

**CENTRO DE INVESTIGACION CIENTIFICA  
Y DE EDUCACION SUPERIOR DE ENSENADA**

**DIVISION DE OCEANOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

**DISTRIBUCIÓN DE FORAMINÍFEROS BÉNTICOS EN AMBIENTES DE BAJA  
CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO: PATRONES DEL BAJO GOLFO DE CALIFORNIA Y  
DEL EXTREMO SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA.**

**TESIS**

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de MAESTRO  
EN CIENCIAS presenta:

**ANA GUADALUPE BERTAUD DE LEON**

Ensenada, Baja California, México, Septiembre de 2001

TESIS DEFENDIDA POR  
**ANA GUADALUPE BERTAUD DE LEON**  
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE Comité

---

Dr. Juan Carlos Herguera García  
*Director del Comité*

---

M.C. Anamaría Escofet Giansione  
*Miembro del Comité*

---

Dr. Javier Helenes Escamilla  
*Miembro del Comité*

---

Dra. María Luisa Machain Castillo  
*Miembro del Comité*

---

Dr. Helmut Maske Rubach  
*Jefe del Departamento de Ecología*

---

Dr. Luis Alberto Delgado Argote  
*Director de Estudios de Posgrado*

7 de Septiembre del 2001

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Moisés y Margarita*

*A mis hermanos*

*A Don Galdo*

∞

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Juan Carlos Herguera, mi director de tesis, por su tiempo, su paciencia, sus enseñanzas y todo su apoyo. Gracias

A los miembros de mi comité de tesis Dra. María Luisa Machain, M.C. Anamaría Escofet y al Dr. Javier Helenes, por su tiempo, su dedicación y las correcciones hechas a este escrito. Gracias

A Mona por su disposición y sus buenos consejos.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

A CONACyT por haberme apoyado con una beca durante mi estancia en esta institución,

Al AIA, por el apoyo brindado.

A todos los investigadores y técnicos que de alguna manera colaboraron en el término de este trabajo: Ing. Luis Carlos Gradilla, Oc. Marina Mondragón, Dr. Antonio Trujillo, Oc. Edwina Nieto, Oc. Armando Jaramillo, M en C. Verónica Rodríguez, Oc. Sara Palacios.

A mis Compañeras de laboratorio a Doña Bertha Acosta, Doña Gladys Bernal, Doña Auxilio Esparza y Doña Sara Ramos, por su amistad, colaboración, gracias por hacer amena mi estancia en ese lugar.

A Vicente Ferreira por sus buenos deseos.

A mis compañeros de generación por su amistad y por tantos momentos compartidos: María Cruz, Alejandro Medina, Beatriz Contreras, Rosina Maimone, Laura Dorantes, José Luis Peña, Emmanuel Furlong, Mireya Hernández, Carmen Esqueda, Danténoc Alvarez, Benigno Hernández, Lorena Linacre, Marisol Valdéz, Adriana Orozco, Alicia Osorno.

A mis "D's" Marinita y Maricarmen.

A mi familia por todo su apoyo, en especial este último año.

## CONTENIDO

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| I. INTRODUCCION  | 1             |
| I.1 Antecedentes   | 4             |
| II. OBJETIVOS  | 12            |
| III. MATERIALES Y METODOS  | 13            |
| III.1 Descripción del Area de Estudio  | 13            |
| III.1.1 Región del Bajo Golfo de California  | 13            |
| III.1.2 Corriente de California  | 18            |
| III.2 Trabajo de Campo   | 21            |
| III.2.1 Obtención de los sedimentos laminados  | 21            |
| III.2.2 Tinción con Rosa de Bengala  | 21            |
| III.2.3 Mediciones Fisicoquímicas  | 23            |
| III.3 Trabajo de Laboratorio   | 24            |
| III.3.1 Procesamiento de las muestras  | 24            |
| III.3.1.1 Muestras con Tinción   | 24            |
| III.3.1.1.a Extracción de foraminíferos bénticos teñidos con<br>Rosa de Bengala        | 24            |
| III.3.1.1.b Lavado de las muestras   | 24            |
| III.3.1.1.c Secado y Pesado de las muestras  | 25            |
| III.3.1.1.d Tamizado de las muestras   | 25            |
| III.3.1.2 Muestras sin Tinción   | 25            |
| III.3.1.3 Procesamiento de las muestras para la determinación<br>de carbono orgánico   | 25            |
| III.3.1.3.a Liofilización y maceración del sedimento                                   | 25            |
| III.3.1.3.b Análisis de Carbono  | 25            |
| III.3.2 Cuantificación e identificación taxonómica de los<br>foraminíferos             | 26            |
| III.3.3 Imágenes de foraminíferos bénticos en el microscopio<br>electrónico de barrido | 27            |
| III.4 Análisis de Datos  | 27            |
| III.4.1 Análisis de composición faunística de foraminíferos<br>bénticos                | 27            |
| III.4.2 Análisis de Agrupamiento (cluster)   | 29            |

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| IV. RESULTADOS  | 31            |
| IV.1 Parámetros Físicoquímicos  | 31            |
| IV.2 Organismos teñidos con Rosa de Bengala (Biocenosis)  | 36            |
| IV.2.1 Composición faunística general   | 36            |
| IV.2.2 Abundancia de las especies   | 39            |
| IV.2.3 Índices de Diversidad  | 42            |
| IV.2.4 Análisis de agrupamiento de las especies de la fauna viva<br>de Foraminíferos bénticos                       | 45            |
| IV.2.5 Distribución con la profundidad batimétrica de las<br>especies de Foraminíferos bénticos                     | 53            |
| IV.2.6 Distribución de los foraminíferos vivos dentro del<br>sedimento  | 56            |
| IV.3 Foraminíferos bénticos sin Tinción (Tanatocenosis)   | 66            |
| IV.3.1 Composiciónfaunística general  | 66            |
| IV.3.2 Abundancia de las especies   | 69            |
| IV.3.3 Índices de Diversidad  | 71            |
| IV.3.4 Análisis de agrupamiento de las especies en la<br>tanatocenosis de foraminíferos bénticos                    | 75            |
| IV.3.5 Distribución con la profundidad batimétrica de las<br>especies de la Tanatocenosis de foraminíferos bénticos | 80            |
| IV.4 Comparación de nuestros resultados con los de otros autores  | 87            |
| IV.4.1 Prueba de Hutchenson   | 87            |
| IV.4.2 Comparación de los núcleos de las cuencas costeras<br>(A475, E540, C550) con la cuenca Santa Bárbara         | 89            |
| V. DISCUSIONES  | 91            |
| V.1 Parámetros físicoquímicos   | 91            |
| V.2 Organismos teñidos con Rosa de Bengala<br>(Biocenosis)  | 93            |
| V.3 Organismos sin tinción (Tanatocenosis)  | 109           |
| VI. CONCLUSIONES  | 115           |
| LITERATURA CITADA   | 116           |
| APÉNDICE  |               |
| I. Autores, láminas y figuras de donde se identificaron las diferentes<br>especies de este trabajo.                 |               |
| II. Variables físicoquímicos de los diferentes niveles de cada<br>núcleo.   |               |

- III. Lista de especies de foraminíferos béticos observadas en este estudio (en orden alfabético por cada familia).
- IV. Imágenes de los Foraminíferos béticos con el microscopio electrónico de barrido.
- V. Número total de foraminíferos vivos (teñidos) encontrados en cada núcleo.

## LISTA DE TABLAS

| Tabla |   | Página |
|-------|---|--------|
| I     | Características de las masas de agua del Golfo de California (Torres-Orozco; Lavín <i>et al.</i> , 1997).   | 19     |
| II    | Descripción de las áreas de muestreo  | 22     |
| III   | Desviación y error estándar de las mediciones de carbono total y carbono inorgánico.  | 26     |
| IV    | Mediciones de los parámetros fisicoquímicos de los núcleos de todas las campañas oceanográficas.  | 32     |
| V     | Número de individuos de foraminíferos béticos vivos por núcleo.   | 38     |
| VI    | Especies de foraminíferos béticos vivos con mayores abundancias relativas en cada uno de los núcleos.   | 40     |
| VII   | Índices de Diversidad de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J'), diversidad máxima esperada (H'max), Índices de Dominancia de Simpson (C) y número de especies (S) para todas las muestras teñidas (organismos vivos). | 41     |
| VIII  | Prueba de Hutchenson entre los índices de diversidad determinados en la Biocenosis.   | 44     |
| IX    | Número de individuos de foraminíferos béticos sin tinción (tanatocenosis) en cada núcleo.   | 67     |
| X     | Especies de foraminíferos béticos muertos con mayores abundancias relativas en cada uno de los núcleos  | 70     |
| XI    | Índices de Diversidad de Shannon-Wiener (J'), diversidad máxima esperada (H' max) y el Índice de Dominancia de Simpson (C) y número de especies (S) para todas las muestras (organismos muertos).                       | 73     |
| XII   | Prueba de Hutchenson entre los índices de diversidad determinados en la Tanatocenosis.  | 74     |
| XIII  | Tabla comparativa (Prueba de Hutchenson) entre los núcleos de la Biocenosis y los de la base de datos de Phleger (1960).  | 88     |



## LISTA DE FIGURAS

| <b>Figura</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| 1             | Áreas de muestreo en el Bajo Golfo de California y en el extremo Sur de la Corriente de California.   | 15            |
| 2             | Comportamiento vertical de oxígeno disuelto (ml/l) a lo largo del Golfo de California. (Roden y Emilsson, 1980 en de la Lanza, 1991).   | 17            |
| 3             | Relación entre el oxígeno disuelto en el agua de cada estación y la concentración de carbono orgánico de los núcleos.   | 33            |
| 4             | Análisis de agrupamiento de las variables fisicoquímicas asociadas a los núcleos  | 35            |
| 5             | Número de especies de foraminíferos béticos vivos en cada uno de los núcleos (ordenados por profundidad).   | 37            |
| 6             | Número de especies de foraminíferos béticos vivos en cada uno de los núcleos (ordenados por localidad).   | 37            |
| 7             | Comparación entre el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J') y Dominancia de Simpson (C) en los núcleos utilizados para la biocenosis.  | 43            |
| 8             | Análisis de agrupamiento modo-Q para la determinación de Biotopos.  | 46            |
| 9             | Análisis de agrupamiento modo-R para la determinación de Biofacies.   | 48            |
| 10            | Análisis de agrupamiento modo-R para la determinación de Biofacies, excluyendo a las especies que presentaron los mayores valores de abundancia relativa.   | 49            |
| 11            | Análisis de agrupamiento modo-R del Biotopo I para la determinación de su Biofacies.  | 51            |
| 12            | Análisis de agrupamiento modo-R del Biotopo III para la determinación de su Biofacies.  | 52            |
| 13            | Distribución con la profundidad batimétrica de las especies de foraminíferos béticos vivos que presentaron abundancias mayores del 3 % (a), concentraciones de oxígeno (b) y porcentajes de carbono orgánico en los diferentes núcleos (c). | 54            |
| 14            | Distribución de foraminíferos béticos vivos dentro del sedimento y su relación con el oxígeno (a) y con el % de carbono orgánico (b).   | 57            |

| <b>Figura</b> |  | <b>Página</b> |
|---------------|--|---------------|
| 15            | Distribución en el sedimento de las especies más abundantes en el ambiente de cuenca costera o de profundidades menores de 475 m, usando el promedio de las abundancias relativas de cada especie para el a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3 y d) Nivel 4.   | 59            |
| 16            | Distribución en el sedimento de las especies más abundantes en el núcleo C550, usando el promedio de las abundancias relativas de cada especie para el a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3 y d) Nivel 4.  | 61            |
| 17            | Distribución en el sedimento de las especies más abundantes en el ambiente de talud o de profundidades mayores de 550 m, usando el promedio de las abundancias relativas de cada especie para el a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3 y d) Nivel 4.  | 63            |
| 18            | Distribución en el sedimento de las especies que no mostraron ninguna preferencia por la profundidad batimétrica, usando el promedio de las abundancias relativas de cada especie para todas las profundidades a) Nivel 1, b) Nivel 2, c) Nivel 3 y d) Nivel 4; para la cuenca costera e) Nivel 1, f) Nivel 2, g) Nivel 3 y h) Nivel 4; para el núcleo C550 i) Nivel 1, j) Nivel 2, k) Nivel 3 y l) Nivel 4 y para el ambiente de talud m) Nivel 1, n) Nivel 2, o) Nivel 3 y p) Nivel 4. | 65            |
| 19            | Número de especies de foraminíferos béticos de la tanatocenosis de los núcleos (ordenados por profundidad).  | 68            |
| 20            | Número de especies de foraminíferos béticos de la tanatocenosis de los núcleos (ordenados por localidad).  | 68            |
| 21            | Comparación entre el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H'), Equitabilidad (J') y Dominancia de Simpson (C) en los núcleos de la Tanatocenosis.   | 72            |
| 22            | Análisis de agrupamiento modo-Q para la determinación de Tanatotopos.  | 76            |
| 23            | Análisis de agrupamiento modo-R para la determinación de Tanatofacies.   | 78            |
| 24            | Análisis de agrupamiento modo-R para la determinación de Tanatofacies, excluyendo a las especies más abundantes.   | 79            |
| 25            | Análisis de agrupamiento modo-R del Tanatotopo I para la determinación de su Tanatofacies.   | 81            |
| 26            | Análisis de agrupamiento modo-R del Tanatotopo II para la determinación de su Tanatofacies.  | 82            |

| <b>Figura</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| 27            | Análisis de agrupamiento modo-R del Tanatotopo III para la determinación de su Tanatofacies.  | 83            |
| 28            | Análisis de agrupamiento modo-R del Tanatotopo IV para la determinación de su Tanatofacies.   | 85            |
| 29            | Distribución con la profundidad batimétrica de las especies de foraminíferos béticos muertos que presentaron abundancias mayores del 3 % (a), concentraciones de oxígeno (b) y porcentajes de carbono orgánico en los diferentes núcleos (c).   | 86            |
| 30            | Comparación de las asociaciones de foraminíferos béticos de los núcleos más profundos de las diferentes cuencas que tienen como característica una circulación restringida (A475 de BLP, C550 de CP y E540 de CSLAZ) de nuestro estudio con el núcleo de 91 m de profundidad (SB591), del fondo de la Cuenca Santa Bárbara (Bernhard <i>et al.</i> , 1997). | 90            |

RESUMEN de la Tesis de Ana Guadalupe Bertaud de León, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina. Ensenada, Baja California, México, Septiembre de 2001.

DISTRIBUCIÓN DE FORAMINÍFEROS BÉNTICOS EN AMBIENTES DE BAJA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO: PATRONES DEL BAJO GOLFO DE CALIFORNIA Y DEL EXTREMO SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA.

Resumen aprobado por:

---

Dr. Juan Carlos Herguera García  
Director de Tesis

El propósito de este trabajo fue determinar hasta que punto influye la localización en dos provincias biogeográficas del mar superficial marcadamente diferentes en la composición de las especies de foraminíferos bénticos en un ambiente extremo caracterizado por su baja concentración de oxígeno y alto contenido de carbono orgánico en los sedimentos. Parelelo a este objetivo observar la variabilidad de su distribución en profundidad y su relación con las diferentes variables fisicoquímicas. Para ello se analizó la biocenosis y tanatocenosis de foraminíferos en una serie de núcleos pertenecientes a diferentes localidades dentro del Golfo de California –con una fuerte influencia tropical- y del Sistema de la Corriente de California dominado por las aguas templadas del Pacífico Norte. El análisis de agrupamiento de la biocenosis dio como resultado la presencia de 4 biotopos, el grupo más claro fue el que determinó el ambiente de cuenca costera constituido por Bahía La Paz, caracterizado por bajos niveles de oxígeno causados por una circulación restringida. Fue en esta bahía donde encontramos el mayor número de especies y la mayor abundancia. *Gyroidina multilocula* fue la especie que mayor número de organismos presentó con 15 ind/g en el núcleo A475. Para la tanatocenosis se presentaron 4 tanatotopos, en el tanatotopo II se agruparon las dos cuencas costeras del estudio, la de Bahía La Paz dentro del Golfo de California y la Cuenca San Lázaro del Sistema de la Corriente de California y se caracterizó por la presencia de *Cassidulina tumida*, *Gyroidina multilocula*, *Valvulineria inflata*, *Bolivina pacifica*, *Loxostomum bradyi* y *Cassidulina delicata*. En ambos análisis (biocenosis y tanatocenosis) las distribución de los grupos estuvo influenciada por las diferentes masas de agua (ASsSt, AIP y APP), su contenido en oxígeno y por la profundidad. Encontramos que las asociaciones de foraminíferos bénticos no mostraron diferencia en la composición de especies entre las localidades del Golfo de California y de la Corriente de California dentro de los mismos intervalos de profundidad. Observamos como las características ambientales a la profundidad a la que se recogieron los núcleos, de cuencas costeras con circulación restringida con una gran abundancia de carbono orgánico en los sedimentos y su escasa ventilación son las variables principales que influyen en su distribución, estas tienen una importancia mayor que su pertenencia a provincias biogeográficas diferentes para explicar la distribución de foraminíferos bénticos en profundidad. La distribución de los foraminíferos bénticos vivos – biocenosis- dentro del sedimento se ve influenciada por la concentración de oxígeno disuelto y el contenido de carbono orgánico, encontrándose la mayor abundancia en el primer nivel (1er cm) en áreas donde los valores de oxígeno fueron bajos.

Palabras clave: Foraminíferos bénticos, oxígeno, carbono orgánico, biocenosis, tanatocenosis, Golfo de California y Sistema de la Corriente de California.

# **DISTRIBUCIÓN DE FORAMINÍFEROS BÉNTICOS EN AMBIENTES DE BAJA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO: PATRONES DEL BAJO GOLFO DE CALIFORNIA Y DEL EXTREMO SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA.**

## **I. INTRODUCCION**

Los foraminíferos bénticos son organismos protozoarios, heterotrófos, con pseudópodos granuloreticulosos, que forman caparazones de carbonato de calcio de una o más cámaras, aunque algunos taxones construyen sus caparazones aglutinando y cementando partículas de los sedimentos en los que habitan (Boltovskoy, 1965; Gooday *et al.*,1992). Poco se conoce acerca de las asociaciones de foraminíferos vivientes en la mayoría de las grandes áreas oceánicas del mundo y todos los aspectos de su ecología se encuentran aún en las primeras etapas de investigación (Murray, 1991). Se ha encontrado que los foraminíferos tienen una gran importancia dentro de las cadenas alimenticias y juegan un papel significativo en el ciclo del carbono de los mares profundos. Estudios recientes destacan la importancia de los foraminíferos bénticos como un importante enlace trófico entre las bacterias y detritus y los niveles más altos dentro de las cadenas alimenticias de las zonas profundas (Gooday *et al.*,1992). A su vez los foraminíferos son consumidos por una amplia variedad de organismos, alimentadores depositívoros (incidentalmente) y por depredadores especialistas.

Los foraminíferos bénticos se encuentran ampliamente distribuidos en todos los ambientes marinos de someros a profundos y resultan herramientas muy útiles en estudios oceanográficos. Su gran adaptabilidad ecológica les confiere un gran valor como indicadores de ambientes marinos lo que unido a su alto potencial de fosilización, la mineralización de sus caparazones favorece su preservación en el registro geológico, constituyen dos propiedades ampliamente utilizadas para las reconstrucciones paleoecológicas y paleoceanográficas para períodos geológicos

pasados (Phleger, 1963; Tyson y Pearson, 1991). Los caparazones de estos organismos nos proporcionan información por dos vías: la geoquímica y la biológica. El caparazón calcítico recoge información sobre la composición de isótopos estables de las aguas durante su asimilación así como de la distribución de ciertos elementos traza indicadores de concentración de nutrientes como el Cd y Ba, indicadores de variables físicas (como la temperatura y salinidad) como el Mg, Sr, entre otros. (Corliss, 1985; Murray, 2001). Mientras que la información ecológica está recogida en las covariaciones entre las abundancias de un organismo o de de la composición de una asociación de organismos y los parámetros ambientales (Murray, 2001).

