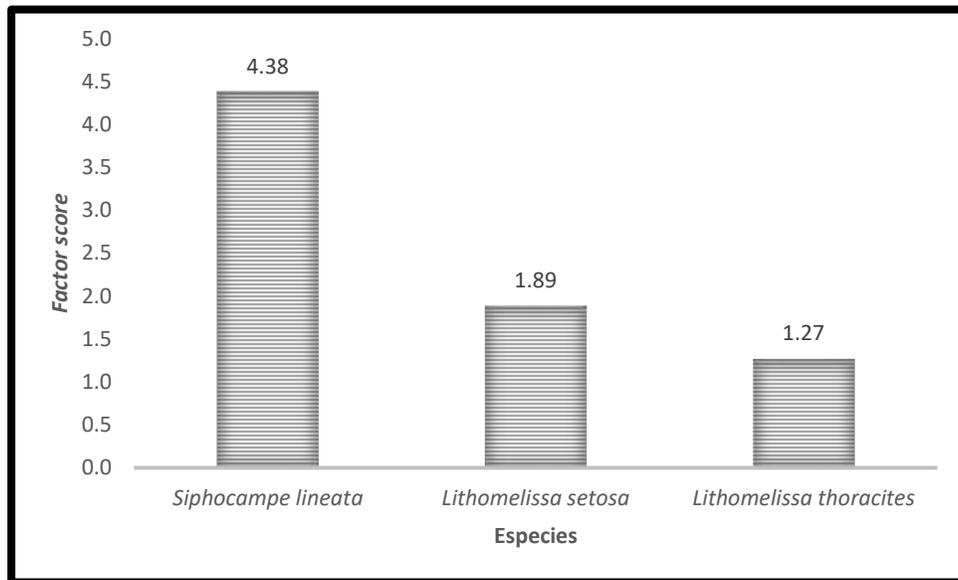


Figura 25. *Factor scores* de las especies de radiolarios representativas de la asociación 2.

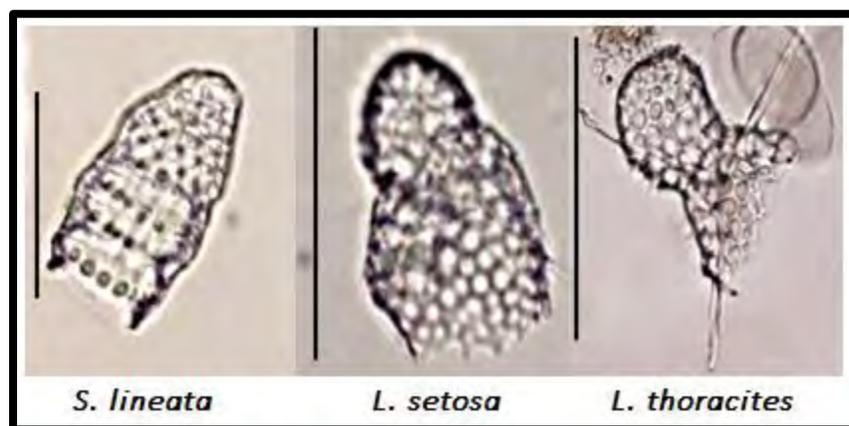


Figura 26. Especies de radiolarios que, a partir del Análisis de Factores modo "Q", conforman a la asociación 2. La línea equivale a 100 μm .

Siphocampe lineata

S. lineata se ha encontrado en sedimentos superficiales del Golfo de California infiriendo que habita ambientes oceánicos y regiones de alta productividad (Benson, 2005). Es una especie característica de frentes oceánicos y ha sido referida a zonas frías, árticas y antárticas (Boltovskoy & Riedel, 1987). En los sedimentos del Golfo de California, en la Cuenca Carmen su abundancia se relacionó con el Agua Intermedia del Pacífico (Bernal-Ramírez, 2003) debido a que su distribución fue muy similar a la de especies características de dicha masa de agua.

Por otra parte, especies como *L. setosa* y *L. thoracites*, también se encontraron en esta asociación, aunque con menos representatividad que en la asociación 1. Su presencia se explica más adelante.

Interpretación paleoceanográfica de la asociación 2

A partir del Análisis de Factores modo “Q” realizado, se determinó que las cargas del factor 2, son significativas en los siguientes intervalos: de ~51920 a 51340, ~48810 a 48110, ~42430 a 41900, ~38110 a 37100, ~33530 a 32890, ~32130 a 31970, ~31500 a 31310, ~28710 a 26640 y de ~18180 a 16010; además de presentar picos a ~47400, ~40120, ~34810, ~29900, ~20320 y ~19510 años cal AP (Fig. 27).

Al parecer, durante los intervalos que definen la asociación 2, las condiciones climáticas fueron frías en la región y hubo una mayor penetración del Agua Intermedia del Pacífico hacia la parte sur-central del golfo, así como una reducción en la intensidad de los vientos que disminuyó los procesos de surgencias en la cuenca.

Respecto a las especies con *factor scores* de valor negativo esta asociación no presenta ninguna que sea significativa.

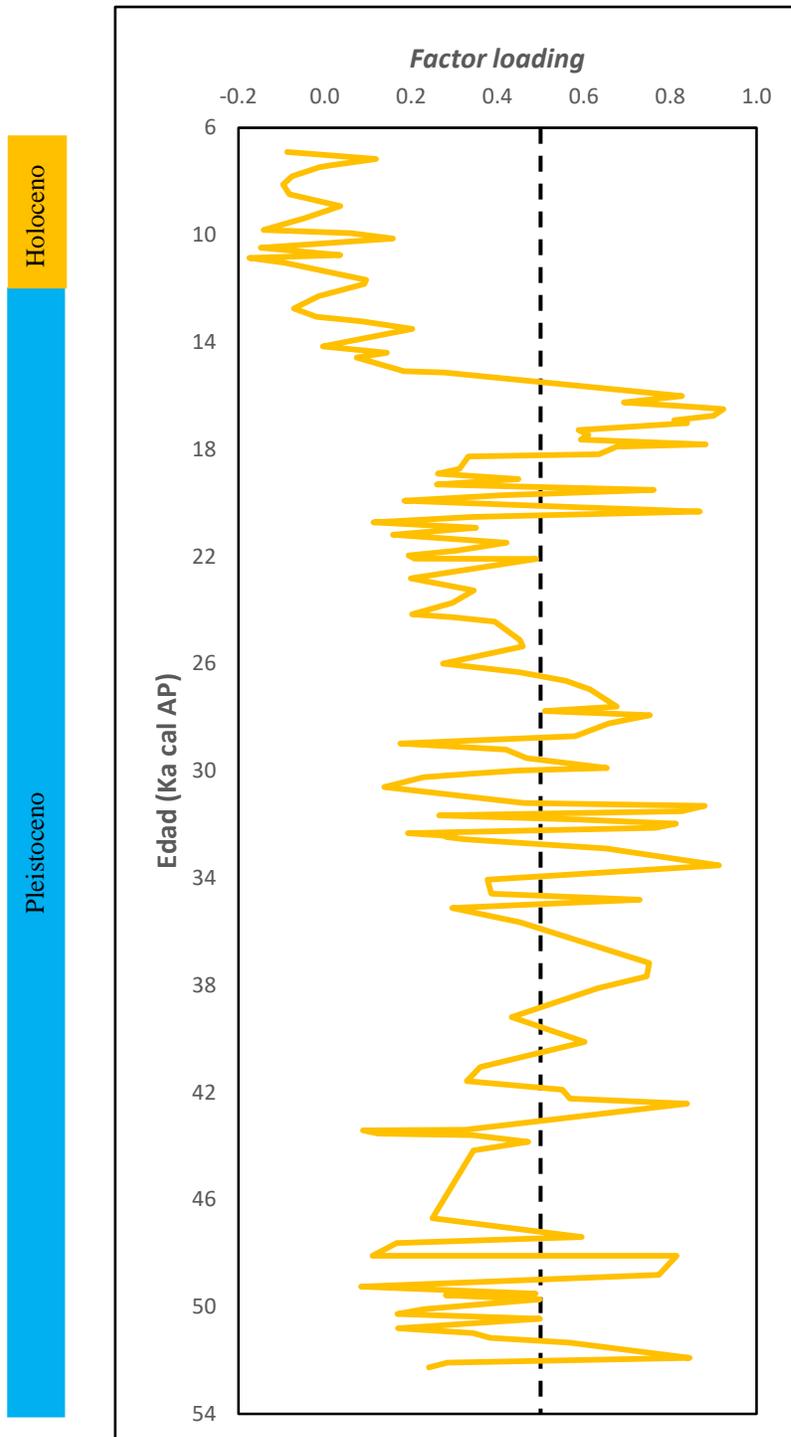


Figura 27. Factor loadings de la asociación 2 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515.

Asociación 3

La asociación 3 explica el 7.98% de la varianza total de las muestras (Tabla 4). De acuerdo a los *factor scores*, los radiolarios que conforman a esta asociación son, en orden de importancia: *Acrobotrys teralans* (3.84), *Lithomelissa thoracites* (2.56) y *Botryostrobos auritus-australis* (1.38) (Figs. 28 y 29).

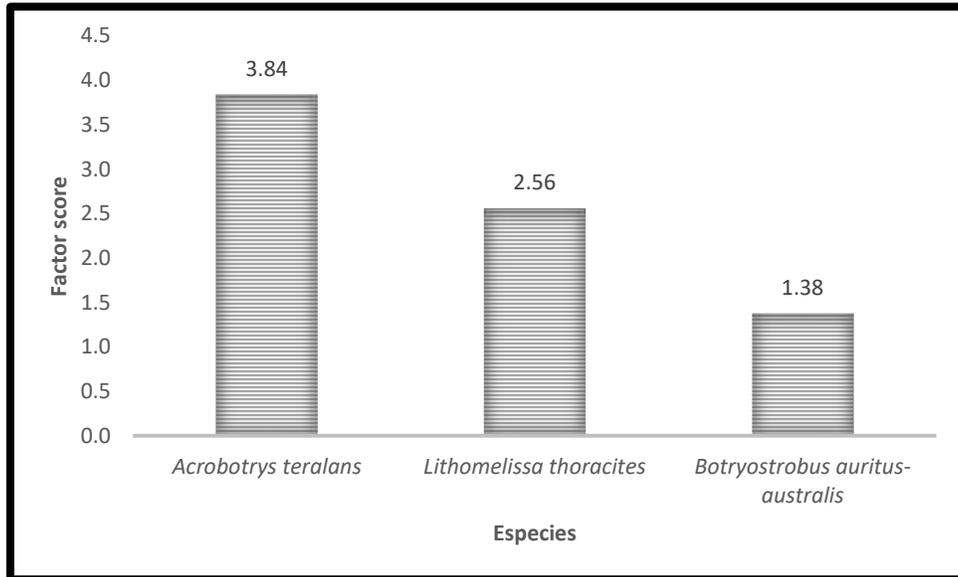


Figura 28. Factor scores de las especies de radiolarios representativas de la asociación 3.

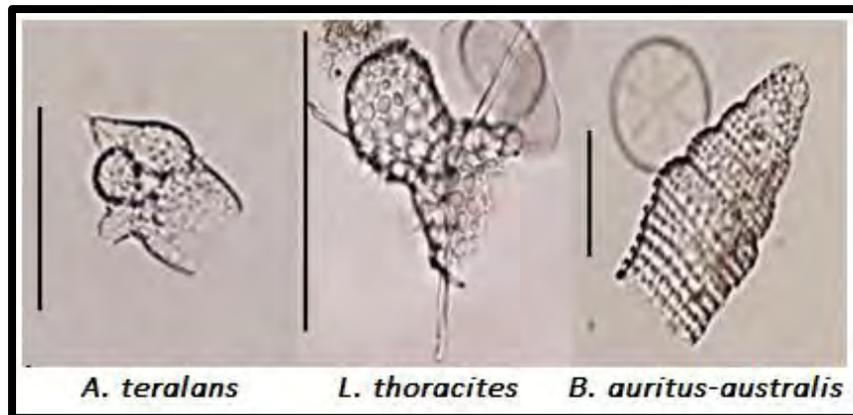


Figura 29. Especies de radiolarios que, a partir del Análisis de Factores modo "Q", conforman a la asociación 2. La línea equivale a 100 µm.

Acrobotrys teralans

No se conoce mucho sobre las afinidades ecológicas de *A. teralans*, además de que su identificación taxonómica ha sido controvertida (Benson, 1966; Riedel & Sanfilippo, 1971; Renz 1974; 1976; van de Paverd, 1995; Boltovskoy, 1998). En el Golfo de California, Benson en 1966, sugirió que al parecer su presencia estaba relacionada con la incursión episódica de alguna masa de agua (la cual no especificó), a la región central-norte del golfo.

