



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Los foraminíferos bentónicos de la Cuenca
Farallón, Golfo de California y sus implicaciones
paleoambientales**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

MARYSOL VALDEZ HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS

DRA. LIGIA L. PÉREZ CRUZ

2010





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Formato	Ejemplo
Datos del alumno Apellido paterno Apellido materno Nombre Teléfono Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Carrera Número de cuenta	Valdez Hernández Marysol 56 18 45 33 Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ciencias Biología 30216762-1
Datos del Tutor Grado Nombre Apellido paterno Apellido materno	Datos del Tutor Dr. Ligia L. Pérez Cruz
Datos del sinodal 1 Grados Nombre Apellido paterno Apellido materno	Datos del sinodal 1 Dr. Marcelo Aguilar Piña
Datos del sinodal 2 Grados Nombre Apellido paterno Apellido materno	Datos del sinodal 2 Dr. David Alberto Salas de León
Datos del sinodal 3 Grados Nombre Apellido paterno Apellido materno	Datos del sinodal 3 M. en C. Arturo David Contreras Barrera
Datos del sinodal 4 Grados Nombre Apellido paterno Apellido materno	Datos del sinodal 4 M. en C. Daniel Navarro Santillán

DEDICATORIA

Primeramente, a tí Díos por transmitirme salud, fuerza y conocimiento para llegar a este momento tan especial de mí vida.

A ustedes padres, por su amor, cariño, apoyo incondicional y por la motivación que me brindaron día a día.

A mis hermanos porque siempre he contado con ellos para todo, gracias por estar a mí lado en momentos difíciles.

A tí Víctor, por ser esa persona que me ayudo a crecer emocionalmente, por estar conmigo y apoyarme en esta etapa tan importante.

A tí Ligía, que me brindaste tu apoyo, cariño y sabiduría, pero principalmente porque confiaste y creíste en mí.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Principalmente a la Dra. Ligia L. Pérez Cruz, por ser un modelo de valor y sabiduría a seguir, porque nunca escatimó esfuerzos y tiempo para corregir y mejorar esta tesis, por sus valiosos conocimientos y consejos, por su gran apoyo en momentos difíciles y su infinita paciencia que me dedico, pero principalmente por esa confianza y cariño que le brindo a mi vida personal y laboral. Gracias por ser un ejemplo a seguir y por abrimos la puerta al camino de la investigación.

A mis sinodales: Dr. Marcelo Aguilar Piña, Dr. David Alberto Salas de León, M. en C. Arturo David Contreras Barrera y M. en C. Daniel Navarro Santillán que le dedicaron tiempo y esfuerzo a esta tesis para que concluyera satisfactoriamente, porque cada observación, cada recomendación, significativo un conocimiento más. Gracias por su apoyo.

Al Dr. Jaime Urrutía Fucugauchi y la Dr. Adela Monreal por sus observaciones y aportes durante la redacción de la tesis.

A la DGAPA - UNAM por la beca que me fue otorgada para la realización de esta tesis dentro del contexto del proyecto PAPIIT IN 115206 y PAPIIT IN 107709 y CONACYT (81288).

Al Laboratorio de Paleomagnetismo y Paleoambientes, del Instituto de Geofísica, UNAM, por ser mi segunda casa, por acogerme y apoyarme en actividades que enriquecieron mi aprendizaje.

Y a ti, mi Universidad Nacional Autónoma de México por darme una educación y la oportunidad de seguir estudiando.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Primero y ante todo, te doy gracias **DIOS**, por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida, por los logros y momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más y por mandarme a unos padres únicos y excepcionales.

A mis padres, Concepción Hernández González y Alfonso Valdez Hernández, gracias mamá y papá, por apoyarme en mis decisiones a lo largo de toda mi carrera, por estar conmigo en etapas difíciles y satisfactorias, gracias por sus sabios consejos y su motivación que han permitido en mí, ser una persona de bien, por haberme educado y soportado mis errores, pero más que nada, por su amor incondicional. Soy afortunada por contar con su amor, comprensión y ejemplo. Los quiero con todo el corazón, no tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí, los **AMO INFINITAMENTE**.

A mis hermanos, a tí Lucerito, mi hermanita bonita, gracias por tu cariño y comprensión, siempre me haces el día con tu linda sonrisa y esa ternura que te caracteriza, siempre se alegre chiquita, que es lo que me impulsa y me da fuerza para seguir superándome ¡Te quiero mucho! A tí Víctor, porque siempre nos hemos apoyado y brindado amistad y cariño de hermanos. A mi cuñada y sobrino que participaron en la culminación de ésta tesis, con su apoyo y alegría.

A tí Víctor Morales Pérez, gracias **AMOR** porque siempre me apoyaste en toda situación, por comprender y tener paciencia cuando venía cansada y agotada del laboratorio, porque siempre estuviste al pendiente de mi tesis, gracias por llegar en el momento justo a mi vida, por luchar conmigo, por respetarme y enamorarme día a día, gracias por estar a mi lado y darle dirección a mi vida ¡**TE AMO!**

A tí Ligia, como en líneas anteriores redacte, siempre estas a la ayuda del tesista, por tu enorme paciencia que le dedicas a tus alumnos, gracias Ligia por apoyarnos en toda ocasión y especialmente porque tus palabras son palabras de motivación y de superación.

A mis amigos de la Facultad de Ciencias, porque ustedes han marcado mi vida de alguna forma y me han abierto los ojos al mundo: Male, Carmen, Natalia, Emanuel (El Amorcito), Jesús, Luis Antonio (Maniguís), El Pitt, Poncho, Chispa, René, Toño (El carpólogo), Víctor (El Vic), Ricardo, César, Vero, Milton, Licha, Emanuel (Chaparrito) gracias amigos porque vivimos depresiones, alegrías y momentos

extraordinarios. Especialmente a mis tres mejores amigas que vivimos tiempos inolvidables en el transcurso de la carrera, gracias Male por ser mi amiga del alma y de fiestas, por tu apoyo incondicional y por ser un hombro en todo momento, sabes que siempre contarás conmigo en las buenas y malas, te quiero mucho amiga; Natalia, otra amiga incondicional, gracias por tu amistad y cariño, a pesar de nuestros caminos diferentes siempre estás en mi corazón; Carmen, siempre fuimos confidentes de muchas situaciones, a pesar de los malos entendidos, te considero una gran amiga de corazón.

A mis amigos del laboratorio, por el apoyo tan grande y la amistad que me brindaron: Male, Ángel, Gladys, Laura, Danny, Richar, Paty, Juan, Ale, Edgar, Manolo, Rafa y Hugo. Gracias amigos por estar al pendiente del progreso que estaba teniendo la tesis, por sus recomendaciones y consejos que le dieron un toque especial.

Un agradecimiento especial a Tania, gracias por esas clases de entusiasmo y de conocimiento que nos brindaste a Ángel y a mí, por tus sabios consejos y motivaciones, que me hicieron reflexionar día con día.

A mis amigos de toda la vida: Guadalupe, gracias nena por preocuparte siempre por mí, porque vivimos momentos bien difíciles y que gracias al apoyo mutuo de las dos pudimos salir adelante, eres una gran amiga que ha estado conmigo en las buenas y en las malas, te quiero mucho amiga; a mi amigo Rafa, que siempre provoco con sus locuras una sonrisa de oreja a oreja, donde quieras que estés Rafa, muchas gracias; a Raquelita de Celaya, porque siempre me escribiste desde tu rumbo e informarte cómo iba progresando mi tesis, gracias nena. A mis amigas del CCH SUR: Prís, Ale, Claudia y Malu, gracias chavas por ser parte de mi vida, por su apoyo, comprensión y por todos los momentos de alegría que pasamos juntas.

A mis familiares: tíos, tías, primos, primas, gracias por toda la confianza que me han dado y por las veces que han estado al pendiente de mí, quiero decírles que los estimo y que tienen un lugar especial en mi corazón.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis, les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1	
INTRODUCCIÓN	2	
OBJETIVOS	3	
CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES	
1.1	Estudios previos	4
1.2	Biología de los foraminíferos bentónicos	6
1.2.1	Clasificación taxonómica	7
1.2.2	Organización celular	7
1.2.3	Nutrición	9
1.2.4	Reproducción y ciclo de vida	10
1.2.5	Movimiento de los foraminíferos bentónicos	12
1.2.6	La testa de los foraminíferos	12
1.2.7	Forma de la testa y su importancia	14
1.2.8	Factores bióticos y abióticos que controlan la distribución de los foraminíferos bentónicos	16
1.2.9	Distribución en el sedimento	17
1.3	Los foraminíferos bentónicos como “proxies” ambientales y oceanográficos	18
1.4	Modelo TROX	19
1.5	Dimorfismo en especies del género <i>Bolivina</i> en el Golfo de California	21
1.6	Foraminíferos bentónicos y su relación con el oxígeno disuelto	22
1.6.1	Los foraminíferos bentónicos en la Zona de Oxígeno Mínimo	23
1.7	Variabilidad climática durante el Holoceno	25
CAPÍTULO 2	ÁREA DE ESTUDIO	
2.1	Batimetría	27
2.2	Climatología	29

ÍNDICE GENERAL

2.3	Masas de Agua del Golfo de California	31
2.4	Cuenca Farallón	33
CAPÍTULO 3 MATERIAL Y MÉTODOS		
3.1	Muestreo en el buque oceanográfico	35
3.2	Descripción de la Secuencia Sedimentaria K-52	36
3.3	Datación del núcleo K-52 con radiocarbono AMS	36
3.4	Procesamiento de las muestra en el laboratorio para el estudio micropaleontológico	37
3.5	Identificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos	37
3.6	Análisis Estadístico	38
CAPÍTULO 4 RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		
4.1	Descripción del núcleo K-52	39
4.2	Modelo de edad	39
4.3	Abundancia de generaciones dimórficas (formas megalosféricas y microséricas) de <i>Bolivina seminuda</i> y <i>Bolivina subadvena</i>	40
4.4	Análisis Microfaunístico	41
4.5	Análisis de Factor “Modo Q”	42
4.6	Interpretación Paleooceanográfica con base en el Análisis de Factores	42
4.7	Consideraciones finales	51
4.8	Conclusiones	52
LITERATURA CITADA		54

ÍNDICE GENERAL

ANEXOS

ANEXO I. Porcentaje de limos y arcillas en las muestras estudiadas del núcleo K-52.

ANEXO II. Abundancias relativas de los foraminíferos bentónicos considerados para el análisis de factores “Modo Q”.

ANEXO III. Imágenes de foraminíferos bentónicos de la secuencia sedimentaria K-52.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Organización celular de un foraminífero bentónico de una sola cámara en sección transversal (Tomada de Armstrong y Brasier, 2005). 8
- Figura 2.** Imágenes de microscopio electrónico de barrido de los pseudópodos de *Amphistegina madagascariensis*. a) Pseudópodos que pasan a través de la superficie perforada de la testa, los cuales llevan adheridos fragmentos de restos. (b) Pseudópodos pequeños que salen por los poros en los bordes de las testas perforadas. Imágenes de H. J. Hansen (Tomada de Sleigh, 1979). 9
- Figura 3.** Ciclo de vida de un foraminífero (fase megalosférica y fase microsférica) (Tomada de Goldstein, 1999). 10
- Figura 4.** Elementos estructurales de la testa de un foraminífero (Tomada de Loeblich y Tappan, 1964). 14
- Figura 5.** Principales tipos de arreglo de las cámaras: 1) cámara simple, 2) uniserial, 3) biserial, 4) triserial, 5) plano-espiral a biserial, 6) miliólido, 7) plano-espiral evolutivo (exterior), 8) planoespiral evolutivo (cubriéndose), 9) estrepto-espiral, 10) trocoespiral, vista dorsal, 11) vista lateral, 12) vista ventral (Tomado de Loeblich y Tappan, 1964). 16
- Figura 6.** Representación esquemática del Modelo de Oxígeno Trófico (Modelo TROX). El modelo resume la distribución de foraminíferos en el sedimento. El número de foraminíferos es muy alto en los sedimentos eutróficos y más bajo en ambientes oligotróficos (Tomada y modificada de Jorissen *et al.*, 1995). 20
- Figura 7.** Batimetría del Golfo de California, principales cuencas y regiones: Boca (BGC), Sur (SGC), Archipiélago, Norte (NGC) y alto Golfo (AtGC). Se incluye diagrama de temperatura-salinidad (datos de 1939 a 1993) mostrando las masas de agua: APP, AIP, ASsSt, ASE, AGC y ACC (Tomado de Lavín y Marinone, 2003). Perfil batimétrico de las principales cuencas del Golfo de California (Tomada de Pérez-Cruz, 2008). 28
-

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 8.** Climatología anual del Golfo de California. Representación esquemática de las principales condiciones climáticas en el Golfo de California durante: a) Invierno - Primavera y b) Otoño - Verano (Tomada de Pérez-Cruz, 2009). 30
- Figura 9.** Esquema de la distribución de las masas de agua del Golfo de California (Tomada y modificada de Lavín y Marinone, 2003). 32
- Figura 10.** Ubicación del núcleo K-52 en la Cuenca Farallón, Golfo de California y masas de agua del Golfo de California (Tomado de Pérez-Cruz, 2009). 33
- Figura 11.** Porcentaje de las formas megalosféricas y microséricas de la dos especies representativas (*Bolivina seminuda* y *Bolivina subadvena*). 40
- Figura 12.** Esquema de la columna estratigráfica del núcleo K-52 y cargas del Factor 1 “Condiciones subóxicas” y del Factor 2 “Condiciones disóxicas”. Las áreas sombreadas representan los intervalos más significativos para cada factor. 45
- Figura 13.** Valor del factor de las especies que definen al Factor 1: a) *Uvigerina peregrina* y b) *Bulimina mexicana*. 46
- Figura 14.** Valores del factor de las especies que definen al Factor 2: a) *Bolivina seminuda* y b) *Buliminella tenuata*. 49
-

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Estrategias de reproducción r y k de las especies, referidas a las formas megalosféricas y microséricas de los foraminíferos bentónicos.	11
Tabla II. Resumen de los parámetros más importantes en los cuales los foraminíferos bentónicos son aplicados como <i>proxies</i> (Modificada de Van der Zwaan <i>et al.</i> , 1999).	19
Tabla III. Características particulares de las generaciones dimórficas (formas megalosféricas y microséricas) del género <i>Bolivina</i> (Tomada y modifica de Douglas y Staines-Urías, 2007).	22
Tabla IV. Condiciones de oxigenación, rango de oxígeno y características de la fauna de foraminíferos bentónicos (Tomada y modificada de Kaiho, 1994).	23
Tabla V. Localización del núcleo K-52 en la Cuenca Farallón, Golfo de California.	35
Tabla VI. Edades de ¹⁴ C AMS del núcleo K-52. Las edades corresponden años cal AP.	39
Tabla VII. Foraminíferos bentónicos identificados en la secuencia sedimentaria K-52, recolectada en la Cuenca Farallón, en el Golfo de California	41
Tabla VIII. Valores propios (<i>Eigenvalue</i>) de los Factores definidos a través del Análisis de Factores “Modo Q”.	42
Tabla IX. Cargas de los factores (<i>factor loadings</i>) a lo largo de la secuencia sedimentaria K-52. Las cargas representativas de cada factor se muestran en negritas.	43
Tabla X. Valores de los factores (<i>factor scores</i>) que presentan las especies en cada uno de los factores. Las especies con mayor valor de factor se muestran en negritas.	44
Tabla XI. Condiciones de hábitat y oxigenación de especies de foraminíferos indicativos (Tomada de Ovsepyan y Ivanova, 2009).	48

RESUMEN

Se presentan los resultados del estudio de una secuencia de sedimentos marinos (K-52) de 140 cm de longitud colectada en la Cuenca Farallón, en el Golfo de California, a 1 517 m de profundidad. El propósito fue documentar la presencia y abundancia de foraminíferos bentónicos, así como, inferir a partir de su análisis paleoecológico, cambios en la ventilación de las aguas de fondo en la cuenca, durante el Holoceno Medio-Tardío.

El modelo de edad se obtuvo a partir del método de radiocarbono AMS utilizando dos muestras de foraminíferos bentónicos mono-específicas. Las edades de ^{14}C fueron calibradas con el programa Calib. 5.0.0, a partir de las cuales se determinó una tasa de sedimentación de 0.31 mm/año, presentando un alcance de aproximadamente 4 180 años cal AP.

Se determinaron 55 especies de foraminíferos bentónicos, en 28 intervalos dispuestos cada 5 cm a lo largo de toda la secuencia. A partir de un análisis multivariado “Modo Q” fue posible definir dos factores que explican el 92.54% de la variabilidad total en los datos. A partir de las afinidades ecológicas de las asociaciones de foraminíferos que caracterizan cada factor se definieron dos ambientes relacionados principalmente con el contenido de oxígeno en las aguas de fondo.

El factor 1, denominado “subóxico” explica el 60.60 % de la variabilidad total, está definido entre 4 180 y 1 720 años cal AP y está caracterizado principalmente por la dominancia de *Uvigerina peregrina*, que sugiere que durante este periodo, las aguas de fondo fueron subóxicas, es decir estuvieron relativamente bien ventiladas y posiblemente el flujo de materia orgánica hacia el sedimento fue importante.

El factor 2 explica el 31.9% de la variabilidad total de los datos y define el periodo comprendido entre 1 720 años cal AP a 579 años cal AP, está caracterizado por dos especies: *Bolivina seminuda* y *Buliminella tenuata*, con valores del factor de -3.83 y -1.40, respectivamente. Se sugiere que para este periodo del Holoceno Tardío las condiciones de ventilación de la cuenca fueron bajas. Por otra parte, la abundancia de las formas megalosféricas de *Bolivina seminuda* sugieren flujos de altos contenidos de carbono orgánico al piso oceánico. Estos cambios en la ventilación de las aguas de fondo están probablemente relacionados con una mayor productividad en las aguas superficiales.

En el Golfo de California, estas áreas de alta productividad están relacionadas con las zonas de surgencias. Por lo que se sugiere que las surgencias se han intensificado en la región durante el Holoceno Tardío, causadas probablemente por la intensificación de los vientos.

INTRODUCCIÓN

Los foraminíferos bentónicos constituyen un grupo de organismos pertenecientes al microbentos, pueden vivir en la superficie del sedimento (epifaunales) o bien dentro de éste (infaunales). Están constituidos por una célula y fijan su superficie celular mediante la construcción de un esqueleto mineral denominado testa, la cual está conformada principalmente de carbonato de calcio. La morfología de la testa depende del micro-hábitat donde viven y de estrategias de adaptación para sobrevivir en distintos ambientes. La testa favorece su preservación en el registro fósil, gracias a su alto grado de mineralización, debido a esto, los foraminíferos bentónicos representan una herramienta muy útil para llevar a cabo reconstrucciones paleoecológicas, paleoambientales y paleoceanográficas (Calonge *et al.*, 2001; Molina, 2002; Murray, 2006).

La combinación de factores bióticos y abióticos presentes en el ambiente como son: la temperatura, salinidad, disponibilidad de nutrientes, tipo de sustrato, pH, entre otros, influyen en los patrones de distribución, diversidad y abundancia de tales organismos; siendo los más importantes, la cantidad de materia orgánica que se acumula en el sedimento y las concentraciones de oxígeno disuelto (Murray, 2001). Su gran adaptación a diversos ambientes marinos, salobres, marismas y estuarios le confiere a este grupo un gran interés para conocer y comprender sus mecanismos fisiológicos y los procesos que les facilitan su supervivencia y colonización en dichos ambientes (Bertaud de León, 2001). En particular, se han utilizado como *proxies* oceanográficos para llevar a cabo interpretaciones ambientales de ciertos parámetros específicos como la concentración de oxígeno disuelto y el flujo de carbono orgánico (Murray, 2001).

Cabe mencionar que como respuesta a los cambios ambientales, tales como el flujo de carbono orgánico, los foraminíferos bentónicos presentan diferentes estrategias reproductivas (dimorfismo), en particular en las especies del género *Bolivina* (Douglas y Staines-Urías, 2007)

En esta tesis se documenta la presencia y abundancia de los foraminíferos bentónicos de una secuencia de sedimentos marinos en la región occidental de la Cuenca Farallón en el Golfo de California y a partir del análisis paleoecológico de las asociaciones dominantes de foraminíferos se infieren cambios en la ventilación de las aguas de fondo durante el Holoceno Medio-Tardío (~4 180 años cal AP).

OBJETIVOS

General

- Reconstruir las condiciones ambientales de la Cuenca Farallón, Golfo de California, durante el Holoceno Medio-Tardío a partir del estudio de las asociaciones de foraminíferos bentónicos de la secuencia sedimentaria del núcleo K-52.

Particulares

- Identificar las especies de foraminíferos bentónicos del Holoceno de una secuencia sedimentaria (Núcleo K-52), de la Cuenca Farallón.
- Definir las principales asociaciones de los foraminíferos bentónicos a partir de métodos estadísticos multivariados (Análisis de Factores “Modo Q”).
- Documentar la variabilidad de los niveles de oxigenación del Agua Profunda del Pacífico, a través de la microfauna de foraminíferos bentónicos.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En este capítulo se presentan algunos de los estudios realizados con foraminíferos bentónicos en el Golfo de California y el Pacífico Oriental, para continuar con la descripción de su biología que incluye: su organización celular, nutrición, ciclo de reproducción, movimiento, formas de la testa y su distribución en el sedimento. Por último se resalta la importancia de este grupo como *proxies* de condiciones oceanográficas y ambientales, en particular como indicadores de oxigenación de fondo marinos.

1.1 Estudios previos

Bandy (1953) estudió las poblaciones totales de foraminíferos bentónicos del Reciente en las costas de California, a profundidades que van de los 12 hasta los 3 520 m. Analizó la relación entre la fauna y los cambios de oxigenación, salinidad y temperatura, siendo ésta última la más importante.

Phleger (1960, 1964) estudió la ecología de los foraminíferos bentónicos en el Golfo de California y relacionó la distribución de estos organismos con la batimetría. Bandy (1961) realizó un estudio de zonación batimétrica con la tanatocenosis de foraminíferos bentónicos en el Golfo de California, observando su mayor abundancia en sedimentos de la plataforma continental y en la zona batial superior.

Posteriormente, Phleger (1963) estudió los foraminíferos bentónicos vivos en 76 estaciones del Golfo de California, con el propósito de describir su distribución y sus relaciones ambientales. Sugirió que las grandes poblaciones de bentónicos eran el resultado de la intensa productividad orgánica, asociada a las surgencias en los márgenes orientales y occidentales del Golfo de California.

Harman (1964) estudió la distribución de foraminíferos bentónicos en los sedimentos laminados y no laminados de la Cuenca de Santa Bárbara, California y su relación con aguas en bajo contenido de oxígeno, encontrando a *Bolivina seminuda* en sedimentos laminados a concentraciones de 0.1 ml/L y de 550 a 589 m de profundidad.

Lankford y Phleger (1973) estudiaron foraminíferos vivos en sedimentos superficiales desde Cabo San Lucas, Baja California, México, hasta el estrecho de Juan de Fuca, Washington, en la

zona de turbulencia a profundidades de 30 m. Encontrando una fauna bien desarrollada a bajas profundidades de aproximadamente 30 m y una fauna más cosmopolita en aguas profundas.

Por otra parte Phleger y Soutar (1973) analizaron la distribución de foraminíferos bentónicos vivos, en tres áreas del Pacífico oriental, en condiciones con bajo contenido de oxígeno, encontrando que la preservación de las testas calcáreas estaban asociadas a bajas concentraciones de oxígeno, por lo que concluyeron que el oxígeno es un factor ecológico limitante para los foraminíferos bentónicos en este tipo de ambientes.

Ingle (1981) analizó las biofacies de foraminíferos en afloramientos del Cenozoico del sur de California e interpretó con criterios paleoceanográficos los límites superiores de profundidad de algunas especies de foraminíferos bentónicos.

Ingle *et al.*, 1980, analizaron los foraminíferos bentónicos del margen del Océano Pacífico Oriental, desde la zona nerítica hasta la zona abisal. Se relacionó la distribución de la fauna con distintas propiedades de las masas de agua, incluyendo temperatura, salinidad y oxígeno, así como con nitratos, fosfatos y contenido de sílice; se observó una alta diversidad y abundancia de especies de foraminíferos en aguas bien oxigenadas y bajas en salinidad (*Bolivina rankini*, *Epistominella exigua*, *Valvulineria inflata* y *Bolivina elongata*), mientras que una baja diversidad y abundancia de microfauna estaba asociada con alta salinidad, alto contenido de nutrientes y concentraciones bajas de oxígeno (como por ejemplo: *Bolivina spissa*, *Uvigerina peregrina*, *Uvigerina auberiana*, *Cibicides mckannai*, *Bulimina striata*).