Las poblaciones de foraminíferos bénticos están controlados por una combinación de variables ambientales y biológicas que influyen sobre su actividad y condicionan sus patrones de distribución, diversidad y abundancia. Entre las variables ambientales podemos mencionar la temperatura, salinidad, concentración de nutrientes, materia orgánica, oxígeno disuelto, pH, entre otros. En la mayoría de los casos estas variables se interrelacionan mientras que en otros una sola variable puede resultar la más importante (Gooday *et al.*, 1992). La concentración de oxígeno disuelto en el agua y la cantidad de materia orgánica que llega al sedimento, en conjunto, pueden ejercer un importante control sobre la distribución de los foraminíferos bénticos. Estudios recientes sobre este grupo de organismos han enfatizado la importancia de estos dos factores (Tyson y Pearson, 1991; Gooday, 1993; Rogers, 2000).

En regiones costeras oceánicas de alta productividad biológica, como son las fronteras orientales de los grandes giros oceánicos, las altas tasas de exportación de carbono orgánico al fondo y la escasa ventilación de las aguas a profundidades intermedias condicionan un sobre consumo del oxígeno disuelto y como resultado se crea de una

capa o Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO), llegando incluso al extremo de la anoxia en cuencas semicerradas al océano abierto, con umbrales batimétricos que dificultan o impiden la renovación de las aguas del fondo de las cuencas (Hülsemann y Emery, 1961; Calvert, 1966; Phleger y Soutar, 1973). Esta extraordinaria combinación de variables sólo se produce en un reducido número de regiones oceánicas entre las cuales se incluye la zona del borde oriental del Pacífico. Estas zonas tienen, como característica general, concentraciones de oxígeno por debajo de 0.5 ml/l (Sen-Gupta y Machain-Castillo, 1993; Rogers, 2000). Recientemente las llamadas Zonas del Mínimo de Oxígeno han cobrado gran interés por el gran efecto que tienen sobre las comunidades bénticas (Josefson y Widbom, 1988; Gooday *et al.*, 2000; Nilsson y Rosenberg, 2000), en las que se han observado cambios importantes en su composición y abundancia (Gooday *et al.*, 2000; Rogers, 2000), lo que a su vez afecta a la distribución geográfica horizontal y vertical de muchas especies, lo que hasta ahora resultaba evidente principalmente en los organismos de la macrofauna (Wishner *et al.*, 1990). Para Rogers (2000) las ZMO tienen un efecto muy significativo sobre la biodiversidad del océano profundo, pues pueden actuar como barrera genética entre las poblaciones, generando especiación tanto en los organismos de épocas recientes como del pasado. Los foraminíferos bénticos se han adaptado a sobrevivir en ambientes donde los niveles de oxígeno disuelto son muy bajos, estas asociaciones muestran una diversidad faunística menor y una dominancia mayor que en otros ambientes oceánicos. Estos ambientes ecológicos extremos favorecen la colonización y el desarrollo de organismos oportunistas con capacidad de metabolizar, crecer y reproducirse en ambientes extraordinariamente empobrecidos en oxígeno bien porque su consumo sea muy bajo o porque hayan desarrollado relaciones simbióticas con

bacterias sulforeductoras y/o metanogénicas (Phleger y Soutar, 1973; Bernhard, 1993, Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993). Esta adaptabilidad a medios de extrema escasez en oxígeno disuelto les confiere a este grupo un interés adicional por conocer y comprender qué mecanismos y procesos facilitan su supervivencia.

En este trabajo el objetivo fundamental es el comprobar si existe un cambio en la composición de las especies en un gradiente de concentración de oxígeno donde el carbono orgánico no sea un limitante.

## I.1 ANTECEDENTES

Inicialmente los trabajos realizados con foraminíferos béticos fueron sobre su distribución con la profundidad en el océano (Uchiro, 1960; Phleger, 1964). Pese a que la profundidad es una de las variables más obvias en el océano y son ampliamente conocidas las grandes zonaciones marinas que se han hecho en base a ella, la distribución de los foraminíferos béticos no está regida únicamente por este factor, sino por la combinación de las diferentes variables físicas y geoquímicas que a su vez varían con la profundidad (Phleger, 1960). Las variables ambientales pueden influir en la distribución, diversidad y abundancia de los foraminíferos béticos (Phleger, 1953; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993). Al variar algunos factores con la profundidad juegan un papel significativo en la distribución de las especies, porque influyen en los mecanismos fisiológicos de los organismos, como puede ser la cantidad de alimento (carbono orgánico) ó la concentración de oxígeno (Resig, 1981). Éstos 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 bénticos (Wishner *et al.*,1990; Jorissen *et al.*,1992; Gooday,1993).

En cuanto a la distribución en los sedimentos las especies de foraminíferos presentan preferencias específicas en sus microhabitats, clasificándose como epifauna cuando se encuentran en el sedimento superficial o infauna cuando los organismos se localizan por debajo del primer centímetro de profundidad (Corliss, 1985; Mackensen y Douglas, 1989). A su vez las características morfológicas varían dependiendo del microhabitat en el que se encuentren. Corliss (1985) encontró una correlación entre la forma de la concha, la distribución de los poros y la profundidad en el sedimento, sugiriendo que las variables morfológicas se encuentran relacionadas a las preferencias del microhabitat de las especies. Incluso reportó como las especies epifaunales (*Planulina wüllerstorfi*, *Hoeglundina elegans*) presentaban formas planoconvexas o biconvexas, con poros sólo en uno de los lados del organismo o totalmente ausentes; formas que sugieren ventajas para anclarse en la zona de la interfase agua-sedimento durante las épocas de turbulencia en la superficie del sedimento. Mientras para las infaunales (*Melonis barleeaanum*, *Chilostomella oolina* y *Globobulimina affinis*) reportó formas con bordes redondeados, planoespirales, cilíndricas, globulares u ovaladas y con una mayor profusión de poros en sus paredes.

Sin embargo estudios más recientes mencionan que las preferencias en los microhabitats de los foraminíferos no es rígida y pueden cambiar su respuesta dependiendo de la disponibilidad de alimento y del gradiente de oxígeno, reflejando la versatilidad de muchos foraminíferos y su capacidad para activarse e ir en busca de ricas fuentes de alimento (Gooday, 1993; Linke y Lutze, 1993). Las regiones donde las concentraciones de oxígeno son relativamente bajas los organismos tienden a vivir en los primeros milímetros del sedimento (Bernhard, 1992). Corliss y Emerson (1990) mencionan tres posibles explicaciones para la zonación vertical en el sedimento: competencia biológica, ausencia de depredadores, y como respuesta a los gradientes físicos y químicos. La depredación generalmente se observa en ambientes con suficiente oxígeno que permite la presencia de una infauna y epifauna diversa. Incluso la presencia

de los foraminíferos en los primeros centímetros del sedimento se asocia a la ausencia de depredadores de la infauna sómera (Bernhard,1992). Además la distribución diferencial en los sedimentos superficiales por las diferentes especies puede ser una efectiva estrategia para evitar la competencia por alimento y espacio (Corliss y Emerson,1990).

Algunos de los cambios en la morfología de los foraminíferos bénticos pueden ser el resultado de las estrategias de adaptación de algunas especies para sobrevivir en los ambientes pobres en oxígeno o de altos contenidos de carbono orgánico en el sedimento. Estos cambios ecofenotípicos pueden ser: como construir el caparazón con poros grandes, paredes delgadas (Corliss, 1985; Bernhard, 1986) que los organismos construyan cada vez conchas más pequeñas (Bernhard, 1986; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993; Savrda *et al.*, 1984). El aumento de la porosidad en la superficie de las cámaras podrían facilitar el intercambio de oxígeno y la liberación de CO<sub>2</sub>, como producto metabólico (Corliss y Emerson, 1990; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993). El intercambio de oxígeno puede variar dependiendo de que tan cerca se localicen las mitocondrias en los poros de la pared (Corliss, 1985), razones por las que conchas perforadas, con una razón alta entre área por volumen, pueden favorecer una mayor captación de oxígeno mitocondrial (Bernhard, 1986). Otras especies hacen uso de otros mecanismos que les permiten sobrevivir en condiciones extremas como *Globocassidulina* cf. *G. bora* para las que se ha propuesto una relación simbiótica con bacterias, lo que permite explicar que sobrevivan anaeróbicamente (Bernhard, 1993).

En asociaciones fósiles en depósitos óxicos y subóxicos ricos en carbono orgánico del Jurásico temprano hasta el Holoceno, Bernhard (1986) encontró que los foraminíferos bénticos asociados a condiciones óxicas mostraban una mayor abundancia de formas planoconvexas, esféricas, lenticulares y biumbilicadas, mientras que los morfogrupos de los depósitos subóxicos estaban dominadas por formas elongadas y aplanadas. Las morfologías aplanadas proveen de una mayor área superficial por unidad de volumen que

las formas infladas. La perforación y las paredes delgadas de las conchas, además de la falta de ornamentación que también se observaron en los organismos de los depósitos anóxicos pueden ser relacionados a la dificultad de secretar carbonato de calcio en tales ambientes. Aunque este descenso puede reflejar un bajo índice metabólico y ésta sea la opción más aceptada que la que implica ambientes subsaturados y/o deficientes en carbonatos. Una solución a este problema es precisamente construir conchas con mayores áreas de superficie, mayor porosidad, paredes delgadas y sin ornamentación, características que encontramos comúnmente en las asociaciones de medios subóxicos. Otra manera de superar el problema de la precipitación de carbonatos podría ser la producción de conchas aglutinadas usando cementantes orgánicos. A pesar de que encontremos generalmente especies de foraminíferos aglutinados en muestras de cuencas subóxicas, éstas nunca llegan a ser predominantes en la asociación.

Las ZMO en el Océano Pacífico ocupan un volumen mayor y su contenido en oxígeno es aún menor que las del Océano Atlántico, mientras la zona fótica del Pacífico presenta concentraciones más altas de nutrientes y una productividad relativamente mayor (Berger *et al.*, 1987). Las ZMO que se observan en el Golfo de California y las que se localizan frente al margen continental de la parte Sur de la Península de Baja California son poco conocidas y la mayoría de los trabajos que se han realizado en Pacífico Oriental con foraminíferos bénticos se concentran en el Borde Continental del Sur de la Alta California (Douglas, 1981; Mackensen y Douglas, 1989; Bernhard y Reimers, 1991; Bernhard *et al.*, 1997). Los estudios sobre la fauna que habita las ZMO muestran como las comunidades disminuyen en abundancia y biomasa asociadas a la reducción en la concentración de oxígeno de las aguas (Wishner *et al.*, 1990). La estructura comunitaria también se ve influenciada en estos medios con bajos niveles de

oxígeno, en la mayoría de los casos se observa un descenso en la diversidad junto con un aumento en la dominancia, lo que se traduce en importantes cambios en la composición taxonómica de las comunidades bénticas (Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993; Rogers, 2000). La alta dominancia de la fauna de foraminíferos que se reportan para las ZMO la constituyen entre 2 a 3 especies que conforman cerca del 80 % del total de organismos. Las especies generalmente son de concha pequeña y de pared delgada, muchas de las especies pertenecen a los géneros de: *Bolivina* (e.g. *B. pacifica*, *B. subadvena*, *B. argentea*, *B. interjuncta bicostata*, etc), *Buliminella* (*B. tenuata*), *Globobulimina* (*G. affinis*, *G. pacifica*), *Uvigerina* (*U. peregrina*, *U. curticosta*), *Epistominella* (*E. pacifica*, *E. sandiegoensis*, *E. smithi*) y *Cassidulina* (*C. delicata*, *C. minuta*) (Bernhard, 1991, Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993).

Los gradientes en las concentraciones de oxígeno y materia orgánica por encima y por debajo de las interfases de las ZMO producen una zonación en la distribución de las especies y son responsables de los picos de abundancia y diversidad en los límites inferiores y superiores (Wishner *et al.*, 1990; Rogers, 2000). En el centro del Océano Indico, en áreas abisales las concentraciones de carbono orgánico en el sedimento son relativamente altas y las aguas profundas presentan una mayor concentración de oxígeno que las aguas intermedias del Pacífico lo que propicia una diversa fauna béntica (Parulekar *et al.*, 1982). Sin embargo en la mayor parte del océano profundo donde los flujos de carbono son bajos y las aguas intersticiales óxicas, el limitante fundamental es el alimento, siendo estas zonas el mejor lugar para los organismos de la epifauna (Corliss y Emerson, 1990; Herguera y Berger, 1991).

La distribución de los foraminíferos bénticos en habitats con bajo contenido de oxígeno a lo largo del borde oriental del Océano Pacífico ha sido reportado por algunos autores

quienes nos proveen de información sobre las especies dominantes y/o características de estos ambientes pobres en oxígeno (Phleger y Sutar, 1973; Bernhard *et al.*, 1997; Sen Gupta y Machain-Castillo, 1993). En la Cuenca Santa Bárbara se encontró una progresión de especies en un gradiente de mayor a menor tolerancia de bajas concentraciones de oxígeno, así a concentraciones de oxígeno por debajo de 0.5 ml/l, observaron las especies: *Uvigerina juncea*, *Suggrunda eckisi*, *Loxostromum pseudobeyrichi*, *Bolivina argentea*, *Trochammina pacifica*, *Bolivina seminuda*, *Buliminella tenuata*, *Chilostomella ovoidea*, *Spiroplectammina earlandi* y *Nonionella stella*. Resultando ser *N. stella* la especie que puede crecer en las condiciones con menores concentraciones de oxígeno (Bernhard *et al.*, 1997).

En la Bahía de Sebastián Vizcaíno, área caracterizada por una alta productividad, los sedimentos presentan alto contenido de carbono orgánico y bajas concentraciones de oxígeno durante los eventos de surgencias. Se encontró que la fauna de foraminíferos béticos de esta bahía revelaba la presencia de tres grupos o biofacies. La primera biofacies estuvo representada por *Uvigerina peregrina*, *Oolina melo* y algunas especies del género de *Bolivina*, cuya distribución fue controlada por el contenido de materia orgánica y el tamaño de grano. El segundo grupo estuvo constituido por *Cassidulina tortuosa*, *C. subglobosa*, *Cibicides fletcheri*, *Cancris auriculus* y *Bulimina marginata*, especies controladas fundamentalmente por la profundidad, temperatura y el oxígeno disuelto. El tercer grupo se caracterizó por la mezcla de especies pertenecientes a los dos grupos anteriores (Cadena-Lucero, 1996).

Phleger y Sutar (1973) realizaron un estudio de tres áreas del este del Pacífico las cuales presentaban una intensa zona de mínimo de oxígeno: Cuenca Soledad (Cuenca San Lázaro), Cuenca Santa Bárbara y la pendiente continental del Perú. Ellos

encontraron que de las tres la cuenca San Lázaro fue la que mayor cantidad de organismos vivos presentó valores desde 1,500 hasta 5,600 por 20 cm<sup>2</sup>, y las poblaciones fueron dominadas por especies que pertenecieron a los géneros de *Bolivina*, *Uvigerina* y *Bulimina*, especies relativamente pequeñas y de paredes delgadas.

En otro estudio realizado en la parte Central del Golfo de California, se trató de establecer la relación entre algunos parámetros oceanográficos con la distribución de los foraminíferos béticos. Reportaron que las distribuciones de las especies *Bolivina interjuncta*, *Epistominella sandiegoensis*, *B. interjuncta bicostata* y *Epistominella* sp. se presentan a profundidades medias de 319-475 m, coincidiendo con temperaturas de 9-10°C y un mínimo de oxígeno disuelto. Sin embargo, mencionó que fue difícil establecer qué parámetro es el principal limitante, ya que ambos varían en función de la profundidad. Encontró que las especies *Globobulimina pacifica*, *Oridorsalis tener*, *Fisurina orbignyana*, *Uvigerina peregrina*, *U. excellens* y *Uvigerina* sp., son especies que tienden a vivir a grandes profundidades (1008-1820 m). En estas profundidades las temperaturas son relativamente bajas (<5°C) y se presenta un ligero aumento en la concentración de oxígeno disuelto (0.38-0.79 ml/l) (Hernández-Flores,1981). En el Golfo de California la presencia de *Bolivina subdavena* junto con otras especies del mismo género estuvieron asociadas a las ZMO del Golfo de California, en las concentraciones < 0.2 ml/l de oxígeno disuelto (Streeter, 1972).

## II. OBJETIVOS

- 1) Determinar si existe diferencia en la composición de especies entre ambientes con baja concentración de oxígeno en las regiones oceanográficas del Bajo Golfo de California y externo Sur de la Corriente de California.
- 2) Relacionar la distribución de las especies con los factores físicos y químicos en un gradiente batimétrico, caracterizado por baja concentración de oxígeno en el agua y alto contenido de carbono orgánico en los sedimentos.
- 3) Determinar la distribución de las especies vivas dentro del sedimento. Relacionar las especies encontradas dentro de los sedimentos con la concentración de oxígeno en las aguas por encima de la interfase agua sedimento y el contenido de carbono orgánico en los sedimentos.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **III.1 Área de Estudio**

##### **III.1.1 Región del Bajo Golfo de California**

La especial configuración geográfica del Golfo de California le hace ocupar un lugar único entre los mares marginales del Océano Pacífico. Este mar cuyo eje mayor se extiende en dirección NO-SE se encuentra limitado al occidente por la árida Península de Baja California y al oriente por los desiertos de Sonora y Sinaloa lo que condiciona la naturaleza evaporítica de esta cuenca. Una de las consecuencias de la importante pérdida de humedad hacia la atmósfera de este mar es la producción de masas de aguas de relativa alta salinidad y cálidas, lo que da lugar a una circulación termohalina vertical. El Golfo de California está alimentado por aguas provenientes del Sur, del Pacífico tropical y profundo. La cadena montañosa que surca gran parte de la Península de Baja California aísla al Golfo del clima marítimo del Pacífico Norte y favorece el clima continental causante de la gran amplitud estacional observada en sus temperaturas superficiales. Batimétricamente el Golfo está dividido en una serie de cuencas profundas alineadas de NO a SE de 2500 a 3000 m de profundidad en las que se está generando fondo oceánico, separados entre sí por taludes de gran gradiente. Todas estas cuencas, al sur del Canal de Ballenas tiene comunicación abierta con el océano profundo. Para su estudio el Golfo de California se ha dividido en varias regiones, de acuerdo a la batimetría: 1) Alto Golfo, 2) Parte Norte, 3) Parte Sur y 4) Zona de la Boca (Lavín, 1997).

En la región sur se encuentran las Cuencas de Santa Cruz, Bahía la Paz (o Alfonso), La Paz y Pescadero localidades donde se colectaron núcleos que se analizaron para este trabajo (Figura 1). La Bahía de la Paz es una cuenca costera, sus modos de circulación dominantes, la respuesta biológica a su amplitud estacional, el patrón de lluvias, junto con la morfología y batimetría de la cuenca contribuyen a la formación de sedimentos laminados a profundidades de 400 m. El agua que fluye en la superficie de la Bahía pertenece a la masa de agua superficial ecuatorial, la cual debido a procesos de evaporación, incrementa su salinidad hasta llegar a valores por encima de los 35 ups. Los



vientos del norte fuerzan la circulación de un giro ciclónico dentro de la bahía, lo que favorece al desarrollo de la productividad primaria por mezcla vertical de agua rica en nutrientes (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa).

En contraste las aguas que se encuentran por debajo de los 200 m y que bañan el fondo de la Cuenca de la Bahía de la Paz están muy mal ventiladas por procesos de circulación de las aguas de la termoclina principal (Roden, 1964; Talley, 1993; Huang and Qiu, 1994) a lo que hay que añadir el flujo de materia orgánica exportada de la zona fótica durante el invierno y primavera lo que contribuye a deprimir aun más las bajas concentraciones de oxígeno de las masas de agua Subsuperficiales Subtropicales (ASsSt, Wyrki, 1965) que rellenan el fondo de esta cuenca. Se han llegado a medir concentraciones de oxígeno de 0.2 ml/l y menores en esta cuenca durante el verano cuando los procesos de oxidación de la materia orgánica exportada de superficie ha alcanzado su máximo. Estas condiciones extremas inhiben la colonización de la macrofauna y consecuentemente de los procesos de bioturbación en su búsqueda por comida lo que a su vez favorece la preservación de láminas de sedimentos en el fondo de estas cuencas semicerradas (Hülsemann and Emmery, 1961; Calvert 1966; Reimers et al., 1990).