Botryostrobus auritus-australis

B. auritus-australis habita en profundidades de 0-150 m (Kling, 1979; Boltovskoy & Riedel, 1987; Tanaka & Takahashi, 2008). Boltovskoy & Riedel (1987) la encontraron en muestras de plancton superficial del Pacífico Ecuatorial en áreas donde la termoclina se encuentra cercana a la superficie. Los valores del rango de temperatura de las masas de agua que habita en el Pacífico Central Norte son de 12 a 23°C (Kling, 1979). Por otro lado, Abelmann *et al.*, (1999) reportaron que para la región de la Corriente Circumpolar Antártica esta especie se encuentra en aguas que presentan una temperatura superficial de 12 – 18 ° C en verano.

Otros autores, han mencionado que *B. auritus-australis* es una especie cercanamente relacionada con la Corriente de California (Kling, 1979; Molina-Cruz, 1986a). Molina-Cruz (1984), menciona que la especie es menos abundante en el Golfo de California en el presente, comparándola con la abundancia del último periodo glaciario.

Interpretación paleoceanográfica de la asociación 3

A partir del Análisis de Factores modo “Q” realizado, se determinó que las cargas del factor 3, son significativas en los siguientes intervalos: de ~51340 a 49260, ~48100 a 46700, ~32320 a 29990, ~26320 a 18270 y de ~15090 a 13220; además, se presentan picos episódicos importantes a ~43600, ~34590, ~27770, ~8100 y ~6900 años cal AP (Fig. 30).

La presencia de *B. auritus-australis* en esta asociación, sugiere periodos en donde la Corriente de California, con temperatura entre 8 y 16 °C (Kling & Boltovskoy, 1995), pudo incursionar hasta la región central-norte del golfo. Si bien, las afinidades de *A. teralans* no se conocen, siendo una especie poco común en esta región, es probable que su presencia esté relacionada también con la incursión episódica del ACC hacia adentro del golfo durante condiciones climáticas frías. Al observar las especies de la asociación que presentan valores negativos (*factor score*), se identifica a *L. setosa* y *S. lineata*, especies no relacionadas con el Sistema de la Corriente de California, lo que apoya la idea previa.

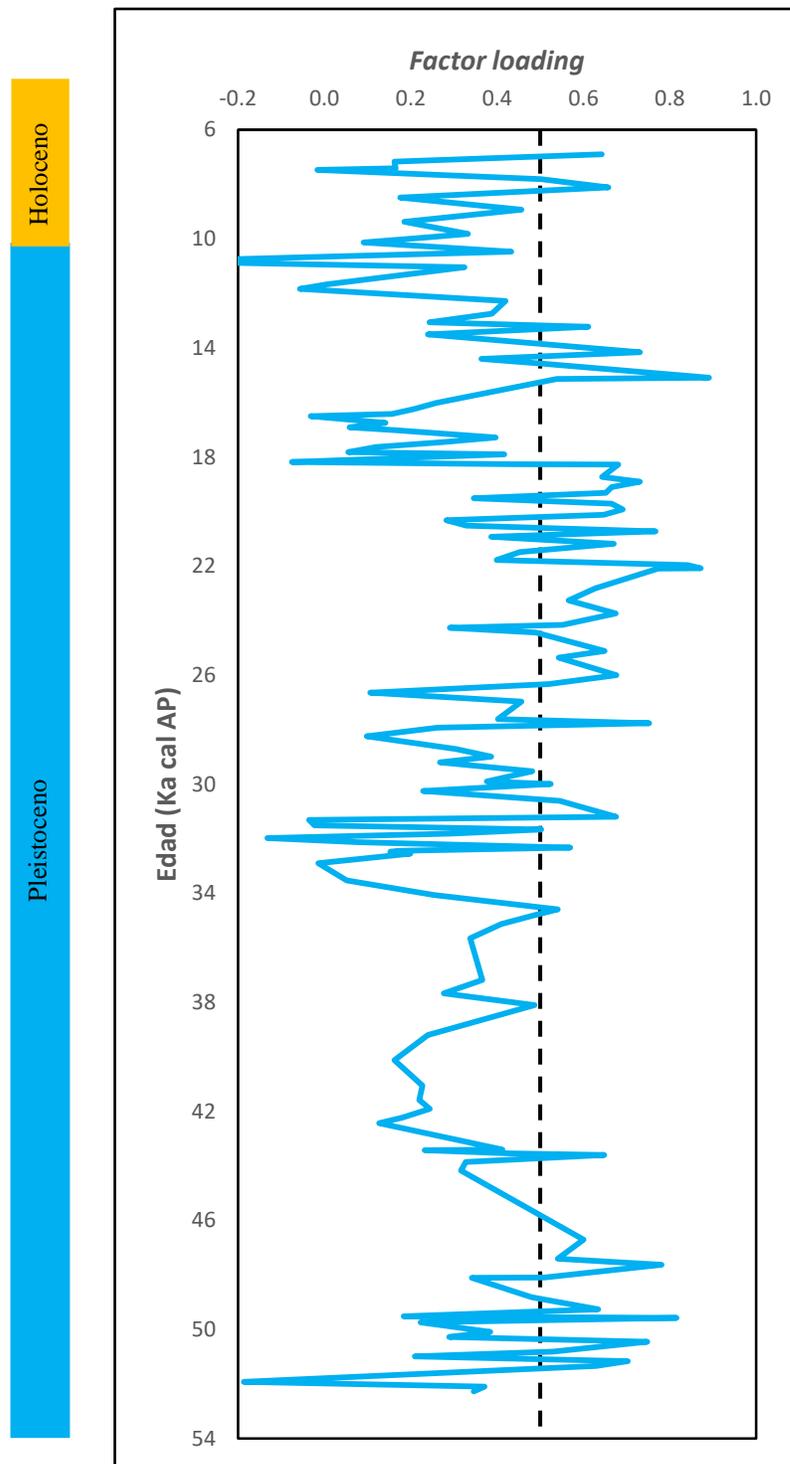


Figura 30. Factor loadings de la asociación 3 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515.

3.6 INFERENCIAS PALEOCEANOGRÁFICAS

A partir del análisis estadístico multivariado se reconocieron tres asociaciones de radiolarios que por sus afinidades ecológicas definen tres grandes escenarios climáticos durante el periodo estudiado (52-6 Ka cal AP).

La asociación 1, en general caracteriza los intervalos cálidos en el MIS 3, MIS 2, el Bølling-Allerød y el Holoceno (Fig. 31).

Cabe mencionar que durante el Bølling-Allerød se observan fluctuaciones amplias, con dos picos significativos. Tradicionalmente, el Bølling-Allerød es dividido en el intervalo Bølling (fase cálida), el Older Dryas (fase fría), y el intervalo Allerød (fase cálida). Recientemente, registros climáticos más detallados indican que el Bølling-Allerød en realidad es un periodo de condiciones cálidas generalizadas, con algunos enfriamientos abruptos (Broecker, 1992). Lo anterior explica por qué durante intervalos cálidos, se pueden observar caídas abruptas en la asociación 1. Por otro lado, durante el Holoceno también es posible observar fluctuaciones, de ellas la más importante es aquella relacionada con el evento frío del 8.2 Ka AP.

Al parecer esta asociación es característica de climas cálidos (interestadiales) con estacionalidades marcadas y condiciones de alta productividad. En la actualidad en la Cuenca Guaymas la productividad está asociada al aumento de surgencias eólicas. La intensidad de los vientos es debida a la diferencia que existe en el gradiente térmico, si ésta es alta entre los centros atmosféricos, entonces los vientos van a presentar una mayor intensidad. Durante los periodos cálidos, la capacidad calorífica continental mayor a la del océano, favorece el aumento en la diferencia del gradiente térmico y por ello, de manera general la intensidad de estos vientos es mayor (Pichevin *et al.*, 2012). Las condiciones sugeridas para este trabajo concuerdan con lo propuesto por Barron *et al.* (2014) en donde utilizan diatomeas y silicoflagelados como proxies. Especies tales como *Roperia tessellata* y el silicoflagelado *Dictyocha stapedia*, comunes en el Golfo de California en masas de agua cuya SST es mayor a 24°C, fueron abundantes durante el Holoceno.

Por otro lado, Pichevin y colaboradores (2012) proponen que el sílice biogénico incrementó durante los interestadiales del MIS 2 y 3, el Bølling-Allerød y el Holoceno, lo cual es inferido como un aumento en la intensidad de las surgencias y en la disponibilidad de nutrientes. Ambos estudios coinciden con el escenario propuesto para la asociación 1 en este trabajo (Fig. 31).

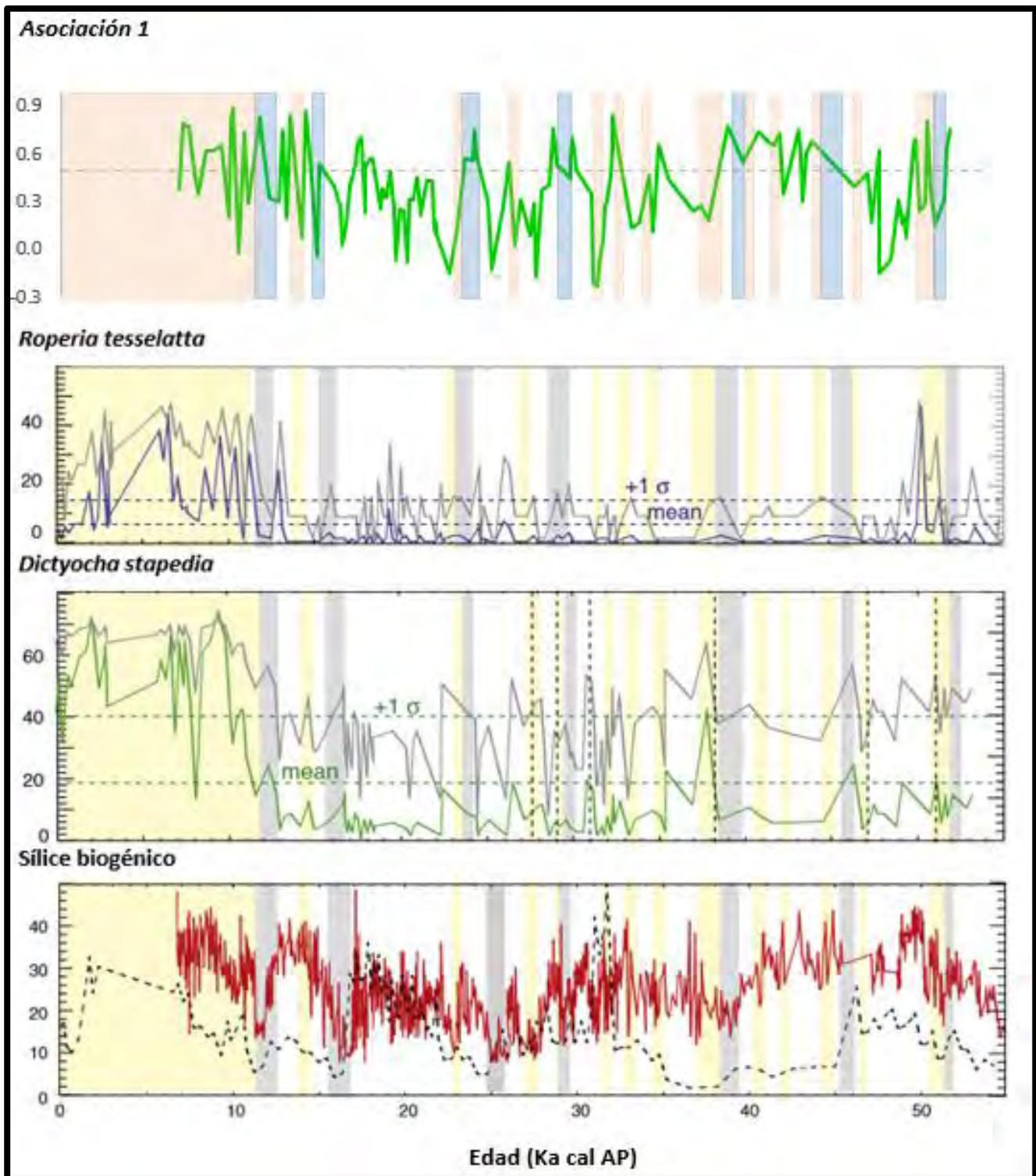


Figura 31. Comparación de la carga de la asociación 1 con *Roperia tessellata*, *Dictyocha stapedia* y sílice biogénico (Modificada de Barron et al., 2004)

Por otro lado, para la asociación 2 se sugiere que define condiciones frías como algunos eventos Heinrich de los MIS 2 y MIS 3, periodos estadiales, así como algunos picos significativos durante el UMG (Fig.32).