Hernández-Flores (1981) realizó un estudio en la parte Central del Golfo de California, estableció una relación entre algunos parámetros oceanográficos y la distribución de los foraminíferos bentónicos. En particular encontró a *Uvigerina peregrina* a grandes profundidades (1008 – 1820 m), a temperaturas bajas (menores a 5°C) y con una concentración de oxígeno disuelto de 0.38 a 0.79 ml/L.

Bertaud de León (2001) analizó la distribución de foraminíferos bentónicos en ambientes de baja concentración de oxígeno en el sur de California y en el extremo sur de la corriente de California; la distribución de estos organismos estuvo influenciada principalmente por las diferentes masas de agua: Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y Agua Profunda del Pacífico (APP), su contenido en oxígeno y por la profundidad.

Con base en lo anterior, es posible distinguir que los primeros trabajos realizados con foraminíferos bentónicos fueron fundamentalmente sobre su distribución en el piso oceánico

y su relación con la profundidad (Uchio, 1960; Phleger, 1964). Por lo que estos organismos se han empleado como indicadores paleobatimétricos. Sin embargo, la distribución de los foraminíferos bentónicos no está regida únicamente por la profundidad; sino por diferentes factores bióticos y abióticos que varían con respecto a la profundidad (Phleger, 1953; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993; Murray, 2006), los cuales juegan un papel significativo en las distribuciones de las especies, porque influyen en los mecanismos fisiológicos de los organismos, como por ejemplo la disponibilidad de alimento (carbono orgánico) o la concentración de oxígeno (Resig, 1981). Estos dos últimos factores son considerados los más importantes por el efecto que tienen sobre los patrones de diversidad y abundancia de las poblaciones de foraminíferos bentónicos (Wishner *et al.*, 1990; Jorissen *et al.*, 1998; Gooday, 1993; Van der Zwaan *et al.*, 1999; Murray 2006).

1.2 Biología de los foraminíferos bentónicos

Los foraminíferos bentónicos son protistas pertenecientes al orden Foraminiferida, presentan un cuerpo citoplasmático adjunto en una testa o concha de unas o más cámaras interconectadas (Loeblich y Tappan, 1987). Forman caparazones de carbonato de calcio de una o más cámaras, aunque algunos taxa construyen sus caparazones aglutinando y cementando partículas de los sedimentos en los que habitan (Boltovskoy, 1965; Gooday *et al.*, 1992). Están constituidos por una célula y son uno de los grupos de seres unicelulares que fijan su superficie celular, de manera permanente, mediante la construcción de un esqueleto mineral denominado testa (Calonge *et al.*, 2001). Los foraminíferos bentónicos tienen una gran importancia dentro de las cadenas alimenticias y juegan un papel significativo en el ciclo del carbono en el fondo del océano. Realizan un importante enlace trófico entre las bacterias, el detritus y los niveles más altos dentro de las cadenas alimenticias de las zonas profundas (Gooday *et al.*, 1992). Los foraminíferos son consumidos por una amplia variedad de organismos, por ejemplo por depredadores especialistas e incidentales.

Constituyen uno de los grupos de organismos de la meiofauna más abundantes del océano (Bernhard, 1992), siendo 30 veces más numerosos que los foraminíferos planctónicos (Buzas y Culver, 1991).

1.2.1 Clasificación taxonómica

Posición taxonómica de los foraminíferos bentónicos según d'Orbigny (1826) y Loeblich y Tappan (1964, 1987):

Reino: Protista

Subreino: Protozoa

Superphylum: Sarcodina

Phylum: Rhizopoda

Clase: Granuloreticulosa

Orden: Foraminiferida (Eichwald, 1830)

Suborden: Rotaliina (Loeblich y Tappan, 1987)

El Suborden Rotaliina representa el grupo más extenso de foraminíferos bentónicos. Loeblich y Tappan (1987) distinguieron 24 superfamilias y 74 familias. Dentro de este suborden se distinguen dos grandes subgrupos de microforaminíferos bentónicos: las formas seriadas (uniseriadas, biseriadas y triseriadas) y las formas espiraladas (trocoespiraladas y planiespiraladas). Cabe mencionar que dentro de este suborden se encuentran los géneros identificados en este estudio.

1.2.2 Organización celular

En relación a su organización celular los foraminíferos actuales, presentan un citoplasma diferenciado en dos partes: ectoplasma y endoplasma (Fig. 1).

- Ectoplasma

El ectoplasma se vierte al exterior recubriendo la testa, pero cuando las testas no presentan perforaciones y sólo hay una abertura, éste se concentra en un gran abanico bucal. Algunos foraminíferos de pared calcárea presentan una serie de canales que están ocupados por sustancias ectoplasmáticas, la cual se expande hacia el exterior por medio de los rizópodos, que pueden ser delgados, filamentosos, anastomosados o ramificados. Generalmente, los pseudópodos forman una red ramificada, denominado reticulopodio. El interior de los pseudópodos está finamente granuloso (granoreticulopodio) y su expansión y retracción se produce gracias a un flujo bidireccional de gránulos citoplasmáticos. La función de estos pseudópodos es múltiple, ya que pueden servir para la fijación del organismo, para la captura

del alimento, para la eliminación de los desechos, para el desplazamiento o para la construcción de la testa (Fig. 2). En algunos foraminíferos, los pseudópodos están sostenidos por espinas (Molina, 2002).

- Endoplasma

El endoplasma constituye la mayor masa del citoplasma y está fuertemente coloreado si se compara con el ectoplasma; contiene dos regiones, una vegetativa con función alimenticia y otra más profunda con función reproductiva que incluye el núcleo de la célula (Molina, 2002). La masa protoplasmática que constituye la célula de un foraminífero es incolora, pero puede contener el material lipídico o compuestos de hierro que le dan color. El color también puede ser debido a la presencia de simbiontes. El protoplasma alberga en el interior al núcleo y a los distintos organelos, entre ellos el Aparato de Golgi, que participa en la secreción del material orgánico necesario para la construcción de una testa mineral y donde se almacenan las sustancias de reserva (Calonge *et al.*, 2001).

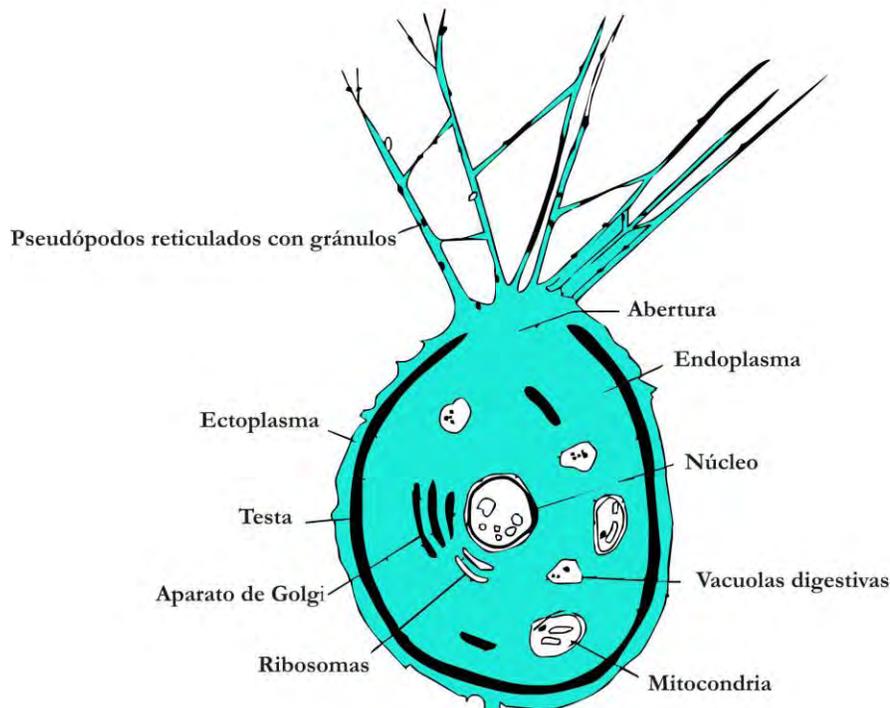
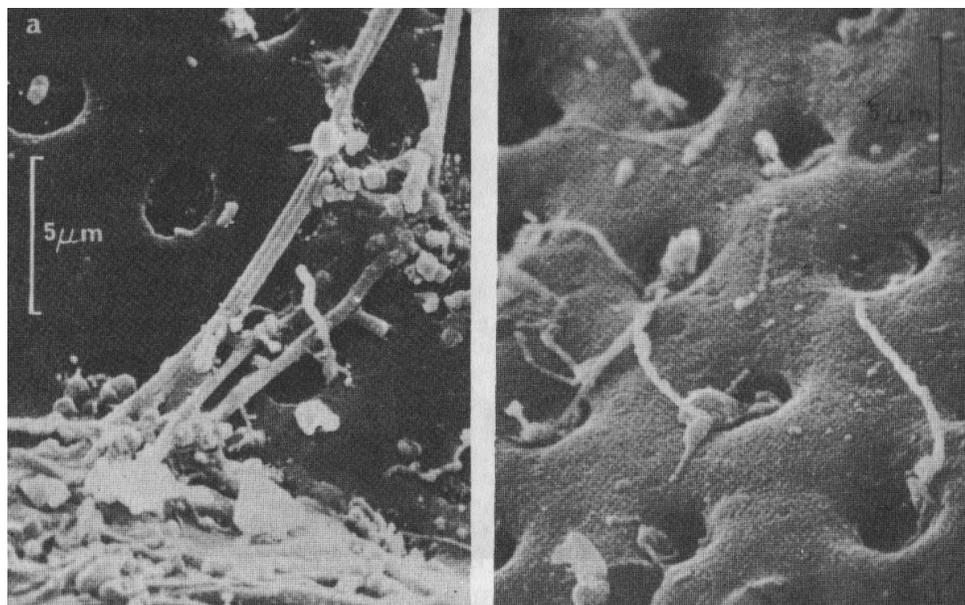


Figura 1. Organización celular de un foraminífero bentónico de una sola cámara en sección transversal (Tomada de Armstrong y Brasier, 2005).



a)

b)

Figura 2. Imágenes de microscopio electrónico de barrido de los pseudópodos de *Amphistegina madagascariensis*. a) Pseudópodos que pasan a través de la superficie perforada de la testa, los cuales llevan adheridos fragmentos de restos. (b) Pseudópodos pequeños que salen por los poros en los bordes de las testas perforadas. Imágenes de H. J. Hansen (Tomada de Sleight, 1979).

1.2.3 Nutrición

La nutrición de los foraminíferos bentónicos está constituida por material vegetal, fundamentalmente diatomeas y algas, así como por bacterias y partículas orgánicas, existiendo formas con endosimbiontes¹ que complementan la alimentación. El alimento es capturado con los pseudópodos y posteriormente es transportado al endoplasma (Molina, 2002).

Los foraminíferos bentónicos viven en hábitats diferentes, razón por la cual han adoptado diversas estrategias alimenticias (Murray, 1991). Los herbívoros están confinados a la zona fótica, donde las algas realizan fotosíntesis, habitan ambientes costeros, especialmente estuarios y lagunas. Los detritívoros, suspensívoros y bacteriófagos ocupan cualquier profundidad. Los

¹ Endosimbiosis. Asociación entre dos diferentes especies de organismos, en donde ambas partes son beneficiadas. En particular, para el suborden Miliolina los simbioses son principalmente algas rojas y verdes, dinoflagelados y diatomeas, mientras que en el orden Rotaliina solo diatomeas se han encontrado. Los posibles beneficios de endosimbiosis a foraminíferos son tres: 1) Obtener energía de la producción primaria fotosintética de sus simbioses, 2) Aumentar la calcificación de la testa y, 3) Captar del alga los metabolitos de desecho (Murray, 2006).

foraminíferos bentónicos carnívoros y parásitos son poco abundantes. También hay bentónicos omnívoros, los cuales suelen ser formas oportunistas que sobreviven en periodos oligotróficos con muy bajo contenido en nutrientes. En aguas tropicales someras (zona eufótica) y oligotróficas, abundan los grandes foraminíferos bentónicos con endosimbiontes (Murray, 2006).

1.2.4 Reproducción y ciclo de vida

El patrón básico de reproducción de los foraminíferos es una alternancia entre dos generaciones, una sexual (forma A) y otra asexual (forma B) (Murray, 2006) (Fig. 3)

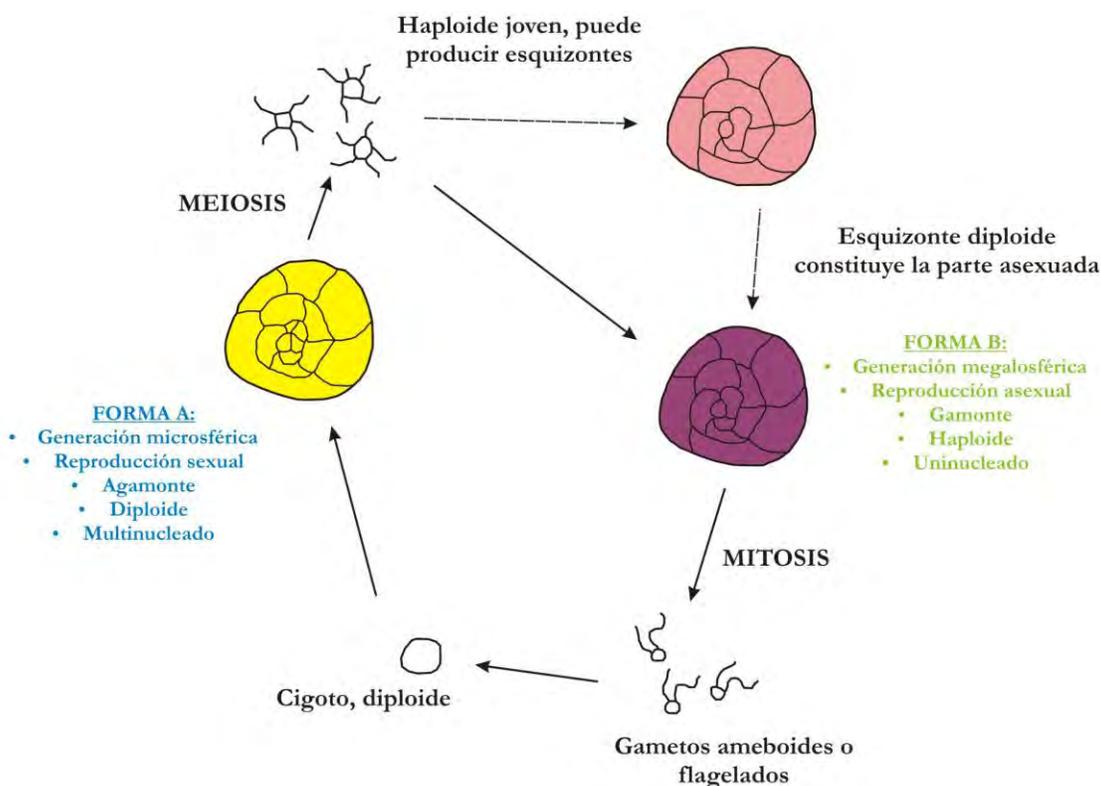


Figura 3. Ciclo de vida de un foraminífero (fase megalosférica y fase microsférica) (Tomada de Goldstein, 1999).

Las generaciones diploides sexuales tienden a producir agamontes con un prolóculo pequeño, son multinucleados y de tamaño mayor, generando **formas microséricas**, estas formas sufren una meiosis generando gamontes haploides, constituyendo la parte asexual,

estas formas presentan un gran prolóculo, uninucleado y tamaño pequeño, resultando **formas megalosféricas**; al alcanzar su madurez sexual su núcleo se fragmenta en otros menores a través de una mitosis, cada uno de los cuales origina un gameto ameboide o flagelado. Por la unión de gametos procedentes de individuos distintos se forma un huevo o cigoto que desarrolla una forma microsférica y, así se cierra el ciclo reproductivo (Molina, 2002; Murray, 2006).

La fase de esquizogonia es la fase más estable del ciclo y constituye la parte asexual del ciclo reproductivo de los foraminíferos. Conduce a la formación de embriones haploides (gamontes), a partir de un esquizonte diploide (Molina, 2002).

El ciclo de vida de los foraminíferos suele ser de pocos días o semanas, pero en las formas grandes el ciclo de vida llegar a ser de 2 años. La duración del ciclo de vida depende de la estrategia de vida que los foraminíferos adoptan.

Las formas pequeñas (formas megalosféricas) y cuya testa presenta una morfología simple desarrollan una estrategia oportunista (estrategia r) pero contrariamente, las formas grandes (formas microsféricas) y con una morfología compleja de la testa desarrollan una estrategia de vida de vida conservadora (estrategia k) muy poco común en los organismos unicelulares, la cual les permite mantener una densidad de población uniforme y un crecimiento lento (Calonge *et al.*, 2001) (Tabla I).

Tabla I. Estrategias de reproducción r y k de las especies, referidas a las formas megalosféricas y microsféricas de los foraminíferos bentónicos.

ESTRATEGIAS DE REPRODUCCIÓN r y k		
Características	Estrategias r	Estrategia k
Tiempo de vida	Corto. Generalmente inferior al año.	Largo, más de un año.
Población	Muy variable en el tiempo.	Muy constante y próxima al equilibrio.
Mortalidad	Independiente de la densidad, de la población	Depende de la densidad de la población.
Competencia intraespecífica e interespecífica	Variable y, en general, poco intensa.	Muy intensa.
Adaptación	Variaciones ambientales frecuentes e impredecibles o especies no bien adaptadas al medio que ocupan. Colonizadoras.	Condiciones constantes y predecibles.
La selección favorece	Desarrollo rápido, madurez precoz, reproducción única, pequeño tamaño y descendencia numerosa.	Desarrollo lento, madurez retrasada, reproducción cíclica, capacidad competitiva y mayor tamaño.

1.2.5 Movimiento de los foraminíferos bentónicos

Los foraminíferos bentónicos libres se mueven lentamente con los pseudópodos mediante un movimiento contráctil coordinado (Travis y Bowser, 1991). Aquellos que se mueven sobre superficies planas, ya sea sobre un fondo algal o sobre conchas de moluscos, utilizan los pseudópodos para sujetarse al sustrato y ejercer una fuerza de tracción mediante contracción pseudopodial. Los que se mueven sobre el sedimento, ya sean limos finos o arena gruesa, tienen el problema añadido de un sustrato no consolidado. Por esta razón, la tracción de los pseudópodos tiende a desplazar temporalmente los granos del sedimento, formando una pequeña cavidad, y el impulso los hace avanzar. Aunque todos los foraminíferos son libres en su estadio juvenil, algunas formas bentónicas se han adaptado, no obstante, a un modo de vida sésil, fijándose sobre soportes animales, vegetales o minerales, ya sea mediante cementación o gracias a una fuerte viscosidad de la capa ectoplasmática (Molina, 2002).

1.2.6. La testa de los foraminíferos

Actualmente los foraminíferos se clasifican sobre todo por la composición y la microestructura de la testa. Se reconocen tres composiciones básicas de la pared: 1) orgánica (proteína mucopolisacárida, por ejemplo, la allogromina), 2) aglutinada o arenácea y 3) calcítica (Loeblich y Tappan, 1987; Molina, 2002).

En los foraminíferos bentónicos el material más importante de la testa es la “tectina” (una glucoproteína del tipo de los mucopolisacáridos), que está acompañada de algunos otros materiales, como proteínas y lípidos y a veces impregnada de hierro férrico. El citoplasma del interior sale por uno o varios orificios especializados para formar el retículo pseudopodial y con frecuencia se extiende hasta una capa exterior citoplasmática, por encima de la superficie del caparazón (Sleigh, 1979).

El proceso empleado para la construcción de la testa en foraminíferos bentónicos permite diferenciar principalmente tres tipos de foraminíferos:

- Aglutinados. La célula produce una matriz orgánica que aglutina materiales, tales como granos minerales, espículas de esponjas, diatomeas, entre otros, que están disponibles en el medio en que viven y que son recolectados por los pseudópodos (Calonge *et al.*, 2001). La disposición de este material en la testa puede ser regular o irregular y su

tamaño, abundancia y concentración puede ser también, muy variable. El cemento secretado por el citoplasma es de naturaleza variable, pudiendo ser orgánico, silíceo o calcáreo (Molina, 2002).

- Porcelanados. El aparato de Golgi produce agujas de calcita de magnesio, las cuales son transportadas y acumuladas en el exterior. Las agujas pueden ser un elemento de conexión de elementos externos o pueden formar por sí solas un esqueleto externo (Calonge *et al.*, 2001).
- Hialinos. La testa de estos foraminíferos se forma por un proceso de biomineralización que tiene lugar en el exterior del cuerpo protoplasmático (Calonge *et al.*, 2001). Son testas de aspecto transparente y vítreo (Murray, 2004).

La testa de un foraminífero puede estar compuesta por una (unilocular) o varias cámaras (plurilocular) y el tamaño de estas aumentan con la edad del individuo. La testa se inicia a partir de una cámara inicial llamada prolóculo, formando una estructura en la que pueden distinguirse los siguientes elementos (Fig. 4): prolóculo; es la primera cámara formada en foraminíferos pluriloculares, puede comunicarse con la cámara siguiente a través de perforaciones; a continuación del prolóculo se forman las cámaras post-embrionarias, normalmente son simples y pueden ser ovoides, cilíndricas, triangulares, en forma de V, entre otras. Los tabiques o septos son divisiones entre las cámaras en las testas multiloculares. Las suturas vienen siendo las trazas de los septos hacia el exterior de la testa, pueden ser simples, gruesas, en silla, deprimidas, rectas, curvas, entre otras. Las aberturas son orificios por los cuales el citoplasma está en contacto con el exterior, cuando se forman una nueva cámara, el orificio precedente permite la comunicación entre dos cámaras contiguas. En este caso se llama foramen. Las aberturas pueden ser circulares, ovaladas, en forma de ranura, en forma de ojal; en algunas especies la abertura aparece al final de una extensión tubular de la pared de la testa, denominada cuello y puede estar acompañada periféricamente por un borde denominado labio. Es frecuente encontrar en la abertura una extensión de la pared de la cámara, a la que se le conoce como diente. La superficie externa de la testa cuando no es lisa, lleva pequeños hoyuelos, protuberancias de diversos tamaños, costillas o bien, numerosas y pequeñas espinas distribuidas por todas partes (Sleigh, 1979; Martínez-Pérez y Gutiérrez, 1982; Molina, 2002).

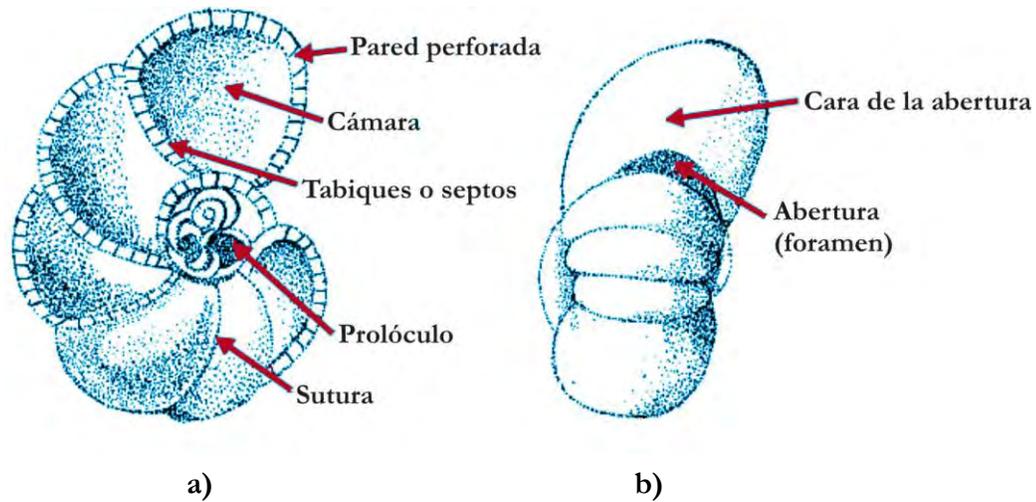


Figura 4. Elementos estructurales de la testa de un foraminífero. a) Vista ventral, con enrollamiento planiespiral. b) Vista de canto, se observa la abertura (Tomada de Loeblich y Tappan, 1964).