La Cuenca de la Paz tiene una profundidad máxima de 890 m. La cuenca Pescadero, es sumamente estrecha y sinuosa, es la más accidentada de todas la cuencas, pues tiene escarpes y montañas submarinas en sus laderas. La profundidad

máxima (3652m) de la cuenca Pescadero se encuentra en su parte central, cerca del paralelo 24<sup>º</sup>. Esta parte profunda es una superficie ovalada con un escarpe por el lado oriente de 1 580 m. A partir de esta cuenca la topografía del piso oceánico es menos

accidentada (Tovilla-Hernández, 1991). Los núcleos de esta zona se recogieron en el margen oriental de esta cuenca, a favor del talud de bajo gradiente.

La parte sur del Golfo tiene propiedades del agua muy similares a las encontradas en el océano abierto, típicas del Pacífico Oriental Tropical (Lavín *et al.*, 1997). La termoclina está bien definida en los primeros 100 m de la columna de agua (Fernández-Barajas *et al.*, 1994). En general la temperatura superficial disminuye desde la boca hacia el interior del Golfo durante el invierno y primavera (Fernández-Barajas *et al.*, 1994; Soto-Mardones *et al.*, 1999). La salinidad aumenta con la profundidad en la capa superior, alcanzando valores de 34.80 ups (unidades prácticas de salinidad) a los 200 m, en la boca del Golfo. A lo largo del Golfo, existen núcleos de salinidad de hasta 35.00 ups a 100 m de profundidad; a partir de ese nivel, la salinidad decrece con la profundidad (Fernández-Barajas *et al.*, 1994).

Las aguas superficiales del Golfo generalmente se encuentran saturadas de oxígeno por procesos de enriquecimiento biológico y físicos (vientos y fenómenos de mezcla). En la parte norte las concentraciones en superficie pueden alcanzar valores de hasta 6.5 ml/l, mientras que a profundidades entre los 300 a 800 m puede variar entre 1.0-2.0 ml/l. Para la parte sur y la boca los valores de las concentraciones de oxígeno disuelto en superficie son de 5.0 ml/l, encontrándose las mínimas concentraciones a profundidades intermedias entre los 500 y 800 m aproximadamente, con valores que van de 0.15 ml/l a la anoxia de nuestros datos observados en el barco (ver figura 2).

En el Golfo de California se han identificado seis diferentes masas de agua: Agua Profunda del Pacífico (APP), Intermedia del Pacífico (AIP), Subsuperficial Subtropical (ASsSt), de la Corriente de California (ACC), Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua del

Golfo de California (AGC). Su distribución es relativamente simple por debajo de los 500 m de profundidad, y es más compleja en las capas superiores por mezcla entre ellas, además de que su límite varía a través de los diferentes meses del año. Las características de cada una de ellas se presentan en la Tabla 1 (Torres-Orozco,1993; Lavín *et al.*, 1997). Las masas de agua que bañan las profundidades de las que provienen las muestras de este estudio son la ASsSt y la AIP.

### **III.1.2 Corriente de California**

El sistema de la Corriente de California está delimitado al Norte por la Corriente Subártica y al Sur por la Corriente Nor-Ecuatorial. La confluencia de estos dos sistemas da como resultado una zona de transición de características muy complejas (Parés-Sierra *et al.*,1997). Este sistema de corrientes en superficie esta constituido por la Corriente de California, la Corriente Subsuperficial y la Contracorriente Costera (Lynn y Simpson, 1987; Hickey, 1998). La Corriente de California es considerada como el brazo oriental del gran giro subtropical del Pacífico Norte y, fluye lentamente hacia el sur desde las costas de los estados de la Columbia Británica (Canadá) y Washigton (E.U.A.) hasta el extremo de la Península de Baja California, siguiendo el contorno de la costa de Norteamérica. Su flujo es superficial y por encima de los 300 m de profundidad, llevando consigo aguas subárticas del Pacífico que tienen como características principales: baja temperatura, baja salinidad y alto contenido de oxígeno disuelto (Lynn y Simpson,1987; Badan, 1997). La Contracorriente, a la que también se le conoce con el nombre de Corriente de Davison, es

superficial, con un flujo en dirección polar, esta confinada a las zonas de plataforma y talud continental. Durante algunos meses su flujo es discontinuo, por lo que se considera tiene un ciclo estacional. La Corriente Subsuperficial, también de flujo polar, se desplaza a lo largo del talud continental (Lynn y Simpson, 1987) entre los 200 y 500 m de profundidad. Este flujo subsuperficial se caracteriza por que lleva agua Subsuperficial Subtropical, relativamente cálida, salina y con una elevada concentración de nutrientes y con bajo contenido de oxígeno disuelto (Badan, 1997). El sistema de la Corriente de California se puede dividir en tres zonas considerando temperatura y salinidad: zona de dominio de la masa de Agua Subártica, zona de transición y zona de dominio de la masa de Agua Ecuatorial.

Ubicada al Noreste de Bahía Magdalena y de Cabo San Lázaro, en Baja California

Sur, se localiza una de las áreas de nuestro estudio, la Cuenca de San Lázaro (25° 15' N y 113° 30' W) (Fig 1). Parte de los núcleos utilizados para este trabajo se recogieron en esta cuenca y unos pocos en el margen continental entre Bahía Magdalena y Cabo San Lucas. Frente a Cabo San Lázaro, durante los meses de julio a diciembre, cuando la Corriente de California se retrae, confluyen en esta región las aguas subárticas y ecuatoriales, por lo que está frontera dinámica entre ambas condiciona el tipo de masa de agua superficial que encontramos en la Cuenca San Lázaro. La intensidad de la Corriente de California, varía estacionalmente en función de los cambios de los dos grandes sistemas atmosféricos (centros de alta presión del Pacífico subtropical Norte y los de baja presión de las Aleutianas). Esta corriente alcanza su mayor intensidad durante los meses de marzo a mayo (Lynn y Simpson, 1987; Badan, 1997), cuando el alto subtropical y el bajo sobre el continente generan vientos de componente N-S.

La Cuenca San Lázaro tiene una alta productividad orgánica y su exportación al fondo activa los procesos de oxidación del carbono orgánico lo que disminuye aún más los niveles de oxígeno a profundidades intermedias en la columna de agua, ejerciendo un considerable control sobre las condiciones anóxicas en el fondo de la cuenca (Olivier, 1998).

## III.2 Trabajo de Campo

### **III.2.1 Obtención de los sedimentos laminados**

Los núcleos de sedimento utilizados en este trabajo fueron obtenidos a diferentes profundidades batimétricas y en un gradiente de concentración de oxígeno disuelto en seis distintas áreas localizadas en el Golfo de California y la Corriente de California. Estos núcleos fueron colectados durante las campañas oceanográficas CHUBASCO-94, BAP94J, BAP96J-Paleo VIII, El Tempranillo 97 y PCM-99 a bordo del B/O *El Puma* (Tabla II).

**Los nucleadores utilizados para la extracción de los diferentes núcleos fueron tipo Kasten, de Gravedad, de Caja Reineck y de Caja Soutar. Se submuestrearon los primeros centímetros de los núcleos de todas las campañas. Después de su extracción los núcleos se mantuvieron en refrigeración hasta su procesamiento y análisis en el laboratorio.**

### **III.2.2 Tinción con Rosa de Bengala**

A los núcleos de la campaña PCM99 (Tabla II) se les adicionó un colorante vital al momento de colectarlos, para diferenciar así a los organismos vivos (Biocenosis) de los

muertos (Tanatocenosis). El colorante utilizado fue el Rosa de Bengala, por ser el método más práctico y más ampliamente usado para obtener datos cuantitativos de



foraminíferos bénticos vivos (Corliss, 1985; Mackensen y Douglas, 1989; Corliss y Emerson, 1990; Bernhard *et al.*, 1997). Sin embargo este método tiene sus limitaciones (Corliss, 1985) debido a que de los organismos que se tiñen, el 30% pueden ser individuos con protoplasma en proceso de descomposición y por lo tanto estar muertos al momento de la extracción de los núcleos (Douglas *et al.*, 1980). Para minimizar este problema los organismos fueron extraídos con una técnica en húmedo, pues reduce la dificultad para identificar el protoplasma teñido, al secar la muestra se reduce el volumen del protoplasma (Corliss y Emerson, 1990). Las muestras se colocaron en una solución de agua + calgón con un pH de 8 y permitió diferenciar los foraminíferos teñidos (vivos) que aún conservaban su citoplasma de los muertos.

Linke y Lutze (1993) identificaron en su estudio a los foraminíferos bénticos vivos de acuerdo a lo siguiente: presencia de protoplasma visible a través del caparazón, hilos o hebras de plasma y un tapón construido con material detrítico acumulado por la actividad pseudopodial alrededor de la región de la apertura.

### **III.2.3 Mediciones fisicoquímicas**

Los datos hidrográficos fueron obtenidos mediante el uso de un CTD Mark III de General Oceanics, a bordo del B/O *El Puma*, que midió temperatura y salinidad. Para las mediciones de oxígeno disuelto, se tomaron muestras de agua en botellas Niskin de 2 lts., que iban montadas en la roseta del CTD y el método utilizado para determinar su concentración fue el micro Winckler, proceso que se realizó en el barco al tiempo que se iban recogiendo las muestras de agua.

### **III.3 Trabajo de laboratorio**

### **III.3.1 Procesamiento de las muestras**

Las muestras se subdividieron en dos fracciones; la primera se utilizó para el análisis de las especies de los foraminíferos bénticos y la segunda para la determinación del contenido de carbono orgánico e inorgánico.

#### **III.3.1.1 Muestras con Tinción (Biocenosis)**

##### **III.3.1.1.a Extracción de foraminíferos bénticos teñidos con Rosa de Bengala**

La fracciones destinadas para la obtención de foraminíferos bénticos se lavaron para eliminar el exceso del colorante; se colocaron en agua y en Calgón dentro de cajas petri de vidrio, y se procedió a extraer todos los organismos teñidos utilizando para ello micropipetas Pasteur, agujas de disección y pinceles finos. Después de obtener todos los organismos teñidos se procedió al lavado del resto de la muestra.

##### **III.3.1.1.b Lavado de las muestras**

Las muestras fueron tratadas con una solución dispersante Calgón (Hexametafosfato de Sodio), durante 30 minutos en agitación constante, procedimiento que dispersa mecánicamente los limos y arcillas de cada muestra para facilitar su lavado. Después eran lavadas en agua corriente a través de un tamiz con una luz de malla de 63  $\mu\text{m}$ . Posteriormente se colocaban en una solución de peróxido de hidrógeno al 3 % durante un tiempo no mayor de 5 minutos para eliminar por oxidación la materia orgánica. Después de este procedimiento se agregaba Calgón y se repetía el lavado con agua corriente. Los baños en Calgón y en agua corriente varió de acuerdo a las condiciones que presentaba cada muestra (Olivier,1998).

##### **III.3.1.1.c Secado y Pesado de las muestras**

Después de que se lavaron, las muestras se secaron y se pesaron con una balanza analítica, para proceder a separarlas en diferentes fracciones según su tamaño.

##### **III.3.1.1.d Tamizado de las muestras**

Después de la eliminación de los limos, arcillas y materia orgánica del tamaño fino por lavado, las muestras se separaron a través de un tamiz >125  $\mu$  de luz de malla. La fracción <125  $\mu$  no se utilizó en este trabajo.

### III.3.1.2 Muestras sin Tinción

Las muestras que no fueron teñidas fueron tratadas como las muestras con tinción mediante la metodología de Olivier (1998) en cuanto al pesado, lavado, secado y tamizado.

### III.3.1.3 Procesamiento de las muestras para determinación de carbono orgánico

#### III.3.1.3.a Liofilización y maceración del sedimento

Se liofilizaron y maceraron las muestras de sedimento destinadas para este tipo de análisis.

#### III.3.1.3.b Análisis de Carbono

La determinaciones del contenido de Carbono total se realizaron en un analizador elemental CHN por combustión a alta temperatura del C de la muestra. Las de Carbono inorgánico se realizaron con un culómetro; ambos análisis se llevaron a cabo en el Instituto de Oceanografía Scripps. El contenido en Carbono orgánico se obtuvo por sustracción del Carbono total y del inorgánico, los valores de los estándares utilizados, su valor de desviación y el error estándar, para ambos aparatos se presentan en la Tabla III.

Tabla III. Desviación y error estándar de las mediciones de carbono total y carbono inorgánico.

| Aparato   | Análisis      | Estándar          | Media | Desviación estándar | Error Estándar |
|-----------|---------------|-------------------|-------|---------------------|----------------|
| CHN       | Carbono total | C                 | 70.55 | 0.31                | 0.10           |
|           |               | H                 | 5.98  | 0.15                | 0.04           |
|           |               | N                 | 10.41 | 0.37                | 0.11           |
| Culómetro | C. inorgánico | CaCO <sub>3</sub> | 11.97 | 0.03                | 0.01           |

### III.3.2 Cuantificación e identificación taxonómica de los foraminíferos

Se generó una colección de especies de foraminíferos béticos del área de estudio para facilitar la identificación taxonómica de las muestras. La taxonomía se basó en las publicaciones de Cushman (1955), Bandy (1961 y 1967), Loeblich & Tappan (1978), Matoba & Yamaguchi (1978-1979), Phleger (1964), Uchio (1960), Walton (1955) y Wright-Barker (1960) (Ver Apéndice I). Las especies se compararon además con la colección de referencia de Fred B. Phleger, alojada en el Instituto de Oceanografía Scripps (La Jolla, California, E.U.A.). Para después ser confirmada por la Dra. María Luisa Machain Castillo (ICMyL de la UNAM).

Se cuantificaron los contenidos en foraminíferos béticos para cada fracción de todas las muestras. Para los análisis de estructura comunitaria se contaron cuatrocientos organismos de foraminíferos béticos muertos al azar de la fracción  $>125 \mu$  y el total de foraminíferos béticos vivos ó teñidos ( Apéndice V ).

### **III.3.3 Imágenes de foraminíferos béticos en el microscopio electrónico de barrido**

Se tomaron imágenes al microscopio electrónico de barrido de la colección de especies de foraminíferos béticos creada para este estudio. Este trabajo se realizó en el laboratorio de Microscopía Electrónica, perteneciente al Departamento de Geología de la División de Ciencias de la Tierra, en CICESE, con la supervisión del técnico Luis Carlos Gradilla M.

## **III.4 ANALISIS DE DATOS**

### **III.4.1 Análisis de composición faunística de foraminíferos béticos**

Para caracterizar la composición de especies en cada sitio donde se colectaron los diferentes núcleos, se utilizó el número de especies de foraminíferos béticos y la abundancia total de cada uno, para la aplicación de los siguientes índices:

Índice de Diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Dominancia de Simpson ( $D$ ), Equitabilidad y la Diversidad máxima esperada ( $H'$  max).

Las mediciones de diversidad toman en cuenta dos factores: riqueza de especies, que es el número de especies y la uniformidad ó equitabilidad, esto es como se reparte la abundancia de los especímenes entre las especies (Magurran,1988).

Shannon-Wiener ( $H'$ ). El índice de Shannon-Wiener supone que los individuos han sido muestreados al azar de una población de tamaño indefinido, asumiendo además que todas las especies están representadas en la muestra. El índice de diversidad de Shannon-Wiener es calculado con la siguiente ecuación (Magurran,1988 y Washington,1984).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$

$$p_i = n_i/N$$

$n_i$  = número de individuos de la especie  $i$ .

$N$  = número total de individuos por muestra.

Para determinar si existían diferencias entre los índices de diversidad de Shannon-Wiener en cada sitio muestreado, se utilizó la prueba de Hutchenson (Zar, 1974).

Equitabilidad ( $J'$ ), índice que determina que tan igualmente distribuídas son las especies en la muestra, y se expresa de la siguiente manera:

$$J' = \frac{H'}{H' \text{ max}} = \frac{H'}{\log S}$$

Donde  $H'$  = Diversidad de Shannon-Wiener.

$H' \text{ max} = \text{Diversidad máxima esperada}$

$S = \text{número de especies en la muestra.}$

$H' \text{ max}$ , que es la diversidad máxima esperada si todas las especies presentes en la muestra estuviesen igualmente distribuidas, su fórmula es:

$$H' \text{ max} = \log S$$

Índice de Simpson ( $C$ ) utilizado para determinar la concentración, llamada comúnmente dominancia, y es la probabilidad de que dos individuos extraídos al azar pertenezcan a la misma especie (Margalef, 1977; Washington, 1984). Se expresa como:

$$C = \sum [ (n_i) / N ]^2$$

Donde  $n_i$  = número de individuos de la especie  $i$ .

$N$  = total de individuos dentro de la muestra.

#### **III.4.2 Análisis de Agrupamiento (Cluster)**

Para definir las asociaciones de las especies con las características fisicoquímicas que condicionan cada habitat se utilizó un análisis de agrupamiento de modo Q y R, que consiste en medir la distancia o similitud entre pares de muestras, o variables, y es considerada como una de las técnicas más sencillas de análisis numérico para la clasificación de datos; además mantiene una relación fácilmente interpretable entre los datos y los resultados obtenidos. El principal criterio de agrupamiento de objetos es el grado de similitud entre éstos. El análisis modo-Q permite determinar los biotopos y tanatotopos (grupo de muestras, áreas donde se encuentran o se acumulan los organismos), mientras que el análisis modo-R permite el reconocimiento de las biofacies y tanatofacies (asociaciones entre las especies, grupos o asociaciones de organismos que presumiblemente se adaptan a las condiciones ambientales presentes en ciertos lugares) (Brooks, 1973).

El método utilizado en este trabajo fue el Weighted Pair Group Average (WPGMA), empleando la técnica de enlace promedio, ordena las distancias (de similitud) entre los grupos con respecto a la distancia promedio. La medición de las distancias de similitud se realizó mediante el Coeficiente General de Similitud de Gower (GOWER):

$$GGSc_{ij} = \frac{\sum_{k=1} (w_{ijk} s_{ijk})}{\sum_{k=1} w_{ijk}}$$

$$s_{ijk} = 1 - [ | x_{ik} - x_{jk} | / \text{ordenar}(k) ]$$

Donde:

$W$  = valor numérico (para datos cuantitativos), 0 ó 1 (para datos cualitativos)

$i$  y  $j$  = renglones (casos) de la matriz,

$k$  = columna (variables)

$x_{ik}$  = datos en la  $k$  columna del renglón  $i$

$n$  = número de variables totales

Para la elaboración de los agrupamientos se utilizaron las abundancias relativas (%) de las especies. Sólo se trabajó con aquellas especies que presentaron por lo menos en una de las estación valores de un 3% de la población total, en el caso de los foraminíferos béticos vivos (biocenosis) y por lo menos en dos estaciones cuando se trabajó la base de datos de foraminíferos muertos (tanatocenosis).

## **IV. RESULTADOS**

### **IV.1. Parámetros Fisicoquímicos**

En el presente estudio, los resultados de los análisis de los parámetros fisicoquímicos permitieron identificar la presencia de tres masas de agua: ASsSt, AIP y APP (Tabla IV). Los valores de todas las variables para la categoría de nivel se presentan en el Apéndice II.

Las concentraciones más bajas de oxígeno (0.15 ml/l) se encontraron en el fondo de Cuenca San Lázaro, cuyo fondo se encuentra pobremente ventilado, mientras que los valores más altos (1.0 ml/l) se encontraron en Cuenca Pescadero, que es una de las estaciones más profundas (Tabla IV).

El menor valor de carbono orgánico se observó en el núcleo E170 de Cuenca San Lázaro (0.56 %) y el mayor en el núcleo F625 de la Corriente de California (9.24 %).