Los periodos que son caracterizados por la asociación 2, han sido referidos como episodios climáticamente fríos. La presencia de *S. lineata*, especie de agua intermedia y de aguas frías, coincide con el escenario propuesto. Por otro lado, durante episodios fríos la intensidad de los vientos disminuye como consecuencia de la disminución en la diferencia del gradiente térmico existente entre los centros de presión atmosférica, esto ocasionó que la intensidad de las surgencias ocurridas en la cuenca disminuyeran, sin llegar a interrumpirse totalmente, estas surgencias de baja intensidad fueron las responsables de la presencia de las especies superficiales *L. thoracites* y *L. setosa*.

Es importante mencionar que durante episodios fríos, y como consecuencia de la disminución en las surgencias eólicas de la cuenca, la productividad biológica de la cuenca también disminuye. La producción menor de fitoplancton limita el desarrollo de zooplancton, y esto conduce a una mayor exportación de materia orgánica hacia aguas más profundas (Thunell, 1998), lo que favorece el desarrollo de especies de aguas más profundas, como *S. lineata*. El aumento de *S. lineata* en las masas de agua resulta en una mayor proporción de la especie en el sedimento, que ocasiona una disminución en la proporción de *L. thoracites* y *L. setosa*.

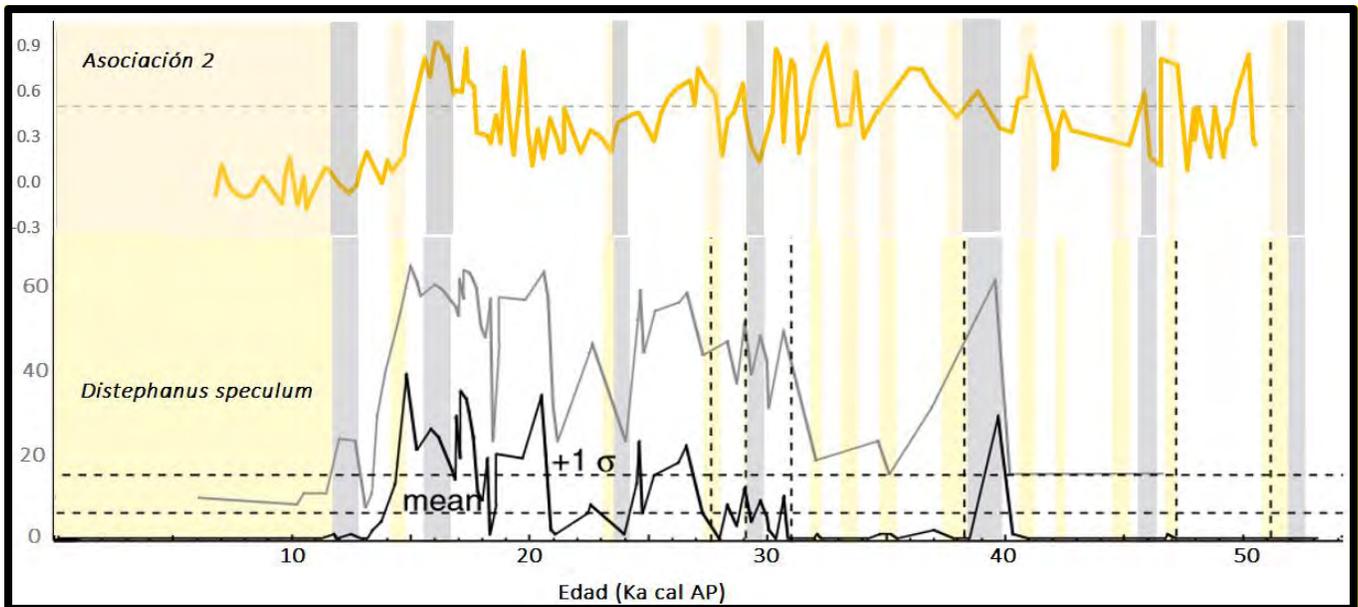


Figura 32. Comparación de la asociación 2 obtenida en este trabajo con la abundancia de *Distephanus speculum* determinada en el estudio de Barron *et al.*, 2014.

Comparando este escenario con el trabajo de Barron *et al.* (2014) se muestra la distribución del silicoflagelado *Distephanus speculum* (Fig. 32), el cual se reconoce como una especie de masas de aguas frías cuya temperatura es de 16°C o menos; no ha sido reconocido en el Golfo de California durante el Holoceno (Barron *et al.*, 2004).

Finalmente, la asociación 3 define periodos a lo largo del núcleo en donde se propone que la Corriente de California incursionó hasta la Cuenca Guaymas, siendo evidente durante varios episodios fríos, como los Eventos Heinrich del MIS 2 y 3, el UMG y el evento del 8.2 Ka AP (Fig. 33).

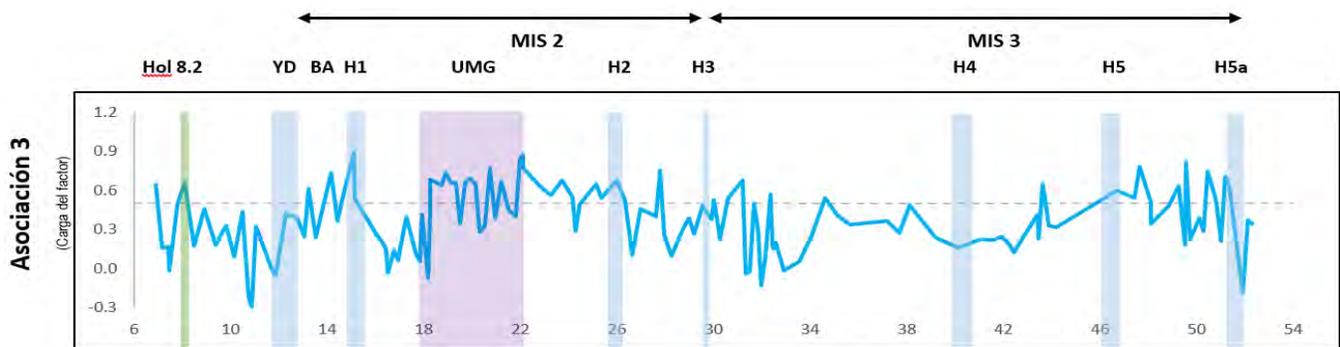


Figura 33. Distribución de la asociación 3 a lo largo del núcleo sedimentario MD02-2515. En azul se señalan el YD y los Eventos Heinrich; en verde se muestra el evento del 8.2 Ka AP y; en morado se marca el Último Máximo Glaciar.

En la actualidad la Corriente de California generalmente, presenta una clara expresión de flujo hasta la punta de la península de Baja California. Durante periodos muy fríos, el Sistema de la Corriente de California se desplaza hacia el sur, aumentando la influencia que tiene en el Golfo de California (Molina-Cruz, 1984, Checkley & Barth, 2009). Tal hecho proporciona posibilidades de que las aguas de dicha corriente participen en las surgencias de la costa occidental del golfo, que ocurren en verano. Cabe mencionar, que las aguas de la Corriente de California pueden ser inducidas hacia el interior del golfo en verano, porque en esta estación el patrón de circulación es hacia el noroeste. Por lo que se infiere que para el UMG, el evento del 8.2 Ka AP, el inicio del Bølling-Allerød, eventos Heinrich y algunos episodios de transición de interestadiales hacia estadiales, la posición promedio del Centro Atmosférico de Alta Presión era la más alejada del continente, y que los vientos del SE eran los dominantes, permitiendo así la entrada de la Corriente de California hacia el interior del golfo.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN

A partir del estudio de los radiolarios presentes en los sedimentos del núcleo sedimentario MD02-2515, se concluye lo siguiente:

- ✚ El grupo de radiolarios policistinos en la Cuenca Guaymas en los últimos 52,000 años ha sido diverso, determinándose 119 especies.
- ✚ Han dominado especies del orden Nasellaria (78) y en menor proporción del orden Spumellaria (41), lo que indica el carácter oceánico del área estudiada.
- ✚ Se observó la dominancia de 31 especies a lo largo del núcleo, 7 de ellas definen las 3 asociaciones más importantes determinadas a través de un análisis de factores multivariado. A partir de estas asociaciones y de sus afinidades ecológicas se infieren tres escenarios paleoceanográficos y paleoclimáticos:
 - La asociación 1 está relacionada con condiciones de alta productividad. Ésta es dominante en los intervalos ocurridos de ~52270 a 52100, ~50270 a 50090, ~44170 a 39200, ~32900 a 32320, ~24430 a 23730, ~18260 a 17280, ~15140 a 13060 y de ~11670 a 7160 y durante picos significativos ubicados a ~50980, ~48100, ~35120, ~30110, ~28980 y ~26320 años cal AP. El registro de los restos de estas especies en los sedimentos al parecer es el resultado de la intensificación de los procesos de surgencias que se vieron favorecidos por los vientos del NO, durante el Holoceno, el Bølling-Allerød y los interestadiales del MIS 2 y 3.
 - La asociación 2 se infiere como el resultado de episodios climáticos fríos y por una disminución de la productividad biológica de la cuenca. Domina los intervalos de: ~51920 a 51340, ~48810 a 48110, ~42430 a 41900, ~38110 a 37100, ~33530 a 32890, ~32130 a 31970, ~31500 a 31310, ~28710 a 26640 y de ~18180 a 16010 y durante picos episódicos correspondientes a ~47400, ~40120, ~34810, ~29900, ~20320 y ~19510 años cal AP. La presencia de *S. lineata* además indica una incursión marcada del AIP al interior del golfo.
 - La asociación 3 sugiere la incursión de la Corriente de California. Las cargas de factor, a lo largo del núcleo sedimentario son significativas en los siguientes intervalos: de ~51340 a 49260, ~48100 a 46700, ~32320 a 29990, ~26320 a 18270 y de ~15090 a 13220 y durante picos significativos ocurridos a ~43600, ~34590, ~27770, ~8100 y ~6900 años cal AP. La mayor abundancia de estas especies se infiere como el desplazamiento al sur del Sistema de la Corriente de California.
- ✚ Con lo anterior, se puede observar que en la Cuenca Guaymas ocurrieron cambios climáticos importantes que modificaron la dinámica oceánica de la región a escala milenaria al menos durante el Cuaternario tardío. Estos cambios están relacionados con la productividad de la cuenca, la presencia de episodios climáticos fríos y con el ingreso de la Corriente de California hacia el interior del golfo. Dichos cambios fueron producidos principalmente por los cambios en la posición de los centros atmosféricos de la región, ocurridos como consecuencia de los forzamientos climáticos de mayor escala ocurridos durante el periodo estudiado, y que por efectos de retroalimentación climática positivos, aumentaron la variabilidad climática de la región.

LITERATURA CITADA

- ✚ **Abelmann, A., 1992.** Radiolarian taxa from Southern Ocean sediment trap (Atlantic Sector). *Polar Biology*, 12: 373-385.
- ✚ **Abelmann, A. & Gowing, M. M., 1997.** Spatial distribution pattern of living polycystine radiolarian taxa-baseline study for paleoenvironmental reconstructions in the Southern Ocean (Atlantic Sector). *Marine Micropaleontology*, 30, 3-28.
- ✚ **Abelmann, A., Bratahuer, U., Gersonde, R., Sieger, R. & Zielinski, U., 1999.** Radiolarian-based transfer function for the estimation of sea surface temperatures in the Southern Ocean (Atlantic sector). *Paleoceanography*, 14, 3, 410-421.
- ✚ **Afanasieva, M. S., 2007.** Radiolarian skeleton: Morphology of spines, internal framework, and primary sphere. *Paleontological Journey*, 41, 1, 1-14.
- ✚ **Allen J., 1999.** Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period. *Nature*, 400, 740-743.
- ✚ **Alley, R. B., 1993.** Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event. *Nature*, 362, 527-529.
- ✚ **Alley, R. B. & Ágústsdóttir, A. M., 2005.** The 8k event: cause and consequences of a a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1123-1249.
- ✚ **Álvarez, L. G., Suárez-Vidal, F., Mendoza-Borunda, R. & González-Escobar, M., 2009.** Bathymetry and active geological structures in the Upper Gulf of California, *Boletín Sociedad Geológica Mexicana*, 61, 129-141.
- ✚ **Álvarez-Arellano., A. & Molina-Cruz, A., 1984.** Aspectos paleoceanográficos cuaternarios del Golfo de California, evidenciados por conjuntos de radiolarios. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 475.
- ✚ **Álvarez-Borrego, S. & Lara-Lara, R., 1991.** The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: Dauphin, J. P. & Simoneit, B. R. T, (Eds). The Gulf and Peninsular Province of the Californias. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 47, 555-567.
- ✚ **Anderson, O. R., 1978.** Light and electron microscopic observations of feeding behaviour, nutrition, and reproduction in cultures of *Thalassicolla nucleata*. *Tissue Cell*, 10, 401-412.
- ✚ **Anderson, O. R., 1983.** Radiolaria. Springer-Verlag. New York, USA, 355 p.
- ✚ **Armstrong, H. A. & Brasier, M. D., 2005.** Radiozoa (Acantharia, Phaeodaria and Radiolaria), In: Microfossils (2° ed.). Blackwell Publishing, 188-199.
- ✚ **Arz, J. A., 2004.** Radiolarios. In: Molina E. (Ed). Micropaleontología. *Prensas Universitarias de Zaragoza*: 273-292.