1.2.7. Forma de la testa y su importancia

La forma general de la testa de los foraminíferos nos permite realizar inferencias paleoecológicas basándonos en la morfología funcional, dependiendo del micro-hábitat donde viven los foraminíferos bentónicos, la forma de su testa puede ser diferente. Por ejemplo los organismos epifaunales suelen tener testas con enrollamiento²: planiespiral ó trocoespiral (De Stigter *et al.*, 1998), plano ó biconvexo, con poros dorsales de gran tamaño, mientras que los poros ventrales suelen ser menores (Corliss y Emerson, 1990; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993). En cuanto a las especies infaunales sus testas pueden ser alargadas, biseriadas o triseriadas (De Stigter *et al.*, 1998), redondeadas planiespirales, cilíndricas, globulares u ovaladas (Corliss y Chen, 1988); pueden presentar pequeños poros (Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993) distribuidos en toda la superficie de la testa (Corliss y Chen, 1988). Estas especies

² Existen diversos modos de enrollamiento: a) Planiespiral: las cámaras se enrollan en un plano de forma paralela al eje de enrollamiento, formando una concha simétrica. Hay un eje de crecimiento espiral situado sobre un plano, perpendicular al eje de enrollamiento; su plano de simetría contiene al eje de crecimiento. b) Trocoespiral: las cámaras se enrollan oblicuamente al eje de enrollamiento. El eje de crecimiento de la espira no se encuentra en un plano, sino que se desarrolla helicoidalmente. Son asimétricas y se puede distinguir lados diferentes: lado dorsal, lado ventral y lado axial.

infaunales se caracterizan por habitar ambientes ricos en materia orgánica y escaso oxígeno (Van der Zwaan *et al.*, 1999).

La testa “captura” información sobre la composición de isótopos estables de las aguas durante su asimilación, reflejando varios procesos como el grado de ventilación de las aguas de fondo, los niveles de flujo de materia orgánica hacia el fondo, la productividad primaria en superficie (Altenbach y Sarnthein, 1989), así como, la concentración de algunos elementos traza como: Cd y Ba relacionados con la concentración de nutrientes, o bien, indicadores de variables físicas como: temperatura y salinidad (Mg, Sr), entre otros elementos. Mientras que la información ecológica es proporcionada por las covariaciones entre la abundancia de un organismo y parámetros ambientales (Corliss, 1985; Murray, 2001).

La calcificación de las testas de los foraminíferos bentónicos depende de la profundidad a la que viven dentro del sedimento, o si viven en la interfaz agua-sedimento, pues dependiendo de esto, van a poder calcificar sus testas en equilibrio con el agua intersticial dentro del sedimento o con el agua inmediatamente encima del sedimento (Jorissen *et al.*, 1995).

Los cambios en la morfología de algunos foraminíferos bentónicos pueden ser el resultado de alguna estrategia de adaptación para sobrevivir en ambientes con poco contenido de oxígeno o altos contenidos de carbono orgánico en el sedimento. Algunos de estos cambios ecofenotípicos pueden ser:

- Construir la testa con poros grandes y paredes gruesas (Corliss, 1985; Bernhard, 1986).
- Construcción de testas más pequeñas (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990).
- Aumento de la porosidad en la superficie de las cámaras para facilitar el intercambio de oxígeno y la liberación de CO₂ como producto metabólico.

El intercambio de oxígeno puede variar dependiendo que tan cerca se encuentren las mitocondrias de los poros de la pared, es por una de las razones que las testas perforadas, pueden favorecer una mayor captación de oxígeno mitocondrial (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990).

Las formas de los foraminíferos bentónicos son muy variadas: globulosas, esféricas, alargadas, cónicas, piriformes, entre otras formas. Con base en la disposición de las cámaras se dividen en testas uniloculares, presentando un aspecto ovoide o globuloso con o sin abertura y las multiloculares, constituidas por un prolóculo, seguido de una serie de cámaras comunicadas (Fig. 5) (Molina, 2002).

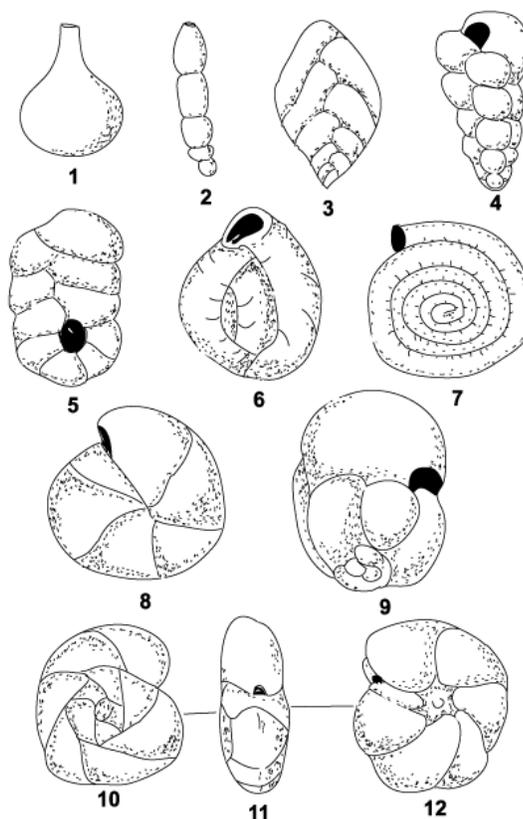


Figura 5. Principales tipos de arreglo de las cámaras: 1) cámara simple, 2) uniserial, 3) biserial, 4) triserial, 5) plano-espiral a biserial, 6) miliólido, 7) plano-espiral evolutivo³ (exterior), 8) planoespiral involuto (cubriéndose), 9) estreptoespiral, 10) trocoespiral, vista dorsal, 11) vista lateral, 12) vista ventral (Tomado de Loeblich y Tappan, 1964).

1.2.8 Factores bióticos y abióticos que controlan la distribución de los foraminíferos bentónicos

Su distribución está controlada por una combinación de factores abióticos y bióticos que influyen sobre su actividad y condicionan sus patrones de distribución, diversidad y abundancia. Murray (2006) menciona los siguientes factores abióticos que afectan su distribución:

- Temperatura. Ésta puede ser ártica o polar, templada, tropical o cálida. El límite superior de temperatura para organismos marinos es de alrededor de 45°C.

³ Evolutivo: En este arreglo se observan todas las cámaras dispuestas en espiral. Involuto: En este arreglo las cámaras están en forma de V y sólo la última vuelta de las cámaras es visible. Estreptoespiral: Enrollamiento trocoespiral en varios planos (Glossary of terms used in Foraminiferal Research).

- Salinidad. Ésta puede ser salobre o hiposalinas (0-33), euhalina (33-37) e hipersalina (>37). El rango tolerado por los foraminíferos es de aguas dulces a aguas hipersalinas (0 a menor de 70).
- Oxígeno disuelto. La concentración depende de la temperatura y salinidad del agua.
- Nutrientes. Éstos se refieren a los compuestos químicos necesarios para promover la producción a través de la fotosíntesis por plantas. Son utilizados tres términos para describir la disponibilidad de nutrientes: oligotróficos (baja), mesotrófico (moderada) y eutrófico (alta).
- Materia orgánica. Aquélla que se deposita en el piso oceánico formando parte del sedimento y es descompuesta por bacterias usando oxígeno.
- Sustrato. Éste puede ser cualquier sedimento o una superficie firme.

En cuanto a los factores bióticos que limitan la distribución de los foraminíferos bentónicos Murray (2006) considera los siguientes:

- Competencia: Puede ocurrir entre individuos de la misma especie (intraespecífica) (Tabla I) o entre diferentes especies (interespecífica). Esta es muy difícil de estimar y es ignorado en la mayoría de los estudios de foraminíferos.
- Disponibilidad de alimento. Los foraminíferos comen una gran variedad de alimentos (algas, diatomeas, copépodos, entre otros) y algunos tienen simbiosis o cloroplastos asociados. Aunque algunas especies tienen más de una estrategia de alimentación.

La cantidad de materia orgánica que llega al sedimento y la concentración de oxígeno disuelto en el agua son los principales factores que ejercen un fuerte control en la distribución de los foraminíferos bentónicos (Tyson y Pearson, 1991; Gooday, 1993; Rogers, 2000).

1.2.9. Distribución en el sedimento

Como se mencionó anteriormente los foraminíferos bentónicos son organismos pertenecientes al microbentos y pueden vivir en la superficie del sedimento (**epifaunales**), o bien dentro de éste (**infaunales**).

Los individuos epifaunales pueden vivir en un sustrato blando (como el sedimento), o bien, en un sustrato firme (como en animales, conchas, rocas y plantas); los organismos epifaunales pueden ser sésiles, fijos o de vida libre (Murray, 2006).

Especies infaunales se han reportado en las zonas de pantanos viviendo hasta 60 cm por debajo de la superficie, pero la mayoría de estas especies viven en la parte superior del sedimento a pocos centímetros de profundidad. Pueden estar adheridas o fijas al sedimento o bien pueden estar en forma libre. Éstas últimas construyen diminutos orificios cuando se mueven a través del sedimento (Kitazato, 1994; Gross, 2002).

La mayoría de las especies se distribuyen en la interfaz agua-sedimento porque ahí encuentran su alimento, compuesto por bacterias y materia orgánica. Cabe destacar que el 75% del total de las especies vive en el primer centímetro de la columna sedimentaria (Rathburn y Corliss, 1994; Silva *et al.*, 1996) y son consideradas como pertenecientes a la epifauna y la infauna superficial. Las capas profundas son más hostiles debido al descenso en los nutrientes y el oxígeno (Corliss y Emerson, 1990; Van der Zwaan *et al.*, 1999), donde se desarrollan especies infaunales muy especializadas.

1.3 Los foraminíferos bentónicos como “proxies” ambientales y oceanográficos

Los foraminíferos bentónicos tienen el potencial de ser utilizados como *proxies* de factores ambientales considerando dos rutas: una química y una biológica. La ruta química es cuando un elemento químico se incorpora a la testa del organismo y este opera en proporción a un parámetro ambiental. Tales *proxies* no dependen de la abundancia de las testas, lo único que se requiere es un número suficiente de testas para asegurar una precisión analítica. En contraste, las rutas biológicas involucran una covariación entre la abundancia de un organismo o una asociación de organismos y un parámetro ambiental (Murray, 2001).

Su gran adaptación ecológica a diferentes ambientes (salobres, marismas, estuarios y marinos), les otorga un gran valor como indicadores ambientales, lo que unido a su alto potencial de fosilización (la mineralización de sus testas favorecen su preservación en el registro geológico) constituyen herramientas muy valiosas para las reconstrucciones paleoecológicas y paleoceanográficas (Murray, 2001).

El uso de foraminíferos bentónicos como *proxies* oceanográficos se ha enfocado a las interpretaciones del ambiente para tratar de estimar ciertos parámetros específicos (especialmente oxígeno disuelto y el flujo de carbono orgánico). No obstante que, los patrones de distribución son controlados por numerosos factores, como se mencionó en párrafos

anteriores, los *proxies* dependen de la existencia de una relación bien definida entre la abundancia de un organismo o una comunidad y la magnitud de un determinado factor ambiental (Murray, 2001) (Tabla II).

Tabla II. Resumen de los parámetros más importantes en los cuales los foraminíferos bentónicos son aplicados como *proxies* (Modificada de Van der Zwaan *et al.*, 1999).

PROXY DE	UTILIDAD
Oxigenación	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción de ciclos biogeoquímicos. • Historia de la circulación oceánica. • Estimación de la preservación potencial de la materia orgánica. • Valoración de la contaminación orgánica.
Profundidad	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis paleobatimétrico de cuencas sedimentarias.
Flujo orgánico	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción de bioproducción (investigación de CO₂). • Calidad y cantidad de materia orgánica.

1.4 Modelo *TROX*

Corliss (1985) propuso que la distribución de los foraminíferos bentónicos responde a la preferencia de cada especie por un microhábitat concreto, existiendo una sucesión de taxa desde la interfaz (epifauna) hasta varios centímetros bajo el fondo (infauna). Sin embargo, apunta que el modelo de microhábitats es una simplificación de la realidad, debido a que numerosas especies cambian de microhábitat a lo largo del año (Barmawidjaja *et al.*, 1992; Jorissen *et al.*, 1992) o de una zona a otra (Jorissen *et al.*, 1998). Con base en estas evidencias se ha postulado que la posición que ocupan las especies es una estrategia dinámica para la captación del alimento (Linke y Lutze, 1993).

El flujo de materia orgánica al fondo marino y su posterior oxidación bacteriana conduce al agotamiento del oxígeno en los sedimentos superficiales, lo que hace que el oxígeno sea la variable que limita la aparición de ciertos taxa. Por el contrario en sitios donde el flujo de materia orgánica es bajo, el oxígeno no se utiliza (Van der Zwaan *et al.*, 1999). Los grupos epifaunales son los primeros afectados, mientras que los infaunales profundos son los más

tolerantes y están más tiempo presentes en la asociación. Jorriksen *et al.*, (1995) lo resumen en el **Modelo de Oxígeno Trófico (Modelo TROX, por sus siglas en inglés)** (Fig. 6).

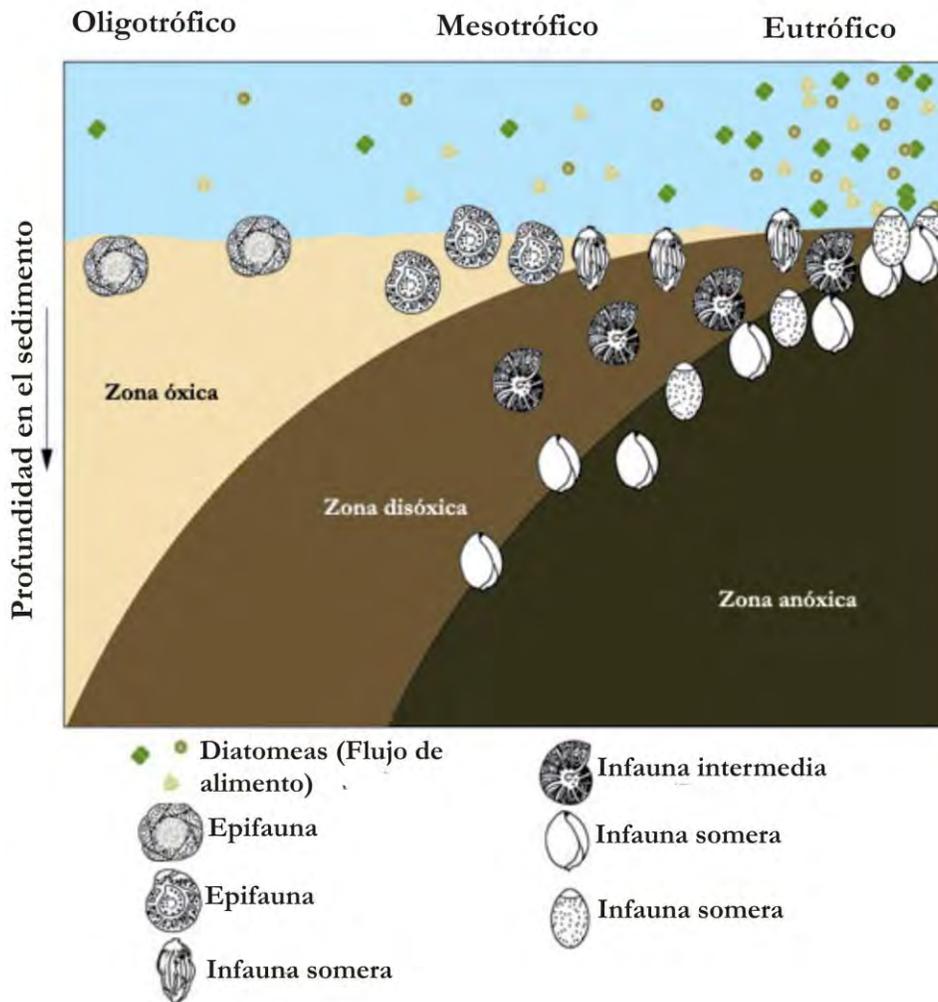


Figura 6. Representación esquemática del Modelo TROX. El modelo resume la distribución de foraminíferos en el sedimento. El número de foraminíferos es muy alto en los sedimentos eutróficos y más bajo en ambientes oligotróficos (Tomada y modificada de Jorriksen *et al.*, 1995).

Representa la interacción del flujo de materia orgánica y el oxígeno en la distribución de los foraminíferos bentónicos en los sedimentos; en ambientes oligotróficos tanto las especies epifaunales como infaunales someras son escasas, en ambientes mesotróficos aumenta la abundancia de foraminíferos y se presentan los tres tipos de hábitat, en ambientes eutróficos los primeros que desaparecen son los epifaunales y aumenta el predominio de infaunales profundos

Con lo anterior es posible identificar asociaciones de foraminíferos relacionados con: (1) sedimentos que subyacen a aguas de fondo bien oxigenados y morfologías epifaunales, (2) áreas con alta producción de materia orgánica, baja concentración de oxígeno y morfologías infaunales y (3) áreas con alta producción de materia orgánica, independiente de la concentración de oxígeno y morfologías infaunales. Las asociaciones de foraminíferos en ambientes con alto contenido de materia orgánica y baja concentración de oxígeno, han sido utilizadas para inferir la extensión y evolución de zonas de surgencias en océanos marginales y zonas de oxígeno mínimo durante el Cuaternario (Mullins *et al.*, 1985).

1.5 Dimorfismo en especies del género *Bolivina* en el Golfo de California

Las especies del género *Bolivina* son foraminíferos bentónicos comunes, extensamente distribuidos en la plataforma continental y en las cuencas del sur de California, en el noroeste de México y en el Golfo de California. El género está representado por entre dos y doce especies considerablemente abundantes en sedimentos ricos en carbono orgánico y de grano fino que se acumulan bajo la zona de oxígeno mínimo (Bandy, 1961; Phleger, 1964; Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Resig, 1990; Smith 1963; Boltovskoy y Wright, 1976; Bernhard y Sen Gupta, 1999). Gracias a su abundancia, distribución y la sensibilidad a concentraciones de oxígeno, las especies del género *Bolivina* son *proxies* paleoceanográficos muy útiles como indicadores ambientales, tanto en el Golfo de California, como en el margen del Océano Pacífico (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Gooday, 1994; Berelson y Stott, 2003; Holsten *et al.*, 2004; Douglas y Staines-Urías, 2007).

En el Golfo de California, un aumento de la productividad primaria ocurre a principios de invierno y primavera (Thunell, 1998), asociada con los procesos de surgencias en el lado oriental del golfo. Esto propicia pulsos de fitodetritus al fondo oceánico, los cuales son aprovechados por los foraminíferos bentónicos, promoviendo la reproducción asexual de un gran número de individuos y la generación de formas megalosféricas. El hecho de que individuos megalosféricos sean más abundantes en todas las especies de *Bolivina* a profundidades someras es consistente con la idea que el flujo de comida al fondo oceánico es un importante estímulo (Douglas y Staines-Urías, 2007).

Las generaciones dimórficas de las especies de *Bolivina* son parte de las estrategias de vida que permiten a las especies responder a diferentes ambientes bentónicos.

Tabla III. Características particulares de las generaciones dimórficas (formas megalosféricas y microséricas) del género *Bolivina* (Tomada y modifica de Douglas y Staines-Urías, 2007).

Generación Megalosférica	Generación Microsférica
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las testas son pequeñas, con pocas cámaras. ✓ Habitan en la capa rica en materia orgánica que se extiende sobre el sedimento y dominan en sedimentos con alto contenido de carbono orgánico (>5% en peso) y concentraciones de oxígeno en el fondo del agua mayores a 0.1 ml/L). ✓ Se reproducen asexualmente en respuesta a pulsos de fitodetritus al fondo oceánico durante la temporada de surgencias, crecen rápidamente al aprovechar el recurso y secretan testas que incorporan Mg y elementos traza. ✓ En la superficie del sedimento, conforman ~96% de la población. ✓ Son indicadores del flujo fitodetrital al piso oceánico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera testas que son grandes y más alargadas con respecto a las formas megalosféricas, Las testas presentan mayor número de cámaras. • Tienen baja diversidad de individuos vivos, los que se concentran en la interfaz sedimento. • Estas formas son más numerosas cuando las concentraciones de oxígeno son menores a 0.2 ml/L. • El tamaño grande de la testa microsérica resulta del lento crecimiento bajo condiciones subóptimas (Sliter, 1970). • La testa calcítica contiene poco Mg y debido a esto es secretada en un largo periodo. • Las formas microséricas vivas están concentradas en la base de la superficie del sedimento o dentro del mismo • Las testas son más resistentes a la disolución en comparación a las formas megalosféricas.

1.6 Foraminíferos bentónicos y su relación con el oxígeno disuelto

Los foraminíferos bentónicos calcáreos representan uno de los indicadores más sensibles a los cambios de oxígeno disuelto, estas diferencias son obvias en las características de las testas de foraminíferos formadas debajo de condiciones óxicas (>1.5 ml/L) y condiciones disóxicas.

Son persistentes en sedimentos profundos del mar depositados por encima de la Profundidad de Compensación de Carbonatos (CCD) (Kahio, 1994).

Para estimar en el pasado las concentraciones de oxígeno disuelto, los foraminíferos bentónicos se dividen en tres grupos faunísticos reconocidos, con base en la relación entre características morfológicas específicas, niveles de oxígeno y microhábitat: 1) disóxicos (0.1 - 0.3 ml/L), 2) subóxicos (0.3 - 1.5 ml/L) y 3) óxicos (>1.5 ml/L) (Kaiho, 1994) (Tabla IV).

Tabla IV. Condiciones de oxigenación, rango de oxígeno y características morfológicas de la fauna de foraminíferos bentónicos (Tomada y modificada de Kaiho, 1994).

Oxigenación	Rango de oxígeno (ml/L)	Características de la fauna
Óxico	1.5 – 6.0 +	Testas grandes planoconvexas, biconvexas, redondeadas trocoespirales y esféricas (> 350 µm) con pared gruesa (ejemplos: <i>Cibicidoides</i> , <i>Nuttallides</i> , <i>Globocassidulina</i>) y miliólidos grandes.
Subóxico	0.3 – 1.5	Especies de ornamentación grande como: <i>Lenticulina</i> , <i>Nodosaria</i> , <i>Dentalina</i> , <i>Pleurostomella</i> ; <i>Bulimina</i> y <i>Stilostomella</i> ; ó redondeadas planoespirales, ovoides y esféricas, pequeñas y/o pared delgada, formas trocoespirales planoconvexas y biconvexas: <i>Uvigerina</i> , <i>Oridorsalis</i> , <i>Gyroïdina</i> , <i>Hoeglundina</i> .
Disóxico	0.1 – 0.3	La característica morfológica de especies de foraminíferos bentónicos para ambientes disóxicos es una pared delgada, formas pequeñas (<i>Bolivina</i> spp., <i>Chilostomella</i> spp., <i>Fursenkoina rotundata</i> , <i>Globobulimina</i> spp., <i>Rutherfordia</i> spp., <i>Sugrunda eckisi</i>).
Anóxico	0.0 – 0.1	Formas calcáreas escasas.

1.6.1 Los foraminíferos bentónicos en la Zona de Oxígeno Mínimo

La Zona de Oxígeno Mínimo (ZOM) presente en los márgenes continentales orientales de las cuencas oceánicas del Pacífico, se caracteriza por presentar concentraciones de oxígeno

disuelto de bajos niveles⁴, presentándose a varias profundidades, dependiendo de las condiciones geográficas, oceanográficas y fisiográficas (Kamykowski y Zentara; 1990; Levin, 2003; Arntz *et al.*, 2006). La concentración y la extensión de esta zona es el reflejo de las tasas de surgencias y del resultado de la producción de desechos orgánicos provenientes de la capa de agua superior adyacente, junto con una circulación lenta y un consumo de oxígeno disuelto por esta materia orgánica. Básicamente las vigorosas surgencias conducen a una alta productividad primaria en las aguas superficiales, puesto que las aguas subsuperficiales ricas en nutrientes, son llevadas a la superficie. La caída de desechos orgánicos resultante, consume el oxígeno en las capas intermedias, durante su descomposición y oxidación, por lo que la circulación de las aguas intermedias determina la posición de la capa de oxígeno mínimo, mientras que la intensidad del consumo de oxígeno está en función de la acción bioquímica y de la tasa de suministro de materia orgánica (Wyrski, 1962; Rowe, 1981). Además en algunas regiones, las surgencias, la lenta circulación y la alta productividad primaria en aguas superficiales causan bajas concentraciones de oxígeno en aguas subsuperficiales y posiblemente hasta anoxia, produciendo estas zonas de oxígeno mínimo. Estas características ocurren en grandes áreas oceánicas abiertas del Océano Pacífico Oriental Tropical y alcanzan el norte del Océano Índico Tropical (Kamykowski y Zentara, 1990).