En general, los valores más altos de carbono orgánico se vieron asociados a bajas concentraciones de oxígeno (Fig. 3). Las muestras F625, B890, E350 y E540, tuvieron valores entre 9.24 – 7.02 % de carbono orgánico, mientras el O<sub>2</sub> osciló entre 0.15 y 0.4 ml/l. En los núcleos más someros y más profundos, se encontraron las concentraciones de O<sub>2</sub> más elevadas, en el A170 (0.65 ml/l), E170 (0.95 ml/l), C1060 (0.73 ml/l) y C1530 (1.0 ml/l), mientras los valores de carbono fueron más bajos en los núcleos más someros, para los más profundos se reportaron valores intermedios, alrededor de 5.0 %.

Al realizar el análisis de agrupamiento (cluster) de los parámetros fisicoquímicos y la profundidad, se diferenciaron cuatro grupos con un coeficiente de similitud de 0.7 (Fig. 4). Los agrupamientos sugieren que las variables asociadas con la profundidad y la masa de agua son los determinantes de su distribución.







**Grupo I.-** Este grupo se formó por los núcleos más someros, el A170 de Bahía la Paz y E170 de Cuenca San Lázaro. Ambos se encontraron en el límite entre las aguas ventiladas de la termoclina y la masa de agua ASsSt, áreas caracterizadas por altas concentraciones relativas de oxígeno en el agua y bajos contenidos de carbono orgánico en el sedimento.

**Grupo II.-** Las profundidades a las que encontramos este grupo oscila de los 260 a los 540 m. Este agrupamiento estuvo integrado por A260, a260, A360, A400, A475 de Bahía de la Paz, B400 de Cuenca la Paz, E350, E400 y E540 de Cuenca San Lázaro. La masa de agua dominante a estas profundidades es la ASsSt (Wyrki,1965). La concentración promedio de carbono orgánico para estas profundidades es del 6 %. Las concentraciones de oxígeno medidas se encuentran por debajo de 0.5 ml/l, valores típicos de la zona del Mínimo de Oxígeno (ZMO). ([Tabla IV](#)). Las localidades de Bahía de la Paz y San Lázaro tienen en común el ser cuencas subóxicas con una pobre comunicación con el océano abierto, por encontrarse aisladas de este por umbrales batimétricos que dificultan el intercambio de aguas.

**Grupo III.-** Este agrupamiento incluye las profundidades en que predomina la masa de Agua Intermedia del Pacífico y los núcleos analizados fueron: C550 de Cuenca Pescadero, B745 y B890 de Cuenca la Paz, D800 y d800 Cuenca de Santa Cruz, los núcleos F625 y F729 de la Corriente de California. En este grupo las concentraciones de oxígeno fueron bajas entre 0.2 a 0.5 ml/l, con un valor promedio de 6 % de carbono orgánico en los sedimentos. A estas profundidades la circulación horizontal de agua y la ausencia de barreras batimétricas permite una renovación de las aguas, facilitando su ventilación.



**Grupo IV.-** Los núcleos que integraron este grupo, fueron los más profundos del estudio, C1060 y C1530, ambos de la Cuenca Pescadero y las masas de agua presentes en cada profundidad son AIP y APP. Estas muestras fueron colectadas a profundidades con mayores concentraciones relativas de oxígeno (0.75 y 1.0 ml/l, respectivamente) y los sedimentos tienen un contenido de carbono de alrededor de 5 %.

## **IV.2. Organismos teñidos con Rosa de Bengala (Biocenosis)**

### IV.2.1. Composición faunística general

Se identificaron un total de 55 especies de foraminíferos bénticos vivos en todas las muestras analizadas de la campaña PCM99, pertenecientes a 28 géneros, e incluidos en las 16 familias siguientes: Alabaminidae, Ataxophragmiidae, Bolivinitidae, Buliminidae, Cassidulinidae, Caucasinidae, Cibicididae, Discorbidae, Glandulinidae, Lituolidae, Loxostomidae, Nodosariidae, Nonionidae, Textulariidae, Turritinidae y Uvigerinidae ([Apéndice III](#)). Algunos foraminíferos aglutinados solo se identificaron hasta el nivel de familia. El mayor número de especies (26) se encontró en el núcleo A475 de Bahía la Paz, así como también la mayor abundancia (41 ind/g) ([Fig 5, Tabla V](#)). El valor más bajo en número de especies y abundancia se presentó en C1530 de Cuenca Pescadero con 9 especies y 3 ind/g, y el C550 de la misma localidad tuvo los mismos valores de baja abundancia. Al ordenar los valores del número de especies de cada núcleo con la profundidad se observó una tendencia a disminuir el número de especies con la profundidad, con excepción del A475 y C550 ([Fig. 5](#)). En estos últimos lugares, se reportaron muy bajas concentraciones de oxígeno. Ordenados por localidad ([Fig. 6](#)), en Bahía de La Paz (BLP) esta tendencia general se invierte ligeramente ya que precisamente el núcleo mas profundo es el que mayor número de especies vivas









presentó. En Cuenca Pescadero (CP) se corrobora la tendencia general a disminuir el número de especies con la profundidad.

Las localidades de Cuenca La Paz (CLP) y Corriente de California (CC) incluyen un solo núcleo cada una y los valores observados son muy parecidos a los de las muestras mas profundas de Cuenca Pescadero (CP). La especie que presentó el mayor número de individuos fue *Gyroidina multilocula*, con 15 ind/g en el A475, constituyendo el 35 % de la población de este núcleo (Tabla VI). Sólo 45 especies presentaron más del 3 % del total de organismos.

#### **IV.2.2. Abundancia de las especies**

Los valores de las especies teñidas con Rosa de Bengala son presentados como abundancias relativas. De las especies identificadas, diez fueron las que presentaron los mayores porcentajes entre todos los núcleos analizados: *Brizalina interjuncta bicostata*, *Buliminella curta*, *Buliminella tenuata*, *Cassidulina delicata*, *Chilostomella ovoidea*, *Globobulimina affinis*, *Globobulimina pacifica*, *Gyroidina multilocula*, *Uvigerina peregrina*, y *Valvulineria inflata* (Tabla VI). En los núcleos A360, A475, B890, C550 y C1530 solo una especie, constituyó del 25 al 44 % de la población total de foraminíferos béticos vivos de cada muestra. Mientras que para A260, a260, A400, C1060 y F625, de dos a tres especies integraron entre el 41 y 64 % de la población. La especie *G. multilocula* dominó en dos núcleos (A360 y A475), con porcentajes por encima del 30 % siendo estos los mayores valores observados de una especie en un solo núcleo.





#### IV.2.3. Índices de Diversidad

Los atributos de la comunidad fueron evaluados mediante los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), diversidad máxima esperada ( $H'max$ ), Equitabilidad ( $J'$ ) y la Dominancia de Simpson ( $C$ ). Se presentan los resultados en la [Tabla VII](#). Tanto la diversidad  $H'$  como la equitabilidad  $J'$  tienen un comportamiento muy semejante ([Fig. 7](#)). Con el aumento de la dominancia se ve una disminución en los valores del índice de diversidad y viceversa. Los valores de diversidad de los núcleos que formaron BLP, al igual que los de CP fueron disminuyendo ligeramente con la profundidad. Sólo la equitabilidad en la CP aumentó ligeramente con la profundidad.

El núcleo a260 presentó el valor más alto para el índice de diversidad de Shannon-Wiener (1.06), mientras que los menores se presentaron en A360 y C1060 (0.86).

La  $H'max$  que es la diversidad máxima esperada si todas las especies estuvieran igualmente distribuidas, estuvo en función del número de especies presentes en cada núcleo. El valor máximo de  $H'max$  se ubicó en el A475 y el mínimo en el C1530, con 1.41 y 0.95 respectivamente.

La equitabilidad en la mayoría de los núcleos estuvo alrededor de 0.8. El valor máximo de  $J'$  (0.91) se observa en la muestra C1530, en tanto que A360 presenta el valor mínimo con 0.66.

El valor máximo de la dominancia de Simpson se encontró en A360 con 0.24 y el mínimo se registró en tres núcleos A260A, a260-a y B890 con un valor de 0.12.

Los resultados de la prueba de Hutchenson (Zar, 1974) para probar si existía diferencia entre los índices de diversidad de los núcleos, se muestran en la [Tabla VIII](#). La diversidad del núcleo A475 no mostró diferencia con ninguno de los otros núcleos. De los





núcleos de Bahía de la Paz sólo los valores de diversidad de A260 y a260 mostraron diferencias con el A360. El A360 mostró diferencia con el B890 de Cuenca la Paz y C550 de Cuenca Pescadero. Los núcleos más profundos de Cuenca Pescadero (C1060 y C1530) y el F625 de la Corriente de California tuvieron en general una diversidad diferente al resto de los núcleos, pero no entre ellos.

#### ***IV.2.4. Análisis de agrupamiento de las especies de la fauna viva de foraminíferos béticos***

Con la finalidad de determinar la existencia de un patrón de distribución de la fauna de foraminíferos béticos y las asociaciones de las especies presentes las diferentes localidades (BLP,CLP,CP y CC) se realizaron análisis de agrupamiento en modo-Q y modo-R con las especies que presentaban una abundancia > 3 % en cada núcleo. En el análisis modo-Q se compararon los núcleos entre sí y se agruparon de acuerdo al contenido faunístico, mientras con el análisis del modo-R, al comparar todas las especies de todas las muestras, se determinaron las posibles asociaciones entre ellas.

Los resultados del análisis de grupo en modo-Q (fig. 8), mostró la presencia de cuatro distintos agrupamientos o biotopos, con un coeficiente de similitud de 0.74, basados en asociaciones faunísticas específicas.

**Biotopo I.-** Corresponde a los núcleos de Bahía de la Paz, agrupando las profundidades entre los 260 y 475 m. Este grupo representa condiciones de cuenca costera, caracterizada por las más bajas concentraciones de oxígeno. Debido posiblemente a la combinación de un alto aporte de carbono orgánico y una circulación restringida. Estas profundidades están dominadas por aguas ASsSt.





**Biotopo II.-** Este biotopo sólo incluye el núcleo C550, la profundidad a la que se colectó esta muestra (550 m) se encuentra muy cercano a la frontera entre las masas de agua ASsSt y AIP. La concentración de oxígeno medida fue de 0.17 ml/l, unos de los valores más bajos del estudio mientras el contenido en carbono orgánico fue de 5.03 %.

**Biotopo III.-** Agrupa a los núcleos F625, C1060 y C1530, corresponden a zonas de talud, aguas profundas mejor ventiladas con presencia de dos masas de agua AIP y APP.

**Biotopo IV.-** Formado por un solo núcleo B890, corresponde a la zona más profunda de la Cuenca de la Paz, la concentración de oxígeno fue de 0.22 ml/l, la masa de agua presente es la AIP.

En el análisis modo-R, comparando las especies en todos los núcleos y sus relaciones cuantitativas (Fig. 9), ni la distribución de las especies, ni sus agrupaciones mostraron patrones de distribución claros. Esta uniformidad se debe a que las especies dominantes, o con mayores abundancias relativas, generan ruido en la interpretación y ocultan las tendencias de las especies con menores valores de abundancia.

Para observar alguna división, se realizó otro análisis (Fig. 10) extrayendo las especies abundantes (*Gyroidina multilocula*, *Globobulimina pacifica*, *Globobulimina affinis*, *Chilostomella ovoidea*). Al eliminar a estas especies, el dendrograma muestra la separación de dos grandes grupos con un coeficiente de similitud de 0.68 (Fig 10).

Las especies del grupo I, estuvieron presentes, ó tuvieron su mayor abundancia, en los núcleos colectados en las profundidades de 260 a 475 m de la cuenca costera de Bahía de la Paz y fueron: *Cassidulina tumida*, *Bolivina seminuda*, *Bolivina subadvena*, *Buliminella curta* y *Valvulineria inflata*.





El grupo II se subdividió en tres subgrupos con un coeficiente de similitud de 0.78. El subgrupo 1, el cual consta de una especie *Cassidulina delicata*. El subgrupo 2, incluye el número más grande de especies, tanto de los núcleos colectados en áreas de talud como las especies menos abundantes de la cuenca costera. El subgrupo 3, formado por *Uvigerina peregrina* y *Buliminella tenuata*, las cuales presentaron sus mayores abundancias en el núcleo B890.

Con la finalidad de caracterizar la asociación faunística de cada grupo ó biotopo generado del análisis que se realizó en modo-Q (fig. 8), se les aplicó a cada uno de ellos un análisis modo-R el cual ayuda a definir cada una de sus Biofacies.

**Biofacies I. Correponde al Biotopo I, y está basado en un coeficiente de similitud de 0.91. La asociación de especies que caracteriza a este grupo es: los aglutinados, *Alveolophragmium lenticulare*, y los calcáreos *Trifarina angulosa*, *Uvigerina peregrina*, *Virgulina* sp, *U. excellens*, *Pullenia* sp y *Suggrunda eckisi* (fig. 11).**

**Biofacies II.-** Corresponde al Biotopo II, el análisis de agrupamiento de este grupo no se pudo realizar, pues solo consta de datos de un solo núcleo. Se caracteriza por la presencia de las especies: *Gyroidina* sp 2, *Epistominella* sp 2, *Eggerella advena*, *Alveolophragmium subglobosum*.

**Biofacies III.** Corresponde al Biotopo III, La asociación de especies estuvo formada por: *Cassidulina delicata*, *Melonis parkerae*, *U. senticosa*, *Brizalina spissa*, *Epistominella smithi*, *Bolivina pacifica*, *C. braziliensis*, *Bulimina pyrula*, *Bulimina mexicana*, *C. subglobosa*, *Fissurina submarginata*, *Planulina ornata*, *Fursenkoina cornuta*, *A. columbiensis*, *Bolivina minuta* y *Valvulineria inaequalis*, el cual tiene una similitud de 0.84. (Fig. 12).





**Biofacies IV.** El análisis de agrupamiento de este grupo no se pudo realizar, pues solo consta de datos de un solo núcleo. Incluye las especies: *Lagena gracilis*, *B. pagoda* y *B. exilis*.

#### **IV.2.5. Distribución con la profundidad batimétrica de las especies de foraminíferos béticos vivos.**

La distribución de la biocenosis de los foraminíferos béticos muestra un patrón aparente con la profundidad batimétrica. Aunque existen diversos estudios acerca de la distribución de los foraminíferos béticos con la profundidad (Uchio, 1960; Phleger, 1964), su distribución no es debida precisamente a este factor, si no a las diferentes condiciones ambientales que a su vez varían con la profundidad en las diferentes áreas (Phleger, 1960). Las especies de foraminíferos se agruparon de la siguiente manera con la profundidad (Fig. 13):

- a) Especies cuyas mayores abundancias se encontraron hasta los 475 m de profundidad, en ambiente de cuenca costera, perteneciente a BLP. En esta categoría se encontraron: *G. multilocula*, *V. inflata*, *B. interjuncta bicostata*, *B. subadvena*, *C. tumida*, *B. curta*, *E. sandiegoensis*, *U. excellens*, *Pullenia sp*, *T. angulosa*, *S. eckisi* y *Virgulina sp.* (Fig.13a). Este grupo se presenta en los núcleos pertenecientes a la cuenca costera de Bahía de la Paz, con concentraciones de oxígeno iguales o menores a 0.5 ml/l (Fig.13b) y un promedio de carbono orgánico en los sedimentos de 6.1% (Fig.13c). De las especies encontradas en este grupo, siete de ellas sólo se presentaron en los núcleos superficiales, a 260 m de profundidad (A260 y a260), entre las cuales se encontró a *B. interjuncta biscostata* típica de profundidades someras. Los núcleos donde se encontraron a las especies *B. curta* y *C. tumida* en sus mayores





porcentajes (los cuales no excedieron el 20%) son los más superficiales, disminuyendo su importancia al aumentar la profundidad, en cambio *G. multilocula* tuvo un comportamiento contrario alcanzando abundancias mayores al 30 % en los núcleos más profundos.

*C. tumida*, *B. subadvena* y *G. multilocula* se encontraron tanto en los bordes de la cuenca como en el fondo. La única especie que se encontró sistemáticamente en todas las estaciones de Bahía de la Paz fue *V. inflata* con valores no mayores del 20%.

- b) Especies cuyas mayores abundancias se encontraron por debajo de los 550 m de profundidad, en ambiente de talud. Algunas de las especies de este grupo fueron: *G. affinis*, *B. tenuata*, *C. delicata*, *U. peregrina*, *Gyroidina sp2*, *B. pyrula*, *B. pacifica*, *Epistominella sp2*, *E. advena*, *U. senticosa*, *A. subglobosum*, *C. braziliensis*, *F. cornuta*, *B. spissa*, *B pagoda*, *B. exilis*, *L. gracilis*, *M. parkerae* (Fig.13a). Diversas especies del género *Epistominella*, *Uvigerina* y *B. spissa* son características de profundidades mayores a los 500 m, en este trabajo se encontraron en el C1530, la estación más profunda del estudio. La especie *G. affinis* aumentó claramente con la profundidad con valores cercanos del 10% hasta el 30%. Este grupo de especies están asociadas a una mayor variabilidad en las concentraciones de oxígeno y de carbono orgánico. Como se puede observar en la figura 13b donde los niveles de carbono mostraron valores por encima o por debajo del 6%, valor promedio de los núcleos de Bahía de la Paz.
- c) Especies que no muestran ninguna relación entre su abundancia y la profundidad: *G. pacifica*, *Ch. ovoidea*, *A. lenticulare*, *B. seminuda*, *U. peregrina* y Aglutinados (fig 13a). Especies como *Ch. ovoidea*, *G. pacifica* y *B. seminuda* se presentaron en casi todas

las profundidades del estudio. De las tres, la mejor representada a profundidades mayores a los 550 m fue *G. pacifica*, especie cuyos mayores porcentajes se vieron asociados a los menores contenidos de carbono orgánico. En contraste las otras dos especies presentaron sus mayores abundancias a profundidades menores de 550 m.

#### IV.2.6. Distribución de los foraminíferos vivos dentro del sedimento

La distribución de los foraminíferos béticos está relacionada a factores como la batimetría, características físico-químicas del agua, alimento, concentración de oxígeno. Sin embargo, la distribución dentro del sedimento se asocia principalmente a los flujos de carbono orgánico que llegan al fondo y a la cantidad de oxígeno presente. En los sedimentos, los foraminíferos béticos presentan adaptaciones morfológicas en función de su microhabitat. Se consideran epifauna si se localizan dentro de los primeros 2 cm de profundidad, ó infauna si se encuentran por debajo de los 2 cm. (Corliss, 1985),.

Al revisar la distribución de los organismos en los cuatro centímetros superficiales (niveles) de cada núcleo y compararlos con los patrones de oxígeno (Fig 14a) y carbono orgánico (Fig. 14b), se observó que la mayor cantidad de organismos se localizaron en el primer centímetro. Los núcleos pertenecientes a la Bahía de la Paz y Cuenca la Paz presentaron entre el 70 y 90% de la población total en el primer centímetro ó nivel, en donde los valores de carbono orgánico oscilan entre 6 y 7% y las concentraciones de oxígeno fluctúan entre 0.22 y 0.46 ml/l. En el C1060, el mayor porcentaje de organismos se presenta en el tercer y cuarto nivel, asociado a una de las mayores concentraciones de O<sub>2</sub> medidas (0.73 ml/l) de todas las muestras incluidas en este estudio y a un bajo contenido relativo de carbono orgánico de 4.90%.



Para documentar la distribución de las especies en profundidad en los sedimentos se utilizaron aquellas que presentaron los porcentajes más altos en cada uno de los grupos que se obtuvieron en la clasificación por profundidad batimétrica de la [Figura 13a](#).