- ✚ **Baba, J., Peterson, C.D. & Schrader, H. J., 1991.** Modern fine-grained sediments in the gulf of California. *In: Dauphin, J. P. & Simoneite, B. R. T. (Eds). The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists. Memoir, 47, 569-587.*
- ✚ **Badan-Dangon, A., Dorman, C. E., Merrifield, M. A. & Wianat, C.D., 1991.** The lower atmosphere over the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research, 96(c9), 16887-16896.*
- ✚ **Barber, D. C., 1999.** Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature, 400, 344-348.*
- ✚ **Barron, J. A., Bukry, D. & Bischoff, J., 2004.** High resolution paleoceanography of the Guaymas Basin, Gulf of California, during the last 15,000 years. *Marine Micropaleontology, 50, 185-207.*
- ✚ **Barron, J. A., Bukry, D. & Cheshire, H., 2014.** Response of diatom and silicoflagellate assemblages in the central Gulf of California to regional climate change during the past 55 kyrs. *Marine Micropaleontology, 108, 28-40.*
- ✚ **Barry, R. & Chorley, R., 2003.** Atmosphere, Weather & Climate. 8° edition, Routledge, UK. 421 p.
- ✚ **Baumgartner, T. R., Ferreira-Bartrina, V., Schrader, H. & Soutar, A., 1985.** A 20 year varve record of siliceous phytoplankton variability in the central Gulf of California. *Marine Geology, 64:113-129.*
- ✚ **Baumgartner, T. R., Michaelsen, J., Thompson, L. G., Shen, G. T., Soutar, A. & Casey, R. E., 1989.** The recording of interannual climatic change by high resolution natural systems: tree rings, coral bands, glacial ice layers, and marine varves. *In: Peterson, D. H. (Ed). Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas. U. S. Geological Survey, Geophysics Monography, 55, 1-14.*
- ✚ **Benson, R. N., 1966.** Recent Radiolaria from the Gulf of California. Ph. D. Thesis, University of Minnesota. 577 p.
- ✚ **Benson, R. N., 1983.** Quaternary Radiolarians from the mouth of the Gulf of California. *In: Lewis, B. T. R. & Robinson, P. (Eds). Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 65. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., LXV: 491-523.*
- ✚ **Benson, R. N., 2003a.** Quaternary, Holocene, Gulf of California. Spumellaria. <http://www.radiolaria.org/index.htm?division=68&status=Spumellaria>.
- ✚ **Benson, R. N., 2003b.** Quaternary, Holocene, Gulf of California. Nassellaria. <http://www.radiolaria.org/index.htm?division=68&status=Nassellaria>.
- ✚ **Benson, R. N., 2005.** Holocene radiolaria from sediments from Gulf of California. 52 p. http://www.radiolaria.org/pdf/Gulf_of_California_Benson_2005.pdf
- ✚ **Bernal-Ramírez, R., 2003.** Paleoceanografía reciente de alta resolución de los mares de Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 121 p.
- ✚ **Bjørklund K. R. & Cortese, G., 2002.** Quaternary radiolarians. (www.radiolaria.org).
- ✚ **Bjørklund, K. R. & Kruglikova, S. B., 2003.** Polycistine radiolarians in surface sediments in the Arctic Ocean basins and marginal seas. *Marine Micropaleontology, 49, 231-273.*

- ✚ **Boltovskoy, D., 1998.** Classification and distribution of South Atlantic Recent Polycystine Radiolaria. *Paleontología Electrónica*, 1(2):116. http://www-odp.tamu.edu/paleo/1998_2/boltovskoy/issue2.htm.
- ✚ **Boltovskoy, D. & Jankilevich, S. S., 1985.** Radiolarian distribution in east equatorial Pacific plankton. *Oceanología, Acta* 8, 1, 101-123.
- ✚ **Boltovskoy, D. & Riedel, W. R., 1987.** Polycystine radiolaria of the California Current region: seasonal and geographic patterns. *Marine Micropaleontology*, 12, 65-104.
- ✚ **Bordoni, S., Ciesielski, P., Johnson, R., McNoidy B. & Stevens, B., 2004.** The low-level circulation of the North American Monsoon as revealed by QuikSCAT. *Geophysical Research Letters*, 31 (L10109).
- ✚ **Bray, N. A., 1988.** Water mass formation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 93, 9233-9240.
- ✚ **Bray, N. A. & Robles, J. M., 1991.** Physical oceanography of the Gulf of California. In: Dauphin, J. & Simonet, B. R. T. (Eds). The Gulf of Peninsular Province of the California, Physical oceanography, primary productivity, sedimentology, C. 25. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 47, 511-553.
- ✚ **Broeker, W. S., 1992.** Defining the boundaries of the late-glacial isotope episodes. *Quaternary Research*, 38, 1, 135– 138.
- ✚ **Byrne, J. V. & Emery, K. O., 1960.** Sediments of the Gulf of California. *Geological Society of America Bulletin*, 71, 7, 983-1010.
- ✚ **Calvert, S. E., 1966.** Origin of diatom-rich, varved sediments from Gulf of California. *Journal of Geology*, 76, 546-565.
- ✚ **Casey, R. E., 1972.** Neogene radiolarian biostratigraphy and paleotemperatures: southern California, the experimental Mohole, Antarctic core E14-8. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 12, 1-2, 115-130.
- ✚ **Casey R., Gust, L., Leavesley, A., Williams, D., Reynolds, R., Duis, T. & Spaw, M., 1979.** Ecological niches of radiolarians, planktonic foraminiferans and pteropods inferred from studies on living forms in the Gulf of Mexico and adjacent waters. *Transactions – Gulf Coast Association of Geological Societies*, 24, 216-223.
- ✚ **Chekley, D. M. & Barth, J. A., 2009.** Patterns and processes in the California Current System. *Progress in Oceanography*, 83, 49-64.
- ✚ **Cheshire, H., Thurow, J. & Nederbragt, A. J., 2005.** Late Quaternary climate change record from two long sediment cores from Guaymas Basin, Gulf of California. *Journal of Quaternary Science Reviews*, 20, 5, 457-469.
- ✚ **Cheshire, H. & Thurow, J., 2013.** Novel approaches to a unifying hypothesis for the Northeast Pacific's glacial mode of operation. *Paleoceanography*, 28, 1-15.
- ✚ **Clark, P., 2002.** The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change, *Nature*, 415, 863-869.

- ✚ **Clark, P., 2009.** The Last Glacial Maximum, *Science*, 325, 710-714.
- ✚ **Clark, P. U. & Mix, A. C., 2002.** Ice sheets and sea level of the last glacial maximum. *Quaternary Science Reviews*, 21, 1-7.
- ✚ **Correa-Metrio A., Cabrera, K. R. & Bush, M. B., 2010.** Quantifying ecological change through discriminant analysis: a paleoecological example from the Peruvian Amazon. *Journal of Vegetation Science*, 21, 695-704.
- ✚ **Cortese, G., Dolven, J. K. & Malmgren, B. A., 2005.** Late Pleistocene-Holocene radiolarian paleotemperatures in the Norwegian Sea based on artificial neural networks. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 224, 311-332.
- ✚ **Cronin, T., 1999.** Principles of Paleoclimatology, Columbia University Press. New York. 560 p.
- ✚ **Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gunderstrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjörnsdottir, A. E., Jouzel, J. & Bond, G., 1993.** Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- ✚ **De Wever, P., Dumitrică, P., Caulet, J. P., Nigrini, C. & Caridroit, M., 2001.** Radiolarians in the sedimentary record. Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 533 p.
- ✚ **Dean, W., Pride C. & Thunell, R., 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.
- ✚ **Dokken, T. & Jansen, E. 1999.** Rapid changes in the mechanism of ocean convection during the last glacial period, *Nature*, 401, 458-461.
- ✚ **Dorale, J., 2010.** Sea level highstand 81,000 years ago in Mallorca. *Science*, 327, 860-863
- ✚ **Douglas, R., González-Yajimovich, O., Ledesma-Vázquez, J., Staines-Urias, F., 2007.** Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Reviews*, 26, 115-129.
- ✚ **Fatela F. & Taborda, R., 2000.** Confidence limits of species in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45, 169-174.
- ✚ **Goddard, R. H., 2015.** NASA's Goddard Space Flight Center. Milankovitch cycles. National Aeronautic Space Administration. www.nasa.gov.
- ✚ **Goll, R. M., 1980.** Pliocene-Pleistocene radiolarians from the East Pacific Rise and the Galapagos spreading center. In: Rosendhal, B. R. (Ed). Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, 54, 425-453.
- ✚ **Gornitz, V., 2009.** Paleoclimate proxies, an Introduction. In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Springer. Netherlands. 716-720.
- ✚ **Haeckel, E., 1887.** Report on the Radiolaria collected by H.M. S. "Challenger" during the years 1873-1876. Report Scientific Results, Voyage H. M. S. *Challenger*. *Zoology*, 18, 1-1803.
- ✚ **Hay, W.W., 1974.** Studies in paleo-oceanography. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, 20, 218 p.

- # **Hay, B. J., Arthur, M.A., Dean, W. E., Neff, E. D. & Honjo, S., 1991.** Sediment deposition in the late Holocene abyssal Black Sea with climatic and chronological implications. *Deep Sea Research*, XXXVIII, S2, 1211-1235.
- # **Heinrich, H., 1988.** Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130.000 years. *Quaternary Research*, 29, 142-152.
- # **Hemming, S., 2009.** Heinrich Events. In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Springer. Netherlands. 409-414.
- # **Hollande, A. & Enjument, M., 1960.** Cytologie, évolution et systématique des Sphaeroïdés (Radiolaires). *Arch Mus Natl Hist Nat*, 7, 7, 1–134. http://palaeo-electronica.org/1998_2/boltovskoy/issue2.htm.
- # **Ishitani, Y. & Takahashi, K., 2007.** The vertical distribution of Radiolaria in the waters surrounding Japan. *Marine Micropaleontology*, 65, 113-136.
- # **Ishitani, Y., Febvre-Chevalier, C. & Febvre, J., 2016.** Radiolaria. In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester.
- # **Itaki, T., Komatsu, N. & Motoyama, I., 2007.** Orbital – and millennial – scale changes of radiolarian assemblages during the last 220 kyrs in the Japan Sea. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 247, 115-130.
- # **Jones, R. W., 2006.** Applied Paleontology. Cambridge University Press. Cambridge. 434 p.
- # **Jørgensen, E. 1905.** The protist plankton and the diatoms in bottom samples. In: Nurdgaard, O. (Ed). Hydrographical and Biological investigation in Norwegian Fiords. Bergens Museum, Bergen, 49-151.
- # **Juillet-Leclerc, A., Labeyrie, L., Reyes J. & Schrader, H., 1991.** Temperature variability in the Gulf of California during the last century: a record of the recent strong El Niño. *Geophysical Research Letters*, 18, 1889-1892.
- # **Kling, S.A., 1978.** Siliceous microfossils. In: Haq B. V. & Boersma, A. (Eds). Introduction to Marine Micropaleontology. Elsevier, New York, USA, 203-244.
- # **Kling, S.A., 1979.** Vertical distribution of polycystine radiolarians in the central North Pacific. *Marine Micropaleontology*, 4, 295-318.
- # **Kling, S. A. & Boltovskoy, D., 1995.** Radiolarian vertical distribution patterns across the southern California Current. *Deep-Sea Research I*, 42, 2, 191-231.
- # **Kowalewski, M., Ávila Serrano, G. E., Flessa, K. W. & Goodfriend, G. A., 2000.** Dead river's former productivity: two trillion shells at the mouth of the Colorado River, *Geology*, 28, 1059-1062.
- # **Lavin, M. F., Godines, V. M. & Alvarez, L. G., 1998.** Inverse-estuarine features of the Upper Gulf of California, *Estuarine Coastal Shelf Science*, 47, 769-795.
- # **Lavin M. F. & Marinone, S. G., 2003.** An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In: Velasco-Fuentes O. U. (Ed). *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 173-204.