En el Golfo de California, el Agua Intermedia del Pacífico (500 a 1100 m) presenta concentraciones bajas de oxígeno (entre 0.08 y 0.15 ml/L) que en algunos lugares son indetectables por el método Winkler. Este oxígeno mínimo juega un papel muy importante en la ecología y geología del Golfo, ya que influye en la distribución de organismos pelágicos y bentónicos y en los patrones de sedimentación (Sverdrup *et al.*, 1941; Roden, 1964; Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991).

Los sedimentos que subyacen a la ZOM presentan una baja diversidad y una alta dominancia de fauna de foraminíferos, típicamente con 2 ó 3 especies constituyendo más del 80% del total de las especies de organismos. Dominan las especies pequeñas, de testa delgada, perteneciendo a especies de los géneros *Bolivina* (por ej. *B. argentea*, *B. humilis*, *B. interjuncta bicostata*, *B. minuta*, *B.*

⁴ En bibliografía analizada diferentes autores definen a la Zona de Oxígeno Mínimo como el agua que contiene menos de 1 ml/L de oxígeno (Phleger y Soutar, 1973; Ingle *et al.*, 1980; Ingle, 1981); otros la mencionan con niveles de oxígeno debajo de 0.5 ml/L de oxígeno disuelto, a profundidades que varían desde 75 a 1900 m (Wyrski, 1962; Rhodes y Morse; 1971; Demaison y Moore, 1980; Quintero y Gardner, 1987; Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993); mientras que otros autores la reportan con concentraciones menores de 0.1 ml/L (Cline y Richards, 1972).

pacifica, *B. rankini*, *B. seminuda*, *B. spissa*, *B. subadvena*), *Suggrunda eckisi*, *Loxostomum pseudobeyrichi*, *Buliminella* (*B. tenuata*), *Globobulimina* (*G. affinis*, *G. hoeglundi*, *G. pacifica*), *Uvigerina* (*U. auberiana*, *U. curticosta*, *U. juncea*, *U. peregrina*), *Epistominella* (*E. bradyana*, *E. pacifica*, *E. sandiogensis*, *E. smithi*) y *Cassidulina* (*C. delicata*, *C. minuta*, *C. oblonga*, *C. subcarinata*) (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Bernhard y Reimers, 1991; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993).

La dominancia de varias formas calcáreas biseriales, triseriales, lenticulares y redondeadas, en muchas poblaciones de las ZOM batiales pueden sugerir intuitivamente una adaptación preferencial de los morfotipos alargados a aguas pobres en oxígeno (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990; Sen-Gupta y Machain-Castillo, 1993).

En particular, Hernández-Flores (1981) llevó a cabo un estudio en la región central del Golfo de California y relacionó algunos parámetros oceanográficos con la distribución de los foraminíferos bentónicos, reportando las distribuciones de las especies *Bolivina interjuncta*, *Epistominella sandiegoensis*, *Bolivina interjuncta bicostata* y *Epistominella* sp. a profundidades medias de 319 a 475 m, a temperaturas entre 9 y 10°C y bajas concentraciones de oxígeno. Encontró que las especies *Globobulimina pacifica*, *Oridorsalis tener*, *Fisurina orbignyana*, *Uvigerina peregrina*, *U. excellens* y *Uvigerina* sp. tienden a vivir a grandes profundidades (1008 – 1820 m), a temperaturas bajas (menores a 5°C) y con una concentración de oxígeno disuelto de 0.38 a 0.79 ml/L.

1.7 Variabilidad Climática durante el Holoceno

El Holoceno es una época geológica que comenzó hace aproximadamente 11 500 años tiempo transcurrido desde la última época glacial o “Edad del Hielo” hasta nuestros días. Actualmente, se sabe que las variaciones del clima a través del Holoceno han sido más considerables y frecuentes de lo que inicialmente se pensaba. Hay cada vez más evidencias de que la variabilidad climática del Holoceno a escala milenaria está asociada con la variabilidad del flujo solar (Bond *et al.*, 1997). En la literatura se ha sugerido que los cambios en la insolación, debidos tanto a las variaciones orbitales de la Tierra como a la variabilidad solar, jugaron un papel central en los cambios climáticos globales de los últimos 11 500 años. La revisión aproximadamente 50 registros paleoclimáticos distribuidos de globalmente ha revelado la existencia de seis intervalos significativos de rápido cambio climático durante el Holoceno: entre 9 000 y 8 000, 6 000 y 5 000, 4 200 y 3 800, 3 500 y 2 500, 1 200 y 1 000, 600 y 150 años. La mayoría de estos cambios se han registrado a nivel global, están caracterizados por

enfriamiento polar, aridez y grandes cambios en la circulación atmosférica. Muchos de estos intervalos de cambio climático abrupto coinciden con periodos de crisis y colapsos de algunas civilizaciones antiguas (Mayewski *et al.*, 2004).

Para el Holoceno se han definido periodicidades de 2 800 – 2 000 y 1 500 años son bien establecidos en la literatura (Bray, 1971, 1972; Dansgaard *et al.*, 1971; Jhonsen *et al.*, 1972; Denton & Karlen, 1973; Allen & Anderson, 1993; Bond *et al.*, 1997, 2001). En la región del Atlántico Norte, los registros en diferentes archivos paleoclimáticos se pueden correlacionar registros de núcleos de hielo (O'Brien *et al.*, 1995) y sedimentos marinos (Bond *et al.*, 1997). Esta correlación también se ha extendido a registros de sedimento marino en las costas de África Occidental (De Menocal *et al.*, 2000).

Para el Holoceno tardío se han determinado dos cambios climáticos globales importantes de pequeña escala, denominados: el Periodo Cálido Medieval (PCM), entre 850 y 1350 A.D. (Markgraf, 1998) y la “Pequeña Edad de Hielo” (PEH) entre 1450 – 1890 A.D. (Cronin 1999). Durante el PCM el clima se caracterizó por ser más cálido que el actual (0.5°C); éste alcanzó su máximo hacia el año 1 100 A.D., observándose un desplazamiento de los glaciares suecos a latitudes más altas (Broecker, 2001). La PEH, corresponde a un largo periodo de condiciones frías, el cual afectó a Europa. La temperatura global pudo haber sido entre 0.5 – 1.0 °C más baja que el actual (Uriarte-Cantolla, 2003). La evidencia para un clima frío es la historia de la actividad solar durante los siglos XIV al XIX, presentando una tendencia a la disminución del número de manchas solares. Grandes eventos de mínimo de manchas solares son llamados: Wolf (1 290 – 1 350 A. D.), Spörer (1 400 – 1 510 A.D.) y el Mínimo de Maunder (1 645 – 1 715 A.D.), coincidiendo con inviernos fríos de Europa (Cronin, 1999).

CAPÍTULO 2

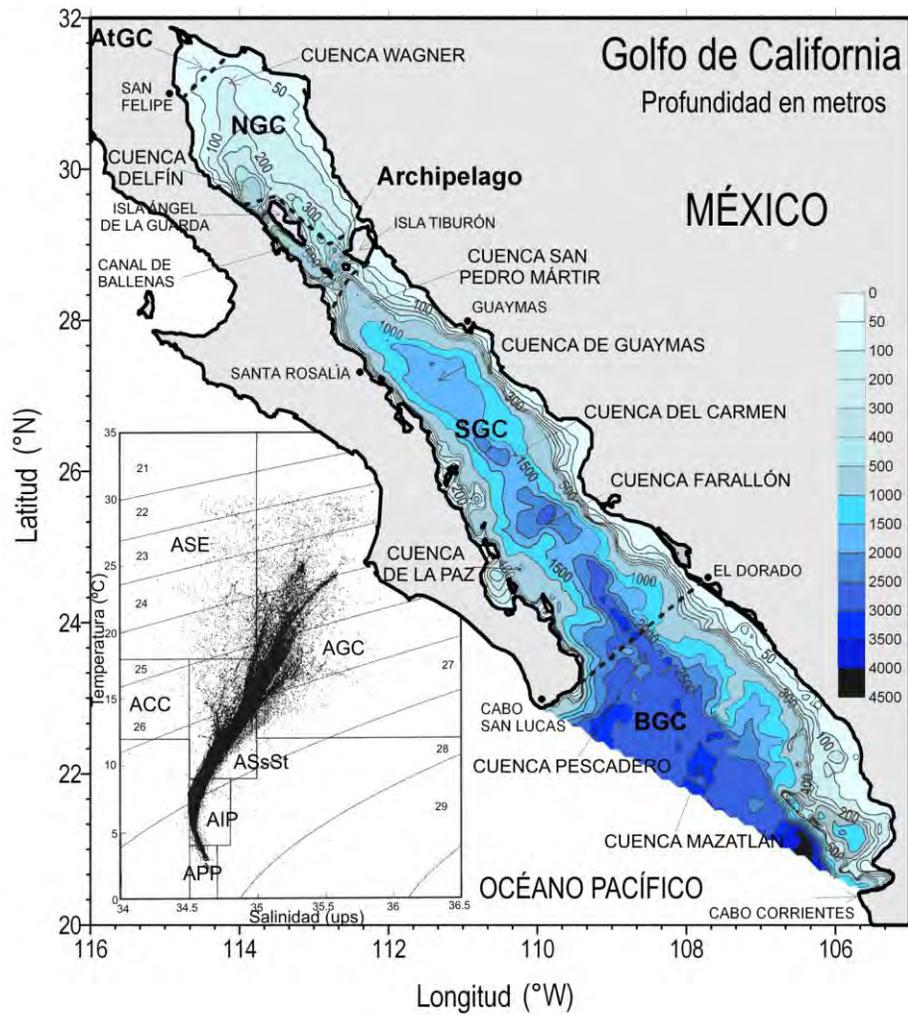
ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Batimetría

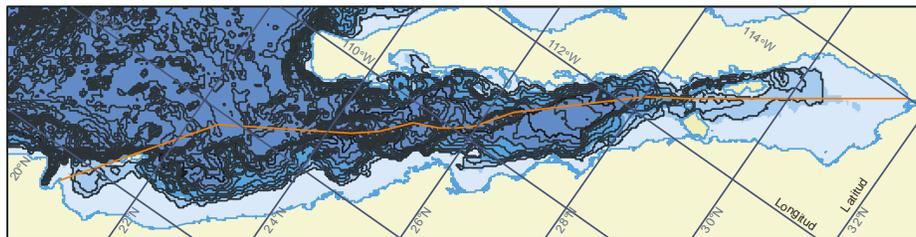
La Cuenca Farallón se encuentra en la región sur del Golfo de California (de acuerdo con Lavín *et al.*, 1997). El Golfo de California es una cuenca semicerrada ubicada entre la Península de Baja California, la región continental de México y el Pacífico Subtropical Oriental. Su extensión es de aproximadamente 150 km de ancho y 1100 km de largo, con profundidades promedio que van desde 200 m en el norte, a 3600 m en el sur (Jiménez *et al.*, 2005). El Golfo de California se ha dividido en 5 zonas de acuerdo a su batimetría: 1) Alto Golfo, 2) Parte Norte, 3) La zona entre las islas, 4) Parte Sur y 5) Zona de la Boca. Las cuencas a lo largo del Golfo de California son progresivamente menos profundas de Sur a Norte. Las cuencas Farallón, Carmen y Guaymas se encuentran más al sur y están comunicadas con el Pacífico Ecuatorial, mientras que las que se encuentran al norte están aisladas de las aguas intermedias y profundas del Pacífico (Fig. 7) (Lavín *et al.*, 1997).

El Océano Pacífico tiene una influencia marcada sobre la dinámica del Golfo de California; el agua que se encuentra dentro del golfo es esencialmente la misma que se encuentra en la región tropical oriental del Océano Pacífico. El Golfo de California está sujeto a forzamiento por el Océano Pacífico a través de la boca; además de las mareas, entran al golfo ondas internas de diferentes escalas, perturbaciones causadas por huracanes, ondas de origen ecuatorial atrapadas en la costa, una invasión anual de agua superficial de origen ecuatorial y variaciones de periodo muy largo como “El Niño” (Lavín *et al.*, 1997).

Dentro del golfo también ocurren procesos físicos (arrastre y mezcla por vientos, mezcla por mareas, intercambios de calor, evaporación, etcétera) que afectan la dinámica y alteran las características del agua. Así, la estructura termohalina del Golfo de California comparada con la del Pacífico Tropical Oriental, presenta ciertas características particulares, especialmente cerca de la superficie (Lavín *et al.*, 1997).



a)



b)

Figura 7. a) Batimetría del Golfo de California, principales cuencas y regiones: Boca (BGC), Sur (SGC), Archipiélago, Norte (NGC) y Alto Golfo (AtGC). Se incluye diagrama de temperatura-salinidad (datos de 1939 a 1993) mostrando las masas de agua: Agua Profunda Pacífico, Agua Intermedia del Pacífico, Agua Subsuperficial Subtropical, Agua Superficial Ecuatorial, Agua del Golfo de California y Agua de la Corriente de California (Tomado de Lavín y Marinone, 2003). b) Perfil batimétrico de las principales cuencas del Golfo de California (Tomado de Pérez-Cruz, 2008).

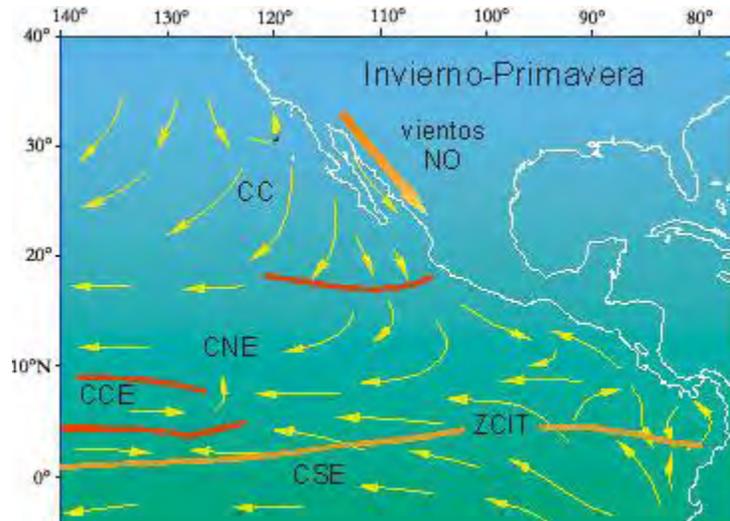
2.2 Climatología

La localización geográfica del Golfo de California es ideal para investigar la variabilidad climática, no sólo a escala local, sino a nivel de cuenca del Pacífico Norte.

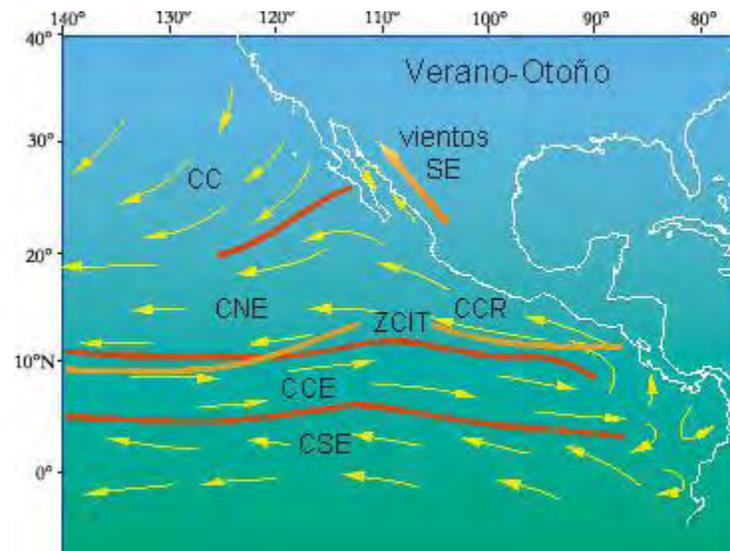
El Golfo es una cuenca evaporítica cuya estructura vertical termohalina está caracterizada por la salida de aguas subsuperficiales someras relativamente cálidas y salinas y una entrada compensatoria de aguas superficiales relativamente menos salinas y más cálidas. El intercambio en la superficie está relacionado con los patrones estacionales de los vientos (Bray y Robles, 1991).

El clima del Golfo de California está influenciado principalmente por la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ por sus siglas en inglés) -zona de baja presión donde confluyen los vientos alisios del noreste y sureste (Trewartha y Horn, 1980)- y por los centros de presión atmosférica, los cuales estacionalmente presentan reacomodos (migración latitudinal) y cambios en intensidad, que definen los patrones de los vientos, la precipitación, la circulación superficial y el aporte de sedimentos a la cuenca (Barry y Chorley, 2003; Pérez-Cruz y Urrutia-Fucugauchi, 2009).

Las condiciones climáticas son dominadas por procesos estacionales relacionadas con la actividad del monzón resultando en cambios marcados a lo largo de la península y Golfo de California (Douglas *et al.*, 1993). Durante el invierno y la primavera, los vientos del noroeste son dominantes a lo largo del Golfo y propician un transporte neto de aguas superficiales hacia afuera del golfo (Badan-Dangon *et al.*, 1991). Durante el verano y otoño, los patrones de vientos se invierten, con vientos dominantes del sureste y una penetración de aguas superficiales tropicales desde el Pacífico por el lado oriental del golfo. Durante invierno, cuando la insolación en el Hemisferio Norte es muy baja, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) está localizada por debajo del ecuador en el Océano Pacífico (Fig. 8(a)) (Chiang *et al.*, 2002; Poore *et al.*, 2004). Bajo estas condiciones los intensos vientos del noroeste dominan el Golfo de California, como resultado, se producen surgencias intensas (Bray y Robles, 1991), destacando un incremento en la productividad primaria de las aguas superficiales y un máximo en flujos de materiales biogénicos (Thunell, 1998). Durante el verano, cuando la insolación en el Hemisferio Norte está en su máximo, la ZCIT se mueve latitudinalmente en dirección al norte (Fig. 8 (b)). El régimen atmosférico resultante es aquel en el cual dominan los vientos débiles de las regiones sur y central del Golfo de California.



a)



b)

Figura 8. Climatología anual del Golfo de California. Representación esquemática de las principales condiciones climáticas en el Golfo de California durante: a) Invierno - Primavera con vientos dominantes del noroeste, presentando un centro de baja presión atmosférico sobre la parte continental en el noroeste y un giro ecuatorial débil en el golfo. b) Otoño – Verano con vientos dominantes del suroeste en superficie marcadas por un fuerte giro ecuatorial, un centro de baja presión atmosférico en la parte noroccidental (Tomada de Pérez-Cruz y Urrutia-Fucugauchi, 2009).

La mayor fuente de la variabilidad interanual en el Golfo de California es causada por “El Niño”. Este fenómeno tiene una gran influencia en la oceanografía. Durante los eventos de “El Niño” hay una gran advección de las aguas tropicales dentro del Golfo, así los vientos del

noroeste se debilitan a principios de la primavera (Marzo) y continúan hasta finales del otoño (Noviembre) (Thunell, 1998; Soto-Madones *et al.*, 1999).

El sistema de vientos acarrea aire con características (humedad, temperatura) muy diferentes en verano y en invierno, debido al origen distinto de las masas de aire. En el verano, el aire proviene de la zona marítima tropical y consecuentemente es húmedo y seco. En el invierno, el aire proviene de la masa continental de Norteamérica, así que es frío y más seco que en el verano (Lavín *et al.*, 1997).

2.3 Masas de Agua del Golfo de California

Las masas de agua que se encuentran dentro del Golfo de California con base en la clasificación de Torres-Orozco (1993) se describen a continuación y se muestran en la Figura 9.

El Agua Profunda del Pacífico (APP) se encuentra desde el fondo hasta ~1200 m de profundidad. Esta masa de agua ocupa un volumen del 41% del golfo; la salinidad aumenta hacia el fondo. Es una masa de agua muy estable, debido a que está aislada de la influencia meteorológica que tanto afecta a la superficie.

Por encima del APP se encuentra el Agua Intermedia del Pacífico (AIP), que ocupa el 33% del volumen del golfo desde ~1200 m hasta ~500 m; se caracteriza por un mínimo de salinidad. Las corrientes intensas sobre los umbrales seguramente causan mezcla entre el AIP y el Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), que se encuentra inmediatamente arriba. La frontera inferior del AIP no presenta variaciones apreciables, pero la frontera superior parece retraerse hacia el sur en el verano y avanza en el invierno, lo cual sugiere que la entrada de AIP a la zona norte del golfo, tal vez sea estacional o esporádica.

El límite inferior del ASsSt se encuentra a ~500 m y parece tener una variación estacional. El límite superior está definido por los límites de ambas características ($S < 35$ y $T 18^{\circ}\text{C}$) y se encuentra aproximadamente a los 150 m de profundidad. En otoño-invierno, el ASsSt presenta su máxima intrusión en la parte norte del golfo y se extiende hasta la isóbata de 150 m., mientras que en primavera-verano se retrae hasta la isóbata de 300 o 350 m.

El Agua Superficial Ecuatorial (ASE) proviene de la región ecuatorial del Pacífico y es una de las aguas superficiales del golfo; con una salinidad menor de 35, la otra es el Agua del Golfo de California (AGC), que se encuentra por encima de los 150 m. La extensión del ASE hacia el interior del golfo tiene una clara señal estacional con su máxima intrusión en verano (cuando el

ASE puede llegar hasta la Cuenca de Guaymas) y la máxima retracción en invierno, cuando se le encuentra solamente cerca de la boca del golfo.

El Agua del Golfo de California (AGC) también ocupa los primeros 150 m de la columna de agua. Tiene como característica distintiva una salinidad mayor a 35, pero se encuentra principalmente en la parte norte, donde es la única masa de agua hasta esa profundidad. Como ya se mencionó, en verano el AGC sólo llega hasta la cuenca de Guaymas, pero en la parte norte ocupa mayor profundidad, mientras el ASE tiene su mayor intrusión y el límite superior del ASsSt se retrae. El AGC ocupa la capa superior del Canal de Ballenas, por encima del ASsSt (Romero-Centeno, 1995).

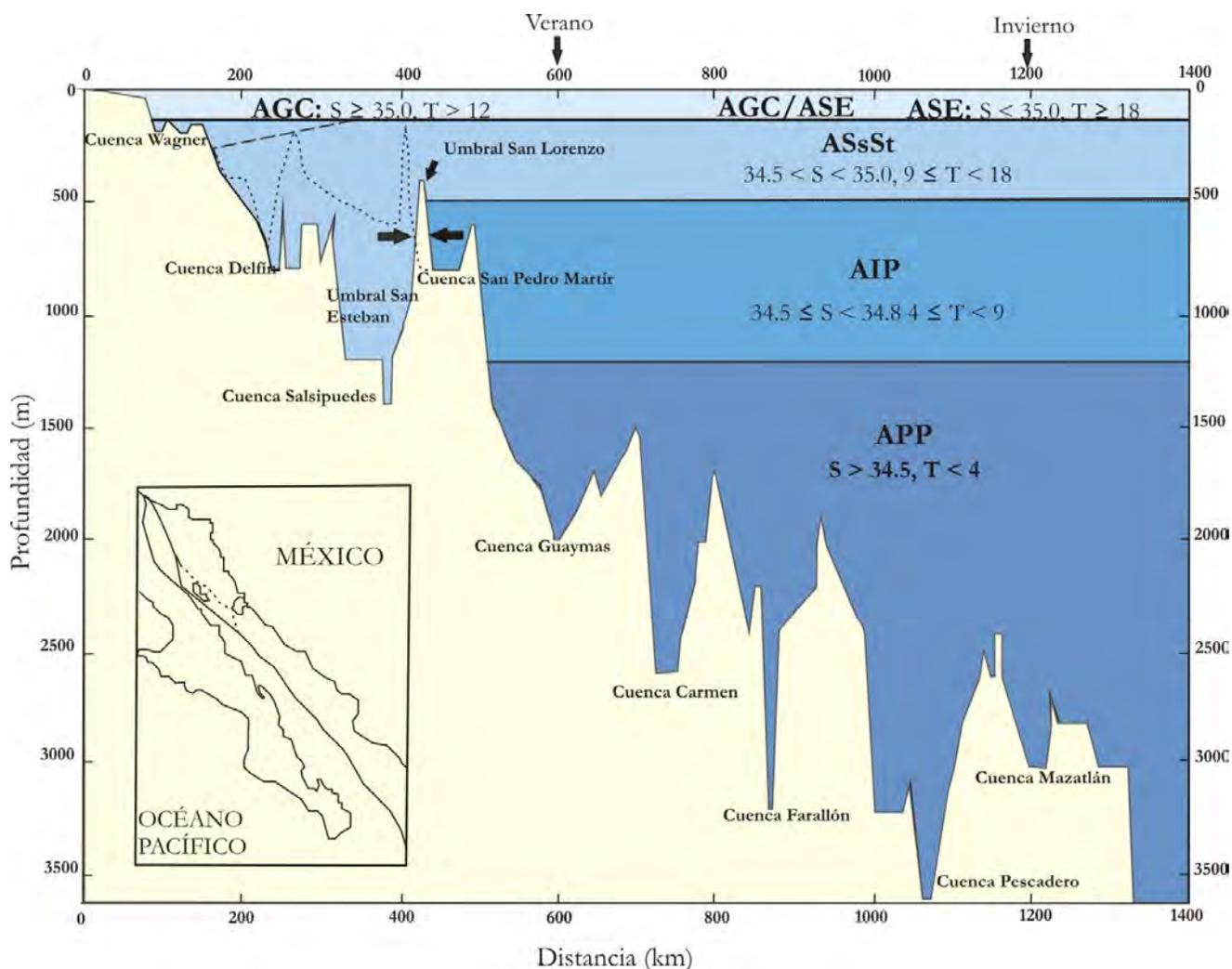


Figura 9. Esquema de la distribución de las masas de agua del Golfo de California (Tomada y modificada de Lavín y Marinone, 2003).