A) En el ambiente de cuenca costera (profundidades menores de 475 m) donde la circulación de las aguas es restringida, el flujo de carbono orgánico es relativamente elevado y los niveles de oxígeno son bajos. Las especies *G. multilocula*, *V. inflata*, *Bolivina subadvena*, *Buliminella curta* y *Brizalina interjuncta bicostata* forman este grupo y tienen su mayor abundancia se encuentra en el primer centímetro de profundidad, con valores desde 78 hasta 98%. Las especies *V. inflata* y *G. multilocula* fueron las únicas que se distribuyen en los cuatro niveles, pero ambas disminuyen al profundizar en el sedimento. La especie *B. interjuncta bicostata* solo se presenta hasta el nivel 2, mientras el 97% de los organismos se localizaron en el primer centímetro. *B. curta* y *B. subadvena* se presentaron sólo en tres niveles, la primera especie desaparece en el cuarto nivel, mientras que la otra no se encuentra en el tercer nivel ([Figura 15 a-d](#)).

En cuanto a la morfología de *V. inflata*, especie que encontramos en los cuatro niveles, es planoespiral, biumbilical, con cámaras infladas, en especial la última de ellas, de paredes delgadas, sin ornamentación y con presencia de poros en ambos caras de la concha. *G. multilocula*, la otra especie observada en profundidad, tiene forma planoespiral, paredes delgadas, bordes redondeados, poros pequeños y numerosos. En contraste la disposición de las cámaras del resto de las especies antes mencionadas fue biserial en *B. interjuncta bicostata* y *B. subadvena* y de forma triserial en *B. curta*.



*B. interjuncta bicostata* es elongada y aplanada con unas costillas bien marcadas a lo largo del cuerpo, de paredes delgadas y poros en ambos lados de la concha. *B. subadvena* presenta forma elongada, poros grandes y numerosos cubriendo toda la concha (Apéndice IV).

B) El núcleo C550 se analizó por separado (Fig.16), porque muestra un comportamiento diferente, tanto en el análisis de agrupamiento para la determinación de biotopos (Fig.8), como al agruparse con los núcleos de ambiente de talud cuando se comparó la distribución de las especies en profundidad batimétrica (Fig.13a). Las especies que se observan en este núcleo fueron *Epistominella* sp2, *Gyroidina* sp2, *Eggerella advena*, *A. subglobosum* y *G. mutilocula*. Se observa que las especies *Epistominella* sp2 y *Gyroidina* sp2 se presentan en los 4 niveles. La primera tuvo una distribución bastante equitativa en los tres primeros niveles, con valores cercanos al 30%, mientras que en el nivel 4 sólo se observa un 15%. La abundancia de *Gyroidina* sp2 fue disminuyendo en profundidad hasta el tercer cm, variando del 37% a un 13%, para volver a incrementarse en el nivel 4 hasta un 27%. *E. advena* y *A. subglobosum* se encuentran sólo en dos niveles, el 1o y 4to, con valores cercanos al 50% en cada nivel (Fig.16 a y d). En este núcleo *G. mutilocula* se localiza en los primeros 2 niveles de profundidad con 53 % para el nivel 1 y 47% en el nivel 2.

En cuanto a la morfología de este grupo de especies, ambas especies de *Gyroidina* (*G. mutilocula* y *G. sp2*) tienen forma planoespiral, bordes redondeados y paredes delgadas. *E. advena* y *A. sublobosum* tienen su concha formada por partículas del sedimento, por lo que utilizan un cementante orgánico. En *E.advena* la disposición de sus cámaras es triserial, mientras que en la otra es planoespiral con



bordes redondeados. La concha de *Epistominella* sp2 es planoconvexa y de paredes delgadas.

- C) Las especies representadas en el ambiente de talud ó de profundidades mayores de 550 m, son *Bulimina pyrula*, *Cassidulina delicata*, *Buliminella tenuata* y *Globobulimina affinis*. *B. tenuata* tuvo su máxima distribución en los primeros dos centímetros alcanzando valores del 95% en ambos niveles. Esta especie fue la única que no se encontró en los 4 niveles y estuvo ausente en el nivel 3. En el nivel 4 se encontró sólo un 5%.

Tanto *G. affinis* como *B. pyrula* estuvieron mejor representadas en el primer nivel con 35 y 57% respectivamente, y en ambas sus porcentajes fueron disminuyendo al irse incrementando la profundidad en el sedimento. *Cassidulina delicata* mostró una preferencia por el primer nivel al encontrarse el 84% de los organismos (Fig.17).

En lo relacionado a la morfología de las especies de éste ambiente, *B. pyrula* es multiserial, sus cámaras del extremo distal son más infladas que las del extremo proximal, de hecho tiene forma ahusada, con espinas en la extremidad proximal, sus paredes son delgadas y tiene poros en gran parte del cuerpo. En los organismos de *Buliminella tenuata* la disposición de las cámaras son triseriales, con poros pequeños y numerosos cubriendo gran parte de la concha, de paredes delgadas. La forma de la concha en *C. delicata* es lenticular, biconvexa con bordes o periferia angulosa, paredes delgadas. En cambio *G. affinis* muestras formas globulares, presentando también paredes delgadas y porosas.

- D) Las especies que no mostraron preferencia por ninguna de las profundidades batimétricas de donde se muestrearon los núcleos son *Uvigerina peregrina*, *Chilostomella ovoidea*, *Bolivina seminuda*, *Alveolophragmium lenticulare*,







*Globobulimina pacifica* y a algunos de los aglutinados Figura 13a. Se observó que al obtener el promedio de todas las profundidades las especies *Ch. ovoidea*, *Bolivina seminuda*, aglutinados y *A. lenticulare* presentaban preferentemente sus mayores porcentajes en el primer centímetro de profundidad. Esta última especie estuvo ausente en el resto de los niveles, mostrando preferencias epifaunales (Fig. 18a-d). *U. peregrina* se encontró en los tres primeros niveles, con su máxima abundancia (40%) en el nivel 2. La especie *G. pacifica* se encontró en todos los niveles, pero su valor de mayor abundancia se reportó en el tercer nivel con 32% (Fig. 18b).

Cuando se analizaron estas mismas especies por ambientes (cuenca costera, núcleo C550 y talud) se encontró que *G. pacifica* estuvo mejor representada en los niveles 2, 3 y 4 con 23, 39 y 21% respectivamente, cuando se trató del ambiente de cuenca costera (Fig. 18 f-h). Sin embargo para el C550 tuvo una preferencia a distribuirse en los dos primeros niveles, observándose casi un 50% en el nivel 2 (Fig. 18i-j). Para el ambiente de talud la distribución de ésta especie fue mayor en el nivel 1 con 39% (Fig. 18m), seguido del tercer nivel con 28% (Fig. 18o).

Las especies *Ch. ovoidea*, *B. seminuda*, *A. lenticulare* y aglutinados tanto en ambiente costero (Fig. 18e-h) como en talud (Fig. 18m-p) mostraron el mismo patrón al encontrarse la mayor abundancia en el primer nivel. *A. lenticulare* se encontró consistentemente solo en el primer nivel en ambos ambientes (cuenca y talud), a lo que deberíamos agregar como *B. seminuda* y aglutinados en el ambiente de talud estuvieron ausentes de los niveles 2 al 4.

*U. peregrina* en ambiente costero se distribuyó en los primeros dos centímetros de profundidad con un máximo superficial (nivel 1) del 78% (Fig. 18e). Mientras que para



el ambiente de talud únicamente no se encontró en el nivel mas profundo, encontrándose su mayor abundancia en el nivel 2 con el 43% (Fig. 18n).

En lo relacionado a la morfología de este grupo las especies mostraron formas planoespirales (*A. lenticulare*), globulares (*Ch. ovoidea* y *G. pacifica*), elongadas y lanceoladas (*Bolivina seminuda*), y la disposición de sus cámaras varió, algunas de ellas son multiseriales (*U. peregrina*) y otras biseriales (*B. seminuda*) ó planoespirales (*Alveolophragmium lenticulare*). La especie *Ch. ovoidea* presenta paredes delgadas y pequeños poros cubriendo toda la concha, sin ornamentación. Mientras que *U. peregrina* tiene una ornamentación muy definida, costillas que van a lo largo de las cámaras de la concha.

### **IV.3 Foraminíferos bénticos sin tinción Tanatocenosis**

#### **IV.3.1 Composición faunística general**

Se identificaron un total de 90 especies de foraminíferos bénticos no teñidos en todas las muestras analizadas, pertenecientes a 36 géneros, incluidos en 19 familias: Alabaminidae, Anomalinidae, Ataxophragmiidae, Bolivinitidae, Buliminidae, Cassidulinidae, Caucasinidae, Cibicididae, Discorbidae, Hormosinidae, Lituolidae, Loxostomidae, Miliolidae, Nodosariidae, Nonionidae, Nouridae, Textulariidae, Turritinidae y Uvigerinidae ([Apéndice III](#)). Algunos de los foraminíferos aglutinados solo se identificaron hasta el nivel de familia. La mayor abundancia se registró en el núcleo A170 de BLP seguido del B400 de CLP con 3701 y 3637 ind/g respectivamente. La menor abundancia se presentó en el núcleo más superficial de Cuenca San Lázaro E170 con 39 ind/g de sedimento ([Tabla IX](#)). El mayor número de especies se encontró en la muestra C550 de CP con un total de 46 y en el A170 de BLP se identificaron solo 8 especies,









siendo este el número más bajo encontrado de las tanatocenosis. Cuando los núcleos fueron ordenados por profundidad se observó una tendencia en el número de especies a aumentar con la profundidad (Fig. 19) y al ordenarlos por localidad (Fig. 20) se encontró que en los núcleos pertenecientes a BLP, los valores oscilaron alrededor de las 30 especies, con excepción del más superficial (A170). En CLP el número de especies aumentaron con la profundidad, mientras que en CP, CSLAZ y CC disminuyeron. De todas las especies reconocidas 32 de ellas se presentaron > 3% del total de la población en al menos 2 núcleos, aquellas especies observadas con porcentajes menores optamos por no incluirlas en el análisis.

#### IV.3.2 Abundancia de las especies

De las especies de foraminíferos béticos identificadas en los núcleos que se analizaron para la tanatocenosis, dieciséis fueron las que presentaron mayores abundancias relativas: *Bolivina seminuda*, *Bolivina subadvena*, *Buliminella curta*, *U. excellens*, *Brizalina interjuncta bicostata*, *C. delicata*, *Ch. ovoidea*, *Buliminella tenuata*, *E. sandiegoensis*, *E. smithi*, *U. peregrina curtica*, *Brizalina spissa*, *V. araucana*, *E. sp2*, *Bulimina mexicana* y *U. hispida* (Tabla X). En el A170 tan sólo *U. excellens* constituyó el 66 % del total de individuos del núcleo y junto con *Brizalina interjuncta bicostata* aportaron el 95 % del total. La especie *Bolivina seminuda* fue la más abundante en los núcleos A360, A400, A475, B400, D800 y d800 reportando valores hasta del 42 %. En la mayoría de las muestras, de 2 a 3 especies constituyen cerca o más del 50 % de la población total de foraminíferos. A excepción de los núcleos F625 y C1060, donde los valores fueron alrededor del 25 %.



### IV.3.3 Índices de Diversidad

En la [Tabla XI](#) se muestran los valores de los índices de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ), Equitabilidad ( $J'$ ), diversidad máxima esperada ( $H'max$ ) y la dominancia de Simpson ( $C$ ). El núcleo C1060 obtuvo el máximo valor para  $H'$  (1.441) y  $J'$  (0.88), mientras que para  $H'max$  se presentó en C550 con un valor de 1.663; el valor mínimo de los tres atributos se registró en un mismo núcleo, el A170 con una  $H'$  de 0.367, una  $H'max$  de 0.903 y una  $J'$  de 0.40. Los valores de dominancia fueron contrarios a los valores de  $H'$  en ambos núcleos, pues el máximo se presentó en el A170 (0.52) y el mínimo en el C1060 (0.05). Los bajos valores de equitabilidad indican que las poblaciones presentan una mayor dominancia. Las poblaciones con alta equitabilidad sugieren una mejor distribución de las especies cuando la dominancia es baja ([Fig. 21](#)).

Los valores de diversidad ( $H'$ ) de los núcleos que integraron las cuencas costeras BLP y CSLAZ y el F729 de CC, mostraron en general valores mayores que 1.0, con excepción del A475 de BLP. Entre tanto los núcleos de las localidades de CLP, CP, SC y uno de los núcleos de CC (F625) la diversidad fue mayor que 1.0. Al analizar los valores de diversidad por localidad ([Tabla XI](#)), se observó como la diversidad aumenta con la profundidad para la BLP y CLP. Mientras que para CP, SC, CSLAZ y CC observamos el patrón inverso en el que la diversidad disminuye con la profundidad.

Se aplicó la prueba de Hutchenson (Zar, 1974) para probar si existía diferencia entre los índices de diversidad de los núcleos ([Tabla XII](#)). El índice de diversidad de las muestras A170 de BLP, E540 de CSLAZ y C1060 de CP fueron diferentes al resto. La diversidad de la mayor parte de los núcleos de BLP y de CLP no mostraron diferencia entre ellos, a excepción de A260 y a260 con respecto al B400. El B890 de CLP fue diferente a todos los demás núcleos que formaron esta misma localidad, así como







también fue diferente a todos los núcleos que se colectaron por encima de los 540 m de profundidad. Los núcleos que se tomaron entre profundidades de 260 a 475 m y que además corresponden a las cuencas costeras de BLP y CSLAZ mostraron poca diferencia entre sus valores de diversidad.

#### ***IV.3.4. Análisis de agrupamiento de las especies de la tanatocenosis de foraminíferos béticos***

Se realizaron análisis de agrupamientos modo-Q y modo-R, para determinar los tanatotopos y las tanatofacies de la fauna de foraminíferos béticos muerta en cada una de las localidades (BLP, CLP, CP, SC, CSLAZ y CC) con las especies que presentaron una abundancia mayor del 3% en al menos dos de los núcleos.

El resultado del análisis modo-Q mostró cuatro diferentes agrupamientos (tanatotopos), con un coeficiente de similitud de 0.76 (Fig. 22).

**Tanatotopo I.** Corresponde a los núcleos superficiales de BLP y de CSLAZ a profundidades comprendidas entre los 170 a 260 m. Las aguas que se encuentran en estas zonas corresponden a las aguas ventiladas de la termoclina y su límite con la ASsSt.

**Tanatotopo II.** Este grupo incluyó los núcleos A360, A400, A475, E350, E400, B745, B400, E540. La mayor parte de las muestras pertenecen a las dos cuencas costeras del estudio (BLP y CSLAZ), localidades que se caracterizan por un alto aporte de carbono orgánico y una circulación de agua restringida. La masa de agua dominante es la ASsSt. Con una excepción para el B745 recogido en la CLP a una profundidad bañada por las Aguas Intermedias del Pacífico (AIP).





**Tanatotopo III.** Agrupa a los núcleos B890, D800, d800, C550, F625 y F729. Las profundidades de este tanatotopo oscilan entre los 550 y los 890 m, se caracterizan por ser zonas de talud. La masa de agua dominante a estas profundidades es la AIP.

**Tanatotopo IV.** Formado por los núcleos C1060 y C1530, pertenecientes a CP, corresponden a zonas de talud, aguas más profundas y mejor ventiladas en el límite entre la AIP y la APP para el núcleo más somero y sumergida en el dominio de las Aguas Profundas del Pacífico para el más profundo.

Se realizó un análisis modo-R, comparando las especies de todos los núcleos, así como sus relaciones cuantitativas (Fig.23). Como ya vimos en los análisis realizados con la fauna viva, las especies más abundantes (*Bolivina seminuda*, *Bolivina subadvena* y *Buliminella curta*) eran las que forzaban el carácter de las asociaciones. Para evitar esto y ver el efecto que otras especies tienen sobre las asociaciones, excluimos a estas tres especies del análisis. El dendrograma resultante con coeficiente de similitud de 0.73, mostró tres grupos (Fig. 24). El primer grupo estuvo integrado por *U. excellens*, *Brizalina interjuncta bicostata* y *E. sandiegoensis*, especies más abundantes o mejor representadas en los núcleos de profundidades menores de 300 m. Estas profundidades coinciden para todas las cuencas costeras de este estudio (BLP y CSLAZ). El segundo grupo, el más grande, lo conforman el mayor número de especies, incluye especies presentes en casi todos los núcleos pero con menores valores de abundancia. El tercer grupo, estuvo constituido por *C. delicata*, *Buliminella tenuata* y *Brizalina spissa*, las cuales estuvieron mejor representadas o son típicas de profundidades mayores de 600 m.

De cada grupo que se obtuvo del análisis modo-Q (Fig.22) se les aplicó un análisis modo-R para la determinación de las tanatofacies, con el objetivo de caracterizar la





asociación de las especies de cada tanatotopo, seleccionando el grupo terminal con mayor grado de similitud.

**Tanatofacies I.** Corresponde al Tanatotopo I la asociación de las especies que lo de determinó fue: *V. inflata* y *S. eckisi*, con un coeficiente de similitud de 0.91, (Fig.25).

**Tanatofacies II.** Corresponde al Tanatotopo II, definida con un coeficiente de similitud de 0.86. La asociación de especies incluye *C. tumida*, *G. multilocula*, *V. inflata*, *N. stella*, *B. pacifica*, *Loxostomum bradyi* y *C. delicata* (Fig. 26).

**Tanatofacies III.** Corresponde al Tanatotopo III, en base a un coeficiente de similitud de 0.81. La asociación de este biotopo se integró por las especies: *V. araucana*, *B. pagoda*, *Fursenkoina seminuda*, *B. argentea*, *U. excellens* y *E. sp2* y algunas formas aglutinadas, (Fig. 27).

**Tanatofacies IV.** Corresponde al Tanatotopo IV, con un valor de similitud de 0.80. Las especies que lo forman son: *B. tenuata*, *C. delicata*, *B. mexicana*, *G. pacifica* (Fig. 28).

#### IV.3.5. Distribución batimétrica de las especies de las tanatocenosis

Al ordenar las especies que presentaron una abundancia mayor del 3% en un gradiente de profundidad, se observó el siguiente patrón (Fig. 29a):

- a) Grupo de especies cuyas mayores abundancias se encontraron hasta profundidades de 540 m. Los núcleos que corresponden a esta categoría son los pertenecientes a las cuencas costeras de BLP y CSLAZ. Las especies que se encontraron en este grupo fueron: *Brizalina interjuncta bicostata*, *E. sandiegoensis*, *Bulimina marginata*, *Valvulineria inflata*, *Gyroidina multilocula*, *Nonionella stella*, *Bolivina pacifica*, *C. tumida*, *L. bradyi*, *Ch. ovoidea*, *Suggrunda eckisi* y *Buliminella curta* (Fig. 29a). En los







núcleos más someros, comprendidos entre 170 y 260 m de profundidad, *B. interjuncta* *bicostata* y *E. sandiegoensis* fueron más abundantes. Mientras que *Ch. ovoidea* mostró su mayor abundancia en el núcleo más profundo de CSLAZ (E540), con valores mayores del 30 %. *B. curta* tuvo abundancias > 40 % en dos núcleos, el E350 y E540, ambos de CSLAZ.

En cuanto a las concentraciones de oxígeno de este grupo de núcleos, todas las mediciones estuvieron por debajo de 0.5 ml/l, a excepción de los núcleos más superficiales (170 m) de ambas cuencas (Fig. 29b). El contenido de carbono orgánico varió desde 4.71 hasta 7.06 y sólo a profundidades menores de 200 m encontramos los menores valores relativos (Fig. 29c).