- ✚ **Lavin M. F., Castro, R., Beier, E., Godínez, V. M., Amador, A. & Guest, P., 2009.** SST, thermohaline structure, and circulation in the Southern Gulf of California in June 2004 during the North American Monsoon Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 114, C02025, 22 p.
- ✚ **Lazarus, D. 2005.** A brief review of radiolarian research. *Paläontologische Zeitschrift*, 79, 1, 183–200.
- ✚ **LeGrande, A. N., 2009.** The 8,200-Year BP Event. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer. Netherlands. 938-943.
- ✚ **Lisitzin, A. P., 1971.** Recent sedimentation rates in the oceans. *Oceanología*, 11, 6, 957-968.
- ✚ **Liu, Z. 2005.** Atmospheric CO₂ forcing on glacial thermohaline circulation and climate. *Geophysical Research Letters*, 32, L02706.
- ✚ **Lluch-Cota, S. E., 1999.** Coastal upwelling in the eastern Gulf of California, *Oceanología. Acta*, 23, 731-740.
- ✚ **Loutre, M. F., 2009a.** Eccentricity. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer. Netherlands. 301-302.
- ✚ **Loutre, M. F., 2009b.** Obliquity. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer. Netherlands. 625-626.
- ✚ **Loutre, M. F., 2009c.** Precession, climatic. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer. Netherlands. 825-826.
- ✚ **Marinone, S. G., 2003.** A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 108, C10, 3325.
- ✚ **Marshall, F. J., 2009.** Glaciations, Quaternary. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer. Netherlands. 389-394
- ✚ **Maslin, M., 2009.** Quaternary climate transition and cycles. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer. Netherlands. 841-856.
- ✚ **Matsuoka, A. 2007.** Living radiolarian feeding mechanisms: new light on past marine ecosystems. *Journal of Geosciences*, 100, 273-279.
- ✚ **Mayewski, P. A., Rohling, E. E., Stager, J. C., Karlén, W., Maascha, K.A., Meeker, L. D., Meyerson, E. A., Gasse, F., van Kreveling, S., Holmgren, K., Lee-Thorp, J., Rosqvist, G., Racki, F., Staubwasser, M., Schneider, R. R. & Steig, E. J., 2004.** Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62, 2434-255.
- ✚ **McAyeal, D. R., 1993.** Binge/purge oscillations of the Laurentide ice-sheet as a cause of the North Atlantic Heinrich events, *Paleoceanography*, 9, 775-784.
- ✚ **Milankovitch, M. M., 1949.** Canon of Insolation and the Ice Age Problem. *Royal Serbian Sciences*, 33, Belgrade, 633 p.
- ✚ **Mogensen, I. A., 2009.** Dansgaard-Oeschger Cycles. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer. Netherlands. 229-233.
- ✚ **Molina-Cruz, A., 1977.** Radiolarian assemblages and their relationship to the oceanography of the subtropical southeastern Pacific. *Marine Micropaleontology*, 2, 315-352.

- ✚ **Molina-Cruz, A., 1982.** Radiolarians in the Gulf of California. *In: Curray, J. R., D. G. Moore et al.* (Eds). Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project 64. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., LXIV, Parte 2, 983-1002.
- ✚ **Molina-Cruz, A., 1984.** Radiolaria as indicators of upwelling processes: The Peruvian connection. *Marine Micropaleontology*, 9, 53-75.
- ✚ **Molina-Cruz, A., 1986a.** Evolución oceanográfica de la boca del Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 13, 2, 95-120.
- ✚ **Molina-Cruz, A., 1986b.** Radiolarians in the Gulf of California. Deep Sea Drilling Project Leg 64. U.S. Government Printing Office, Washington D.C., LXIV, 983-1002.
- ✚ **Molina-Cruz, A. 1988.** Late Quaternary Oceanography of the mouth of the Gulf of California: The Polycystine connection. *Paleoceanography*, 3, 4, 447-459.
- ✚ **Molina-Cruz, A., 1997.** Catálogo taxonómico y biogeográfico de los radiolarios (orden Polycystina) de la región central y sur del Golfo de California. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. B041. México, D.F.
- ✚ **Molina-Cruz, A., Welling, L. A. & Caudillo-Bohorquez, A., 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 & Bjørklund, K. R., 2009.** Radiolaria. *In: Gornitz, V. (Ed).* Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Springer. Netherlands. 869-871.
- ✚ **Nigrini, C. & Caulet, J. P., 1992.** Late Neogene radiolarian assemblages characteristic of Indo-Pacific areas of upwelling. *Micropaleontology*, 38, 2, 139-164.
- ✚ **Nigrini, C., 1970.** Radiolarian assemblages in the North Pacific and their application to a study of Quaternary sediments in core V20-130. *In: Hays J. D. (Ed).* Geological Society of America. *Memoir*, 126, 139-183.
- ✚ **Núñez-Useche, F., Barragán, R. & Canet, C., 2014.** Sedimentación carbonatada, silícica y otros sedimentos químicos en los ambientes marinos profundos. *In: Low. A. M. & E. Peters (Eds.).* La frontera final: el océano profundo. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 322 p.
- ✚ **Paillard, D., 2009.** Last Glacial Termination. *In: Gornitz, V. (Ed).* Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Springer. Netherlands. 495-498.
- ✚ **Pérez-Cruz, L., 2000.** Estudio paleoceanográfico y sedimentológico Holocénico de la Bahía de La Paz, Golfo de California. Tesis de Doctorado (Oceanografía Geológica). UNAM, México, D.F., 167 p.
- ✚ **Pérez-Cruz, L., 2006.** Climate and ocean variability during middle and late Holocene recorded in laminated sediments from Alfonso Basin, Gulf of California, México. *Quaternary Research*, 65, 401-410.

- ✚ **Pérez-Cruz, L., 2013.** Hydrological changes and paleoproductivity in the Gulf of California during middle and late Holocene and their relationship with ITCZ and North American Monsoon variability. *Quaternary Research*, 79, 138-151.
- ✚ **Pérez-Cruz, L. & Villagrán-de-la-Cruz, G. E. 2008.** Climate and ocean variability through the past 2000 yr from Carmen Basin, Gulf of California. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, Abstract PP31 A-06, 89,23.
- ✚ **Pérez-Cruz, L., Machain-Castillo, M. L., Villagrán-de-la-Cruz, G. E., Gómez-Lizárraga, L. & Hernández-Contreras, R., 2008.** Paleoceanographic study of the Late Holocene in Carmen and La Paz Basins, Gulf of California. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 89, 53, Fall Meeting Supplement. Abstract PP23C-1491.
- ✚ **Pérez-Cruz, L., Villagrán-de-la-Cruz, G. E. & Gómez-Lizárraga, L., 2009.** Radiolarios en los sedimentos marinos del Cuaternario tardío del Golfo de California: Paleoclimatología y Paleoclimatología. *En: Monografías del Instituto de Geofísica, Gogichaisvilli, A. (Ed). UNAM*, 15:72pp.
- ✚ **Peteet, D. M., 2009.** Younger Dryas. *In: Gornitz, V. (Ed). Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments. Springer. Netherlands. 841-856.*
- ✚ **Petrushevskaya, M. G., 1971.** Radiolaria in the plankton and recent sediments from the Indian Ocean and Anthartic. *In: Funnell B. M. & Riedel, W. R. (Eds). The micropaleontology of oceans. Cambridge University Press, Cambridge: 319-329.*
- ✚ **Pichevin L., Ganeshram, R. S., Reynolds, B. C., Prah, F., Pedersen, T. F., Thunell, R. & McClymont, E. L., 2012.** Silicic acid biogeochemistry in the gulf of California: insights from sedimentary Si isotopes. *Paleoceanography*, 27, PA 2201.
- ✚ **Pike, J. & Kemp, A. E. S., 1997.** Early Holocene decadal-scale ocean variability recorded in Gulf of California laminated sediments. *Paleoceanography*, 12, 2, 227-238.
- ✚ **Pisias, N. G., 1986.** Vertical water mass circulation and the distribution of radiolaria in surface sediments of the gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 10, 189-205.
- ✚ **Pokorny, J. 1963.** The development of mogotes in the southern part of the Cracow Upland. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Geól et geogr.*, 11, 3, 169-175.
- ✚ **Pride, C., Thunell, R., Sigman, D., Keigwin, L., Altabet, M. & Tappa, E., 1999.** Nitrogen isotopic variations in the Gulf of California since the last deglaciation: Response to global climatic change. *Paleoceanography*, 14, 397-409.
- ✚ **Rahmstorf, S., 2003.** Timing of abrupt climate change, *Geophysical Research Letters*, 30, 10, 17-29.
- ✚ **Renz, G. W., 1974.** Radiolaria from Leg 27 of the Deep Sea Drilling Project. *In: Veevers, J.J. & Heirtzler, J. R. (Eds). Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. U.S. Government Printing Office, 27, 769-841.*

- ✚ **Renz, G. W., 1976.** The distribution and ecology of Radiolaria in the Central Pacific: plankton and surface sediments. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*, University of California Press, 22, 1-267.
- ✚ **Riedel, W. R. & Sanfilippo, A., 1971.** Cenozoic Radiolaria from the western tropical Pacific, Leg 7. *In: Winterer, E. L., Riedel, W. R. (Eds).* Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. U.S. Government Printing Office, 7, 1529-1672.
- ✚ **Roden, G. I. & Groves, G. W., 1959.** Recent oceanographic investigations in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*, 18, 1, 10-35.
- ✚ **Sachs, H. M., 1973.** Quantitative radiolarian-based paleoceanography in Late Pleistocene subarctic Pacific sediments. Thesis. Brown University, Providence. R.I.
- ✚ **Sancetta, C., 1995.** Diatoms in the Gulf of California: Seasonal flux patterns and the sedimentary record for the last 15,000 years. *Paleoceanography*, 10, 67-84.
- ✚ **Schmittner, A., 2002.** Instability of Glacial Climate in a Model of the Ocean-Atmosphere. *Cryosphere System Science*, 295, 1489-1493.
- ✚ **Schramm, C., 1985.** Implications of radiolarian assemblages for the Late Quaternary paleoceanography of the Eastern Equatorial Pacific. *Quaternary Research*, 24, 204-218.
- ✚ **Suzuki, N., Ogane, K., Aita, Y., Kato, M., Sakai, S., Kurihara, T., Matsuoka, A., Ohtsuka, S., Go, A., Nakaguchi, K., Yamaguchi, S., Takahashi, T. & Tuji, A. 2009.** Distribution patterns of the radiolarian nuclei and symbionts using DAPI-fluorescence. *Bull Natl Mus Nat Sci*, 35, 169–182.
- ✚ **Suzuki, N. & Aita, Y., 2011.** Radiolaria: achievements and unresolved issues: taxonomy and cytology. *Plankton Benthos Research*, 6, 2, 69–91.
- ✚ **Suzuki, N., Ogane, K. & Aita, Y., 2012.** Radiolaria. *In: Tanimura, Y. & A. Tuji (Eds.)* Microfossils: their microscopic world explored. A book series from the National Museum of Nature and Science, 13. Tokai University Press, Tokyo, 76-91.
- ✚ **Suzuki, N. & Not, F. 2015.** Biology and ecology of Radiolaria. *In: Marine Protists*, S. Ohtsuka et al. (Eds). Springer Japan, 179-222.
- ✚ **Takahashi, K., 1987.** Radiolarian flux and seasonality: climatic and El Niño response in the subarctic Pacific, 1982-1984. *Global Biogeochemical Cycles*, 1, 3, 213-231.
- ✚ **Takahashi, K., 1991.** Radiolaria: flux, ecology, and taxonomy in the Pacific and Atlantic Ocean Biocenosis, Woods Hole Oceanographic Institution (Massachusetts). Series, 3:1-303.
- ✚ **Takahashi, K., 1997.** Siliceous Microplankton Fluxes in the Eastern Subarctic Pacific, 1982–1986. *Journal of Oceanography*, 53, 455-466.
- ✚ **Tanaka S. & Takahashi, K., 2008.** Detailed vertical distribution of radiolarian assemblage (0-3000 m, fifteen layers) in the central subarctic Pacific, June 2006. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Ser. D, Earth & Planet. Sci.*, 32, 1, 49-72.
- ✚ **Teller, J. T., Leverington, D. W. & Mann, J. D., 2002.** Freshwater outbursts to the ocean from glacial Lake Agassiz and their role in climatic change during the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews*, 21, 879-887.