2.4 Cuenca Farallón

La Cuenca Farallón se ubica en la zona sur del Golfo de California, en el margen occidental, tiene una profundidad de aproximadamente 3000 m. Por su batimetría ocurren las siguientes masas de agua: Agua Profunda del Pacífico (AIP), Agua Intermedia del Pacífico (AIP), Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt), el Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y el Agua del Golfo de California (AGC) (Fig. 10).

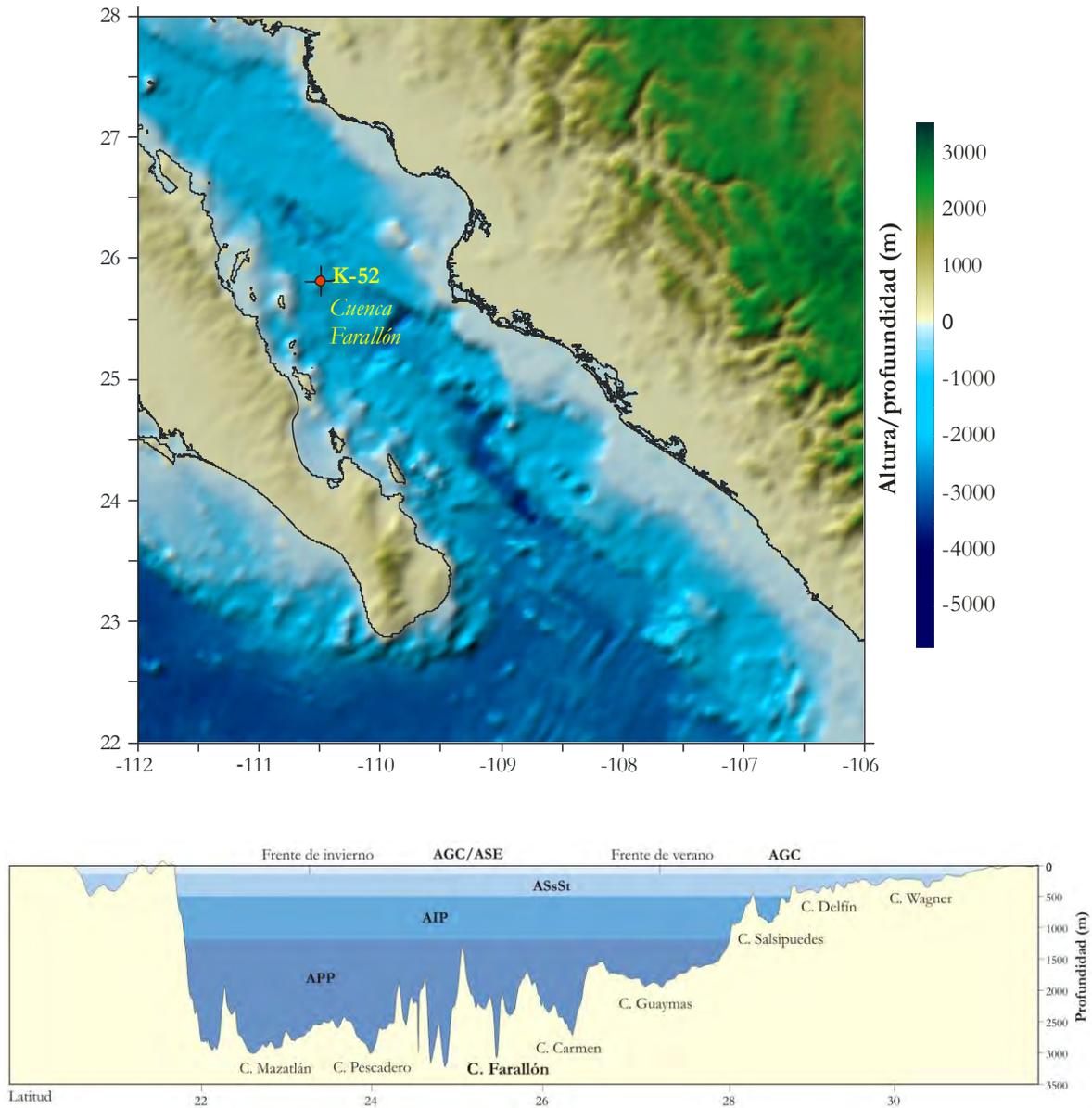


Figura 10. Ubicación del núcleo K-52 en la Cuenca Farallón, Golfo de California y masas de agua del Golfo de California (Tomado de Pérez-Cruz, 2008).

Baba *et al.*, (1991) y Van Andel (1964) reportan para la región sur del Golfo de California un régimen fluvial, principalmente en el lado oriental del golfo, por lo que hay un mayor aporte de sedimentos terrígenos, provocados por descargas fluviales que arrastran sedimentos al mar desde la Sierra Madre Occidental y que genera un carácter terrígeno-detrital.

En el fondo de las cuencas, este aporte llega hasta la Cuenca Farallón. Sin embargo, en la región suroeste las descargas fluviales son escasas y se registra una baja precipitación presentándose así, un decremento en los terrígenos y un mayor aporte de sedimentos biogénicos. En la región sur-occidental del Golfo de California, los sedimentos están conformados generalmente por: arcillas, limos y sedimento de origen biogénico (testas de diatomeas, radiolarios y foraminíferos).

La productividad de la Cuenca Farallón, es alta y es inducida por los sistemas de surgencias, siendo intensos durante el verano y otoño, el desarrollo de los vientos del suroeste producen la penetración de aguas superficiales ecuatoriales y la presencia de surgencias del lado occidental (Badán-Dangón *et al.*, 1985).

CAPÍTULO 3

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Muestreo en el buque oceanográfico

Obtención de la secuencia sedimentaria

La secuencia sedimentaria K-52 se obtuvo con un nucleador de gravedad tipo Kasten a bordo del Buque Oceanográfico “El Puma” de la Universidad Nacional Autónoma de México, durante la campaña oceanográfica “Dinámica Oceanográfica y Paleoceanografía” DIPAL-1 en el mes de febrero de 2006, en la Cuenca Farallón, Golfo de California, a una profundidad de 1517 m.

El nucleador de gravedad tipo Kasten, es un sistema armado con camisas de acrílico, las cuales son cajas que miden 14.5 cm de ancho por 50 cm de altura, con un espesor de aproximadamente 3 mm. La finalidad de estas camisas es facilitar el muestreo de la columna sedimentaria, evitar la perturbación y facilitar su traslado al laboratorio. Las camisas de acrílico fueron etiquetadas, selladas y acomodadas en el cuarto frío del buque, para su posterior transporte al laboratorio.

En el sitio del muestreo se tomaron las coordenadas geográficas y la profundidad del fondo, con geoposicionador por satélite (GPS) y una ecosonda (Tabla V). Asimismo, se tomaron muestras de agua a diferentes profundidades de la columna de agua para distintos análisis (nutrientes, clorofila) y en particular en el punto de muestreo, se tomó una muestra a 1 450 m para cuantificar el oxígeno disuelto por el método de Winkler.

Tabla V. Localización del núcleo K-52 en la Cuenca Farallón, Golfo de California.

Muestreador	Estación	Latitud °N	Longitud °W	Profundidad (m)	Longitud del Núcleo (m)
K-52	52	25°50' 89''	110° 28' 512''	1 517	1.40

3.2. Descripción de la Secuencia Sedimentaria K-52.

Para la descripción de la secuencia sedimentaria K-52 se consideraron las siguientes características:

- Texturales, sedimentológicas
- Color de los sedimentos con base en la Tabla de Colores Munsell (1995)
- Distribución observable de cenizas volcánicas, nódulos, conglomeraciones, entre otras
- Estructura (capas, láminas, entre otras)
- Inclusiones
- Bioturbación
- Perturbación debido, al transporte o recuperación del sedimento

3.3 Datación del núcleo K-52 con radiocarbono de Espectrometría de Aceleración de Masa

Para estimar edades absolutas que nos ayudan a asociar eventos paleoclimáticos en el registro geológico son de gran utilidad los métodos radiométricos. En este estudio se realizó una datación radiométrica de radiocarbono, con el propósito de tener un marco cronológico.

La **Espectrometría de Aceleración de Masa (AMS, por sus siglas en inglés)**, es un método de conteo directo del isótopo de ^{14}C . La ventaja crucial del método AMS es el tamaño pequeño de la muestra requerida para la datación, que es de aproximadamente 20 miligramos. Las mediciones de radiocarbono se reportan siempre en términos de años antes del presente (***Before Present: BP***) y está basado en la proporción de radiocarbono encontrado en la muestra (Pérez-Cruz, 2000).

El método de datación para el Carbono 14 ha sido ampliamente utilizado como una técnica para datar sedimentos de hasta 40 000 años. Su vida media es de $5\,730 \pm 40$ años; por lo que después de 10 vidas medias, habrá muy poca cantidad de carbono radioactivo presente en la muestra y la técnica alcanza su límite (Stuvier y Polach, 1977).

El ^{14}C se midió en testas de foraminíferos bentónicos, ya que estos organismos fueron los más abundantes, en dos intervalos se eligieron especímenes de *Uvigerina peregrina* (por ser la más abundante y mejor preservada). Las muestras fueron enviadas al Laboratorio Beta Analytic Inc. en Miami, Florida, para las mediciones de radiocarbono AMS (Tabla V).

3.4 Procesamiento de las muestras en el laboratorio para el estudio micropaleontológico

El procesamiento de las muestras sedimentarias para la obtención de los foraminíferos bentónicos, se realizó de la siguiente manera:

Se submuestreo cm a cm la secuencia sedimentaria total de 140 cm y para este estudio se utilizaron las muestra de 5 cm, dando un total de 28 muestras. Las muestras sedimentarias se procesaron de acuerdo con la técnica de Oliver-Salomé (1998), que se describe a continuación:

Se colocó el sedimento húmedo en cápsulas de porcelana y se introdujeron al horno para su secado a una temperatura de 40°C, ya secas se pesaron en una balanza analítica Citizen. Posteriormente a las muestras se les añadió agua con Calgón (Hexametáfosfato de Sodio), el cual dispersa mecánicamente las partículas de los sedimentos y facilita su lavado.

Después fueron lavadas con agua corriente a través de un tamiz con una luz de malla de 63µm, para eliminar limos y arcillas. Las muestras ya lavadas se secaron en el horno a una temperatura de 40°C, ya secas se pesaron nuevamente, para estimar la proporción de limos y arcillas y fueron puestas en frascos debidamente etiquetados para su posterior análisis.

Con base en los pesos secos antes y después del lavado se pudo constatar que los sedimentos que componen la Cuenca Farallón son limos y arcillas, observando una mayor proporción de ellos en comparación a sedimentos de origen biogénicos (arenas con foraminíferos) (Anexo I). Esta estimación fue de gran utilidad para la interpretación paleoambiental.

Para la separación, conteo e identificación taxonómica de las especies se utilizó un microscopio estereoscópico Carl Zeiss Stemi 2000 con aumentos de 1.25 X 1x y 0.65 X 1.6x. y dependiendo la cantidad de sedimento las muestras secas se fraccionaron por medio de un fraccionador Otto, hasta alcanzar una fracción que contuviera aproximadamente entre 300 y 500 especímenes de foraminíferos bentónicos, ya que esta es una alícuota representativa de la población de microfósiles (Sachs, 1973). Se procedió a separarlos en placas micropaleontológicas para su posterior identificación taxonómica.

3.5. Identificación taxonómica de los foraminíferos bentónicos

Se identificaron especies de foraminíferos bentónicos del área de estudio y se revisó su diagnosis a través de bibliografía especializada (Cushman, 1955; Bandy, 1961, 1967; Loeblich y Tappan, 1978; Uchio, 1960).

En los 28 intervalos de la secuencia fue posible identificar el total de las especies presentes, debido a la buena preservación que presentaban sus testas.

Cabe mencionar que en particular para las especies *Bolivina seminuda* y *Bolivina subadvena*, se realizó la identificación de formas microséricas y megaloséricas, para sus posteriores consideraciones ecológicas e interpretación paleoambiental.

Se elaboró una matriz con las abundancias absolutas de cada una de las especies en cada intervalo, quedando 28 variables y 55 casos. A partir de estos datos, se estimaron las abundancias relativas de cada una de las especies.

3.6 Análisis Estadístico

Con base en la matriz de abundancias relativas, se llevó a cabo un análisis estadístico exploratorio para poder identificar a las especies más importantes, por su abundancia, o bien por su significancia en algún intervalo. De acuerdo con estos criterios se simplificó la matriz original y se elaboró una matriz que incluyó las 28 variables (muestras) y 22 casos (especies) (Anexo II) las cuales presentaron un porcentaje mayor o igual a 1.

Con esta última matriz, utilizando el programa STATISTICA 7, se aplicó un análisis multivariado, el Análisis de Factores “Modo Q”, el cual agrupa o relaciona el conjunto de las variables originales en una forma resumida; originando resultantes denominados factores que son significativos y relativamente dependientes uno de otro (Kim, 1978). Estos factores están determinados por su valor propio (*Eigenvalue*), entre más alto sea su valor mayor importancia tendrá dentro del modelo (Pisias, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Los factores son interpretados con base a la carga de factor y al valor propio. La carga del factor (*factor loading*) representa la importancia del factor en cada uno de los intervalos, entre más alto sea la carga del factor mayor dominancia tendrá el factor en un nivel determinado. Un valor de factor (*factor scores*) identifica la importancia de cada especie en un factor, entre más alto sea el valor del factor, mayor importancia tendrá la especie en particular en dicho factor (Pisias, 1986; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

Por último, se tomaron fotografías de las especies más representativas de la asociación de foraminíferos bentónicos con una cámara digital Canon Powershot A640, para documentar las especies que caracterizaron a cada factor.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Descripción del núcleo K-52

La secuencia sedimentaria K-52 tuvo una longitud de 142 cm. Los primeros 2 ó 3 cm aproximadamente, muestran perturbación probablemente a la manipulación durante su recuperación. La secuencia estuvo caracterizada por sedimentos limo-arcillosos y presenta una estructura relativamente homogénea a lo largo de todo el núcleo. El color que predomina en los primeros 100 cm es el negro olivo (clave 5Y2/1) (Tabla de Munsell, 1995) y en los siguientes centímetros, presenta un color gris olivo (clave 5Y3/2) (Tabla de Munsell, 1995). En el núcleo predominan los sedimentos hemipelágicos. En los últimos 20 cm se observan a simple vista, un par de laminaciones con un espesor promedio de 0.5 cm conformadas por diatomeas de los géneros *Thalassiosira* y/o *Thalassionema*.

4.2 Modelo de Edad

Con base en las dataciones de radiocarbono **AMS** (Espectrometría de Aceleración de Masa) (Tabla VI), se estimó una tasa de sedimentación de 0.31mm/año. Las edades de radiocarbono fueron calibradas con el Programa Calib 5.0.0. Se estima que la secuencia sedimentaria K-52 tiene un alcance de aproximadamente 4 180 años (Holoceno Medio - Tardío).

Tabla VI. Edades de ^{14}C AMS del núcleo K-52. Las edades corresponden años cal AP.

Profundidad (cm)	Tipo de Muestras	Clave	Edad ^{14}C -AMS	Error	Rango calibrado 2σ (años cal AP)
71.8 cm	<i>Uvigerina peregrina</i>	Beta - 253719	2770	+/- 40	2110 a 1790
142 cm	<i>Uvigerina peregrina</i>	Beta - 253720	4550	+/- 40	4370 a 3960

4.3 Abundancia de generaciones dimórficas (formas megalosféricas y microféricas) de *Bolivina seminuda* y *Bolivina subadvena*

En los primeros 45 cm de la columna sedimentaria se observa un dominio de la especie *Bolivina seminuda* y en menor *Bolivina subadvena*, estas especies presentan generaciones dimórficas, es decir una fase asexual (formas megalosféricas) y otra fase sexual (formas microféricas), en este estudio el porcentaje de la generación megalosférica fue mayor al 80% en ambas especies (Fig. 11). La dominancia de la fase asexual de estas especies se ha reportado en el Golfo de California por Douglas y Staines-Urías (2007), asociada a concentraciones bajas de oxígeno en las aguas de fondo, aproximadamente 0.1 ml/L y a sedimentos con altos contenidos de carbono orgánico, predominando durante la temporada de surgencias, ya que la reproducción asexual ocurre como respuesta del descenso de fitodetrítus a las aguas de fondo. Lo que sugiere que durante el Holoceno Tardío ha habido un constante flujo de fitodetrítus a las aguas del fondo debido a una mayor productividad en la superficie.

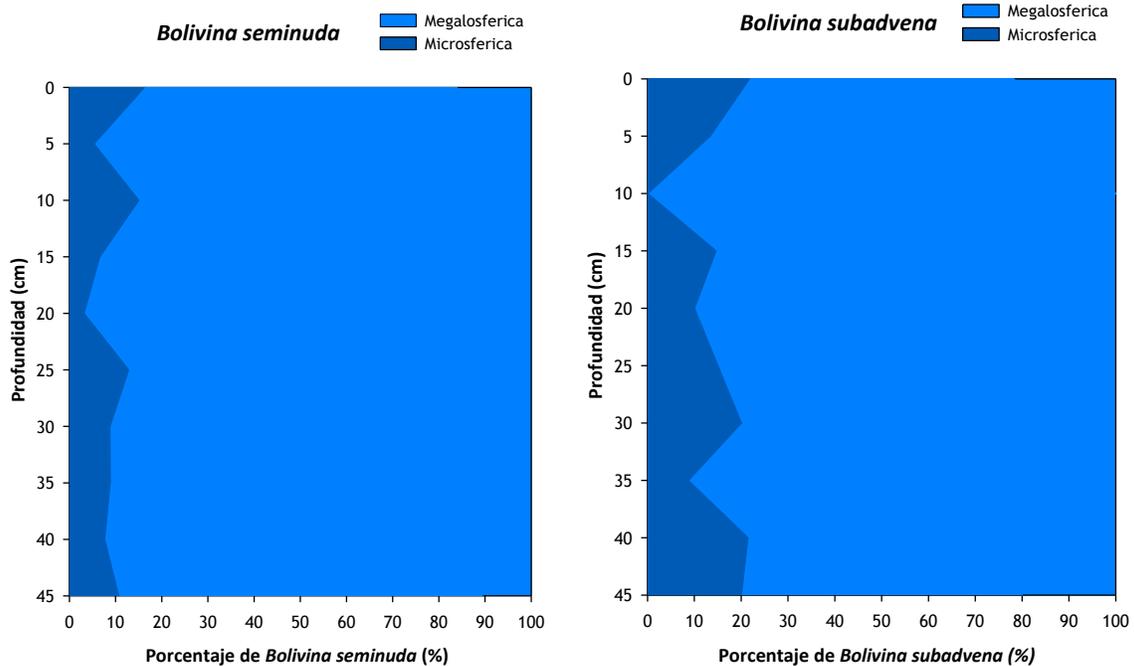


Figura 11. Porcentaje de las formas megalosféricas y microféricas de la dos especies representativas (*Bolivina seminuda* y *Bolivina subadvena*).

4.4 Análisis Microfaunístico

En la secuencia sedimentaria se identificaron 55 especies de foraminíferos bentónicos en 28 muestras (Tabla VII).

Tabla VII. Foraminíferos bentónicos identificados en la secuencia sedimentaria K-52, recolectada en la Cuenca Farallón, en el Golfo de California.

FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS DE LA CUENCA FARALLÓN, GOLFO DE CALIFORNIA			
1	<i>Bolivina argentea</i> Cushman, 1957	29	<i>Cibicidoides io</i> (Cushman) 1931
2	<i>Bolivina internjunta - bicostata</i> Cushman, 1935	30	<i>Epistominella sandiegoensis</i> Uchio, 1960
3	<i>Bolivina plicata</i> d'Orbigny, 1839	31	<i>Epistominella smithi</i> Stewart y Stewart, 1930
4	<i>Bolivina seminuda</i> Cushman, 1911	32	<i>Eponides polius</i> Phleger y Parker, 1951
5	<i>Bolivina subadvena</i> Cushman, 1926	33	<i>Fursenkoina cornuta</i> (Cushman)
6	<i>Bolivina acuminata</i> Natland, 1946	34	<i>Globobulimina affinis</i> (d'Orbigny, 1839)
7	<i>Bolivina subaenariensis</i> Cushman, 1922	35	<i>Globobulimina pacifica</i> Cushman, 1927
8	<i>Bulimina striatula</i> Cushman, 1922	36	<i>Gyroidinoides altiformis</i> Renz, 1948
9	<i>Bulimina denudata</i> Cushman y Parker, 1947	37	<i>Islandiella laevigata</i> d'Orbigny, 1826
10	<i>Bulimina marginata</i> d'Orbigny, 1826	38	<i>Loxostomum pseudobeyrichi</i> (Cushman, 1926)
11	<i>Bulimina mexicana</i> Cushman, 1922	39	<i>Melonis parkerae</i> (Uchio)
12	<i>Bulimina pagoda</i> Cushman	40	<i>Nonion barleeanus</i> Williamson, 1858
13	<i>Bulimina pyrula</i> Brady 1884	41	<i>Nonionella atlantica</i> Cushman, 1947
14	<i>Bulimina striata</i> d'Orbigny, 1826	42	<i>Nonionella stella</i> Cushman y Moyer, 1930
15	<i>Buliminella curta</i> Cushman, 1925	43	<i>Oridorsalis umbonatus</i> (Reuss, 1851)
16	<i>Buliminella morgani</i> Anderson, 1961	44	<i>Planulina ornata</i> (d'Orbigny, 1839)
17	<i>Buliminella tenuata</i> Cushman, 1927	45	<i>Pullenia</i> sp.
18	<i>Cassidulina delicata</i> Cushman y Hughes, 1925	46	<i>Pullenia bulloides</i> (d'Orbigny, 1846)
19	<i>Cassidulina minuta</i> Cushman, 1933	47	<i>Pyrgo murrhina</i> (Schwager, 1866)
20	<i>Cassidulina californica</i> Cushman y Hughes, 1925	48	<i>Trifarina angulosa</i> (Williamson, 1858)
21	<i>Cassidulina subglobosa</i> (Cushman y Hughes) 1937	49	<i>Uvigerina excellens</i> Todd, 1948
22	<i>Chilostomella ovoidea</i> Reuss, 1850	50	<i>Uvigerina hispida</i> Schwager
23	<i>Cibicides dobertyi</i> Galloway y Morrey, 1929	51	<i>Uvigerina peregrina</i> Cushman, 1918
24	<i>Cibicides lucida</i> Grimsdale y Barker, 1935	52	<i>Uvigerina laevis</i> Goës, 1896
25	<i>Cibicides mckannai</i> Galloway y Wissler, 1952	53	<i>Valvulineria araucana</i> (d'Orbigny, 1839)
26	<i>Cibicides wuellerstorfi</i> (Schwager) 1866	54	<i>Valvulineria mexicana</i> Parker
27	<i>Cibicidoides floridanus</i> Poag (1981)	55	<i>Valvulineria inflata</i> (d'Orbigny, 1839)
28	<i>Cibicidoides corpulentus</i> (Phleger y Parker)		

4.5 Análisis de Factor “Modo Q”

A partir de este análisis se definieron dos factores, los cuales en conjunto explican el **92.54%** de la varianza total de los datos (Tabla VIII).