- b) Grupo de especies cuyas mayores abundancias se encontraron por debajo de los 550 m de profundidad. Las especies pertenecientes a este grupo fueron: *U. peregrina curtica*, *Brizalina spissa*, aglutinados, *V. araucana*, *Epistominella* sp2, *Brizalina argentea*, *Bulimina pagoda*, *Fursenkoina seminuda*, *C. delicata*, *Buliminella tenuata*, *E. smithi*, *Globobulimina pacifica*, *Bulimina mexicana* y *U. hispida* (Fig. 29a). Las especies *E. smithi* y *C. delicata* se registraron en todos los núcleos de esta categoría, pero con valores que no superaron el 10% de abundancia, mientras que *G. pacifica*, *B. mexicana* y *U. hispida* tuvieron preferencia por las mayores profundidades donde los niveles de oxígeno son relativamente mayores (Fig. 29b) y el contenido de carbono medio era de un 5% (Fig. 29c).
- c) Grupo de especies que no muestran ninguna relación entre su abundancia y la profundidad. Entre las cuales se encontraron a *Bolivina subadvena*, *Bolivina seminuda* y *U. excellens* (Fig. 29a). *B. subadvena* se encontró en casi todos los núcleos del estudio, sin embargo en las profundidades < 540 m la especie presentó mayores







abundancias en comparación de los núcleos más profundos, con excepción del B745. En este último, se registró entre una 25 a un 30% de abundancia. *B. seminuda* tuvo abundancias muy altas en gran parte de los núcleos en donde se observó. A pesar de que *U. excellens* se encontró tanto en núcleos someros como en profundos, sus mayores abundancias se registraron a profundidades de 170 m.

#### **IV.4. Comparación de nuestros resultados con los de otros autores**

##### **IV.4.1 Prueba de Hutchenson**

Los resultados de los índices de diversidad de la biocenosis de este trabajo fueron comparados con la base de datos de Phleger (1960) obtenidos en el Golfo de California, en profundidades que van desde los 10 m hasta los 2000 m de profundidad. Se aplicó la prueba de Hutchenson para probar si existía diferencia entre las diversidades de nuestro estudio contra las de Phleger, y se compararon las profundidades más cercanas a las nuestras, algunas por encima y otras por debajo de las profundidades a las que muestreamos ([Tabla XIII](#)).

Se encontró que la muestra más somera del estudio de Phleger, la de 10 m de profundidad, fue diferente a los más someros de nuestro trabajo y curiosamente fue igual al resto de nuestros núcleos, que son de mayor profundidad. Al comparar las profundidades de 420, 732 y 1116 m de Phleger, con los núcleos A400 y A475, F625 y C1060 m, se encontró que no mostraron diferencias significativas entre ellos. Mientras que las de 351, 850 y 1537 m si mostraron diferencias respecto a nuestros núcleos A360, B890 y C1530 m.



#### **IV.4.2 Comparación de los núcleos profundos de las cuencas costeras de Bahía La Paz (A475), Cuenca San Lázaro (E540) y el C550 de Cuenca Pescadero con el núcleo profundo de la Cuenca Santa Bárbara.**

Las cuencas de circulación restringida en el Bajo Golfo de California, en la zona meridional de la Corriente de California, bañadas por las ASsSt y otra cuenca de características similares en el Sur de la Alta California ([Fig. 1](#)), se compararon usando las asociaciones de foraminíferos béticos. Se utilizó el núcleo más profundo de BLP (A475), el C550 de CP en la boca del Golfo de California, el CSLAZ (E540) en la frontera meridional de la Corriente de California, y un núcleo de la zona profunda (SB591) en la cuenca Santa Bárbara (Bernhard, 1997). Encontramos mayor similitud entre la BLP, CSLAZ y CP, con un índice de similitud de 0.48, con la mayor similitud (0.65) entre las dos cuencas costeras ([Fig. 30](#)). Este índice baja hasta 0.3 cuando se comparan con las faunas de Santa Bárbara.

## V. DISCUSIONES

### V.1 Parámetros Físicoquímicos

Los resultados del análisis de agrupamiento realizado con las variables físicoquímicas en cada una de las estaciones sugieren que los distintos agrupamientos se encuentran asociados a la profundidad, con esto no queremos implicar que la profundidad sea la variable principal sino que con ésta también varían otras variables como la concentración de oxígeno de las aguas, la temperatura, la salinidad, el carbono orgánico disponible como alimentación (Phleger, 1960), y que esta variabilidad no se presenta aislada sino que lo hace de una forma coherente que precisamente nos sirve para caracterizar las distintas masas de agua que bañan los taludes y cuencas costeras estudiadas (Torres-Orozco, 1993; Lavín *et al.*, 1997). Propiedades que surgen de una forma coherente cuando agrupamos los núcleos basándonos en los parámetros físicos y químicos determinados en las aguas e interfase agua sedimento.

El grupo I, el cual integra a los núcleos superficiales recogidos a profundidades menores de 200 m en las cuencas costeras de BLP y CSLAZ, mientras el grupo IV, formado por los núcleos más profundos del estudio (de 1060 y 1530 m) y colectados en CP, proceden de profundidades que se encuentran bien por encima o por debajo de la ZMO. Fue en estos sitios donde se registraron los valores más altos en las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua. Las muestras de 170 m de profundidad, por encontrarse más cercanas a la superficie se encuentran afectada por la influencia del viento y por la profundización de la termoclina a escala estacional, mecanismos que facilitan la mezcla con aguas superficiales y con ello un aumento estacional en las concentraciones de oxígeno. Para las muestras más profundas de este estudio, la advección horizontal de Aguas Profundas del Pacífico con una mayor concentración de oxígeno favorecen una mejor ventilación relativa a estas profundidades.

En cuanto a los contenidos de carbono orgánico, en los núcleos más superficiales los valores fueron los más bajos. En general en las áreas costeras la cantidad de carbono orgánico en el sedimento aumenta a medida que disminuye el tamaño de grano, a medida que nos alejamos de la costa (Phleger, 1960; Uchida, 1960) y que aumenta la profundidad y con ella disminuye la importancia de los procesos de ventilación del océano superficial.

La capa del mínimo de oxígeno en la parte sur del Golfo de California se suele encontrar en verano u otoño hasta profundidades de 120 m mientras que en invierno y en primavera por procesos de mezcla esta puede llegar a encontrarse a profundidades de 200 m (Monreal-Gómez et al., en prensa). Esta variabilidad está controlada por procesos de mezcla de las aguas superficiales en invierno y por la estratificación en primavera-verano a lo que hay que agregar la importancia del flujo del carbono orgánico exportado de la zona fótica, mecanismos que determinan la migración vertical estacional de esta capa. En BLP y CSLAZ las condiciones ambientales propician la formación de estas capas y las dos cuencas no tienen profundidades mayores a los 550 m mientras en BLP el giro ciclónico que se presenta en la superficie, origina una divergencia alimentada por una circulación ciclónica mecanismo que en principio incrementaría la productividad en la Bahía (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa).

Los núcleos de los grupos II y III, presentaron valores menores de 0.5 ml/l de oxígeno profundidades bañadas por las aguas pobremente ventiladas de la ASsSt y aisladas de los procesos de mezcla de superficie por una termoclina estacional muy estable. El valor promedio de carbono orgánico en ambos grupos estuvo alrededor del 6%, sin embargo a pesar de tener valores de oxígeno y de carbono muy semejantes, la diferencia entre estas dos agrupaciones radica en el hecho de que los núcleos que integraron el grupo II son los que corresponden al ambiente de cuenca costera con una ventilación restringida por umbrales batimétricos a profundidades menores de 600 m. Mientras que las muestras que integraron el grupo III, colectados entre los 600 - 890 m en zonas de talud abierto, proceden de un ambiente que al no impedir la circulación de aguas intermedias se encuentran mejor ventilados por procesos de advección horizontal por las Aguas Intermedias del Pacífico que aun teniendo una baja concentración de oxígeno propician la renovación de agua a estas profundidades evitando el estancamiento y con ello el agotamiento del oxígeno disuelto.

## V.2 Organismos teñidos con Rosa de Bengala (Biocenosis)

El A475 fue el núcleo que presentó el mayor número de especies 26 (*S*), así como la mayor abundancia y se localizó dentro de la ZMO de la cuenca costera de BLP. En lo que respecta al número de especies estos resultados son contrarios a lo esperado, pues en las áreas donde el oxígeno es considerado factor de estrés ambiental, el número de especies es relativamente bajo en comparación a las áreas donde el oxígeno no es una condición limitante. Esta observación cuestiona el modelo propuesto por Sen Gupta y Machain-Castillo (1993), entre otros, en el que proponen a partir de observaciones en zonas donde el oxígeno es menor de 0.5 ml/l que el número de especies presentes es menor y la dominancia mayor que en zonas mejor ventiladas. Reducción en el número de especies debido a que estas ZMO actúan como barrera a la dispersión excluyendo a las especies menos tolerantes a los bajos niveles de oxígeno y (Wishner *et al.*, 1990; Rogers, 2000). En contraste con lo anterior encontramos como en los núcleos C1060 y C1530 en los que se midieron concentraciones de oxígeno entre 0.73 y 1.0 ml/l las mayores concentraciones de este estudio, el número de especies encontradas fue de 10 y de 9 respectivamente los valores más bajos de este estudio. Esta observación sobre el comportamiento de los extremos esta recogida como un gradiente en profundidad en la Figura 5 en la que se observa claramente como el número de especies aumenta a medida que nos adentramos en el mínimo de oxígeno y como estas disminuyen a medida que aumenta la profundidad y aumenta la concentración relativa de oxígeno en las aguas. No podemos descartar aquí el efecto que pueda tener la profundidad y sus variables asociadas sobre el número de especies presentes y que esta sea el control principal de la tendencia observada, pero lo que sí podemos afirmar es que no podemos explicar los patrones de abundancia específica a partir de las concentraciones de oxígeno disuelto en las aguas.

Con respecto a la abundancia de individuos asociada a las bajas concentraciones de oxígeno, lo que se espera de acuerdo a observaciones anteriores y modelos es un descenso en su número total debido a la función limitante que ejercen las bajas concentraciones de oxígeno para su supervivencia. Sin embargo es precisamente el núcleo (A475) en BLP localizado en el fondo de una cuenca subóxica con uno de los



menores valores de oxígeno registrados en este estudio, en el que registramos la mayor abundancia de foraminíferos béticos vivos con valores de 41 ind/g de sedimento (Tabla V), superando a los núcleos donde los niveles de oxígeno fueron más elevados. Nuestros resultados son semejantes a los encontrados por Phleger and Soutar (1973) quienes reportaron concentraciones de foraminíferos béticos muy elevados en tres zonas bañadas por aguas deficientes en oxígeno en el Océano Pacífico (Cuenca de Santa Bárbara, San Lázaro y margen de Perú) y más recientemente a los de Gooday *et al.* (2000) que en un estudio en el Mar de Arabia comparó dos localidades, una dentro de una ZMO (a 412 m de profundidad) y la otra por debajo (a 3350 m) y encontró que el número de individuos en el núcleo de 412 m fue mucho mayor que en el más profundo. Por lo que el enriquecimiento del sedimento en las ZMO es resultado de la gran cantidad de alimento que se encuentra a estas profundidades que puede soportar a una gran abundancia de organismos béticos mientras que estos puedan sobrevivir a estas condiciones ambientales. Cabe aclarar que el número de organismos encontrados en las muestras de este trabajo es relativamente bajo en comparación a otros estudios en zonas con características hidrográficas similares, como lo encontró, Bernhard *et al.* (1997). Ellos reportaron para el núcleo más profundo de la Cuenca Santa Bárbara un valor de 395.8 ind/cc, mientras en nuestro estudio el núcleo profundo de BLP (A475), donde mayor abundancia se reportó se encontró 7.1 ind/cc. En el resto de las muestras, los números no excedían a 2 y en la mayoría los valores estuvieron por debajo de 1 ind/cc.

En todos los núcleos analizados para la biocenosis generalmente de 1 a 3 especies dominan las asociaciones (Tabla VI), el A360 registró el valor más alto del índice de dominancia de Simpson (0.24) muestra en la que una sola especie (*G. multilocula*) aportó el 44 % del total de foraminíferos béticos superando al núcleo A475 donde la misma especie muestra un 35 % de abundancia, con un valor de dominancia de 0.18. La interacción entre las bajas concentraciones de oxígeno y la alta disponibilidad de alimento (carbono orgánico) en el sedimento provoca que las poblaciones de algunas especies oportunistas de foraminíferos béticos se desarrollen sensiblemente sobre las demás, convirtiéndose en las especies dominantes (Sen Gupta-Machain-Castillo, 1993). Esta especie en concreto se ha reportado en ambientes

disóxicos, donde las concentraciones de oxígeno van de 0.1 - 0.3 ml/l (Kaiho,1994), por lo que puede tolerar bajas concentraciones de oxígeno.

A pesar de que en el A475, se encontró el mayor número de especies y la mayor abundancia, en el núcleo a260 se encontró un valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener y de equitabilidad mayor que en el núcleo A475, sugiriendo que la abundancia de los organismos entre las diferentes especies estuvo mejor repartida en el a260 y además cabe recordar que el índice de Shannon-Wiener está en función de la abundancia o proporción de individuos encontrada entre las distintas especies.

En lo relacionado al número de especies y de abundancia de foraminíferos béticos (Tablas V y VII), encontramos que los núcleos provenientes de la cuenca costera de BLP muestran los valores más altos, lo que nos sugiere que las diferentes variables ambientales tienen un control sobre las comunidades pero este muestra una variabilidad a lo largo del tiempo. Variabilidad que no hemos podido muestrear al tener solo un punto en el tiempo y por lo tanto los patrones observados no son más que una instantánea que posiblemente abarque eventos sucedidos en los últimos meses, instantánea que puede variar en distintas direcciones aunque su techo o máximo de variabilidad venga dado por las tanatocenosis que reconstruimos para estos mismos lugares (Tabla IV). Las especies dominantes o que mayores abundancias relativas presentaron fueron: *Brizalina interjecta-bicostata*, *Buliminella curta*, *B. tenuata*, *Cassidulina delicata*, *Ch. ovoidea*, *Globobulimina affinis*, *G. pacifica*, *Gyroidina multilocula* y *U. peregrina*, las cuales son consideradas como organismos de tamaño pequeño y de pared delgada, características de las especies que habitan ambientes de bajo contenido de oxígeno, géneros que coinciden con los reportados por Streeter (1972) y Sen Gupta y Machain-Castillo (1993) para las ZMO, para quienes las especies dominantes generalmente pertenecen a los géneros de *Bolivina* y géneros con formas parecidas (*Brizalina*, *Loxostomum*), al género de *Globobulimina*, *Uvigerina*, *Epistominella* y *Cassidulina*.

A pesar de que los valores de los índices de diversidad de los núcleos, se encontraron dentro de un intervalo muy pequeño 0.86 y 1.06 (Tabla VII), al aplicar la prueba de Hutchenson a cada par de núcleos (índices), se observó que algunos sí presentaron diferencias entre ellos (Tabla VIII). Dentro de BLP sólo el A360 mostró diferencia con las profundidades más superficiales (A260 y a260), en este núcleo fue donde se

encontró la menor diversidad y la mayor dominancia. También fue diferente a los núcleos B890 y C550, estos núcleos tiene en común valores de  $H'$  mayores de 1.0, de  $J'$  alrededor de 0.8 y los menores valores de  $C$  (de 0.12 a 0.14) encontrados en este trabajo. El A475 no mostró diferencia entre ninguno de los otros núcleos. La diversidad de los núcleos más profundos de CP (C1060 y C1530) y el de la CC (F625) fueron en general diferentes al resto de los núcleos, aunque no entre ellos. Todos tiene como semejanza valores de  $S$  entre 9 y 10, así como también los valores de  $H'$ ,  $H'máx$ ,  $J'$  y  $C$  fueron muy parecidos (Tabla VII).

Los resultados de la comparación de los índices de diversidad mediante la prueba de Hutchenson de nuestros núcleos del Golfo de California contra los de Phleger (1960) que muestreó en el mismo lugar, mostraron que las profundidades de 420, 732 y 1116 m de Phleger, con los núcleos A400 y A475, F625 y C1060 m, no mostraron diferencias significativas entre ellos. Mientras que las de 351, 850 y 1537 m si lo fueron respecto a nuestros núcleos A360, B890 y C1530 m. La diferencia entre los núcleos de este estudio y los de Phleger tomados a profundidades similares puede deberse a causas geográficas ya que las muestras de Phleger fueron colectadas en el Alto Golfo de California mientras las de este estudio provienen de la parte Sur del Golfo. La muestra de 351 m de profundidad fue colectada en el Carmen, localidad cercana a nuestra zona de estudio, pero la diferencia en este caso puede deberse a que esta localidad se encuentra bajo un área de surgencias semipermanentes.

Muchos pueden ser los factores que tengan influencia sobre la actividad fisiológica de los foraminíferos y por lo tanto de su distribución. Por lo que al realizar los análisis de agrupamiento de las especies en modo-Q (Biotopos) y modo-R (Biofacies) se trató de buscar si se presentaba algún patrón de distribución comparable a los resultados que se obtuvieron de variables ambientales de cada uno de los núcleos. Al comparar los resultados de los cuatro biotopos, se puede observar que en general se presentó el mismo patrón, separándose las muestras en primer lugar por profundidad. Sin embargo el C550 (Fig. 8) se agrupa con los más someros cuando adoptamos el criterio de agrupar a partir de un valor de 0.72 del índice de similitud. Mientras el B890 parece tener una asociación de foraminíferos diferente a los demás, pues se separa del resto de las muestras mientras que en la figura de las variables ambientales (Fig. 4) se asoció en el grupo de profundidades entre 550 - 890 m bañadas por las AIP. La agrupación que se forma con los núcleos

profundos de CP (C1060 y C1530) con el F625 de la CC, parece tener cierta semejanza si se observan los valores que presentaron cada uno de ellos en *S*, *H'*, *H'máx*, *J'* y *C*, los cuales fueron muy parecidos, parecido que se mantiene al realizar la prueba de Hutchenson que no muestra diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que las faunas de profundidades entre los 600 a los 1500 m y cercanas a la boca del Golfo guardan una mayor semejanza con las faunas de la Corriente de California que con las propias del Golfo a profundidades mas someras.

Cuando se realizó el modo-R a toda la base de datos las especies que presentaban mayores abundancias distorsionaban los resultados por lo que optamos por extraerlos. Los resultados obtenidos después de este cambio siguieron sin mostrar un patrón claro de distribución. Lo que si logró este segundo análisis fue separar a las especies abundantes de la cuenca costera de BLP y las especies dominantes del B890. Por lo que se procedió a realizar un análisis modo-R de cada uno de los biotopos resultantes del análisis de modo-Q, para determinar la asociación faunística de cada uno. El resultado de este análisis nos muestra como las especies menos abundantes son precisamente las que mejor caracterizan a cada uno de los agrupamientos, debido a la constancia de las especies dominantes dentro y fuera de la bahía. Lo que nos sugiere esta observación es que las especies dominantes coinciden en sus intervalos de tolerancia y que estos son relativamente amplios y por lo tanto son pobres indicadores de los cambios que se produzcan dentro de esos intervalos, mientras que las especies menos abundantes mas sensibles a las diferencias en las condiciones ambientales se convierten en mejores indicadores de los cambios en estas condiciones extremas.

Así la biofacies del Biotopo I se caracterizó por estar asociada a los núcleos pertenecientes a la cuenca costera de BLP, donde los sedimentos son ricos en carbono orgánico y las concentraciones de oxígeno son bajas, en los que la presencia de especies como *Alveolophragmium lenticulare* reportada para zonas someras (Uchio, 1960), *Uvigerina peregrina* y *U. excellens* especies con preferencias a vivir en zonas de talud (Phleger, 1953), como también típicas en sedimentos con abundante carbono orgánico (Bernhard, 1992), *Suggrunda eckisi* reportada a profundidades de 300-400 m donde las concentraciones de oxígeno son menores 0.5 ml/l (Bernhard, 1997). Un aspecto interesante de esta especie es que esta comunmente reportada en el sistema de la Corriente de California, especialmente en las cuencas del Sur de California como la

Cuenca de Santa Bárbara donde forma una parte importante de la comunidad de foraminíferos béticos (Bernhard *et al.*, 1997; Douglas, 1981).