- ✚ **Thunell, R. C. 1998.** Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep Sea Research, Part I. Oceanographic Research Papers*, 45, 12, 2059-2083.
- ✚ **Thunell, R. C., Tappa, E. & Müller-Karger, F., 1994.** Varve formation in the gulf of California: insights from time series sediment trap sampling and remote sensing. *Quaternary Science Reviews*, 12, 451-464.
- ✚ **Thunell, R. C., Tappa, E. & Müller-Karger, F., 1996.** Plankton response to physical forcing in the Gulf of California, *Journal of Plankton Research*, 18, 2017-2026.
- ✚ **Torres-Orozco, E., 1993.** Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, Baja California, México, 80 p.
- ✚ **Tucker, M.E. & Wright, V. P., 1990.** Carbonate Sedimentology: Oxford, Blackwell Scientific Publications, 482 p.
- ✚ **Uriarte, C. A., 2010.** Historia del clima de la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 306 p.
- ✚ **Van Andel, T. H. 1964.** Recent marine sediments of the Gulf of California. *In: Van Andel, Tj. H. & Shor, G. G. (Eds). Marine Geology of the Gulf of California. American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 3, 216-310.
- ✚ **Van de Paverd, P. J., 1995.** Recent Polycystine Radiolaria from the Snellius-II Expedition. Ph.D. thesis, Center for Marine Earth Science and Paleontological Museum in Oslo (Norway), 351 p.
- ✚ **Villagrán-de-la-Cruz, G. E., Pérez-Cruz, L., Vázquez-Gutiérrez, F. & Urrutia-Fucugauchi, J., 2007.** Climate and ocean variability recorded in laminated sediments from Carmen Basin, Gulf of California. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*. Acapulco, México. 88, 23.
- ✚ **Weinheimer A. L. & Cayan, D. R., 1997.** Radiolarian assemblages from Santa Barbara Basin sediments: Recent interdecadal variability. *Paleoceanography*, 12, 5, 658-670.
- ✚ **Welling L. A., Pisias, N. G., Johnson, E. S. & White, J. R., 1996.** Distribution of polycystine radiolarian and their relation to the physical environment during the 1992 El Niño and following cold event. *Deep-Sea Research II*, 43, 1413-1434.
- ✚ **Yamashita, H., Takahashi, K. & Fujitani, N., 2002.** Zonal and vertical distribution of radiolarians in the western and central Equatorial Pacific in January 1999. *Deep-Sea Research II*, 49, 2823–2862.
- ✚ **Zhang, Q., Chen, M., Zhang, L., Hu, W. & Xiang, R., 2014.** Variations in the radiolarian assemblages in the Bering Sea since Pliocene and their implications for paleoceanography. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 410, 337-350.

ANEXO I

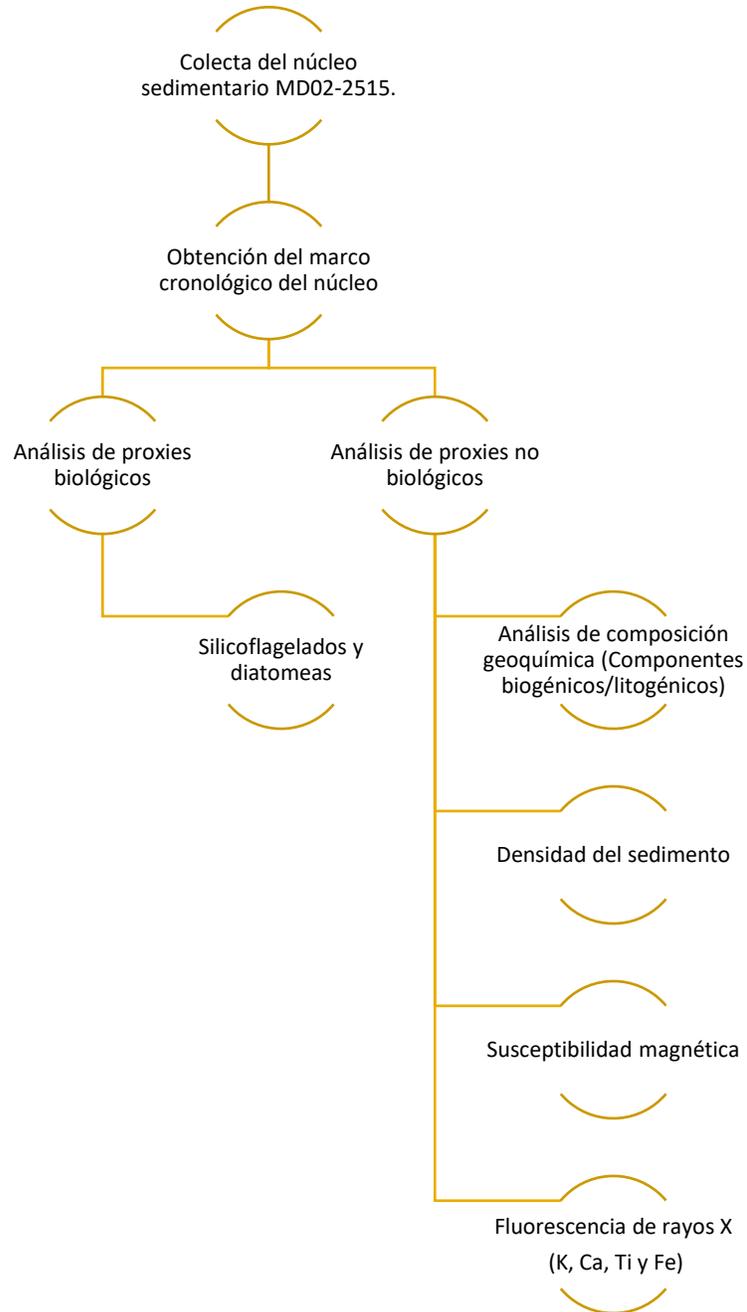
Datación por radiocarbono ^{14}C y edades calibradas para el núcleo MD02-2515 (Pichevin *et al.*, 2012).

Material	MD02-2515 (m dpm*)	MD02-2517/15 (m dpm*)	Edad AMS ^{14}C	Error (1σ , años)	Edad Calendario (Años AP)
Carbono orgánico	1.92	13.23	6571	45	6840
Carbono orgánico	4.26	15.57	7990	37	8256
Carbono orgánico	6.31	17.62	9438	40	10077
Carbono orgánico	8.46	19.77	10517	42	11293
Carbono orgánico	11.19	22.51	12589	97	13854
Carbono orgánico	14.45	25.76	14767	62	16894
Carbono orgánico	20.06	31.38	16306	164	18932
Carbono orgánico	25.2	36.52	18397	60	21007
Foraminíferos	25.2	36.52	18383	60	20988
Carbono orgánico	27.53	38.84	19471	67	22391
Carbono orgánico	29.74	41.06	20972	78	24365
Carbono orgánico	30.71	42.03	22219	88	25553
Carbono orgánico	30.99	42.31	21994	86	25303
Foraminíferos	36.66	47.97	25254	121	28866
Carbono orgánico	36.66	47.97	25943	133	29602
Carbono orgánico	39.01	50.33	27425	290	31165
Carbono orgánico	43.18	54.51	28556	335	32339
Carbono orgánico	43.46	54.78	29400	372	33205
Carbono orgánico	46.74	58.05	31519	503	35669
Carbono orgánico	47.21	58.52	34018	662	37784
Carbono orgánico	47.93	59.24	35736	820	39419
Carbono orgánico	49.27	60.58	37484	1023	41045
Carbono orgánico	49.82	61.12	38371	1140	41855
Carbono orgánico	50.17	61.49	40140	1422	43442
Carbono orgánico	51.38	62.69	43584	2184	46418
Carbono orgánico	55.06	66.37	43940	>3000	49000
Carbono orgánico	60.45	71.76	43940	>3000	52500
Carbono orgánico	61.91	73.22	43905	>3000	54000

M dpm* → Metros por debajo del piso marino.

ANEXO II

Diagrama de flujo que muestra los procedimientos realizados previos a este trabajo.



ANEXO III

Listado faunístico de las especies de radiolarios encontradas en el núcleo sedimentario MD02-2515 en la Cuenca Guaymas, Golfo de California.

Especie/ Taxón	Referencias
Orden Spumellaria Ehrenberg, 1838, emend. Riedel, 1967.	
Familia SPHAEROZOIDAE Haeckel 1881, emend. Campbell 1954.	
<i>Sphaerozoum punctatum</i> Müller, 1858	(1) Lám. 19, figs. 12-13.
<i>Sphaerozoum crassus</i> Goll 1980	(8) Lám. 1, figs. 3-5.
Familia ACTINOMMIDAE Haeckel, 1862, emend. Sanfilippo & Riedel 1980.	
<i>Acanthosphaera actinota</i> Haeckel 1862	(6) Lám. 1, fig. 10.
<i>Actinomma boreale</i> Cleve 1899	(1) Lám. 5, figs. 7-9.
<i>Actinomma delicatulum</i> Dogiel & Reschetnjak 1952	(1) Lám. 5, figs. 3-4.
<i>Actinomma leptoderma</i> Jørgensen 1900	(1) Lám. 5, fig. 6.
<i>Actinomma leptoderma longispina</i> Cortese & Bjørklund 1998	(2) Lám. VS-R 136b.
<i>Actinomma medianum</i> Nigrini 1967	(1) Lám. 2, fig. 14; Lám. 3, fig. 1.
<i>Actinomma sol</i> Cleve 1901	(1) Lám. 2, figs. 12-13.
<i>Anomalacantha dentata</i> Mast 1910	(1) Lám. 5, figs. 10-11.
<i>Cenosphaera</i> sp. det Benson 2003	(1) Lám. 2, fig. 11.
<i>Cladococcus abietinus</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 6, figs. 2-3.
<i>Druppatractus irregularis</i> Popofsky 1912	(1) Lám. 7, figs. 7-11.
<i>Druppatractus variabilis</i> Dumitrică, 1972	(1) Lám. 7, figs. 2-6.
<i>Hexacontium arachnoidale</i> Hollande & Enjument 1960	(1) Lám. 14, figs. 6-7.
<i>Hexacontium laevigatum</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 4, figs. 4-5.
<i>Hexacontium melpomene</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 3, figs. 8-11.
<i>Hexacontium</i> sp. cf. <i>H. giganteum</i> Benson 2003	(1) Lám. 3, figs. 13-14; Lám. 4, figs. 1-3.
<i>Spongosphaera streptacantha</i> Haeckel 1861	(1) Lám. 6, fig. 4; Lám. 7, fig. 1.
Familia COCCODISCIDAE Haeckel 1862, emend. Sanfilippo & Riedel 1980	
<i>Didymocytis tetrathalamus</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 8, figs 8-13.
Familia PHACODISCIDAE Haeckel 1887	
<i>Circodiscus microporus</i> Stöhr 1880	(1) Lám. 9, figs. 7-8; Lám. 10, fig. 1.
Familia SPONGODISCIDAE Haeckel, 1862, emend. Riedel 1967	
<i>Amphirhopalum ypsilon</i> Haeckel, 1887	(1) Lám. 11, figs. 5-7.
<i>Dictyocoryne profunda</i> Ehrenberg 1860	(1) Lám. 12, figs. 4-6.
<i>Dictyocoryne truncatum</i> Ehrenberg 1861	(1) Lám. 15, fig. 1.
<i>Euchitonia elegans/furcata</i> grupo Boltovskoy 1998	(1) Lám. 15, figs. 1-2.
<i>Euchitonia</i> sp. cf. <i>E. furcata</i> Benson 1966	(1) Lám. 13, fig. 4.
<i>Euchitonia triangulum</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 12, fig. 7; Lám. 13, figs. 1-3.