Tabla VIII. Valores propios (*Eigenvalue*) de los Factores definidos a través del Análisis de Factores “Modo Q”.

VALORES	<i>Eigenvalue</i>	% Total de la varianza	<i>Eigenvalue</i> Acumulativo	% Acumulativo de varianza
1	16.968	60.60	16.96	60.60%
2	8.9442	31.94	25.91	92.54%

El factor 1 explica el 60% de la variabilidad total de los datos (Tabla VIII). Se puede observar que presenta las mayores cargas del factor en el intervalo de 4 180 a ~1 720 años cal AP (Tabla IX). De acuerdo con los valores de este factor la especie que lo define es principalmente *Unigerina peregrina* (Tabla X, Fig. 12).

El factor 2 explica el 31.9% de la variabilidad total de los datos (Tabla VIII). Teniendo las mayores cargas en el intervalo entre ~1 720 a 579 años cal AP (Tabla IX). Con base en el valor del factor las especies que lo definen son: *Bolivina seminuda* y *Buliminella tenuata* (Tabla X, Fig. 12).

Se calcularon y se graficaron las cargas de factor en números absolutos (Tabla IX, Fig. 12), con el propósito de observar su distribución estratigráfica. Por otro lado, se graficaron los valores del factor para cada factor definido que muestran las especies asociadas a cada uno de ellos.

4.6 Interpretación Paleoceanográfica con base en el Análisis de Factores

Los factores fueron denominados Factor 1 “Condiciones subóxicas” y Factor 2 “Condiciones disóxicas”, con base a las afinidades ecológicas y la relación con el oxígeno disuelto de las especies que los caracterizaron:

Tabla IX. Cargas de los factores (*factor loadings*) a lo largo de la secuencia sedimentaria K-52. Las cargas representativas de cada factor se muestran en negritas.

Intervalo (cm)	Factor 1	Factor 2
0	0.13723	-0.916384
5	-0.05168	-0.973734
10	0.01620	-0.695588
15	0.07507	-0.926290
20	-0.10695	-0.972749
25	-0.08867	-0.983629
30	-0.08789	-0.987118
35	-0.11133	-0.969940
40	-0.12402	-0.970128
45	-0.06732	-0.933116
50	0.87546	-0.459852
55	0.99013	0.024563
60	0.98296	0.026470
65	0.94980	0.078619
70	0.98995	0.030724
75	0.99422	0.046741
80	0.99240	0.049297
85	0.98084	0.059216
90	0.99415	0.026068
95	0.94075	0.031760
100	0.99221	0.029479
105	0.99474	0.064484
110	0.97778	0.088367
115	0.95222	0.080538
120	0.81730	0.041323
130	0.99051	0.064155
135	0.98903	0.058525
140	0.96313	0.043785

Tabla X. Valores de los factores (*factor scores*) que presentan las especies en cada uno de los factores. Las especies con mayor valor de factor se muestran en negritas.

ESPECIE	Factor 1	Factor 2
<i>Bolivina argentea</i>	-0.398384	0.29819
<i>Bolivina plicata</i>	-0.390241	0.36007
<i>Bolivina seminuda</i>	-0.199318	-3.83734
<i>Bolivina subadvena</i>	-0.222621	-0.63829
<i>Bolivina sabaenariensis</i>	0.071278	0.45066
<i>Bulimina mexicana</i>	0.378730	0.43587
<i>Bulimina pagoda</i>	-0.366788	0.41688
<i>Bulimina pyrula</i>	-0.322238	0.40469
<i>Bulimina striata</i>	-0.108459	0.48760
<i>Buliminella tenuata</i>	-0.241857	-1.40682
<i>Cassidulina delicata</i>	-0.289419	-0.86221
<i>Epistominella smithi</i>	0.029224	-0.06207
<i>Fursenkoina cornuta</i>	-0.400352	0.37565
<i>Globobulimina affinis</i>	-0.245692	0.53307
<i>Globobulimina pacifica</i>	-0.266422	0.46456
<i>Gyroidina soldanii</i>	-0.193146	0.48925
<i>Loxostomum pseudobeyrichi</i>	-0.344461	0.05487
<i>Melonis parkerae</i>	-0.346627	0.54414
<i>Oridorsalis umbonatus</i>	-0.352537	0.52905
<i>Uvigerina excellens</i>	0.194331	0.52166
<i>Uvigerina peregrina</i>	4.381111	-0.03013
<i>Valvulineria mexicana</i>	-0.366110	0.47066

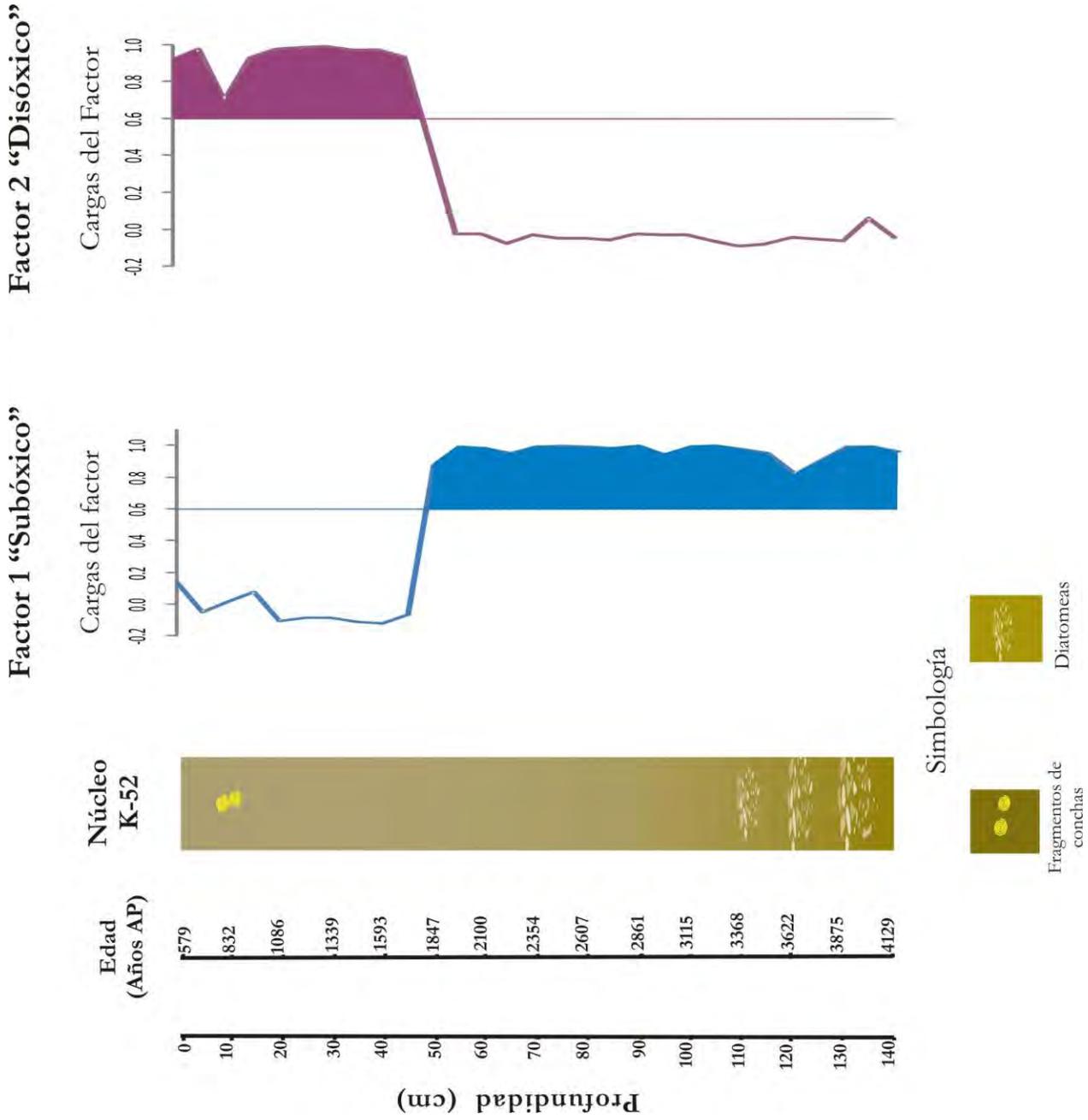


Figura 12. Esquema de la columna estratigráfica del núcleo K-52 y cargas del Factor 1 "Condiciones subóxicas" y del Factor 2 "Condiciones disóxicas". Las áreas sombreadas representan los intervalos más significativos para cada factor.

Factor 1 “Condiciones subóxicas”

Como se mencionó anteriormente la especie dominante del Factor 1 es: *Uvigerina peregrina*, con valor de factor de 4.38 y *Bulimina mexicana* con valor de factor 0.37 (Tabla X, Fig. 13, Anexo III).

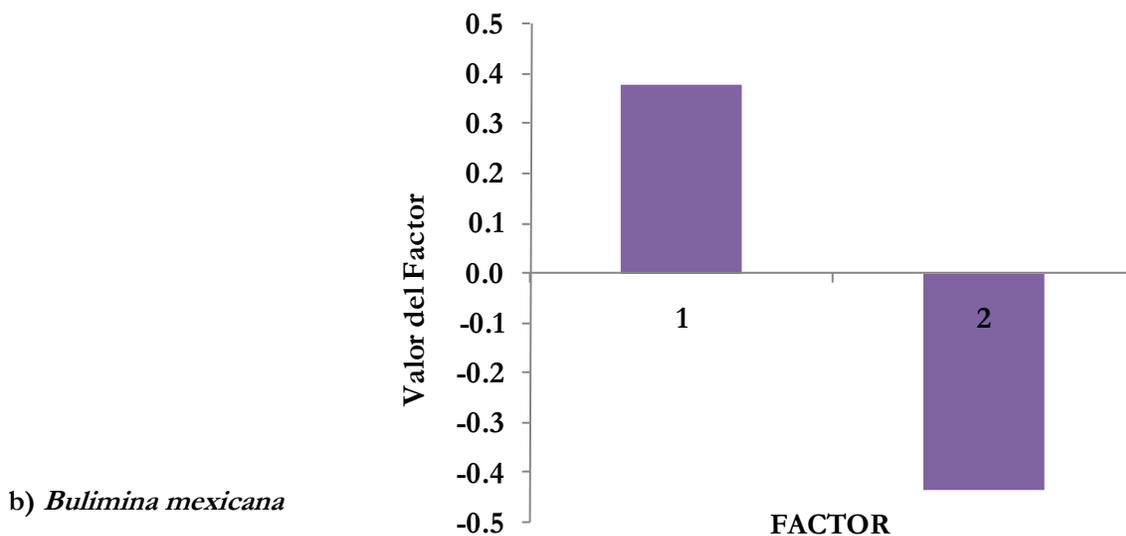
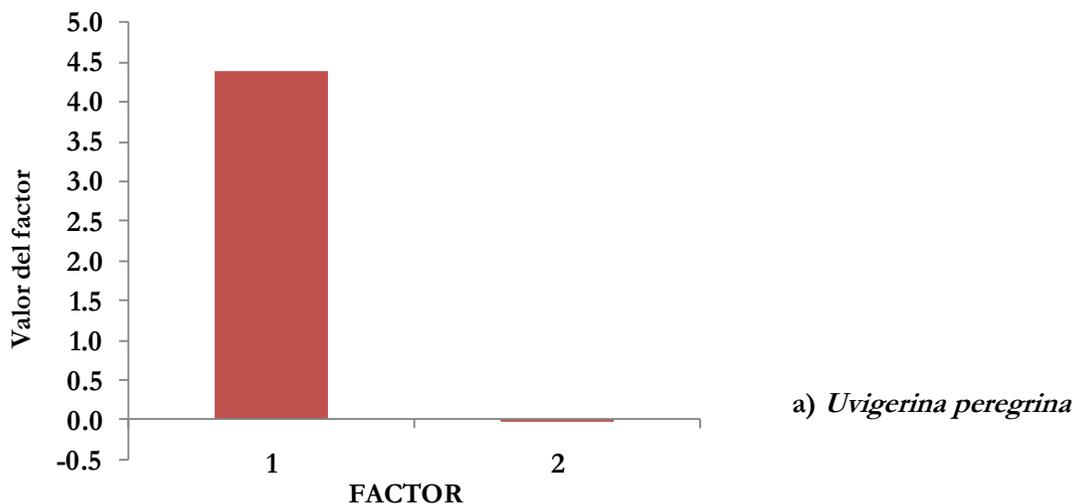


Figura 13. Valor del factor de las especies que define al Factor 1: a) *Uvigerina peregrina* y b) *Bulimina mexicana*.

Se ha reportado en la literatura que el género *Uvigerina* puede adaptarse a condiciones ambientales con bajos contenidos de oxígeno, de hecho, su abundancia aumenta a menor cantidad de oxígeno disuelto (Boltovskoy *et al.*, 1991; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993; Hayward *et al.*, 2002; Smart, 2002).

En particular, *Uvigerina peregrina* ha sido reportada en el margen oriental del Pacífico, habitando ambientes con salinidades de 34 a 34.5, temperatura de 2 a 13°C, en sustratos limosos y a profundidades entre los 142 a 2 134 m (Murray, 2001).

Uvigerina peregrina es una especie infaunal somera, que depende de un flujo sustancial de materia orgánica, siendo muy abundante donde hay una alta concentración de bacterias, es una especie detritívora, de vida libre, con afinidad por aguas frías (Boltovskoy *et al.*, 1980; Altenbach y Sarnthein, 1989; Corliss y Emerson, 1990; Jannink *et al.*, 1998; Altenbach *et al.*, 1999; De Rijk *et al.*, 2000; Schmiedl *et al.*, 2000; Murray, 1973, 2006; Fontanier *et al.*, 2002, 2003; Murray *et al.*, 2003).

Esta especie, ha sido relacionada a con condiciones subóxicas (0.3 a 1.5 ml/L) en los sedimentos de la Cuenca de Santa Bárbara (Cannariato y Kennett, 1999). Cabe destacar que *U. peregrina* fue reportada por Bandy (1967) como afín a condiciones subóxicas (0.3 a 0.7 ml/L), Hernández-Flores (1981) encontró *Uvigerina peregrina* a concentraciones de oxígeno disuelto de 0.38 a 0.79 ml/L en la parte Central del Golfo de California y recientemente, Erbacher y Nelskamp (2006) mencionan que esta especie está asociada a condiciones disóxicas.

Burmistrova y Belyaeva (2006) y Loubere (1999) mencionan que entre los foraminíferos bentónicos el mejor indicador de la elevada bioproductividad es la especie *Uvigerina peregrina*, en tanto que *Bulimina mexicana* tolera concentraciones bajas de oxígeno disuelto y puede vivir en áreas con un relativo intenso influjo de materia orgánica en el fondo. Esta última especie responde más bien a cambios en la disponibilidad de alimento que al contenido de oxígeno en la capa del fondo (Licari *et al.*, 2003; Loubere, 1999). *Epistominella smithi* se reporta como un indicador de alta productividad y oxígeno deficiente en las aguas del fondo (Gupta, 1997; Licari y Mackensen, 2005).

La Tabla XI resume las condiciones de hábitat y oxigenación de las 2 especies antes mencionadas.

Tabla XI. Condiciones de hábitat y oxigenación de especies de foraminíferos indicativos (Tomada y modificada de Ovsepyan y Ivanova, 2009).

Especies Infaunales	Condiciones de Oxigenación	Condiciones de Hábitat
<i>Uvigerina peregrina</i>	Domina en condiciones subóxicas (0.3 – 1.5 ml/L).	Alta productividad combinada con variaciones insignificantes en el contenido de oxígeno del fondo puede alimentarse de materia orgánica alterada.
<i>Bulimina mexicana</i>	Domina en condiciones subóxicas (0.3 – 1.5 ml/L).	Bajo contenido de oxígeno en contraste a la elevada productividad en la superficie, esta especie responde más rápidamente a cambios en la productividad del agua.

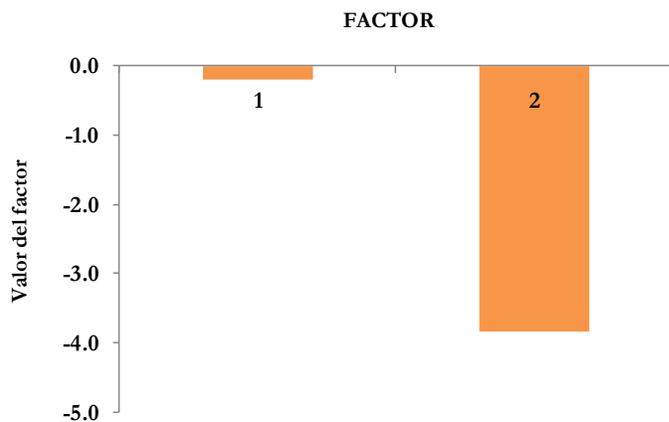
Considerando las condiciones de hábitat de la asociación de especies que caracterizan a este Factor 1, se sugiere un ambiente subóxico en el intervalo de 4 180 a ~1 720 años cal. AP, en donde la tasa de acumulación de materia orgánica fue significativa, la cual pudo estar relacionada a condiciones de alta productividad en las aguas superficiales.

Morfológicamente, el tamaño robusto y grande de las especies que caracterizaron a este factor, es mayor a 500 μm (Plegher y Soutar, 1973).

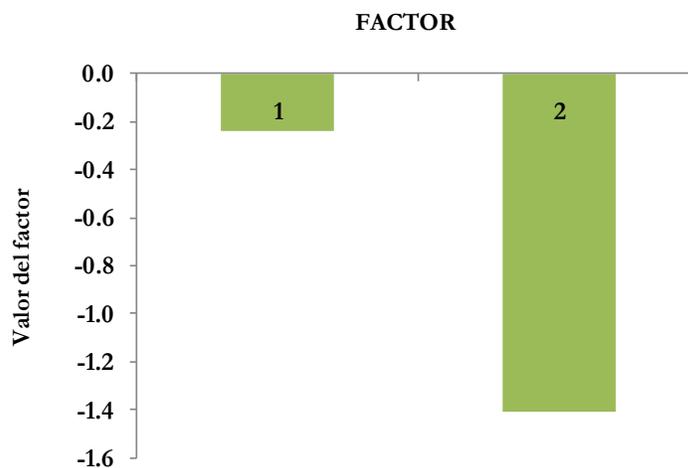
Por otra parte, la asociación de diatomeas encontradas en la parte basal del núcleo proporciona evidencia de una alta productividad superficial. Sugiriendo que durante este intervalo, los procesos de surgencias fueron intensos en la cuenca, lo que propicio el afloramiento de aguas subsuperficiales relativamente frías y ricas en nutrientes a la superficie y, por consiguiente, un incremento en la productividad superficial y alto contenido de materia orgánica en el piso oceánico. Las surgencias probablemente, fueron el resultado de una intensificación de los patrones de vientos o bien, cambios en la circulación oceánica (divergencias).

Factor 2 “Condiciones disóxicas”

Las especies que definen al Factor 2 son: *Bolivina seminuda* con un valor del factor de -3.83 y *Buliminella tenuata* con valor de -1.40 (Tabla X, Fig. 14 y Anexo III).



a) *Bolivina seminuda*



b) *Buliminella tenuata*

Figura 14. Valores del factor de las especies que definen al Factor 2: a) *Bolivina seminuda* y b) *Buliminella tenuata*.

En particular, *Bolivina seminuda* se ha descrito como una especie infaunal somera y en ambientes eutróficos (Barmawidjaja, 1991; Barmawidjaja *et al.*, 1992; Duijnste, 2001), presentando una rápida reproducción a mayor disponibilidad de nutrientes (Langezaal *et al.*, 2006). Coloniza ambientes donde hay un aporte significativo de materia orgánica; por lo cual, es considerada como una especie oportunista (Alve y Bernhard, 1995; Barmawidjaja *et al.*, 1992; Duijnste, 2001; Ernst *et al.*, 2002). Se menciona que se encuentra desde ambientes neríticos externos a batiales (Bandy y Arnal, 1957; Bandy, 1961; Resig, 1981) y ha sido comúnmente asociada con Zonas de Oxígeno Mínimo (Phleger y Soutar, 1973; Ingle, 1981; Resig, 1981). Gooday *et al.* (2002) la reporta en la Zona de Oxígeno Mínimo del Mar de Arabia, zona caracterizada por una importante productividad primaria superficial y altos flujos de carbono orgánico al sedimento.

En un estudio realizado en la Cuenca de Santa Bárbara, esta especie la señalan en ambientes de bajo contenido de oxígeno con niveles de 0.02 a 0.5 ml/L (Bernhard *et al.*, 1997). Así mismo, en el margen continental del Pacífico Oriental del Golfo de Tehuantepec la refieren a condiciones disóxicas (0.1 - 0.3 ml/L), disminuyendo el tamaño de la testa cuando los niveles de oxígeno están por debajo de 0.3 ml/L (Pérez-Cruz y Machain-Castillo, 1990). Otros autores la refieren como especie indicadora de condiciones disóxicas (Harman, 1964; Boltovskoy *et al.*, 1991; Bernhard y Sen Gupta, 1999; Páez *et al.*, 2001).

Por otra parte, *Buliminella tenuata*, también es una especie infaunal somera, que habita en sedimentos con altos contenidos de materia orgánica y con bajo contenido de oxígeno (Quintero y Gardner, 1987; Oba *et al.*, 1991; Bernhard *et al.*, 1997; Cannariato y Kennett, 1999; Stott *et al.*, 2002).

En un estudio realizado en la Cuenca Santa Mónica, se registra habitando aguas del fondo con bajas concentraciones de oxígeno, presentando una distribución de individuos vivos a profundidades dentro del sedimento de 4 a 6 mm. Este patrón de distribución también es reportado para la Cuenca de Santa Bárbara y para el Golfo de California (Cuenca Guaymas) (Stott *et al.*, 2002).

Bolivina seminuda y *Buliminella tenuata* se encuentran en la Cuenca de Santa Bárbara, mostrando sus mayores abundancias bajo condiciones disóxicas (0.1 - 0.3 ml/L) (Bernhard *et al.*, 1997).

Por lo tanto con base en las afinidades ecológicas de la asociación de foraminíferos bentónicos que caracterizan al factor 2, se infiere que en el intervalo de ~ 1720 años cal AP a 579 años cal AP, las condiciones ambientales (aguas profundas) de la Cuenca Farallón fueron

disóxicas con condiciones de oxígeno disuelto entre 0.1 y 0.3 ml/L, lo cual propició un cambio en la morfología de la fauna bentónica, la cual está caracterizada por especímenes pequeños, de testas hialinas y frágiles, con un tamaño menor a 500 μm . Esto concuerda con lo propuesto por Bradshaw (1961) y Pleger y Soutar (1973) quienes explican que el tamaño pequeño de las especies es debido a que en estas áreas con abundante fitodetritus, los organismos se reproducen más rápidamente antes de lograr un tamaño mayor.

Por otra parte la abundancia de las formas megalosféricas de la especie *Bolivina seminuda*, sugieren condiciones disóxicas y posiblemente un aporte de carbono orgánico al piso oceánico, concordando con las afinidades ecológicas mencionadas anteriormente.

4.7 Consideraciones finales

Con base en los resultados anteriores es posible confirmar la sensibilidad de los foraminíferos bentónicos, tanto a las variaciones de oxígeno como el contenido de materia orgánica en los sedimentos de la Cuenca Farallón.

La morfología de las especies indicadoras es el resultado de estrategias de adaptación a ambientes con bajas concentraciones de oxígeno y altos contenidos de materia orgánica. Cabe resaltar, que la afinidades ecológicas de las asociaciones de foraminíferos bentónicos encontradas este estudio, concuerdan con el modelo propuesto por Jorissen *et al.*, (1995) (Modelo TROX), el cual representa la interacción del flujo de materia orgánica y el oxígeno en la distribución de los foraminíferos bentónicos en el sedimento, encontrando una predominancia de organismos infaunales someros, lo cual de acuerdo con el modelo, corresponde con ambientes eutróficos y condiciones de oxigenación bajas.