La biofacies del Biotopo II bien representada en el núcleo C550, lugar en el que se determinó una de las concentraciones más bajas de oxígeno en este estudio. Se caracterizó por la presencia de especies como *Gyroidina* sp 2, *Epistominella* sp 2, algunas especies de *Epistominella* son asociados a grandes profundidades, pero también son asociadas a bajos niveles de oxígeno (Sen-Gupta y Machain-Castillo, 1993), *Alveolophragmium subglobosum* y *Eggerella advena* especie que generalmente es reportada en zonas alejadas de la costa y a la que se ha asociado con el tamaño de las partículas de sedimento (Streeter, 1972). Esto último se ha señalado como un factor importante que puede afectar la distribución de los foraminíferos (Uchio, 1960; Walton, 1955), en nuestro estudio la textura de los sedimentos trabajados oscila entre limos y arcillas, tamaños relativamente finos por lo que esta variable no tiene un papel importante en las distribuciones observadas.

La biofacies del Biotopo III estuvo integrado por especies como *Cassidulina delicata*, *Melonis parkerae*, *U. senticosa*, *Epistominella smithi*, *C. braziliensis*, *Bulimina pyrula*, *Bulimina mexicana*, *C. subglobosa*, *Fissurina submarginata*, *Planulina ornata*, *Fursenkoina cornuta*, *A. columbiensis*, *Bolivina minuta*, *Valvulineria inaequalis*, *Brizalina spissa* y *Bolivina pacifica* presente en pendientes y dentro de las cuencas del Golfo de California (Streeter, 1972). Estas dos últimas especies se han reportado en ambientes con concentraciones de oxígeno de 0.1-0.3 ml/l (Kaiho, 1994).

La biofacies del Biotopo IV constituida por la presencia de *L. gracilis*, *B. pagoda* y *B. exilis*, especies que sólo se encontraron en un núcleo, el B890, que además coinciden con las especies menos abundantes en este núcleo que se separa claramente en el análisis de tipo Q del resto de las muestras estudiadas.

Cuando las especies que presentaron una abundancia mayor al 3 %, fueron ordenadas por profundidad (Fig.13a), se dividieron en tres grupo bastante definidos: (a) especies de ambiente de cuenca costera, (b) de talud y (c) especies presentes en ambos ambientes.

El primer grupo de especies alcanza hasta profundidades de 475 m localizados siempre dentro de un ambiente de cuenca costera. Las especies de este grupo (*B. interjuncta bicostata*, *U. excellens*, *B. subadvena*), son típicas de zonas someras y/o tolerantes a bajas concentraciones de oxígeno y/o de altos contenidos de carbono orgánico (Sen-Gupta y Machain-Castillo, 1993; Kaiho, 1994; Bernhard *et al.*, 1997).

El segundo grupo está integrado por los núcleos de profundidades mayores de 550 m todos localizados en ambientes de talud abierto. El comportamiento que muestra el núcleo C550, es difícil de explicar, ya que cuando se realizó el agrupamiento para definir los biotopos (Fig. 8) en base a las especies presentes, el dendrograma lo ubicó cercano a los núcleos que formaron el grupo anterior, los de la cuenca costera que son más someros. Sin embargo en este último ejercicio se ubicó junto con los núcleos de ambiente de talud; por lo que resultó difícil definir su comportamiento, sobre todo por que el elenco de las especies es algo diferente, aunque comparte algunas especies con el grupo de la zona costera y otras con el talud. Otro aspecto interesante asociado a este núcleo es la extraordinariamente baja concentración de oxígeno determinada a esta profundidad. A pesar de encontrarse en una zona de talud abierto su profundidad se encuentra muy cercana a la frontera entre las aguas ASsSt y AIP zona en la que el movimiento de las aguas se amortigua debido a la fricción que ejercen ambas masas de agua entre sí por lo que podríamos considerar a esta como una zona donde las aguas permanecen semiestacionarias, impidiendo la renovación en los niveles de oxígeno.

El tercer grupo lo integran especies que no muestran preferencia alguna por la profundidad, o que carecen de un patrón de distribución con el gradiente de profundidad. Si se comparan las abundancias relativas entre los diferentes núcleos, se pueden apreciar preferencias por algunas de estas especies a ciertas profundidades, como *G. pacifica* a mayores profundidades y *B. seminuda* a las someras. Hay un cierto número de especies que se han encontrado en todas las profundidades del Pacífico Norte presentes desde las zonas neríticas pasando por la batial hasta las zonas abisales, a las que se denomina euribáticas, como por ejemplo *G. pacifica*, que también se encuentran a profundidades caracterizadas por una baja concentración de oxígeno estudio (Sen-Gupta y Machain-Castillo, 1993) y son precisamente las que nosotros reportamos pertenecientes a este grupo en nuestro estudio.

Puesto que con la profundidad varían todas las variables es difícil definir que factor es más determinante en la distribución vertical de los foraminíferos béticos, las poblaciones de foraminíferos béticos no están controlados únicamente por este factor, si no por la combinación de las diferentes variables físicas y químicas que varían con la profundidad, lo que hace más complicado de explicar cual de ellos es el que más importancia tiene (Phleger, 1960). Algunos autores mencionan que en muchos de los casos los factores ambientales se interrelacionan y en conjunto controlan la distribución de los foraminíferos, como las masas de agua con sus distintivas temperaturas, salinidad, oxígeno, etc. (Murray, 1991). La temperatura y salinidad son considerados como límites de su distribución y más allá de cierto umbral las especies pueden ser incapaces de reproducirse ó de alimentarse o de sobrevivir (Murray, 1991). Para Butcher (1951) que trabajó con los foraminíferos béticos del Banco de Coronado, cercano a San Diego, la temperatura y salinidad son considerados como los factores más importantes que controlan la distribución de las biofacies que él encontró. En otros casos se menciona que un sólo factor es claramente el más importante que cualquier otro como por ejemplo el oxígeno para explicar los patrones de distribución de los foraminíferos en la Cuenca Santa Bárbara (Bernhard *et al.*, 1997). Sin embargo otros aspectos que pudieran estar influyendo y ser considerados en la distribución son la fisiografía del lugar y el umbral de las cuencas (Sen-Gupta y Machain-Castillo, 1993).

De las observaciones realizadas en este estudio se desprende que la concentración de oxígeno, la profundidad batimétrica, y las diferentes masas de agua (Butcher; 1951; Murray,1991) son las que mejor explican la distribución de nuestras asociaciones de foraminíferos. Observar como las tres variables estan inexplicablemente relacionadas entre sí ya que la concentración de oxígeno viene dada por la historia de una masa de agua desde que dejó la superficie, y como esta tiene una distribución coherente con la profundidad que le viene dada por su densidad la que a su vez es función de la temperatura y de la salinidad de esa masa de agua.

Si para la distribución batimétrica de los foraminíferos béticos es difícil definir que factor influye más para la distribución dentro del sedimento, son dos los factores que algunos autores consideran más importantes: el contenido de carbono orgánico y/o la concentración de oxígeno en las aguas de la interfase

agua sedimento y en las intersticiales en profundidad (Jorissen *et al.*, 1992; Gooday, 1993; Linke y Lutze, 1993; Sen Gupta-Machain-Castillo, 1993; Bernhard *et al.*, 1997), factores que además tienen efecto sobre las preferencias específicas de los microhabitats epifaunal e infaunal.

En los análisis realizados en los diferentes núcleos encontramos que en los de BLP, invariablemente el mayor porcentaje de la población de foraminíferos bénticos vivos se localizó en el primer nivel (cm) de profundidad, así como también el B890 de CLP, el C550 y C1530 de CP. Lo que refuerza la idea de que cuando el oxígeno disuelto en el agua es bastante bajo estos organismos tienden a vivir en los primeros milímetros de la interfase agua sedimento (Bernhard, 1992). El núcleo C1530 es la muestra donde se determinó la mayor concentración de oxígeno a pesar de lo cual encontramos como la mayoría de los organismos prefirieron habitar el primer centímetro de profundidad. De hecho Corliss y Emerson (1990) mencionan que en la mayor parte de las zonas profundas, lo que domina es la epifauna pues los flujos de carbono al fondo son tan bajos, que las aguas intersticiales son óxicas, que la limitante para los organismos es el alimento, por lo que es lógico se refleje en un habitat poco profundo caso común en el océano abierto pero que no se da en las regiones de nuestro estudio. Sin embargo cuando el oxígeno y el carbono no son limitantes se espera que los foraminíferos se encuentren distribuidos subsuperficialmente, lo que a su vez se puede asociar como un mecanismo de defensa frente a los depredadores de epifauna y de la infauna somera (Bernhard, 1992), sin embargo en el C1530 esto no sucede.

Aun cuando resulta muy complicado separar la importancia de la concentración de oxígeno en las aguas de la cantidad de materia orgánica disponible como fuente de alimentación, al encontrarse ambos muy relacionados entre sí ya que valores altos de carbono orgánico siempre los encontramos asociados a bajos niveles de oxígeno (Fig. 3) podemos afirmar que en ninguna de las localidades estudiadas el carbono orgánico ejercía de factor limitante, debido a su alta abundancia, mientras que las bajas concentraciones de oxígeno o su ausencia si que ejercen una función de control y límite a los patrones de distribución y abundancia de las poblaciones de foraminíferos bénticos.



Para algunos como Murray (1991) la abundancia de las poblaciones de foraminíferos puede estar influenciada por la disponibilidad de alimento (Murray, 1991) por lo que la cantidad de alimento puede ser un factor regulador (Jorissen *et al.*, 1992), incluso mencionan que la naturaleza e intensidad de las entradas de material orgánico influye sobre la composición de las asociaciones de foraminíferos a lo largo de los océanos marginales (Gooday, 1993). Mientras que con el oxígeno los cambios fisiológicos son más notorios (Bernhard y Alve, 1996) como por ejemplo que tan cerca se puedan localizar las mitocondrias en los poros de la pared de los organismos dependiendo de las concentraciones de oxígeno (Corliss, 1985). Tanto con el oxígeno como con el carbono orgánico los foraminíferos adquieren algunas estrategias para poder sobrevivir en estos ambientes pobres en O<sub>2</sub> y ricos en MO como lo son las ZMO, siendo muy evidentes los cambios morfológicos (Corliss, 1985; Bernhard, 1986).

Al examinar las especies que fueron más abundantes en cada uno de los grupos que por profundidad (cuenca costera, talud y que no muestran preferencias por una profundidad) se observó que de las cinco especies que constituyeron el ambiente de cuenca costera, sólo *V. inflata* y *G. multilocula* fueron capaces de introducirse al menos hasta los 4 cm de profundidad, por lo que ambas se podrían considerar especies con preferencias infaunales (Corliss, 1985; Mackensen y Douglas, 1989), lo que a su vez implica una mayor resistencia para sobrevivir a las bajas concentraciones de oxígeno. Mientras que *Brizalina interjuncta bicostata*, solo se encontró en los primeros dos niveles, por lo que fue considerada especie epifaunal (Corliss, 1985; Mackensen y Douglas, 1989). Tanto *Bolivina subadvena* como *Buliminella curta* sus máximas distribuciones se localizaron en el primer nivel, por lo que podrían considerarse como parte de la epifauna, sin embargo *B. curta* se encontró distribuido hasta el tercer nivel y *B. subadvena* no se encontró en el tercero pero sí en el cuarto, por lo que también se podría considerar con cierta afinidad infaunal. La morfología de todas estas especies coincide con lo mencionado por Corliss (1985) como preferencias infaunales, pero debido a las bajas concentraciones de oxígeno en los lugares de este estudio se localizan en su mayoría en los

primeros milímetros de la interfase agua sedimento (Bernhard, 1992). En asociaciones fósiles encontraron que los morfogrupos de los depósitos anóxicos están dominadas por formas elongadas y aplanadas (Bernhard, 1986) como lo son *B. subadvena* y *B. interjuncta bicostata*.

Las especies observadas en el núcleo C550 fueron examinadas por separado, por el comportamiento mostrado cuando se realizó el análisis de agrupamiento por biotopos (Fig. 8) y cuando se organizaron las especies por profundidad. (Fig. 13a). Las especies características en este núcleo fueron *Epistominella* sp 2, *Gyroidina* sp 2, *Eggerella advena*, *A. subglobosum* y *G. multilocula*. *G. multilocula* foraminífero béntico que en ambientes de cuenca costera se encuentra hasta el 4to nivel, en este núcleo para el que los valores de oxígeno fueron muy bajos (0.17 ml/l) se encontró solo hasta el segundo nivel. En cambio *Gyroidina* sp 2 y *Epistominella* sp 2 si se encontraron hasta el último nivel de profundidad analizado. Paradójicamente *Epistominella*, sp 2 es planoconvexa, forma que sugiere ventajas para anclarse en las zonas de la interfase agua-sedimento y que preferentemente se encuentra como epifauna. De todas estas especies, sólo *E. advena* tiene forma alargada, pero no es muy aplanada debido a la disposición de sus cámaras que es triserial.

Las especies abundantes en el ambiente de talud fueron *Bulimina pyrula*, *Cassidulina delicata*, *Buliminella tenuata* y *Globobulimina affinis*. Casi todas ellas se distribuyeron en los cuatro niveles de profundidad, lo que sugiere que a pesar de que las concentraciones de oxígeno sean bajas, estos organismos pueden profundizar dentro del sedimento, quizá por lo el hecho de que todos los núcleos que conforman este grupo se localizan en zonas de talud abierto, lo que implica que las aguas pueden ser renovadas por otras mejor oxigenadas y estos pulsos de oxígeno hace que no se llegue al agotamiento de este elemento. De todas sólo *B. tenuata* no se encontró en los cuatro niveles (estuvo ausente en el tercero), y su máxima abundancia fue subsuperficial, con más del 50 % en el segundo nivel. Este grupo de especies fue el que más variación presentó en cuanto a las morfologías, multiseriales, con cámaras infladas, lenticulares, biconvexas, globulares, aunque todas presentaron paredes delgadas.

Las especies cuyo intervalo de distribución vertical fue muy amplio y no se restringieron solo a ciertas profundidades como en los grupos anteriores fueron: *Uvigerina peregrina*, *Chilostomella ovoidea*, *Bolivina seminuda*, *A. lenticulare*, *Globobulimina pacifica* y los aglutinados. A partir del promedio de todos

los núcleos de este grupo se observó como su distribución en los sedimentos mostraba una preferencia por el primer centímetro donde se localizaron la mayor cantidad de organismos de cada especie. Bernhard (1992) menciona que *G. pacifica* es más abundante a mayor profundidad en el sedimento, incluso a mayor profundidad que la interfase óxica-anóxica y que son típicas en áreas donde el flujo de carbono orgánico a los sedimentos es alto. En nuestro estudio se encontró en todos los niveles, pero su mayor abundancia se ubicó en el nivel 3 coincidiendo con Bernhard (1992) en la tolerancia de este foraminífero a encontrarse en los límites entre la suboxia a la anoxia. Se ha encontrado que *G.pacifica* junto con *Nonionella stella* son capaces de sobrevivir por más tiempo en lugares extremadamente bajos en oxígeno que otras especies, sobre todo *N. stella* que puede sobrevivir a la anoxia por un largo período de tiempo (Bernhard,1992; Bernhard *et al.*, 1997). En el talud continental de la parte Central de California, se observó que *G.pacifica* se ubicó en el intervalo superficial entre 0 - 0.25 cm en las estaciones donde el oxígeno estaba bastante reducido, mientras que cuando las concentraciones eran mayores se encontraba a mayor profundidad en el sedimento (Bernhard, 1992).

Cuando comparamos la distribución de *G.pacifica* en todos los ambientes considerados en este estudio observamos como *G. pacifica* se encuentra en los cuatro niveles de todos los ambientes, mientras que en la cuenca costera como en el núcleo C550 su mayor abundancia se localiza subsuperficialmente. Esta especie muestra de una forma consistente una gran flexibilidad para habitar a cualquier profundidad lo que implica que las bajas concentraciones de oxígeno no parece afectar su distribución mas que cuando este desaparece. En cuanto a la disponibilidad de alimento, los valores de carbono fueron muy semejantes entre los diferentes ambientes estos no constituyen una limitante en su distribución.

*Uvigerina peregrina* se encontró tanto en ambientes de cuenca costera como de talud, y su presencia está asociada a los altos flujos de carbono orgánico al sedimento, por lo que no sorprende su presencia en ambos grupos de núcleos.

En base a los resultados de la biocenosis encontramos que a pesar de que los foraminíferos se puedan catalogar como especies de la epifauna ó infauna (Corliss,1985; Mackensen y Douglas,1989) por mostrar preferencias de microhabitat, esto no es rígido y éstos organismos pueden cambiar su respuesta dependiendo

de cuanto alimento tengan disponible, y quizás aún más importante cuando el alimento no es limitante, el control puede ser la cantidad de oxígeno presente. En este estudio encontramos como especies con características típicas epifaunales se encuentran distribuidas por debajo de los 2 cm ó formas más acorde con habitats infaunales las encontramos únicamente en el primer centímetro del sedimento. Observaciones que reflejan la versatilidad de muchos foraminíferos para adaptarse a condiciones extremas de bajo contenido en oxígeno y su capacidad para aprovechar fuentes de alimento (Gooday, 1993; Linke y Lutze, 1993).

### **V.3. Organismos sin tinción (Tanatocenos)**

Del análisis de la tanatocenos el A170 de BLP fue el núcleo que mayor abundancia registró con 3701 ind/g y la menor abundancia se encontró a la misma profundidad pero un núcleo de CSLAZ el E170 con 39 ind/g. En ambos núcleos los valores de oxígeno son altos y los de carbono relativamente bajos. Los resultados que arrojó el A170 nos resultan en principio anómalos ya que lo que esperaríamos a poca profundidad y cerca de la costa es un número pequeño de foraminíferos béticos debido a una mayor competencia y depredación por otros organismos. Sin embargo sabemos que en la BLP a 170 m de profundidad las concentraciones de oxígeno son relativamente bajas (0.65 ml/L) y que este factor puede haber reducido los efectos de la competencia y la depredación por impedir la colonización de otros organismos a estas profundidades. Posiblemente en CSLAZ donde los niveles de O<sub>2</sub> disuelto son relativamente mayores (0.95 ml/L) y las velocidades de sedimentación son más altas que las de cualquier localidad dentro del Golfo de California (Herguera et al., 2000) los mecanismos antes mencionados junto con la dilución debido a las mayores tasas de acumulación controlan la baja concentración de estos organismos en esta Cuenca a lo que se puede agregar el efecto de disolución a estas profundidades, lo que puede tener una gran importancia para la preservación de los caparzones calcáreos (Phleger y Soutar, 1973). Cabe mencionar que en el núcleo A170 no solo observamos la mayor abundancia de especímenes de foraminíferos béticos, sino también es donde encontramos el menor número de especies (S), lo que implica una gran dominancia por parte de un pequeño grupo de especies en las poblaciones y con ello una baja diversidad.

Los valores más altos de abundancias de individuos (concentración por gramo de sedimento, Tabla IX) los observamos en los sedimentos superficiales de los núcleos de BLP, CLP y SC. Anteriormente habíamos mencionado como las biocenosis de BLP mostraban un patrón de alta abundancia de foraminíferos béticos lo que viene a confirmar la observación sobre las tanatocenosis, sin embargo este ejercicio comparativo no lo podemos extender a la CP ni a SC debido a que no se tiñeron las muestras de estas cuencas. Las tanatocenosis de CP muestran una tendencia en las abundancias a disminuir con la profundidad, mientras que en la biocenosis de esta cuenca solo tenemos una muestra. Comparando los patrones de tanatocenosis y de biocenosis de las especies más abundantes lo que se observamos es que sólo unos cuantos núcleos coinciden en al menos una especie (a260 con *B. interjuncta bicostata*; B890 con *C. delicata*), mientras que para el resto de las especies no hay una correspondencia entre las biocenosis y las tanatocenosis. Por ejemplo en los núcleos de BLP *G. multilocula* fue la especie más abundante en la biocenosis mientras que en la tanatocenosis su importancia se ve reducida.