<i>Hymeniastrum euclidis</i> Haeckel 1887	(1) Lám 12. figs. 1-3.
<i>Spongocore puella</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 8, figs. 1-3.
<i>Spongodiscus biconcavus</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 11, figs. 1, 14.
<i>Spongodiscus resurgens</i> Ehrenberg 1854	(3) Fig. 15. 64
<i>Spongopyle osculosa</i> Dreyer 1889	(1) Lám. 11, figs. 2-3.
<i>Spongotrochus glacialis</i> Popofsky 1908	(1) Lám. 11, fig. 4.
<i>Stylochlamydidium venustum</i> Bailey 1856	(1) Lám. 10, figs. 2, 4, 7.
<i>Stylodictya tenuispina</i> Jørgensen 1905	(1) Lám. 10, figs. 3, 5.
<i>Stylodictya validispina</i> Jørgensen 1905	(1) Lám. 9, figs. 5-6.
Familia LITHELIIDAE Haeckel 1862	
<i>Larcopyle bütschlii</i> Dreyer 1889	(1) Lám. 19, figs. 1, 2, 3, 5.
<i>Larcospira minor</i> Jørgensen 1900	(1) Lám. 17, figs. 9-10; Lám. 18, figs. 1-4.
Familia PYLONIIDAE Haeckel 1881	
<i>Hexapyle dodecantha</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 18 figs. 14-16; Lám. 19 fig. 4, 20.
<i>Phorticium pylonium</i> grupo Haeckel 1887	(1) Lám. 16 figs. 5-9; Lám. 17, figs. 1-3.
<i>Tetrapyle octacantha</i> grupo Müller 1858	(1) Lám. 15 figs. 3-10; Lám 16, figs. 1, 18.
Orden Nassellaria Ehrenberg, 1875, emend. De Wever et al., 2001.	
Familia SPYRIDAE (=TRISSOCYCLIDAE) Ehrenberg 1847, emend. Petrushevskaya 1971	
<i>Acanthodesmia vinculata</i> Müller 1858	(1) Lám. 21, figs. 6-8.
<i>Ceratospyris</i> sp. cf. <i>C. borealis</i> Benson 1966	(1) Lám. 21, figs. 9-10.
<i>Clathrocircus stapedius</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 21, figs. 11-13; Lám. 22, figs. 1-2.
<i>Lophospyris pentagona pentagona</i> Ehrenberg emend. Goll 1969	(1) Lám 22, figs. 15-16.
<i>Lophospyris pentagona quadriformis</i> Haeckel emend. Goll 1976	(1) Lám. 22, figs. 19-21.
<i>Phormospyris</i> sp. cf. <i>P. ophirensis</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 22, figs. 11-14.
<i>Phormospyris stabilis capoi</i> Goll 1976	(1) Lám. 23, figs. 3-5.
<i>Phormospyris stabilis scaphipes</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 22, figs. 7-10.
<i>Phormospyris stabilis stabilis</i> Goll 1976	(1) Lám. 23, figs. 6-8.
<i>Tholospyris baconiana baconiana</i> Goll 1972	(1) Lám. 23, figs. 10-12.
<i>Tholospyris procera</i> Goll, 1969	(1) Lám. 20, figs. 8-12.
<i>Tholospyris rhombus</i> Goll 1972	(1) Lám. 19, figs. 6-7.
<i>Zygocircus productus capulosus</i> Goll 1979	(1) Lám 19, figs. 14-15.
Familia PLAGONIIDAE Haeckel 1887, emend. Riedel 1967	
<i>Amphiplecta acrostoma</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 32, fig. 2.
<i>Arachnocorallium calvata</i> Petrushevskaya 1971	(1) Lám 23, fig. 7; Lám. 24, figs. 1-2.
<i>Arachnocorys umbellifera</i> Haeckel 1862	(1) Lám. 24, figs. 20-21.
<i>Campylacantha cladophora</i> Jørgensen 1905	(5) Lám. 12, fig. 47.
<i>Cladoscenum ancoratum</i> Haeckel 1887	(6) Lám. 4, fig. 9.
<i>Cladoscenum</i> sp. cf. <i>C. tricolpium</i> Benson 1966	(1) Lám. 25, figs. 10-11-
<i>Clathrocorys murrayi</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 25, figs. 13-15.
<i>Lampromitra quadricuspis</i> Takahashi 1991	(1) Lám. 30, fig. 11; Lám. 31, fig. 1.

<i>Lithomelissa laticeps</i> Jørgensen 1905	(1) Lám 24, figs. 14-15.
<i>Lithomelissa pentacantha</i> Popofsky 1913	(1) Lám. 24, figs. 6-9.
<i>Lithomelissa setosa</i> Jørgensen 1900	(2) Lám. VS-R 192.
<i>Lithomelissa thoracites</i> Haeckel 1862	(1) Lám. 24, figs. 10-12.
<i>Lophophaena hispida</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 24, fig. 19.
<i>Lophophaena nadezdae</i> Petrushevskaya 1971	(1) Lám 24. figs. 16-17.
<i>Peridium longispinum</i> Jørgensen 1900	(4) Lám. 12, fig. 5.
<i>Peridium</i> sp. cf. <i>P. longispinum</i> Benson 1996	(1) Lám. 24, figs. 4-5.
<i>Peromelissa phalacra</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 24, fig. 13.
<i>Phormacantha hystrix</i> Jørgensen 1900	(1) Lám. 23, figs. 24-26.
<i>Plectacantha</i> sp. Benson, 1966.	(1) Lám. 23, figs. 21-23.
<i>Pseudocubus obeliscus</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 22, figs. 3-6.
<i>Trisulcus triacanthus</i> Popofsky 1913	(3) Fig. 15.106
Familia THEOPERIDAE Haeckel 1881, emend. Riedel 1967	
<i>Artopiliium undulatum</i> Popofsky 1913	(1) Lám. 34, figs. 1-2.
<i>Calocyclus monumentum</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 31, figs. 2-3.
<i>Coracalyptra cervus</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 30, figs. 3-5.
<i>Coracalyptra kruegeri</i> Popofsky 1913	(3) Fig. 15.136.
<i>Cornutella profunda</i> Ehrenberg 1854	(1) Lám. 29, figs. 7-8.
<i>Cycladophora davisiana</i> Ehrenberg 1862	(1) Lám. 29, figs. 4-16.
<i>Dictyophimus histicosus</i> Jørgensen 1905	(1) Lám. 31, fig. 6.
<i>Dictyophimus</i> sp. cf. <i>D. tripus</i> Benson 1966	(1) Lám. 25, figs. 2, 3, 8c.
<i>Eucyrtidium acuminatum</i> Ehrenberg 1844	(7) Lám. 4, fig. 1.
<i>Eucyrtidium annulatum</i> Popofsky 1913	(1) Lám. 34, figs. 13-14.
<i>Eucyrtidium anomalum</i> Haeckel 1861	(1) Lám. 34, figs. 4-5.
<i>Eucyrtidium erythromystax</i> Nigrini & Caulet 1992	(1) Lám. 34, figs. 10-12.
<i>Eucyrtidium hexagonatum</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 34, figs. 6-9.
<i>Eucyrtidium hexastichum</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 34, figs. 15-16.
<i>Lipmanella bombus</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 28, fig. 11.
<i>Lipmanella dictyoceras</i> Haeckel 1861	(1) Lám. 28, figs. 8-10.
<i>Litharachnium tentorium</i> Haeckel 1862	(1) Lám. 29, figs. 5-6.
<i>Lithostrobos hexagonalis</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 5, fig. 13.
<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i> Bailey 1856	(1) Lám. 25, figs. 4-6.
<i>Pterocanium auritum</i> Nigrini & Caulet 1992	(1) Lám. 6, figs. 5-6.
<i>Pterocanium elegans</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 7, figs. 1-2.
<i>Pterocanium praetextum eucolpum</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 27, figs. 3-5.
<i>Pterocanium trilobum</i> Haeckel 1861	(1) Lám. 27, fig. 4; Lám. 28, figs. 2-3.
<i>Sethoconus anthocyrtis</i> Haeckel 1887	(3) Fig. 15.150.
<i>Theocorys veneris</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 33, figs. 12-13.
<i>Theopiliium tricostatum</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 30, figs. 1-2.

Familia CARPOCANIIDAE Haeckel 1881 emend. Riedel 1967b	
<i>Carpocanarium papillosum</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 29, fig. 13.
<i>Carpocanistrum</i> spp. Nigrini 1970	(1) Lám. 29, figs. 11-12.
Familia PTEROCORYTHIDAE Haeckel 1881 emend. Riedel 1967b, emend. Moore 1972	
<i>Anthocyrtidium ophirensense</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 32, figs. 6-9.
<i>Anthocyrtidium zanguebaricum</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 32, figs. 3-5.
<i>Lamprocyclus maritalis</i> grupo Haeckel 1887	(1) Lám. 32, figs. 10-12.
<i>Lamprocyrtis nigrinae</i> Caulet 1971	(1) Lám. 33, fig. 2-3.
<i>Pterocorys clausus</i> Popofsky 1913	(1) Lám. 33, fig. 4.
<i>Pterocorys minythorax</i> Nigrini 1968	(1) Lám. 33, fig. 5.
<i>Stichopilium bicorne</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 29, figs. 1-2.
Familia ARTOSTROBIIDAE Riedel 1967a, emend. Foreman 1973	
<i>Botryostrobus auritus-australis</i> Ehrenberg grupo Nigrini 1977	(1) Lám. 35, figs. 12-13.
<i>Phormostichoartus corbula</i> Harting 1863	(1) Lám. 35, figs. 5-8.
<i>Siphocampe lineata</i> Ehrenberg 1838	(1) Lám. 35, figs. 10-11.
<i>Siphocampe</i> sp. Benson 1966	(1) Lám. 35, fig. 9.
<i>Spirocyrtis scalaris</i> Haeckel 1887	(1) Lám. 35, figs. 15-17.
<i>Stichocorys seriata</i> Jørgensen 1905	(1) Lám. 35, fig. 14.
Familia CANNOBOTRYIDAE Haeckel 1881, emend. Riedel 1967	
<i>Acrobotrys cribosa</i> Popofsky 1913	(1) Lám. 23, figs. 15, 22.
<i>Acrobotrys teralans</i> Renz 1976	(1) Lám. 23, figs. 13-14.
<i>Botryocyrtis quinaria</i> Ehrenberg 1872	(1) Lám. 23, fig. 17.

Nota: Los números en paréntesis indican los autores de las referencias consultadas: 1) Benson, 1966; 2) Benson, 2003; 3) Boltovskoy, 1998; 4) Boltovskoy & Jankilevich, 1985; 5) Jørgensen, 1905; 6) Abelmann, 1992; 7) Nigrini, 1970, 8) Goll, 1980, enseguida se mencionan las láminas obtenidas por los autores en donde se muestra dicha especie.

ANEXO IV

Factor loadings para los 3 factores a lo largo de la secuencia sedimentaria MD02-2515.

Edad	Factor 1	Factor 2	Factor 3		Edad	Factor 1	Factor 2	Factor 3
6897	0.37256	-0.08668	0.64277		17278	0.53412	0.58813	0.39662
7162	0.79451	0.11894	0.16242		17459	0.66782	0.61118	0.27068
7413	0.77961	0.00822	0.16545		17819	0.22714	0.88255	0.05516
7471	0.78104	-0.01252	-0.01639		17899	0.53270	0.67618	0.41710
7804	0.47953	-0.07497	0.50168		18182	0.57259	0.63514	-0.07506
8107	0.34850	-0.09675	0.65821		18258	0.58062	0.37618	0.43306
8480	0.62268	-0.08135	0.17592		18271	0.56094	0.33247	0.68076
8923	0.62163	0.03633	0.45640		18726	0.25182	0.31204	0.64286
9366	0.65298	-0.04654	0.18516		18908	0.38477	0.26220	0.73068
9810	0.20263	-0.14145	0.33302		19107	0.32858	0.44855	0.66544
9933	0.81301	0.06005	0.24800		19309	0.48868	0.25957	0.65212
10125	0.88919	0.15832	0.09059		19511	0.25738	0.76175	0.34607
10472	-0.01980	-0.14781	0.43334		19713	-0.06015	0.40824	0.66556
10748	0.74027	0.03663	-0.22330		19914	0.25223	0.18419	0.69126
10856	0.47547	-0.17488	-0.29189		20116	0.24428	0.51472	0.64723
11038	0.29160	-0.09381	0.32477		20318	-0.07691	0.86873	0.28268
11670	0.83205	0.09638	0.00433		20520	0.31357	0.34246	0.32934
11830	0.71920	0.09160	-0.05701		20721	0.31254	0.11293	0.76674
12275	0.32865	-0.01351	0.41992		20923	0.45347	0.35072	0.38667
12743	0.30599	-0.07153	0.38777		21184	0.22192	0.15820	0.67018
13058	0.75481	-0.01870	0.24315		21482	0.43384	0.42129	0.45318
13220	0.19570	0.08393	0.61159		21780	0.42904	0.30448	0.39937
13503	0.85089	0.20293	0.23953		21965	0.11931	0.19405	0.84178
14155	0.07127	-0.00432	0.73095		22078	0.17422	0.20806	0.87193
14397	0.86726	0.14370	0.36396		22092	0.10440	0.49004	0.77288
14571	0.61568	0.07413	0.50632		22815	-0.14259	0.19921	0.62758
15089	-0.04590	0.18357	0.89112		23261	0.13444	0.34555	0.56571
15136	0.53859	0.27665	0.53848		23730	0.58046	0.29602	0.67482
16014	0.40269	0.82786	0.26072		24155	0.56433	0.20189	0.55184
16249	0.30353	0.69281	0.20650		24262	0.75425	0.29624	0.29075
16420	0.28456	0.86375	0.15618		24431	0.58237	0.39434	0.48949
16497	0.02840	0.92380	-0.03134		25115	0.30681	0.45239	0.64884
16745	0.14528	0.90053	0.14190		25362	-0.11998	0.45886	0.54267
16914	0.40811	0.80917	0.05820		26001	0.28286	0.27412	0.67671
17018	0.40258	0.83958	0.16369		26322	0.54913	0.45065	0.52007