Si bien las especies que caracterizan los factores en este estudio se relacionan con altas concentraciones de materia orgánica fue posible diferenciar dos asociaciones por su afinidad a las condiciones de oxígeno, las cuales marcaron una ligera diferencia.

Las concentraciones de oxígeno son el reflejo de la productividad en las aguas superficiales, por lo que cabe señalar que la evidente dominancia de *Uvigerina peregrina* en el Factor 1, quien ha sido considerada como el mejor indicador de una elevada bioproductividad, entre los foraminíferos bentónicos (Burmistrova y Belyaeva, 2006; Loubere, 1999) , sugiere que para el periodo que abarca este factor, la productividad de las aguas superficiales fue muy

importante(alta), sin embargo esto no se reflejo en los niveles de oxígeno ni en la asociación de foraminíferos bentónicos.

Con los datos anteriores se puede sugerir que durante el tiempo que abarca este estudio, de 4 180 años cal AP a 579 años cal BP, la variabilidad oceánica en la región de la Cuenca Farallón propició cambios sutiles en el flujo de materia orgánica y la oxigenación las aguas de fondo.

El análisis geoquímico de las muestras sedimentarias del núcleo K52, para cuantificar la materia orgánica, puede proporcionar una mayor información sobre la preservación y cantidad de ésta, lo cual ayudaría a mejorar la interpretación de estos datos y su relación con los cambios ambientales en la región.

4.8 Conclusiones

La secuencia sedimentaria estudiada (K-52) está conformada principalmente por sedimentos hemipelágicos limo-arcillosos. Con base en las dataciones de radiocarbono AMS se estimó una tasa de sedimentación de 0.31 mm/año, por lo que el alcance de la secuencia es de ~4 180 años cal AP (Holoceno Medio-Tardío). En este estudio se determinaron 55 especies de foraminíferos bentónicos a lo largo de toda la secuencia estudiada.

A partir de un análisis multivariado “Modo Q” fue posible precisar dos asociaciones bien definidas de foraminíferos bentónicos que en conjunto explican el 92.54% de la variabilidad total de los datos. Considerando sus afinidades ecológicas y su relación con el oxígeno disuelto, se proponen para el área de estudio dos condiciones de oxigenación para el Holoceno Medio-Tardío:

De 4 180 a 1 720 años cal AP, se sugiere que el oxígeno disuelto en las aguas de fondo pudo haber sido entre 0.3 a 1.5 ml/L (condiciones subóxicas”). Este periodo estuvo caracterizado por la dominancia de *Uvigerina peregrina*, especie infaunal somera, dependiente de un flujo sustancial de materia orgánica, que habita ambientes fríos y subóxicos. Por lo general sus testas fueron robustas y con un tamaño mayor a 500 µm.

De 1 720 a 579 años cal AP, se infiere que las condiciones de oxigenación de las aguas de fondo fueron menores (condiciones disóxicas) que en el periodo anterior. Las especies dominantes durante este periodo son: *Bolivina seminuda* y *Buliminella tenuata*, las cuales se

caracterizan por ser infaunales someras, dominando en sedimentos con altos contenidos de carbono orgánico y bajas concentraciones de oxígeno, de 0.1 a 0.3 ml/L. Las condiciones disóxicas, así como un mayor aporte de carbono orgánico al piso oceánico, son sustentadas por la dominancia de las formas megalosféricas (relacionadas con una fase asexual) de *Bolivina seminuda* en este periodo. En este estudio, las testas de estas especies fueron, por lo general, hialinas y relativamente frágiles, su tamaño promedio es menor de 500 μm .

Las asociaciones de foraminíferos bentónicos, sugieren cambios en la ventilación de las aguas de fondo de la Cuenca Farallón durante el Holoceno Medio-Tardío. A partir de la información obtenida se propone que los cambios en la ventilación de las aguas de fondo están probablemente relacionados con una mayor productividad en las aguas superficiales. En el Golfo de California, las áreas de alta productividad están relacionadas con procesos de surgencias; por lo que se sugiere que éstas se han intensificado durante el Holoceno Tardío, causadas quizá por cambios en la circulación oceánica la cual produjo intensificación de los vientos.

LITERATURA CITADA

- Allen, B. D. and R. Y. Anderson. 1993. Evidence from Western North America for rapid shift climate during the Last glacial maximum. *Science*, 260: 1920-1923.
- Altenbach, A. V. and M. Sarnthein. 1989. Productivity record in benthic foraminifera. In Berger, W. H., Smetacek, V. S. and Wefer, G. (eds.) *Production of the Ocean: Present and Past*. New York: John Wiley, pp. 255-269.
- Altenbach, A.V., U. Pflaumann, R. Schiebel, A. Thies, S. Timm and M. Trauth. 1999. Scaling percentages and distributional patterns of benthic foraminifera with flux rates or organic carbon. *Journal of Foraminiferal Research*, 29: 173-185.
- Álvarez-Borrego, S. and J. R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of the California. In: Dauphin, J. P. and B. R. T. Simoneit (eds.), *The Gulf and peninsular province of the California*. *Memoir of the American Association of Petroleum Geologists*, 47: 555-567.
- Alve, E. and J. M. Bernhard. 1995. Vertical migratory response of Benthic foraminifera to controlled oxygen concentrations in a experimental mesocosm. *Marine Ecology Progress Serie*, 116: 137-151.
- Armstrong, A. H. and Brasier D. M. 2005. *Microfossils*. Publishing Blackwell, second edition. pp: 142-187.
- Arntz, W. E., V. A. Gallardo, D. Gutiérrez, E. Isla, L. A. Levin, J. Mendo, C. Neira, G. T. Rowe, J. Tarazona and M. Wolff. 2006. El Niño and similar perturbations on the benthos of the Humboldt, California and Benguela Current upwelling ecosystems. *Advances in Geosciences*, 6: 243-265.
- Baba, J., C. D. Peterson and H. Schrader. 1991. Modern fine- grained sediments in the Gulf of the California. In: Dauphin, J. P. and B. R. T. Simoneit (eds.), *The Gulf and peninsular province of the California*. *Memoir of the American Association of Petroleum Geologists*, 47: 569-587.
- Badan-Dangon, A., C. J. Koblinsky and T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of the California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8: 13-22.
- Badan-Dango, A., C. E. Dorman, M. A. Merrieffield and C. D. Winant. 1991. The lower atmosphere over the Gulf of California. *Journal Geophysical Research*, 96: 16877-16896.
- Bandy, O. L. 1953. Ecology and Paleocology of some California foraminifera. Part I. The frequency distribution of Recent Foraminifera off California. *Journal Paleontology*, 27: 161-182.
- Bandy, O. L. and R. E. Arnal. 1957. Distribution of Recent Foraminifera off West Coast of Central America. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 41: 2037-2053.

- Bandy, O. L. 1961. Distribution of foraminifera, radiolarian and diatoms in sediments of the Gulf of California. *Micropaleontology*, 7: 1-26.
- Bandy, O. L. 1967. Foraminiferal Indices in Paleoecology. Stratigraphic Geology Division. Esso production Research Company. 96 p.
- Barmawidjaja, D. M. 1991. Studies in living and fossil foraminifers from seasonally productive regions. *Geologica ultra*, 82: 221.
- Barmawidjaja, D. M., F. J. Jorissen, S. Puskaric and G. J. Van der Zwaan. 1992. Microhabitats selection by benthic foraminiferal in the Northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 22: 297-317.
- Barry, R. and R. Chorley. 2003. Atmosphere, Weather and Climate. Routledge Taylor and Francis Group. 8th edition. New York.
- Berelson, W. M. and L. D. Stott. 2003. Productivity and organic carbon rain to the California margin seafloor: modern and paleoceanographic perspectives. *Paleoceanography*, 18: 12-15.
- Bernhard, J. M. 1986. Characteristic Assemblages and Morphologies of Benthic Foraminifera from Anoxic, Organic-Rich Deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research*, 16: 207-215.
- Bernhard, J. M. and C. E. Reimers. 1991. Benthic foraminiferal populations fluctuations related to anoxia: Santa Barbara Basin. *Biogeochemistry*, (15): 127-149.
- Bernhard, J. M. 1992. Benthic foraminiferal distributions and biomass related to pore-water oxygen content: central California continental slope and rise. *Deep-Sea Research*, 39: 585-605.
- Bernhard, J. M., B. K. Sen Gupta and P. F. Borne. 1997. Benthic Foraminiferal Proxy to Estimate Dysoxic Bottom-Water Oxygen Concentrations: Santa Barbara Basin, U.S. Pacific Continental Margin. *Journal of Foraminiferal Research*, 27(4): 301-310.
- Bernhard, J. M. and B. K. Sen Gupta. 1999. Foraminifera in oxygen-depleted environments. *In*: Sen Gupta, B. K. (ed.) *Modern Foraminifera*, pp. 201-216.
- Bertaud de León, A. G. 2001. Distribución de Foraminíferos Bénticos en ambientes de baja concentración de oxígeno: Patrones del Bajo de California y del Extremo Sur de la Corriente de California. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México. 116 pp.
- Boltovskoy, E. 1965. Los Foraminíferos recientes. Editorial Universitaria de Buenos AIRES (EUDEBA), Buenos Aires, Argentina, p. 510.
- Boltovskoy, E. and R. Wright. 1976. Recent Foraminifera. Dr. W. Junk Publishers. The Hague, p. 515.
- Boltovskoy, E., G. Giussani, G. Watanabe and S. Wright. 1980. Atlas of benthic shelf foraminifera of the Southwest Atlantic. M. Junk Publishers. The Hague, pp. 58.

- Boltovskoy, E., D. B. Scott and F. S. Medioli. 1991. Morphological variations of benthic foraminiferal test in response to changes in ecological parameters: a review. *Journal of Paleontology*, 65: 175-185.
- Bond, G., W. Showers, M. Elliot, R. Lotti, P. Almasi, P. de Menocal, O. Priore, H. Cullen, I. Hajdas and G. Bonani. 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278: 1257-1266.
- Bond, G., B. Kromer, J. Beer, R. Muscheler, M. Evans, W. Showers, S. Hoffman, R. Lotti-Bond, I. Hajdas and G. Bonanni. 2001. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294: 2130-2136.
- Bradshaw, J. S. 1961. Laboratory experiments on the ecology of foraminifera. *Contributions Cushman Foundation of Foraminiferal Research*, 17: 43-45.
- Bray, J. R. 1971. Solar-climate relationships in the post-Pleistocene. *Science*, 171: 1242-1243.
- Bray, J. R. 1972. Cyclic temperature oscillations from 0-20, 300 yr BP. *Nature*, 237: 277-279.
- Bray, N. A. and J. M. Robles. 1991. Physical oceanography of the Gulf of California. In: Simoneit, B., Dauphin, J. (eds.), *The Gulf and Peninsular Province of the Californias. Memoir of American Association of Petroleum Geologists*, 47: 511-553.
- Broecker, W. 2001. Was the Medieval Warm Period global?. *Science*, 291: 1497-1499.
- Buzas, M. A. and S. J. Culver. 1991. Species diversity and dispersal in benthic foraminifera. *Bioscience*, 41: 483-489.
- Burmistrova I. I. and Belyaeva. 2006. "Bottom Foraminiferal Assemblages in the Deryugin Basin (Sea of Okhotsk) during the Past 26 000 Years". *Oceanology*. 46: 885-891.
- Calonge, A., E. Caus, and J. García. 2001. Los foraminíferos: Presente y Pasado. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, pp. 144-150.
- Cannariato, G. K. and J. P. Kennet. 1999. Climatically related millennial-scale fluctuations in strength of California margin oxygen-minimum zone during the past 60 k.y. *Geology*, 27: 975-978.
- Chiang, J. C. H., Y. Kushnir and A. Giannini. 2002. Deconstructing Atlantic Intertropical Convergence Zone variability: Influence of the local cross-equatorial sea surface temperature gradient and remote forcing from the eastern equatorial Pacific. *Journal Geophysical Research*, 107(D1), 4004.
- Cline, J. D. and F. A. Richards. 1972. Oxygen deficient conditions and nitrate reduction in the eastern tropical North Pacific Ocean. *Limnology Oceanography*, 17: 885-900.
- Corliss, B. H. 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*, 314: 435-438.
- Corliss, B. H. and C. Chen. 1988. Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, 16: 716-719.

- Corliss, B. H. and S. Emerson. 1990. Distributions of Rose Bengal stained deep-sea benthic foraminifera from the Nova Scotian continental margin and Gulf of Maine. *Deep-Sea Research*, 37: 381-400.
- Cronin, T.M. 1999. Principles of Paleoclimatology. Columbia University Press. New York.
- Cushman, J. A. 1955. Foraminifera their Classification and Economic Use. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, pp. 605.
- Dansgaard, W., S. J. Johnsen, H. B. Clausen and C. C. Langway. 1971. Climate record revealed by the Camp Century ice core. In: Turekian, K. (ed.), The Late Cenozoic Glacial Ages. Yale Univ. Press, New Haven, pp. 37-56.
- De Rijk, S., F. J. Jorissen, E. J. Rohling and S. R. Troelstra. 2000. Organic flux control on bathymetric zonation of Mediterranean foraminifera. *Marine Micropaleontology*, 40: 151-160.
- De Stigter, H. C., F. J. Jorissen and G. J. Van der Zwaan. 1998. Bathymetric distribution and microhabitat partitioning of live (Rose Bengal stained) benthic foraminifera along a shelf to bathyal transect in the southern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, 28: 40-65.
- Demaison, G. J. and G. T. Moore. 1980. Anoxic environments and oil source bed genesis. *Memoir of the American Association of Petroleum Geologists*, 64 (8): 1179-1209.
- DeMenocal, P., J. Ortiz, T. Guilderson and M. Sarnthein. 2000. Coherent high-and low-latitude climate variability during the Holocene warm period. *Science*, 288(5474): 2198-2202.
- Denton, G. H. and W. Karlen. 1973. Holocene climatic variations: their pattern and possible cause. *Quaternary Research*, 3: 155-205.
- Douglas, M. W., R. A. Maddox, K. Howard and S. Reyes, 1993. The Mexican monsoon. *Journal of Climate*, 6: 1665-1677.
- Douglas, R. G. and F. Staines-Urías. 2007. Dimorphism, shell Mg/Ca ratios and stable isotope content in species of *Bolivina* (benthic foraminifera) in the Gulf of California, Mexico. *Journal of Foraminiferal Research*, 37(3): 189-203.
- Duijnste, I. 2001. Experimental ecology of foraminifera towards better quantitative paleoecological reconstructions, Ph. D. thesis. Utrecht University.
- Emerson, S. R., K. Fischer, C. Reimers and D. Heggie. 1984. Organic carbon dynamics and preservation in deep-sea sediments. *Deep-Sea Research*.
- Erbacher, J. and S. Nelskamp. 2006. Comparison of benthic foraminifera inside and outside a sulphur-oxidizing bacterial mat from the present oxygen-minimum zone off Pakistan (NE Arabian Sea). *Deep-Sea Research. Part II: Oceanographic Research Papers*, 53: 751-775.
- Ernst, S., I. Duijnste and Van der Zwaan. 2002. The dynamics of the benthic foraminiferal microhabitat recovery after experimental disturbance. *Marine Micropaleontology*, 46: 343-361.

- Fontanier, C., F. J. Jorissen, L. Licari, A. Alexandre, P. Anschutz and P. Carbonel. 2002. Live Benthic Foraminiferal Fauna from the Bay of Biscay: Faunal Density, Composition and Microhabitats. *Deep-Sea Research*, 49 (1): 751-785.
- Fontanier, C., F. J. Jorissen, G. Chaillou, C. David, P. Anschutz, V. Lafon. 2003. Seasonal and interannual variability of benthic foraminiferal faunas as 550 m depth in the Bay of Biscay. *Deep-Sea Research I*, 50: 457-497.
- Goldstein, S. T. 1999. Foraminifera: A Biological Overview. In: B.K. Sen Gupta (ed.) *Modern Foraminifera*; Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 37-55.
- Gooday, A. J., L. A. Levin, P. Linke and T. Heeger. 1992. The role of benthic foraminifera in deep-sea food webs and carbon cycling. In: Rowe, G. T. and V. Pariente (eds.) *Deep-Sea Food Chains and the Global Carbon Cycle*. Nato Asi Series 360 Kluwer Academic Publishers. Netherlands, pp. 63-69.
- Gooday, A. J. 1993. Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus: Characteristic features and controls on distribution. *Marine Micropaleontology*, 22: 187-205.
- Gooday, A. J. 1994. The biology of deep-sea foraminifera, a review of some advances and their applications in paleoceanography. *Palaios*, 9: 14-31.
- Gooday, A. J., M. Bernhard, L. A. Levin and S. B. Shurs. 2002. Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen-deficient settings: taxonomic composition, diversity and relation to metazoan faunas. *Deep-Sea Research II*, 47: 25-54.
- Gross, O. 2002. Sediment interactions of foraminifera: implications for food degradation and bioturbation processes. *Journal of Foraminiferal Research*, 34: 414-424.
- Gupta, A. K. 1997. "Paleogeographic and Paleoclimatic History of the Somali Basin during the Pliocene-Pleistocene; Multivariate Analyzes of Benthic Foraminifera Site 241". *Journal Foraminiferal of Research*, 27: 196-208.
- Harman, R. A. 1964. Distribution of Foraminifera in the Santa Barbara Basin, California. *Micropaleontology*, 10: 81-96.
- Hayward, B., H. Neil, R. Carter, H. Grentell and J. Hayward. 2002. Factor influencing the distribution patterns of recent deep-sea benthic foraminifera, east of New Zealand. South west Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*. 46: 139-176.
- Hernández-Flores, M. E. 1981. Relación de la Distribución de Foraminíferos con algunos Parámetros Oceanográficos de la Parte Central del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C., México. p. 60.
- Holsten, J., L. Stott and W. Berelson. 2004. Reconstructing benthic carbon oxidation rates using $\delta^{13}\text{C}$ of benthic foraminifers. *Marine Micropaleontology*, 53: 117-132.

- Ingle, J. C., JR., G. Keller and R. L. Kolpan. 1980. Benthic foraminiferal biofacies, sediments and water masses of the southern Peru-Chile Trench area southeastern Pacific Ocean. *Marine Micropaleontology*, 26 (2): 113-150.
- Ingle, J. C., JR., 1981. Origin of Neogene diatomites around the North Pacific Rim. In: Garridon, R. E., Douglas (eds). The Monterey Formation and Related Siliceous Rocks of California. The Pacific Section. Society of Economy, Paleontology and Minerology, Los Angeles: 159-180.
- Jannik, N. T., W. J. Zachariasse, G. J. and Van der Zwaan. 1998. Living (Rose Bengal stained) benthic foraminifera from the Pakistan continental margin (northern Arabia Sea). *Deep-Sea Research I*, 45: 1483-1513.
- Jiménez, A., S. G. Marinone and A. Parés-Sierra. 2005. Efecto de la variabilidad espacial y temporal del viento sobre la circulación en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 31: 357-368.
- Jonhsen, S. J., W. Dansgaard and H. B. Clausen. 1972. Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland Ice Sheets. *Nature*, 235: 429-430.
- Jorissen, F. J., D. M. Barmawidjaja, S. Puskaric and G. J. Van der Zwaan. 1992. Vertical distribution of benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea: The relation with the organic flux. *Marine Micropaleontology*, 19: 131-146.
- Jorissen, F. J., H. C. De Stigter, and J.G.V. Widmark. 1995. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, 26: 3-15.
- Jorissen, F. J., L. Witting, J. P. Peypouquet, C. Rabouille and J. C. Relexans. 1998. Live benthic foraminiferal faunas off Cape Blanc. NW Africa: community structure and microhabitats. *Deep-Sea Research*, 45: 2157-2188.
- Kaiho, K. 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology*, 22: 719-722.
- Kamykowski, D. Z. and D. J. Zentara. 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep-Sea Research*, 37: 1861-1874.
- Kitazato, H. 1994. Foraminiferal microhabitats in four marine environments around Japan. *Marine Micropaleontology*, 24: 29-41.
- Langezaal, A. M., F. J. Jorissen, B. Brauna, G. Chailloud, C. Fontanier, P. Anschutz and G. J. Van der Zwaan. 2006. The influence of seasonal processes on geochemical profiles and foraminiferal assemblages on the outer shelf of the Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 26: 1730-1755.
- Lankford, R. R. and F. B. Phleger. 1973. Foraminifera from the nearshore turbulent zone, western North America. *Journal foraminiferal Research*, 3: 101-131.
- Lavín, M. F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. En: Lavín, M. F. (ed.). Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía N° 3. pp. 141-171.

- Lavín, M. F. and S. G. Marinone. 2003. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. Velasco – Fuente O. U., *et al.*, (eds.). *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Kluwer Academic Publishers, pp. 173-204.
- Levin, L. A. 2003. Oxygen minimum zone benthos: adaptations and community responses to hypoxia. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 41: 1-45.
- Licari, L. N., S. Schumacher, F. Wenzhöfer, M. Zabel and A. Mackensen. 2003. Communities and Microhabitats of Living Benthic Foraminifera from the Tropical East Atlantic: Impact of different Productivity Regimen. *Journal of Foraminiferal Research*, 33(1): 10-31.
- Licari, L. N. and A. Mackensen. 2005. Benthic Foraminifera and Microhabitats of Living Benthic Foraminifera from the Tropical East Atlantic: Impact of Different Productivity Regimes. *Journal of Foraminiferal Research*. 33 (1): 10-31.
- Linke, P. and G. F. Lutze. 1993. Microhabitat preferences of benthic foraminifera - a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition? *Marine Micropaleontology*, 20: 215-234.
- Loeblich, A. R. and H. Tappan. 1964. Foraminiferal Classification and Evolution. *Journal of the Geological Society of India*, 5: 5-39.
- Loeblich, A. R. and H. Tappan. 1978. Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida. In: Moore, R. C. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology (Part. C, Protista 2)*. (Vol.1). The Geological Society of America and The University of Kansas. U.S.A. 1-510 p.
- Loeblich, A. R. and H. Tappan. 1978. Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida. In: Moore, R. C. (ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology (Part. C, Protista 2)*. (Vol.2). The Geological Society of America and The University of Kansas. U.S. A. 511-900 p.
- Loeblich, A. R. and Tappan, H. 1987. Foraminiferal general and their classification. Van Nostrand Reinhold Company (ed.), Vol. 2, pp. 970.
- Loubere, P. 1999. A Multiproxy Reconstruction of Biological Productivity and Oceanography in the Eastern Equatorial Pacific for the past 30 000 years. *Marine Micropaleontology*, 37: 173-198.
- Mackensen, A., G. Schmiedl, J. Harloff and M. Giese. 1995. "Deep-sea Foraminifera in the South Atlantic Ocean: Ecology and Assemblage Generation. *Marine Micropaleontology*, 41: 342-358.
- Markgraf, V. 1998. Research investigate inter-hemispheric climate linkages in the Americas and their societal affects. *Eos Trans. American Geophys. Union (AGU)*. 79 (31): 371-378.
- Martínez-Pérez, A. and M. E. Gutiérrez. 1982. Introducción a la Protozoología. 2º edición. Editorial Trillas. México. Pp. 112-118.
- Mayewski, P. A., E. E. Rohling, J. C. Stager, W. Karlén, K. A. Maascha, L. D. Meekere, E. A. Meyerson, F. Gasset, S. Van Krevel, K. Homgrend, J. Lee-Thorph, G. Rosquist, F. Racki, M. Staubwasser, R. R. Schneider and E. J. Steigl. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62: 243-255.