Esta divergencia la explicamos por la distinta resolución temporal que tienen las biocenosis de las tanatocenosis, ya que mientras las primeras nos ofrecen una observación con una duración temporal de unos meses a un año, tiempo medio de vida de un foraminífero bético, las tanatocenosis integran varios años a décadas dependiendo de la velocidad de sedimentación de la localidad estudiada (Phleger y Soutar, 1973; Walton, 1955). De forma que mientras las biocenosis recogen información sobre eventos de corta duración temporal, como son la ventilación y pulsos de materia orgánica que llegan al sedimento cercanos en el tiempo, las tanatocenosis al integrar períodos de tiempo mayor guardan información sobre procesos y variables ambientales más persistentes en el tiempo a los que hay que agregar transporte lateral y/o vertical de foraminíferos de lugares cercanos, eventos extraordinarios que potenciaron una alta producción de ciertas especies, procesos de disolución de los carbonatos y procesos de dilución por otros materiales de origen biogénico y litogénico al fondo. Aún cuando de acuerdo a nuestras observaciones la preservación de los caparazones calcícos es de buena a muy buena, este es un proceso que puede alterar sensiblemente la concentración de los foraminíferos béticos en los sedimentos. Inferimos por el estado de preservación de las abundantes conchas calcícas en los sedimentos anaeróbicos, a pesar de tratarse de formas pequeñas y tener

caparazones delgados, que las aguas intersticiales de los primeros centímetros en los sedimentos están saturadas en carbonatos (Sholkovitz, 1973) razón por la que excluimos a la disolución como un factor que nos altere de una forma importante la información recogida por las biocenosis.

De las 46 especies que se identificaron en la tanatocenosis del núcleo C550, siendo este el número más alto encontrado en nuestro estudio, solo encontramos menos de la mitad (21) en la biocenosis para este mismo núcleo. Al comparar las especies con abundancias mayores del 3 % de las figuras 13a y 29a para el mismo núcleo encontramos que sólo *Epistominella* sp 2 se encontraba consistentemente en ambas asociaciones. Esta observación sugiere que las especies dominantes en las biocenosis, a pesar de tener una abundancia mayor del 3 %, nunca llegan a ser tan abundantes como para reflejarse en las tanatocenosis, bien porque reflejen un período de baja producción de foraminíferos béticos, o bien porque registren un cambio reciente en las condiciones ambientales del fondo. Por otro lado la cantidad de organismos teñidos encontrados fue muy baja en la mayoría de los núcleos, con una diferencia de tres órdenes de magnitud entre las concentraciones de las biocenosis y las tanatocenosis razón que por sí sola puede explicar la importancia marginal que tienen las biocenosis identificadas con respecto a las tanatocenosis y la falta de coherencia observada entre ambas. Esta observación la refleja Walton (1955) en su estudio de los foraminíferos béticos en Bahía de Todos Santos cuando menciona como la distribución de las asociaciones de foraminíferos béticos en las tanatocenosis es más semejante a la distribución de las poblaciones totales (tanatocenosis y biocenosis) mientras que las biocenosis de foraminíferos es diferente a la tanatocenosis y a la total.

Las abundancias de CSLAZ fueron las más bajas entre las tanatocenosis (no pudimos compararla con su biocenosis porque no se teñeron cuando se colectaron). Estas bajas concentraciones las podemos explicar por un efecto de las tasas de sedimentación que al ser más elevadas en CSLAZ diluyen de una forma importante las concentraciones de foraminíferos y como resultado sus abundancias por gramo decrecen.

Los índices de diversidad calculados para las tanatocenosis tanto para los núcleos de BLP como para el resto de las localidades estudiadas muestran una tendencia a aumentar con la profundidad mientras que las calculadas a partir de las biocenosis muestran una ligera tendencia en sentido contrario. Resultado que viene a

reforzar la observación de la ausencia de un patrón coherente entre los patrones de las biocenosis y las tanatocenosis para las abundancia como en la composición de las especies más abundantes.

Al aplicar la prueba de Hutchenson a las tanatocenosis los núcleos A170 de BLP, E540 de CSLAZ y C1060 de CP resultaron ser diferentes al resto de los núcleos. Los primeros dos tiene como semejanza tener los valores más pequeños de  $S$ ,  $H'$ , y los más grandes de  $C$ . Mientras que para el C1060 fue todo lo contrario. La poca diferencia entre los valores de diversidad de los núcleos de las cuencas costeras, refleja que estos ambientes son muy similares, a pesar de que uno se encuentra bajo el sistema de la CC y el otro dentro del Golfo de California.

Del análisis de agrupamiento para la determinación de tanatotopos encontramos que la distribución de los núcleos en base a las diferentes especies fue muy semejante al que se realizó con las diferentes variables ambientales. Se confirma una vez mas el patrón que delineaban la importancia relativa de la profundidad y las diferentes masas de agua como variables que influyen en esta distribución. Es importante resaltar aquí como los núcleos procedentes de las dos cuencas costeras se agrupan y reflejan el parecido que existe entre ellas. Esto viene a contestar una de las preguntas que nos hicimos a comienzos de este estudio que consistía en observar hasta que punto las diferencias biogeográficas superficiales entre las aguas templadas de la Corriente de California y las aguas tropicales del Golfo de California se veían reflejadas en las profundidades del mínimo de oxígeno. Las observaciones realizadas sobre las tanatocenosis de ambas cuencas confirman la alta similitud entre ambas lo que viene a confirmar la mayor importancia que tienen el alto aporte de carbono orgánico al sedimento, el bajo contenido en oxígeno en profundidad controlado por su baja concentración en las ASsSt que bañan sus fondos a su vez obstaculizadas por barreras batimétricas que impiden su ventilación, sobre las diferencias biogeográficas claramente expresadas en superficie. Similitud que tanto se observa en el número de especies compartidas entre ambas cuencas como en la exclusividad de algunas de estas especies a encontrarse en estas cuencas de circulación restringida.

Cuando se compararon los núcleos de las cuencas costeras (A475 de Bahía La Paz y E540 de Cuenca San Lázaro) de circulación restringida y bañadas por las ASsSt y el C550 de Cuenca Pescadero bañado por AIP con el núcleo más profundo de Cuenca Santa Bárbara (Bernhard *et al.*, 1997), otra cuenca de

características similares en el Sur de la Alta California para extraer las similitudes y diferencias entre las asociaciones de foraminíferos béticos, se encontró una mayor similitud entre la BLP, CSLAZ y CP, localidades de nuestro estudio con un índice de similitud de 0.65 (Fig. 30) mientras que este índice fue menor (0.3) cuando se compararon con las faunas de Santa Bárbara. Douglas (1981) menciona que puede existir diferencias importantes en la presencia de especies para las diferentes cuencas de la ensenada del Sur de la Alta California lo que nos señala importantes diferencias en los modos de colonización y dispersión de los foraminíferos béticos en un área geográfica relativamente restringida y nos plantea la paradoja de la similitud entre San Lázaro y el bajo Golfo de California y la distancia con la Cuenca de Santa Bárbara (SB). Quizás la mayor influencia de aguas más frías en SB en contraste con la de CSLAZ, la cual aun dentro del sistema de la Corriente de California tiene una marcada influencia de las aguas tropicales (Badan,1997; Olivier,1998).



## CONCLUSIONES

1. No observamos diferencias en la composición de especies entre los ambientes con baja concentración de oxígeno del Bajo Golfo de California y del extremo Sur de la Corriente de California, principalmente en la comparación de las cuencas costeras de Bahía La Paz y de San Lázaro.
2. Los resultados sugieren que la distribución de las especies está controlada por las masas de agua en profundidad, especialmente por la frecuencia en la ventilación de sus aguas que controlan el contenido de oxígeno.
3. La distribución de los foraminíferos béticos vivos dentro del sedimento se ve afectada por la concentración de oxígeno disuelto en el agua y el contenido de carbono orgánico en los sedimentos. En las áreas donde los valores de oxígeno fueron bajos, la mayor concentración de organismos se localizó en el primer centímetro.

## LITERATURA CITADA

- Badan, A. 1997. La Corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano. En: Lavín M.F. (ed.). Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Unión Geofísica Mexicana. Ensenada, B. C., Méx. Monografía 3: 99- 112
- Bandy, O. L. 1961. Distribution of foraminifera, radiolaria and diatoms in sediments of the Gulf of California. *Micropaleontology*, 7 (1): 1-26.
- Bandy, O. L. 1967. Foraminiferal Indices in Paleoecology. Stratigraphic Geology Division. Esso Production Research Company. 96 p.
- Berger, W. H., K. Fischer, C. Kai y G. Wu. 1987. Ocean productivity and organic carbon flux. Part I. Overview and maps of primary production and export production: San Diego, University of California, Scripps Institution of Oceanography Reference 87-30: 67 p.
- Bernhard, J. M. 1986. Characteristic Assemblages and Morphologies of Benthic Foraminifera from Anoxic, Organic-Rich Deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research*, 16 (3): 207-215.
- Bernhard, J. M. 1992. Benthic foraminiferal distribution and biomass related to pore-water oxygen content: central California continental slope and rise. *Deep-Sea Research*, 39 (3/4): 585-605.
- Bernhard, J. M. 1993. Experimental and field evidence of Antarctic foraminiferal tolerance to anoxia and hydrogen sulfide. *Marine Micropaleontology*, (20): 203-213.
- Bernhard, J. M. y C. E. Reimers. 1991. Benthic foraminiferal population fluctuations related to anoxia: Santa Barbara Basin. *Biogeochemistry*, (15): 127-149.
- Bernhard, J. M. y E. Alve. 1996. Survival, ATP pool, and ultrastructural characterization of benthic foraminifera from Drammensfjord (Norway): response to anoxia. *Marine Micropaleontology* (28): 5-17.
- Bernhard, J. M., B. K. Sen-Gupta y 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.
- Boltovskoy, E. 1965. Los Foraminíferos recientes. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). Buenos Aires, Argentina, 510 p.
- Brooks, W.W. 1973. Distribution of Recent foraminifera from the southern coast of Puerto Rico. *Micropaleontology* 19 (4): 385-416.

- Butcher, W. S. 1951. Foraminifera, Coronado Bank and vicinity, California. California University, Scripps Institution of Oceanography. Subarine Geology Report. (19): 1-9.
- Cadena-Lucero, J. A. 1996. Distribución de Foraminíferos Bentónicos en la Plataforma Continental de Bahía Sebastián Vizcaíno, B. C. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 77 p.
- Calvert, S.E. 1966. Accumulation of Diatomaceous Silica in the Sediments of the Gulf of California. Geological Society of America Bulletin, (77): 569-596.
- Corliss, B. H. 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. Nature, (314): 435-438.
- Corliss, B. H. y S. Emerson. 1990. Distribution of Rose Bengal stained deep-sea benthic foraminifera from the Nova Scotian continental margin and Gulf of Maine. Deep-Sea Research, 37 (3): 381-400.
- Cushman, J. A. 1955. Foraminifera their Classification and Economic Use. Harvard University Press. 4ta. Edición. Cambridge, Massachusetts, U.S.A. 605 p.
- Douglas, R.G. 1981. Paleoecology of Continental Margin Basins: A Modern Case History from the Borderland of Southern California. *in* Depositional Systems of Active Continental Margin Basins. Pacific Section S.E.P.M., Short Course Notes. San Francisco. 121-155.
- Douglas R.G., J. Liestman, C. Walch, G. Blake y M. L. Cotton. 1980. The transition from live to sediment assemblage in benthic foraminifera from the southern California Borderland. In: Quaternary depositional environments of the Pacific coast. M.E. Field, A. H. Bouma, I. P. Colburn, R. G. Douglas y I.C. Ingle. (Eds.). Pacific Coast Paleogeography Symposium 4, Pacific Section S.E.P.M., Los Angeles. 257-280.
- Fernández-Barajas, M. E., M. A. Monreal-Gómez y A. Molina-Cruz. 1994. Estructura termohalina y flujo geostrófico, en el Golfo de California, Durante 1992. Ciencias Marinas, 20 (2): 267-268.
- 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., L. A. Levin, P. Linke y T. Heeger. 1992. The role of benthic foraminifera in deep-sea food webs and carbon cycling. En: Rowe, G. T. y V. Pariente (eds.). Deep-Sea Food Chains and the Global Carbon Cycle. Kluwer Academic Publishers. Holanda. pp. 63-91.

- Gooday, A. J., J. M. Bernhard, L.A. Levin y S. B. Suhr. 2000. 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.
- Herguera, J.C. 2000. Last glacial paleoproductivity patterns in the eastern equatorial Pacific: benthic foraminifera records. *Marine Micropaleontology*. (40): 259-275.
- Herguera, J. C. y W. H. Berger. 1991. Paleoproductivity from benthic foraminifera abundance: Glacial to postglacial change in the west-equatorial Pacific. *Geology*, (19): 1173-1176.
- 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, 60 p.
- Hickey, B. M. 1998. Coastal Oceanography of Western North America from the Tip of Baja California to Vancouver Island. En: Robinson, A.R. y K.H. Brink (eds.). 1998. *The Sea*. John Wiley & Sons, Inc. Vol. 11: pp. 345-393.
- Huang, R. X. y B. Qiu. 1994. Three-Dimensional Structure of the Wind-Driven Circulation in the Subtropical North Pacific. *Journal Physical Oceanography*, (24): 1608-1622.
- Hülsemann, J. y Emery, K. O. 1961. Stratification in Recent Sediments of Santa Barbara Basin as Controlled by Organisms and Water Character. *Journal Geology*, (3): 279-290.
- Jorinssen, F. J., D. M. Barmawidjaja, S. Puskaric y 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.
- Josefson, A. B. y B. Widbom. 1988. Differential response of benthic macrofauna and meiofauna to hypoxia in the Gullmar Fjord basin. *Marine Biology* (100): 31-40.
- Kaiho, K. 1994. Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology*, (22): 719-722.
- Lavín, M. F., E. Beier y A. Badán. 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*. Unión Geofísica Mexicana. Ensenada, B.C., Méx. Monografía 3: 141-171 p.
- Linke, P. y 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. y H. Tappan. 1978. Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida (Vol. 1). En Moore, R.C. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology* (Parte C, Protista 2). Geological Society of America y University Kansas City. Lawrence, Kansas, E.U.A. 1-510 p.

- Loeblich, A. R. y H. Tappan. 1978. Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida (Vol. 2). En Moore, R.C. (Ed.), Treatise on Invertebrate Paleontology (Parte C, Protista 2). Geological Society of America y University Kansas City. Lawrence, Kansas, E.U.A. 511-900 p.
- Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California Current System: The Seasonal Variability of its Physical Characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92 (12): 12 947-12 966.
- Mackensen, A. y R. G. Douglas. 1989. Down-core distribution of live and dead deep-water benthic foraminifera in box cores from the Weddell Sea and the California continental borderland. *Deep-Sea Research*, 36 (6): 879-900.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey, U.S.A. 179 p.
- Margalef, R. 1977. *Ecología*. 2da. Edición. Ediciones Omega, S. A., Barcelona, España. 951 p.
- Matoba, Y. y A., Yamaguchi. 1978-1979. Late Pliocene to Holocene Benthic Foraminifers of the Guaymas Basin, Gulf of California: Sites 477 through 481. *Inicial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Vol. LXIV. Pte. 2: 1027-1056.
- Monreal-Gómez, M. A., A. Molina-Cruz y D. A. Salas-de León. (En Prensa). Oceanography of a singular Bay: Bay of La Paz, Gulf of California, Mexico. *Journal of Marine Systems*.
- Murray, J. W. 1991. Ecology and distribution of benthic foraminifera. En: Lee, J.J. y O.R. Anderson (ed.). *Biology of Foraminifera*. Academy Press. Inc., San Diego, C.A., U.S.A. Capítulo 7: pp. 221-253.
- Murray, J. W. 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*. (47): 1-7.
- Nilsson, H. C. y R. Rosenberg. 2000. Succession in marine benthic habitats and fauna in response to oxygen deficiency: analysed by sediment profile-imaging and by grab samples. *Marine Ecology Progress Series*. (197): 139-149.
- Olivier-Salomé, B. 1998. Fertilidad de la Corriente de California para los últimos 130 años: Preservación, Calibración y Reconstrucción basada en Foraminíferos Plácticos en Sedimentos Laminados de la Cuenca de San Lázaro. Tesis de Maestría. División Oceanología. CICESE., 122 p.
- Parés-Sierra, A., M. López y E.G. Pavía. 1997. Oceanografía Física del Océano Pacífico Nororiental. En: Lavín M.F. (ed.). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Unión Geofísica Mexicana. Ensenada, B.C., Méx. Monografía 3: 1- 24 p.
- Parulekar, A. H., S. N. Harkantra, Z. A. Ansari y S. G. P. Matondkar. 1982. Abyssal benthos of the central Indian Ocean. *Deep-Sea Research*, 29 (12A): 1531-1537.
- 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 Press: Baltimore, E.U.A. 297 p.
- Phleger, F. B. 1963. Oceanografía física y Ecología de los foraminíferos del Golfo de California. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, XXVI (2): 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. y A., Soutar. 1973. Production of benthic foraminifera in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontology*, 19 (1): 110-115.

- Reimers C. E., C. B. Lange, M. Tabak y J. M. Bernhard. 1990. Seasonal spillover and varve formation in the Santa Barbara Basin, California. *Limnology and Oceanography*, (37): 1577-1585.
- Resig, J. M. 1981. Biogeography of benthic foraminifera of the northern Nazca plate and adjacent continental margin. Geological Society of America. *Memoir* 154: 619-665.
- 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, AAPG Memoir. 3: 30-58.
- 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.
- Savrda, Ch. E., D.J. Bottjer, y D.S. Gorsline. 1984. Development of a Comprehensive Oxygen-Deficient Marine Biofacies Model: Evidence from Santa Monica, San Pedro, and Santa Barbara Basins, California Continental Borderland. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 68 (9): 1179-1192.
- Sen-Gupta, B. K y M. L., Machain-Castillo. 1993. Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Mar. Micropaleontology*, (20): 183-201.
- Sholkovitz, E.R. 1973. Interstitial water chemistry of the Santa Barbara Basin sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, (37): 2043-2073
- Soto-Mardones, L., S. G. Marinone y A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad Espaciotemporal de la Temperatura Superficial del Mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 25 (1): 1-30.
- Streeter, S. S. 1972. Living benthonic foraminifera of the Gulf of California, a factor analysis of Phlger's (1964) data. *Micropaleontology*, 18 (1): 64-73.
- Talley, L. D. 1993. Distribution and Formation of North Pacific Intermediate Water. *Journal Physical Oceanography*, (23): 517-537.
- Torres-Orozco, E. 1993. Análisis Volumétrico de las Masas de Agua del Golfo de California. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, Baja California, 80 p.
- Tovilla-Hernández, C. 1991. Oceanografía Geológica. En: De la Lanza, G.E. (ed.). *Oceanografía de los Mares Mexicanos*. AGT Editor, S.A. México, D.F. pp. 403-451.
- Tyson, R. V. y T. H. Pearson. 1991. Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. *Geological Society Special Publication*. No. 58: 1-24.
- Uchio, T. 1960. Ecology of living benthonic Foraminifera from the San Diego, California, Area: Cushman Foundation Foraminiferal Research, Special Publication. No. 5: 1-72.
- Walton, W. R. 1955. Ecology of Living Benthonic Foraminifera, Todos Santos Bay, Baja California. *Journal of Paleontology*, 29 (6): 99-104.
- Washington, H. G. 1984. Diversity, Biotic and Similarity Indices a Review with Special Relevance to Aquatic Ecosystems. *Water Res.* 18 (6): 653-694.
- Wishner, K., L. Levin, M. Gowing y L. Mullineaux. 1990. Involvement of the oxygen minimum in benthic zonation on a deep seamount. *Nature*. (346): 57-59.
- Wright-Barker, R. 1960. Taxonomic Notes on the species figured by H.B: Brady in his report on the Foraminifera Dredged by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. *Society of Economic Paleontologist and Mineralogists*. (9): 1-239 .
- Wyrki, K. 1965. Summary of the physical oceanography of the eastern Pacific Ocean. La Jolla, Institute of Marine Research, University of California, San Diego: 1-78.
- Zar, J. H., 1974. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. pp. 115-117.