Edad	Factor 1	Factor 2	Factor 3		Edad	Factor 1	Factor 2	Factor 3
26643	0.02762	0.55873	0.10606		38107	0.18547	0.63272	0.48695
26964	0.31227	0.61467	0.45678		39197	0.78012	0.43310	0.23964
27607	0.08699	0.67638	0.40187		41056	0.74122	0.36031	0.22705
27766	0.29547	0.50989	0.75231		41580	0.68269	0.32874	0.21982
28236	0.37487	0.65773	0.09843		41903	0.66342	0.55008	0.24399
28706	0.41317	0.58021	0.30474		42233	0.72577	0.56808	0.17945
28984	0.76562	0.17526	0.38691		42426	0.35035	0.83927	0.12670
29200	0.52865	0.41956	0.26792		43401	0.75211	0.32611	0.41248
29521	0.49905	0.46757	0.48136		43425	0.75331	0.08902	0.23244
29895	0.44077	0.65343	0.37626		43543	0.60378	0.12408	0.43065
29988	0.57314	0.44743	0.52473		43596	0.29685	0.34324	0.64805
30108	0.70599	0.33854	0.39037		43853	0.61247	0.47142	0.32758
30244	0.50817	0.22886	0.22884		44165	0.68175	0.34455	0.31640
30612	0.44407	0.13814	0.54486		46699	0.39125	0.24961	0.60026
31196	0.34382	0.46019	0.67537		47403	0.47469	0.59546	0.54074
31312	-0.20317	0.87974	-0.03493		47624	0.17011	0.16696	0.78142
31505	-0.23593	0.82665	-0.02256		48096	0.61825	0.11087	0.50937
31661	-0.08586	0.26505	0.50213		48106	-0.14505	0.81489	0.34152
31817	0.07051	0.58799	0.29383		48810	-0.06070	0.77373	0.48055
31974	0.28077	0.81346	-0.13219		49256	0.31598	0.08428	0.63457
32130	0.30204	0.76620	0.07995		49513	0.15579	0.48861	0.18409
32323	0.47369	0.19275	0.56956		49568	0.20241	0.28060	0.81581
32442	0.64729	0.30167	0.17115		49734	0.07769	0.49824	0.22268
32474	0.85159	0.28212	0.15283		50091	0.66662	0.22848	0.38401
32552	0.75027	0.32315	0.19947		50269	0.69081	0.16806	0.28924
32896	0.54875	0.65145	-0.01393		50448	0.24855	0.49867	0.74760
33527	0.13663	0.91310	0.05190		50805	0.28861	0.16972	0.52958
34058	0.17720	0.37689	0.25483		50983	0.80981	0.34288	0.20934
34590	0.46960	0.38618	0.54038		51162	0.35327	0.38392	0.70329
34810	0.11384	0.72940	0.48449		51340	0.16397	0.56637	0.62962
35121	0.65780	0.29550	0.41016		51918	0.31730	0.84501	-0.18647
35653	0.44157	0.45264	0.33787		52095	0.62087	0.28437	0.37072
37174	0.24327	0.75148	0.36599		52272	0.76527	0.24158	0.34578
37675	0.28126	0.74549	0.27638					

ANEXO V

Síntesis de los trabajos consultados para la delimitación de las afinidades ecológicas de los radiolarios representativos de las asociaciones.

Acrobotrys teralans

Autor	Tipo de muestreo	Localización geográfica	Alimentación	Temperatura (°C)	Salinidad	Profundidad a la que habita	Afinidad	Otros
Benson, 2005	Sedimento superficial	Golfo de California						Abundancia relacionada con los afloramientos de agua de la zona.

Botryostrobus auritus-australis

Autor	Tipo de muestreo	Localización geográfica	Alimentación	Temperatura (°C)	Salinidad	Profundidad a la que habita	Afinidad	Otros
Kling, 1979	Redes de apertura/cierre	Pacífico Norte Central		12-23	34-34.6	0-100 m		Relacionado cercanamente con la Corriente de California.
Boltovskoy & Riedel, 1987	Redes de plancton	Corriente de California				0-100 m	Considerado taxón de agua cálida	Se encuentra comúnmente como plancton superficial del Pacífico Ecuatorial, en áreas donde la termoclina se encuentra cercana a la superficie.
Tanaka & Takahashi, 2008	Redes de plancton	Pacífico subártico		4	32.5-33.5	75-150 m	Asociados a la dicoterma	OD: 5-7 ml/l ³
Molina-Cruz <i>et al.</i> , 1984	Secuencia sedimentaria	Costa de Perú						En general es menos abundante durante el último estadio glacial que en el presente.

Schramm, 1985	Sedimento superficial	Pacífico Ecuatorial este					Afloramientos de agua frías ricas en silicio y nutrientes.	
Molina-Cruz, 1986b	Sedimento superficial	Golfo de California						Afin a la Corriente de California.
Weinheimer & Cayan, 1997	Sedimento superficial	Corriente de California					Taxón de agua cálida.	
Abelmann, <i>et al.</i> , 1999	Sedimento superficial	Corriente Circumpolar Antártica		SST en verano austral de 12-18			Especie relacionada con agua cálida.	

Lithomelissa pentacantha

Autor	Tipo de muestreo	Localización geográfica	Alimentación	Temperatura (°C)	Salinidad	Profundidad a la que habita	Afinidad	Otros
Petrushevskaya, 1971	Sedimento superficial, redes de plancton	Golfo de California		7-30		0-200 m		
Molina-Cruz, 1986a	Sedimento superficial	Golfo de California					Zona de mezcla.	Especie transicional (En Cuenca Carmen, entre agua de Guaymas y agua del Pacífico)
Benson, 2005	Sedimento superficial	Golfo de California					Zonas de fuerte mezcla mareal.	Abundante en áreas de surgencia/diatomita.

Lithomelissa setosa

Autor	Tipo de muestreo	Localización geográfica	Alimentación	Temperatura (°C)	Salinidad	Profundidad a la que habita	Afinidad	Otros
Takahashi, 1987	Trampas de sedimento	Pacífico subártico este	Nanoherbívoros y bacteriófagos.				Marcador de condiciones de primavera.	Picos de abundancia en la región en abril y mayo. Sensible a cambios en abundancia de productores primarios.
Kling & Boltovskoy, 1995	Redes de apertura/cierre	Corriente de California (Pacífico)				0-50 m	Aguas superficiales del sistema de la Corriente de California.	
Takahashi, 1997	Trampas de sedimento	Pacífico subártico este	Fitoplancton, bacterias y/o detritus.					El aumento en tasas de alimentación es en primavera y otoño boreal.

Yamashita <i>et al.</i> , 2002	Redes de apertura/cierre	Pacífico Ecuatorial Oeste		25-29.5	35-35.5	0-120 m	Ligada a regiones de surgencia con altos nutrientes (nitratos y silicatos). Se distribuye en la capa de mezcla por encima de la termoclina.	Sensible a cambios en la abundancia de los productores primarios de fondo.
Ishitani & Takahashi, 2007	Red de cierre (mensajero liberado)	Mar de Japón	Herbívoros	22-26	33.5-34.5	0-120 m	Indicador de surgencias.	DO: 7 ml/l ³ Correlación positiva con concentraciones de clorofila.
Tanaka & Takahashi, 2008	Redes de plancton	Pacífico subártico		3.5-4	32.5-33	50-75 m		OD: 7 ml/l ³
Weinheimer & Cayan, 1997	Sedimento superficial	Corriente de California					Taxón de agua fría.	
Bjørklund & Kruglikova, 2003	Sedimento superficial	Océano Ártico		>6	34-35			
Itaki <i>et al.</i> , 2007	Núcleos sedimentarios	Mar de Japón					Asociada a áreas costeras con alta productividad biológica.	Incrementa en periodos interglaciares.
Zhang <i>et al.</i> , 2014	Núcleo sedimentario	Mar de Bering					Su influencia está relacionada con corrientes cálidas y alta productividad biológica.	Abundante en periodos frío con expansión de hielo marino.
Suzuki & Not, 2015	Bibliográfico	Benguela		10°C			Afín a áreas con concentraciones altas de nutrientes	Abundante en latitudes medias, pero puede ser encontrada en áreas tropicales con influencias de surgencia.

Lithomelissa thoracites

Autor	Tipo de muestreo	Localización geográfica	Alimentación	Temperatura (°C)	Salinidad	Profundidad a la que habita	Afinidad	Otros
Abelmann & Gowing, 1997	Redes de apertura/cierre	Océano del Sur		SASW: 5-10 SACW: 7.5-18	SASW: 33.7-34.8 SACW: 35.03-36.2	0-100 m	Aguas cálidas.	
Molina-Cruz <i>et al.</i> , 1999	Redes de apertura/cierra	Golfo de California (Guaymas,		>12	>35			Capa de mezcla superficial (Guaymas) y agua subsuperficial (NO Cuenca

		Carmen, Pescadero)						Carmen). Alta productividad biológica en Guaymas (todo el año) y altas tasas de evaporación (en verano). Ausente en altas latitudes.
Petrushevskaya, 1971	Sedimento superficial, redes de plancton	Golfo de California				100-200 m	Especie tropical o templada.	
Molina-Cruz, 1986a	Sedimento superficial	Golfo de California					Zonas de mezcla.	
Pisias, 1986	Sedimento superficial	Golfo de California		7-30		0-200 m	Agua salina cálida, áreas de surgencia.	Importante en región central norte del golfo.
Abelmann, <i>et al.</i> , 1999	Sedimento superficial	Corriente Circumpolar Antártica		SST en verano austral de 12-18			Especie relacionada con agua cálida.	
Benson, 2005	Sedimento superficial	Golfo de California					Zona de fuerte mezcla mareal.	Abundantes en áreas de surgencia/diatomita.

Peridium longispinum

Autor	Tipo de muestreo	Localización geográfica	Alimentación	Temperatura (°C)	Salinidad	Profundidad a la que habita	Afinidad	Otros
Molina-Cruz <i>et al.</i> , 1999	Redes de apertura/cierra	Golfo de California (Guaymas, Carmen, Pescadero)		>12	>35			Capa de mezcla superficial (Guaymas) y agua subsuperficial (NO Cuenca Carmen). Alta productividad biológica en Guaymas (todo el año) y altas tasas de evaporación (en verano).
Tanaka & Takahashi, 2008	Redes de plancton	Pacífico subártico		4	32.5-33.5	100-150 m	Asociados a la dicoterma.	OD: 5-7 ml/l ³
Pisias, 1986	Sedimento superficial	Golfo de California	Herbívoro somero				Habita zonas cercanas a la superficie. Agua salina cálida, áreas de surgencia.	Importante en región central norte del golfo.
Weinheimer & Cayan, 1997	Sedimento superficial	Corriente de California					Taxón de agua fría.	
Bjørklund & Kruglikova, 2003	Sedimento superficial	Océano Ártico		-1.76	32.4			
Benson, 2005	Sedimento superficial	Golfo de California						

Siphocampe lineata

Autor	Tipo de muestreo	Localización geográfica	Alimentación	Temperatura (°C)	Salinidad	Profundidad a la que habita	Afinidad	Otros
Bernal-Ramírez, 2003	Núcleo sedimentario	Golfo de California					Regiones de frente oceánicos.	Distribución en aguas árticas y antárticas. Habita agua intermedia.
Benson, 2005	Sedimento superficial	Golfo de California					Preferencia por ambientes oceánicos, asociado con alta productividad por la mezcla de masas de agua por surgencias.	Abundante en donde yacen facies de diatomita.