- McCorkle, D. C., S. R. Emerson and P. Quay. 1983. Carbon isotopes in marine porewater. *EOS Trans AGU*, 64: 721 p.
- Molina, E. 2002. Micropaleontología. Prensas Universitarias de Zaragoza, España. pp. 96-126.
- Molina-Cruz, A., L. Welling and A. Caudillo-Bohorquez. 1999. Radiolarian distribution in the water column, southern Gulf of California, and its implication in thanatocoenose constitution. *Marine Micropaleontology*, 37: 149-171.
- Mullins, H. T., J. B. Thompson, K. Mc Dougal and T. L. Vercoutere. 1985. Oxygen minimum zone edge effects, evidence from the central California coastal upwelling system. *Geology*, 13: 491-494.
- Murray, J. W. 1973. Distribution and ecology of living benthic foraminiferids. Heinemann Educational Books, London, pp. 510.
- Murray, J. W. 1991. Ecology and distributions of benthic foraminifera. In: Lee, J.J. and O.R. Anderson (eds.). *Biology of Foraminifera*. Academy Press. Inc., San Diego, C.A., U.S.A. pp. 221-253.
- Murray, J. W. 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*, 41: 1-7.
- Murray, J. W., E. Alve and A. Cundy. 2003. The origin of modern agglutinated foraminiferal assemblages: evidence from a stratified fjord. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58: 677-697.
- Murray, J. W. and C. J. Pudsey. 2004. Living (stained) and dead foraminifera from the newly ice-free Larsen ice shelf, Weddell Sea, Antarctica: ecology and taphonomy. *Marine Micropaleontology*, 53: 67-81.
- Murray, J. W. 2006. Ecology and applications of benthic foraminifera. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 426.
- Oba, T., M. Kato, H. Kitazato, I. Koizumi, A. Omura, T. Sakai and T. Takayama. 1991. Paleoenvironmental Changes in the Japan Sea during the last 85 000 years. *Paleoceanography*, 6: 499-518.
- O'Brien, S. R., P. A. Mayewski, L. P. Meeker, D. A. Meese, M. S. Twickler and S. I. Whitlow. 1995. Complexity of Holocene Climate as Reconstructed From a Greenland Ice Core. *Science*, 270: 1962-1964.
- Oliver-Salomé, B. 1998. Fertilidad de la Corriente de California para los últimos 130 años: Preservación, Calibración y Reconstrucción basada en Foraminíferos Planctónicos en Sedimentos Laminados de la Cuenca de San Lázaro. Tesis de Maestría. División Oceanología. CICESE. P. 122.
- Ovsepyan, E. A. and E. V. Ivanova. 2009. Benthic Foraminiferal Assemblages as Indicators of the Paleoclimatic Conditions in the Eastern Equatorial Pacific. *Oceanology*, 49: 121-129.

- Páez, M., O. Zuñiga, J. Valdés and L. Ortlieb. 2001. Foraminíferos bentónicos recientes en sedimentos micróxicos de la bahía Mejillones del Sur (23°S), Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 36: 129-139.
- Pérez-Cruz, L. L. and M. L. Machain-Castillo. 1990. Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the Gulf of the Tehuantepec, Mexico. *Journal Foraminiferal of Research*. 20: 312-325.
- Pérez-Cruz, L. L. 2000. Estudio Paleoc oceanográfico y Sedimentológico Holocénico de la Bahía de la Paz, Golfo de California. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 168 pp.
- Pérez-Cruz, L. 2008. Variabilidad Climática en el Holoceno: estudios en los registros naturales de alta resolución (sedimentos laminados) del Golfo de California. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. CU. 22 de febrero.
- Pérez-Cruz, L. and J. Urrutia-Fucugauchi. 2009. Magnetic mineral study of Holocene marine sediments from the Alfonso Basin, Gulf of California – implications for depositional environment and sediment source. *Geofísica Internacional*, 48: 185-198.
- Phleger, F. B. 1953. Ecology of Foraminifera from San Antonio Bay and Environs, Southwest Texas. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research*. Special Publication, No. 2: 1-70.
- Phleger, F. B. 1960. Ecology and Distribution of Recent Foraminifera. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, U.S.A. 297 p.
- Phleger, F. B. 1963. Oceanografía Física y Ecología de los foraminíferos del Golfo de California. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 26: 75-83.
- Phleger, F. B. 1964. Patterns of living benthonic foraminifera, Gulf of California. *Marine Geology of the Gulf of California*, A Symposium, Memoir. 3: 377-394.
- Phleger, F. B. and A. Soutar. 1973. Production of benthic foraminifera in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontology*, 19(1): 110-115.
- Pisias, N. G. 1986. Vertical water mass circulation and the distribution of radiolarian in surface sediments of the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 10:189-205.
- Poore, R. Z., T. M. Quinn and S. Verardo. 2004. Century-scale movement of the Atlantic Intertropical Convergence Zone linked to solar variability. *Geophysical Research Letter*, 31, L12214, doi:10.1029/2004GL019940.
- Quintero, P. J. and J. V. Gardner. 1987. Benthic foraminifera on the continental shelf and upper slope, Russian Rivera area, northern California. *Journal of Foraminiferal Research*, 17: 132-152.
- Rathburn, A. E. and B. H. Corliss. 1994. The ecology of living (stained) deep-sea benthic foraminifera from the Sule Sea. *Paleoceanography*, 9(1): 87-150.

- Resig, J. M. 1981. Biogeography of benthic foraminifera of the northern Nazca plate and adjacent continental margin. *Memoir of Geological Society of America*, 154: 619-665.
- Resig, J. M. 1990. Benthic foraminiferal stratigraphy and paleoenvironments off Peru. In: Stewart, S. (ed.), *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, College Station*. 263-296 p.
- Rhodes, D. C. and J. W. Morse. 1971. Evolutionary and ecology significance of oxygen deficient marine basins. *Lethaia*, 4: 413-428.
- Roden, G. I. 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: Van Andel T. H. and G. G. Shor (eds.). *Marine Geology of the Gulf of California*. A Symposium. Tulsa: Oklahoma, Memoir American Association of Petroleum Geologists, 3: 30
- Rogers, A. D. 2000. The role of the oceanic oxygen minima in generating biodiversity in the deep sea. *Deep Sea Research II*, 47: 119-148.
- Romero Centeno, R. 1995. Comportamiento de los campos hidrográficos y flujos de calor y masa en el Canal de Ballenas. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, Baja California.
- Rowe, G.T. 1981. The benthic processes of coastal upwelling ecosystems. In: F.A. Richards (ed.) *Coastal Upwelling*. American Geophys. Union. Washington, D.C. pp: 464-471.
- Sachs, H. M. 1973. North Pacific radiolarian assemblages and their relationship to oceanographic parameter. *Quaternary Research*, 3: 73-78.
- Schimiedl, G., F. de Boveé, R. Buscail, B. Charrieré, C. Hemleben, L. Medernach and P. Picon. 2000. Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, western Mediterranean. *Marine Micropaleontology*, 40: 167-188.
- Schönfeld, I. and A. V. Attenbach. 2005. "Late Glacial to Recent Distribution Pattern of Deep-water *Uvigerina* species in the North-eastern Atlantic". *Marine Micropaleontology*, 57: 1-24.
- Sen Gupta, B. K. and M. L. Machain-Castillo. 1993. Benthic foraminifera in oxygen -poor habitats. *Marine Micropaleontology*, 20: 183-201.
- Silva, K., B. H. Corliss, A. Rathburn and R. Thunell. 1996. Seasonality of living benthic foraminifera from the San Pedro Basin, California Boreland. *Journal of Foraminiferal Research*, 26: 71-93.
- Sleigh, M. A. 1979. *Biología de los Protozoos*. Blume. Madrid. España. pp. 113-223.
- Sliter, W. V. 1970. Inner-neritic Bolivinitidae from the eastern Pacific margin. *Micropaleontology*, 6: 155-174.
- Smart, C. 2002. Environmental applications of deep-sea benthic Foraminifera. In: Haslett (ed.). *Quaternary environmental Micropaleontology*, 3. Arnold, London, pp. 14-58.
- Smith, P. B. 1963. Quantitative and qualitative analysis of the family Bolivinitidae: *Professional Paper of U. S. Geological Survey*, 429: 1-39.
- Soto-Madones, L., S. G. Marinone and A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad Espaciotemporal de la Temperatura Superficial del Mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25 (1): 1-30.

- Stott, L. D., T. Bunn, M. Prokopenko, C. Mahn, J. Gieskes and J. Bernhard. 2002. Does the oxidation of methane leave an isotopic fingerprint in the geological record?. *Geochemistry Geophysics*, 3 (2): 1012-1029.
- Stuvier, M. and H. A. Polach. 1977. Discussion: Reporting of ^{14}C data. *Radiocarbon*. 19: 355-363.
- Stuvier, M., P. J. Reimer and R. W. Reimer. 2005. CALIB 5.0 ([http://: www.programanddocuments](http://www.programanddocuments)).
- Sverdrup, H. U., M. W. Johnson and R. H. Fleming. 1941. The Oceans. New York: Prentice Hall, Inc: 1-1087.
- Trewartha, G. T. and L. H. Horn. 1980. An Introduction to climate. McGraw Hill Book, 5th edition. New York.
- Thunell, R. C. 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Research*, 45: 2059-2083.
- Torres-Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua en el Golfo de California. Tesis de Maestría. CICESE. Baja California, México.
- Travis, J. L. and S. S. Bowser. 1991. The motility of foraminifera. In Lee, J.J. and Anderson, O. R., (eds.) *Biology of Foraminifera*. Press In., London. pp. 91-155.
- Tyson, R. V. and T. H. Pearson. 1991. Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. *Special Publications of Geological Society, London*. No. 58: 1-24.
- Uchio, T. 1960. Ecology of living benthonic Foraminifera from the San Diego, California, Area. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, Special Publications. No. 5: 1-72.
- Uriarte-Cantolla, A. 2003. Historia del clima de la Tierra. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. pp. 306.
- Van Andel, T. H. 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California. In: Van Andel, T. H., Shor. G.G. (eds.). *Marine Geology of the Gulf of California*. Memoir of the American Association of Petroleum Geologist. pp: 216-316.
- Van der Zwaan, G. J., I. A. P. Duijnste, M. Dulk, S. R. Ernst, N. T. Jannink and T. J. Kouwenhove. 1999. Benthic foraminifers: proxies or problems? A review of paleoecological concepts. *Earth-Science Reviews*, 46: 213-236.
- Wishner, K., L. Levin, M. Gowing and L. Mullineaux. 1990. Involvement of the oxygen minimum in benthic zonation on a deep seamount. *Nature*, 346: 57-59.
- Wyrtki, K. 1962. The oxygen minima in relation to ocean circulation. *Deep-Sea Research*, 9: 11-23.

ANEXO I

Porcentaje de limos y arcillas en las muestras estudiadas del núcleo K-52.

MUESTRA (cm)	% de limos y arcillas
0-1	90.0
5 -- 10	98.2
10 -- 11	99.7
15 -- 16	95.4
20 - 21	88.7
25 - 26	91.0
30 - 31	89.3
35 -36	86.0
40 - 41	83.6
45 - 46	71.0
50 - 51	86.5
55 - 56	95.5
60 - 61	98.2
65 - 66	97.1
70 - 71	99.0
75 - 76	98.8
80 - 81	98.7
85 - 86	98.8
90 - 91	99.3
95 - 96	99.1
100 - 101	99.1
105 - 106	99.2
110 - 111	98.9
115 - 116	98.6
121 - 122	99.5
130 - 131	91.2
135 - 136	98.6
140 - 141	97.5

ANEXO II

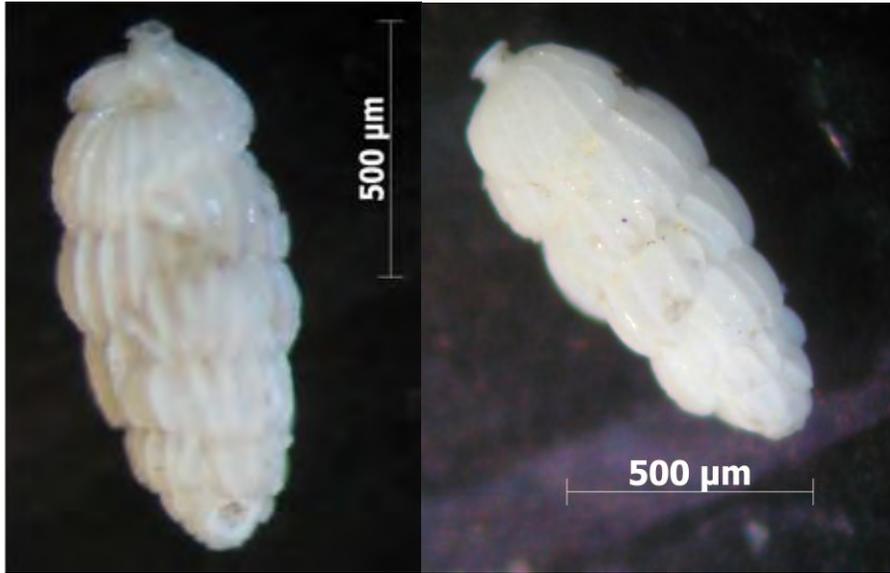
Abundancias relativas de los foraminíferos bentónicos considerados para el análisis de factores “Modo Q”.

	Intervalo (cm)/especies	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	121	130	135	140	
1	<i>Bolivina argentea</i>	0	0	0	2.5	0	0	4	2.8	4.7	3	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	<i>Bolivina plicata</i>	2.1	0	1.3	0	1.9	1.3	1	2.8	3	1.3	0.3	3.3	0.5	0.7	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	<i>Bolivina seminuda</i>	35	50	18	33	37	40	34	36	33	41	14	1	0	0	0.3	0.4	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0.4
4	<i>Bolivina subadvena</i>	12	10	2.2	17	7.7	6.3	11	8.1	4.7	13	7.3	2.9	0	0	0	0	0	0	0	14	0.9	0.3	0	0	0	0	0	0	0.2
5	<i>Bolivina sabaenariensis</i>	0	0	0	0	0	1.6	2.3	0	2	0	3.3	3.9	0	4.5	0	7.6	4.9	7	0	0	4.3	5	6.6	16	13	7.3	7.4	0	
6	<i>Bulimina mexicana</i>	2.1	0	0	2.5	0.8	0	0	1.4	0	0	4	9.8	6.8	5.9	12	8	12	4.8	9.7	11	6.9	9.3	12	10	6	11	7.1	6.6	
7	<i>Bulimina pagoda</i>	0.5	0.7	0	1.4	0.8	1.6	0.7	1.4	1	1.3	1.7	1	0.9	2.8	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0.2	0	0
8	<i>Bulimina pyrula</i>	1	1.3	0.9	0.7	1.5	1.6	1	1.1	0.3	1.3	1.7	1.6	1.4	0	0.6	0.4	1.3	0	0.8	0.7	0	1	1.8	0.7	2	1.2	1.5	0.9	
9	<i>Bulimina striata</i>	0.5	0	1.8	1.1	0	0.3	0.3	0	0	1	0.7	1.6	7.8	13	0.6	4	0.7	0	1.2	1.3	0.6	3.3	0	2.5	15	0.5	1.8	0.7	
10	<i>Buliminella tenuata</i>	27	17	17	17	22	16	15	11	14	3.3	8	0.3	0.9	1	0.3	0.9	0	0.5	0.4	0	1.1	0.7	0	0	2.3	0	0.9	0	
11	<i>Cassidulina delicata</i>	1	5.7	27	2.5	17	15	9.3	13	15	11	5.3	0	0.9	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.3	0	0	0
12	<i>Epistominella smithi</i>	1	1.3	19	1.1	1.5	3.2	3	11	4.3	4.3	4.7	5.5	8.7	8	0.6	2.2	0.7	2.2	3.1	1.7	0	4	4.8	2.8	18	6.1	5	0	
13	<i>Fursenkoina cornuta</i>	0	1.7	0	4.3	0	2.2	0.3	0	2.3	2	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	<i>Globobulimina affinis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.7	0	2.7	1.4	0	1.8	3.9	5.4	0.8	3	2.6	3.3	1.5	1.4	1.3	0.2	2.4	0.2	
15	<i>Globobulimina pacifica</i>	0.5	0.7	0	1.4	0	1	1.3	0	0	1.3	1	0.3	0	1.4	0.3	0.9	1.6	3.8	0	3.3	3.4	2.3	4.4	2.5	0	1.2	1.2	0.4	
16	<i>Gyroldinooides altiformis</i>	0	0.7	0	0.4	0	1.6	0	0.4	0	0.7	1.7	3.3	1.8	1	0.6	0.4	1.3	1.1	2.3	0.7	0.6	1.3	0.7	0	0	5.3	8.6	15	
17	<i>Loxostomum pseudobeyrichi</i>	3.6	3.3	1.8	1.1	3.1	1.9	5.7	4.2	5.7	7	4	0.7	1.4	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	1.5	1.1	0	1.5	0.3	0.4	
18	<i>Melonis parkerae</i>	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.6	1.3	0.3	0	0	1.7	1.4	2.6	2.6	2.8	0	0	0	0	
19	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	0.5	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0.7	3.6	0	0.3	2.7	0.4	0.3	0.5	0.4	0	0.9	1.3	0	0.4	0	1.9	0	0.2	
20	<i>Uvigerina excellens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3	2.6	1.8	9.8	9.5	10	5.6	14	8.1	12	6.3	5.3	6.3	0	4.7	6.8	6.8	7.4	
21	<i>Uvigerina peregrina</i>	10	2	4.5	7.4	0.4	1	1.3	0	0.3	2	30	55	58	40	68	58	60	58	71	45	68	48	40	48	33	52	55	59	
22	<i>Vahulineria mexicana</i>	0	0	0	3.5	2.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1.3	0	1.7	0	5.3	0	0	0	0

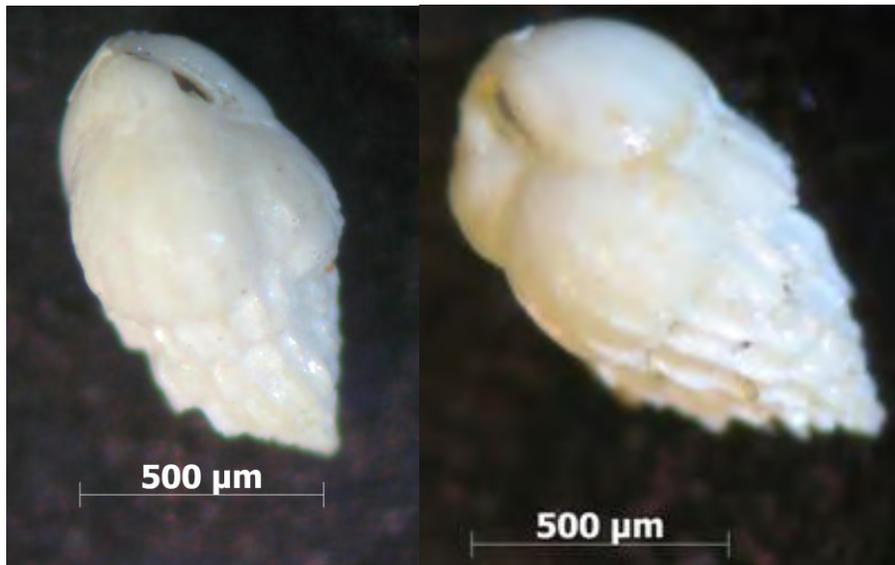
ANEXO III

Imágenes de foraminíferos bentónicos de la secuencia sedimentaria K-52 para el Factor 1.

Uvigerina peregrina



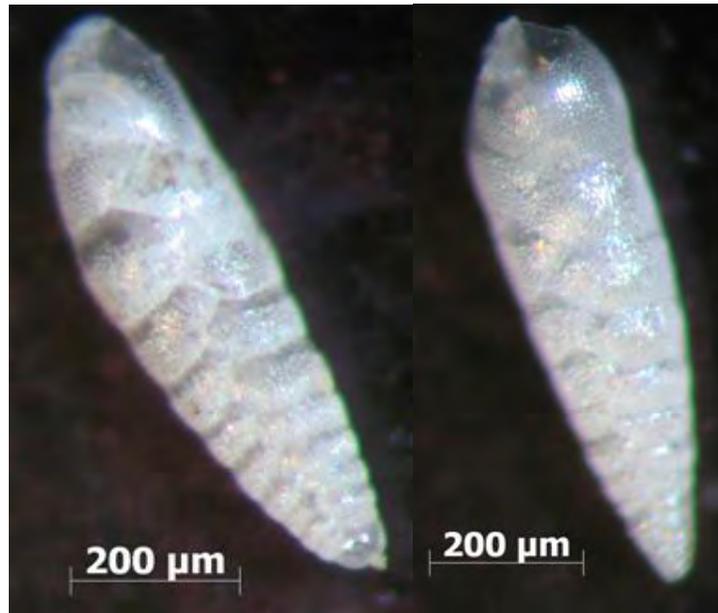
Bulimina mexicana



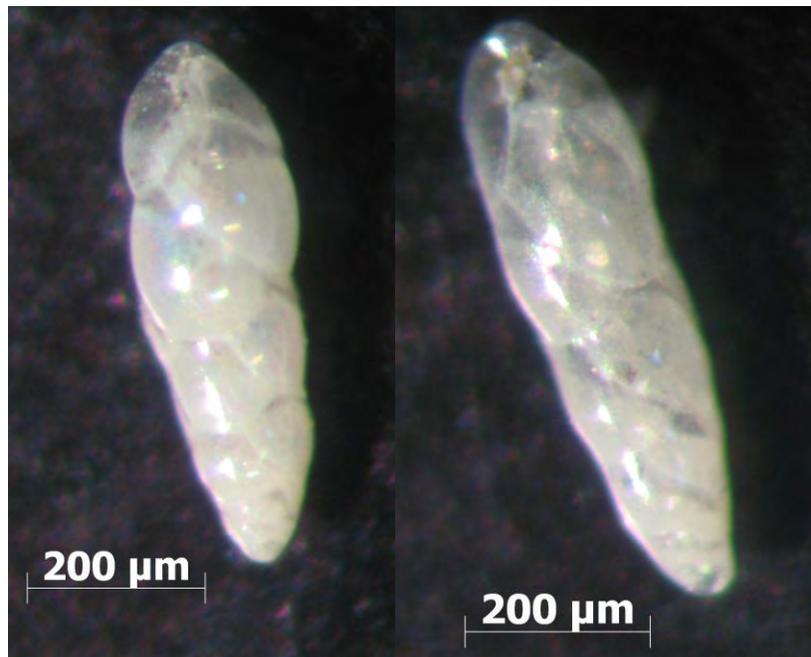
ANEXO III

Imágenes de foraminíferos bentónicos de la secuencia sedimentaria K-52 para el Factor 2.

Bolivina seminuda



Buliminella tenuata

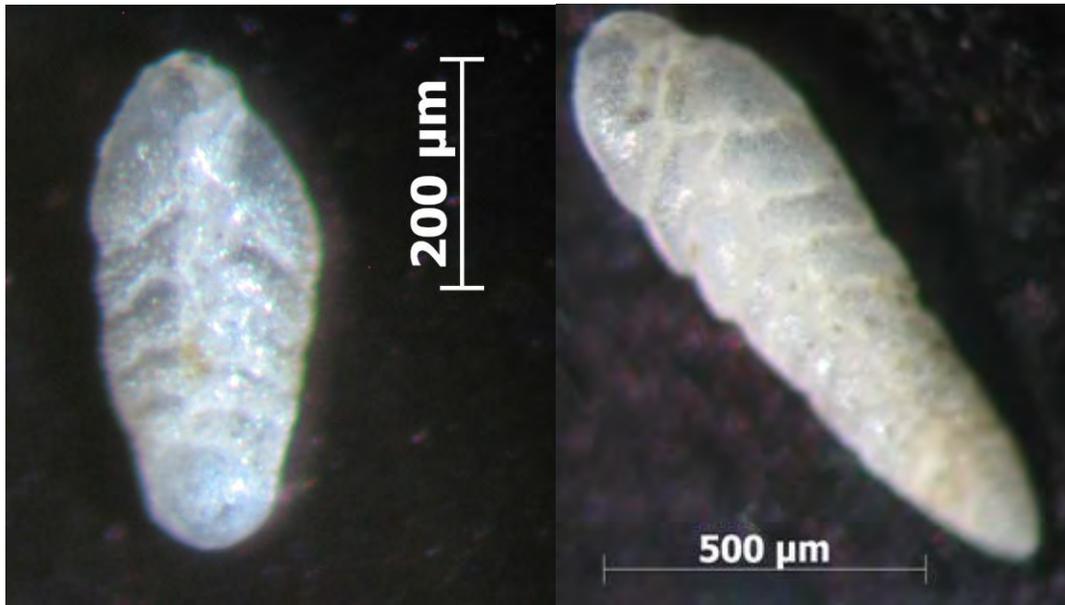


ANEXO III

Imágenes de foraminíferos bentónicos de la secuencia sedimentaria K-52 para el Factor 2.

Bolivina subadvena

- a) Fase asexual (Forma megalosférica)
- b) Fase sexual (Forma microsferica)



a)

b)